

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-PPGEM

PRODUÇÃO E QUALIDADE DA ALFACE HIDROPÔNICA CULTIVADA COM
ADIÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS

RICARDO MUÑOZ DA SILVA

Tese para obtenção do título de Doutor
em Engenharia

Porto Alegre
2001

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-PPGEM

PRODUÇÃO E QUALIDADE DA ALFACE HIDROPÔNICA CULTIVADA COM
ADIÇÃO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS

RICARDO MUÑOZ DA SILVA
Engenheiro Agrônomo, M Sc.

Trabalho realizado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-PPGEM, da Escola de Engenharia da UFRGS, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia

Área de Concentração: Metalurgia Extrativa

Porto Alegre
2001

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do título de Doutor em Engenharia, área de concentração Metalurgia Extrativa, e aprovada, em sua forma final, pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador: Prof. Dr. André Jablonski
Co-orientador: Prof. Dr. Lotar Siewerdt

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Iara Maria de Souza Dutra

Profa. Dra. Ruth Néia Teixeira Lessa

Prof. Dr. Jorge Luiz Martins

Prof. Dr. Manuel Castro Carneiro

Prof. Dr. Jair Carlos Koppe
Coordenador do PPGEM

À minha esposa LORAINÉ STORCH MEYER DA SILVA; aos meus filhos
ALEXANDRE e HELENA.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece a todos que colaboraram, direta ou indiretamente, na realização deste trabalho e especialmente aos abaixo relacionados:

Ao professor André Jablonski, pela criteriosa orientação, dedicação e ensinamentos.

Ao professor Lotar Siewerdt pelo estímulo, dedicação e esforço pessoal proporcionado e pela criteriosa orientação e ensinamentos.

Ao professor Paulo Silveira Júnior, pela orientação na análise estatística de todos os trabalhos realizados no decorrer do curso.

Aos professores da Universidade Federal de Pelotas: Ruth Néia Teixeira Lessa, Ledemar Carlos Vahl e Tânia Beatriz Gamboa Araújo Morselli, pela colaboração e ensinamentos.

Aos professores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Ibanor Anguioni, Nestor Kanpf, Decio Scholles e Marino José Tedesco, pelas valiosas contribuições.

Aos colegas Sílvia dos Santos Garcia, Plínio Luiz Kroth, Maria da Graça Sebag, Iara Maria de Souza Dutra, Lourival Francisco dos Santos Júnior e as bolsistas Tatiana Ambrosini, Vanessa Ackerman, Vanessa Fabian e Carla Rupental, pela colaboração e companheirismo.

Às estagiárias do Instituto de Química e Geociências da UFPEL Débora Simone Figueiredo Gay e Islaine Tavares Ferreira

À direção e funcionários do Departamentos de Química Analítica, Solos e Zootecnia da Universidade Federal de Pelotas e do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelas facilidades oferecidas para a realização desta Tese.

Ao funcionário da Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul José Ferreira da Silva III^o.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e a Fundação Banco do Brasil, pelo apoio financeiro a este projeto.

À empresa JOSAPAR pelo aporte financeiro e pela colaboração na coleta das amostras e análises.

À CAPES pela concessão da Bolsa de Doutorado.

Finalmente, gostaria de agradecer, de forma muito especial, à minha esposa Loraine e aos meus filhos Alexandre e Helena pelo carinho, tolerância e paciência.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	XII
LISTA DE TABELAS DOS ANEXOS.....	XIII
LISTA DE FOTOGRAFIAS DO APÊNDICE.....	XVI
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	XVIII
RESUMO.....	XIX
ABSTRACT.....	XX
1 – INTRODUÇÃO.....	1
2 – REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 – Aspectos Gerais.....	3
2.2 – A Adubação Organo-Mineral.....	5
2.3 – Matéria Orgânica e seu Fracionamento.....	7
2.4 – Efeito das Substâncias Húmicas sobre as Plantas.....	9
2.5 – Mecanismo de Estimulação de Ácidos Húmicos e Fúlvicos.....	15
2.6 – Macro e Micronutrientes para as Plantas e para os Seres	
Humanos.....	26
2.7 – Contaminantes Inorgânicos.....	29
2.8 – O uso da Hidroponia na Produção de Cultivos Agrícolas.....	32
2.9 – Fertirrigação e Fertilizantes Fluidos.....	36
3 – MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.1 – Área Experimental: Localização e Substrato.....	38
3.2 – Características Físico-Químicas das Substâncias Húmicas	
Utilizadas.....	38
3.3 – Delineamento Experimental e Tratamentos Utilizados.....	40
3.4 – Condução do Experimento e Coleta de Dados.....	41
3.5 – Determinações Laboratoriais.....	42
3.5.1 – Teor de Matéria Seca.....	42
3.5.2 – Teor de Nitrogênio Total.....	42

3.5.3 – Teores de P, K, Ca, Mg, S e Na.....	43
3.5.4 – Concentração dos Micronutrientes – Cu, Fe, Mn e Zn.....	44
3.5.5 – Concentração dos Contaminantes Incidentais – Ni, Cr, Cd, Pb e Hg.....	44
3.6 – Análise Estatística e Variáveis Analisadas.....	45
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1 – Produção de Matéria Verde da Parte Aérea.....	46
4.2 – Produção de Matéria Seca da Parte Aérea.....	49
4.3 – Produção de Matéria Seca das Raízes.....	51
4.4 – Teor de Nitrogênio na Matéria Seca da Parte Aérea.....	53
4.5 – Teor de Nitrogênio na Matéria Seca das Raízes.....	55
4.6 – Teor de Fósforo na Matéria Seca da Parte Aérea.....	57
4.7 – Teor de Fósforo na Matéria Seca das Raízes.....	59
4.8 – Teor de Potássio na Matéria Seca da Parte Aérea.....	61
4.9 – Teor de Potássio na Matéria Seca das Raízes.....	63
4.10 – Teor de Cálcio na Matéria Seca da Parte Aérea.....	65
4.11 – Teor de Cálcio na Matéria Seca das Raízes.....	66
4.12 – Teor de Magnésio na Matéria Seca da Parte Aérea.....	68
4.13 – Teor de Magnésio na Matéria Seca das Raízes.....	70
4.14 – Teor de Enxofre na Matéria Seca da Parte Aérea.....	72
4.15 – Teor de Enxofre na Matéria Seca das Raízes.....	73
4.16 – Teor de Sódio na Matéria Seca da Parte Aérea.....	75
4.17 – Teor de Sódio na Matéria Seca das Raízes.....	76
4.18 – Concentração de Cobre na Matéria Seca da Parte Aérea.....	78
4.19 – Concentração de Cobre na Matéria Seca das Raízes.....	81
4.20 – Concentração de Zinco na Matéria Seca da Parte Aérea.....	83
4.21 – Concentração de Zinco na Matéria Seca das Raízes.....	85
4.22 – Concentração de Ferro na Matéria Seca da Parte Aérea.....	86
4.23 – Concentração de Ferro na Matéria Seca das Raízes.....	88
4.24 – Concentração de Manganês na Matéria Seca da Parte Aérea.....	91
4.25 – Concentração de Manganês na Matéria Seca das Raízes.....	93
4.26 – Concentração de Níquel na Matéria Seca da Parte Aérea.....	95

4.27 – Concentração de Níquel na Matéria Seca das Raízes.....	97
4.28 – Concentração de Cromo na Matéria Seca da Parte Aérea.....	99
4.29 – Concentração de Cromo na Matéria Seca das Raízes.....	102
4.30 – Concentração de Cádmio na Matéria Seca da Parte Aérea.....	105
4.31 – Concentração de Cádmio na Matéria Seca das Raízes.....	107
4.32 – Concentração de Chumbo na Matéria Seca da Parte Aérea.....	109
4.33 – Concentração de Chumbo na Matéria Seca das Raízes.....	111
4.34 – Concentração de Mercúrio na Matéria Seca da Parte Aérea.....	113
4.35 – Concentração de Mercúrio na Matéria Seca das Raízes.....	116
5 – CONCLUSÕES.....	119
6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	121
ANEXOS.....	122
7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	147
APÊNDICES.....	160

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Estrutura proposta para uma porção de uma molécula de ácidos húmicos, mostrando a contribuição do Mg^{2+} na formação de um microambiente intramolecular hidrofóbico.....4
- Figura 2** – Esquema representativo do bloco 1 com a distribuição dos tratamentos sorteados.....41
- Figura 3** – Produção de MV da parte aérea da alface em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....47
- Figura 4** – Produção de MS da parte aérea da alface em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....50
- Figura 5** – Produção de MS das raízes da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....52
- Figura 6** – Teor de N na matéria seca da parte aérea da alface *Maravilha de Verão* das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....54
- Figura 7** – Teor de N na matéria seca das raízes da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....56
- Figura 8** – Teor de P na matéria seca da parte aérea da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....58
- Figura 9** – Teor de P na matéria seca das raízes da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....60
- Figura 10** – Teor de K na matéria seca da parte aérea da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....62
- Figura 11** – Teor de K na matéria seca das raízes da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....64
- Figura 12** – Teor de Ca na matéria seca da parte aérea da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....65
- Figura 13** – Teor de Ca na matéria seca das raízes da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....67

Figura 14 – Teor de Mg na matéria seca da parte aérea da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	69
Figura 15 – Teor de Mg na matéria seca das raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	71
Figura 16 – Teor de S na matéria seca da parte aérea da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	72
Figura 17 – Teor de S na matéria seca das raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	74
Figura 18 – Teor de Na na matéria seca da parte aérea da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	75
Figura 19 – Teor de Na na matéria seca das raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	77
Figura 20 – Concentração de Cu na matéria seca da parte aérea da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	79
Figura 21 – Concentração de Cu na matéria seca das raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	81
Figura 22 – Concentração de Zn na matéria seca da parte aérea da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	83
Figura 23 – Concentração de Zn na matéria seca das raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	85
Figura 24 – Concentração de Fe na matéria seca da parte aérea da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	87
Figura 25 – Concentração de Fe na matéria seca das raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	90
Figura 26 – Concentração de Mn na matéria seca da parte aérea da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	91

Figura 27 – Concentração de Mn na matéria seca das raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	94
Figura 28 – Concentração de Ni na matéria seca da parte aérea da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	95
Figura 29 – Concentração de Ni na matéria seca das raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	98
Figura 30 – Concentração de Cr na matéria seca da parte aérea da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	100
Figura 31 – Concentração de Cr na matéria seca das raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	103
Figura 32 – Concentração de Cd na matéria seca da parte aérea da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	106
Figura 33 – Concentração de Cd na matéria seca das raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	108
Figura 34 – Concentração de Pb na matéria seca da parte aérea da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	110
Figura 35 – Concentração de Pb na matéria seca das raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	112
Figura 36 – Concentração de Hg na matéria seca da parte aérea da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	114
Figura 37 – Concentração de Hg na matéria seca das raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i> em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.....	117

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Produções de algumas hortaliças cultivadas em estufas em sistema hidropônico e em campo.....35
- Tabela 2** – Resultados da análise da areia utilizada como substrato no experimento realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.....38
- Tabela 3** – Resultados da concentração (g.L^{-1} de C), porcentagem de cinzas (A%), carbono orgânico em base seca e isenta de cinzas (C org. (%daf)), razão E4/E6, acidez titulável, produção de substâncias húmicas em relação a matéria-prima utilizada (Produção (%)), teores de nitrogênio, fósforo e potássio e relação C/N.....39
- Tabela 4** – Volume (mL) de extrato das diferentes substâncias adicionados à solução nutritiva nas doses 2 ($\text{D2} = \text{SN} + 15 \text{ mg.L}^{-1}$ de SH); 3 ($\text{D3} = \text{SN} + 30 \text{ mg.L}^{-1}$) e 4 ($\text{D4} = \text{SN} + 45 \text{ mg.L}^{-1}$ de SH).....40

LISTA DE TABELAS DOS ANEXOS

- Tabela I** – Quadro da análise de variância das variáveis produção de matéria verde e seca da parte aérea e seca das raízes e teores de nitrogênio na matéria seca da parte aérea e das raízes e eficiência no aproveitamento do nitrogênio pela alface *Maravilha de Verão*.....123
- Tabela II** – Resultados das variáveis produção de matéria verde e seca da parte aérea, produção de matéria seca das raízes e teor de nitrogênio na parte aérea da alface *Maravilha de Verão*.....124
- Tabela III** – Resultados da análise de variância das variáveis teores de fósforo e potássio na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface e eficiência no aproveitamento do fósforo e do potássio pelas plantas da alface *Maravilha de Verão*.....125
- Tabela IV** – Resultados das variáveis teor de nitrogênio nas raízes, eficiência de utilização do nitrogênio e teores de fósforo na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface *Maravilha de Verão*.....126
- Tabela V** – Resultados das variáveis teores de potássio na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface *Maravilha de Verão* e eficiência na utilização do fósforo e potássio aplicados.....127
- Tabela VI** – Equações de regressão polinomial das variáveis porcentagem de aproveitamento do nitrogênio, do fósforo e do potássio pela alface *Maravilha de Verão*.....128
- Tabela VII** – Resultados da análise de variância das variáveis teores de cálcio, magnésio e enxofre na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface *Maravilha de Verão*.....129
- Tabela VIII** – Resultados das variáveis teores de cálcio e magnésio na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface *Maravilha de Verão*130
- Tabela IX** – Resultados da análise de variância das variáveis teor de sódio e concentração de cobre e zinco na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface *Maravilha de Verão*.....131

Tabela X	– Resultados das variáveis teores de enxofre e sódio na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i>	132
Tabela XI	– Resultados das variáveis concentração de cobre e zinco na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i>	133
Tabela XII	– Resultados da análise de variância das variáveis concentração de ferro, manganês e níquel na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i>	134
Tabela XIII	– Resultados das variáveis concentração de ferro e manganês na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i>	135
Tabela XIV	– Resultados da análise de variância das variáveis porcentagem de níquel e de cromo na parte aérea e nas raízes e concentração de cromo na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i>	136
Tabela XV	– Resultados das variáveis concentração de níquel e cromo na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i>	137
Tabela XVI	– Resultados das variáveis porcentagem de níquel e cromo totais na parte aérea e nas raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i>	138
Tabela XVII	– Equações de regressão polinomial das variáveis porcentagem do níquel e do cromo totais na parte aérea e nas raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i>	139
Tabela XVIII	– Resultados da análise de variância das variáveis concentração de cádmio e chumbo na matéria seca da parte aérea e das raízes e porcentagem do cádmio total na parte aérea e nas raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i>	140
Tabela XIX	– Resultados das variáveis concentração de cádmio e chumbo na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface <i>Maravilha de Verão</i>	141

- Tabela XX** – Resultados da análise de variância das variáveis concentração de mercúrio na matéria seca da parte aérea e das raízes e porcentagem de chumbo e mercúrio na parte aérea e nas raízes da alface *Maravilha de Verão*.....142
- Tabela XXI** – Resultados das variáveis porcentagem do cádmio e chumbo totais presentes na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface *Maravilha de Verão*.....143
- Tabela XXII** – Equações de regressão polinomial das variáveis porcentagem do cádmio total na parte aérea e nas raízes da alface *Maravilha de Verão*.....144
- Tabela XXIII** – Resultados das variáveis concentração de mercúrio na matéria seca da parte aérea e das raízes e porcentagem do mercúrio total na parte aérea e das raízes da alface *Maravilha de Verão*.....145
- Tabela XXIV** – Equações de regressão polinomial das variáveis porcentagem do chumbo e do mercúrio na parte aérea e nas raízes da alface *Maravilha de Verão*.....146

LISTA DE FOTOGRAFIAS DO APÊNDICE

- Fotografia I** – Sementeira para implantação do experimento.....161
- Fotografia II** – Fotografia do experimento com alface durante o período experimental.....161
- Fotografia III** – Fotografia do experimento com a alface durante a colheita.....162
- Fotografia IV** – Produção de alface no bloco 1 com a adição da substância húmica PT1 = H_3PO_4 , nas quatro diferentes doses (da esquerda para a direita D1 = 0 $mg.L^{-1}$; D2 = 15 $mg.L^{-1}$; D3 = 30 $mg.L^{-1}$ e D4 = 45 $mg.L^{-1}$).....162
- Fotografia V** – Produção de alface no bloco 1 com a adição da substância húmica PT2 = HCl, nas quatro diferentes doses (da esquerda para a direita D1 = 0 $mg.L^{-1}$; D2 = 15 $mg.L^{-1}$; D3 = 30 $mg.L^{-1}$ e D4 = 45 $mg.L^{-1}$).....163
- Fotografia VI** – Produção de alface no bloco 1 com a adição da substância húmica PT3 = sem tratamento, nas quatro diferentes doses (da esquerda para a direita D1 = 0 $mg.L^{-1}$; D2 = 15 $mg.L^{-1}$; D3 = 30 $mg.L^{-1}$ e D4 = 45 $mg.L^{-1}$).....163
- Fotografia VII** – Produção de alface no bloco 1 com a adição da substância húmica PT4 = HNO_4 , nas quatro diferentes doses (da esquerda para a direita D1 = 0 $mg.L^{-1}$; D2 = 15 $mg.L^{-1}$; D3 = 30 $mg.L^{-1}$ e D4 = 45 $mg.L^{-1}$).....164
- Fotografia VIII** – Produção da alface no bloco 1 com a adição da substância húmica PT5 = HCl + HNO_3 , nas quatro diferentes doses (da esquerda para a direita D1 = 0 $mg.L^{-1}$; D2 = 15 $mg.L^{-1}$; D3 = 30 $mg.L^{-1}$ e D4 = 45 $mg.L^{-1}$).....164
- Fotografia IX** – Produção da alface no bloco 1 com a adição da substância húmica PT6 = HCl + H_3PO_4 , nas quatro diferentes doses (da esquerda para a direita D1 = 0 $mg.L^{-1}$; D2 = 15 $mg.L^{-1}$; D3 = 30 $mg.L^{-1}$ e D4 = 45 $mg.L^{-1}$).....165

Fotografia X – Produção da alface no bloco 1 com a adição da substância húmica PT7 = triplo ácido ($\text{HCl} + \text{HNO}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4$), nas quatro diferentes doses (da esquerda para a direita $\text{D1} = 0 \text{ mg.L}^{-1}$; $\text{D2} = 15 \text{ mg.L}^{-1}$; $\text{D3} = 30 \text{ mg.L}^{-1}$ e $\text{D4} = 45 \text{ mg.L}^{-1}$).....165

Fotografia XI – Produção da alface no bloco 1 com a adição da substância húmica PT8 = $\text{HNO}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4$, nas quatro diferentes doses (da esquerda para a direita $\text{D1} = 0 \text{ mg.L}^{-1}$; $\text{D2} = 15 \text{ mg.L}^{-1}$; $\text{D3} = 30 \text{ mg.L}^{-1}$ e $\text{D4} = 45 \text{ mg.L}^{-1}$).....166

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

°C – graus Célsius.

cmol.kg⁻¹ – centimol de carga por kg.

mg.L⁻¹ – miligramas de carbono por litro.

g.vaso⁻¹ – gramas por vaso.

mg.kg⁻¹ – miligramas por quilograma de matéria seca.

RPE – ressonância paramagnética eletrônica, EPR em inglês, também conhecida como ressonância do spin eletrônico (ESR).

CTC – capacidade de troca de cátions.

Da – dátons.

Relação C/N – relação carbono/nitrogênio.

C_t – carbono total.

g/m² – gramas por metro quadrado.

me.dL⁻¹ – mili equivalentes por decilitro.

nm – nanômetros.

t.ha.⁻¹ – toneladas por hectare.

t.ha.⁻¹.ano⁻¹ – toneladas por hectare por ano.

D – dose utilizada de substância húmica.

PT – pré-tratamento.

SN – solução nutritiva.

SH – substância húmica.

SHs – substâncias húmicas.

CV – coeficiente de variação.

EPM – erro padrão da média.

PM – ponto de máxima.

Pmin – ponto de mínima.

Pm – ponto de máxima ou de mínima.

MS – matéria seca.

MV – matéria verde.

PB – proteína bruta.

RESUMO

Este trabalho, em casa de vegetação, com a alface (*Lactuca sativa*) *Maravilha de Verão*, foi realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, para avaliar o efeito de substâncias húmicas produzidas pelo LAGEAMB (Laboratório de Geoquímica Ambiental), Escola de Engenharia – UFRGS, onde as plantas se desenvolveram em vasos com areia e foram irrigadas com diferentes quantidades de substâncias húmicas adicionadas a uma solução nutritiva completa.

Num delineamento experimental inteiramente casualizado com um arranjo do tipo fatorial 8 x 4 foram testadas 8 substâncias húmicas (PT1, PT2, PT3, PT4, PT5, PT6, PT7 e PT8) e quatro doses de substâncias húmicas (D1= 0 mg.L⁻¹, D2 =15 mg.L⁻¹, D3 = 30 mg.L⁻¹ e D4 = 45 mg.L⁻¹), com três repetições por tratamento para avaliar o efeito das doses e das substâncias húmicas sobre: as produções de matéria verde e seca da parte aérea e seca das raízes, os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e sódio, as concentrações dos micronutrientes cobre, ferro, zinco e manganês e sobre as concentrações dos contaminantes inorgânicos níquel, cromo, cádmio, chumbo e mercúrio, tanto na parte aérea quanto nas raízes.

Para todas as variáveis a análise estatística mostrou significância para o efeito das doses de substâncias húmicas utilizadas e os resultados demonstraram que as substâncias húmicas aumentaram as produções de matéria verde e seca da parte aérea e seca das raízes e os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e sódio e as concentrações dos micronutrientes cobre, ferro, zinco e manganês. A adição de substâncias húmicas diminui a concentração dos contaminantes níquel, cromo, cádmio, chumbo e mercúrio na matéria seca dos tecidos da parte aérea e das raízes da alface.

ABSTRACT

A greenhouse work with hydroponic production of lettuce (*Lactuca sativa*) *Maravilha de Verão* was conducted at Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), to evaluate the effect of humic compounds which were obtained from peat of Rio Grande do Sul state in LAGEAMB (Laboratório de Geoquímica Ambiental), Escola de Engenharia – UFRGS. The Lettuce plant developed was grown in pots with irrigated sand, with added humic substances at different levels to a complete nutrient solution.

In a 8 x 4 randomic factorial design eight humic substances (PT1, PT2, PT3, PT4, PT5, PT6, PT7 and PT8) and four doses of humic substances (D1= 0 mg.L⁻¹, D2 =15 mg.L⁻¹, D3 = 30 mg.L⁻¹ and D4 = 45 mg.L⁻¹) were tested, with three replications, to evaluate dose effect on roots and aerial dry matter yielding and aerial part green matter production, percentages of elements nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulphur and sodium and concentrations of essential trace elements cooper, iron, zinc and manganese and concentrations of inorganic contaminants nickel, chromium, cadmium, lead and mercury in the aerial part and roots.

For all the variables the statistical analysis showed significance for the doses effects and the results demonstrated that humic compounds improve aerial part and roots growth and elements nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulphur, sodium, cooper, iron, zinc and manganese content. Humic substances addition depressed uptake and concentration for inorganic contaminants nickel, chromium, cadmium, lead and mercury in aerial part and roots.

1 – INTRODUÇÃO

Segundo Hayes e Swift (1978), estas substâncias atuam no solo da seguinte forma: a) na formação e na manutenção de uma boa estrutura; b) no aumento da permeabilidade dos solos e na sua capacidade de retenção de água; c) na retenção de nutrientes por processo de troca de cátions; d) na liberação lenta de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e elementos traços do solo; e) no transporte de metais dentro das raízes das plantas e nos efeitos estimulatórios sobre o crescimento das plantas; f) na imobilização de produtos químicos adicionados ao solo que influenciam o crescimento de cultivos; g) no aumento do poder tampão dos solos e h) na elevação da temperatura do solo devido ao aumento na absorção de radiação solar. Os resultados obtidos com o uso de substâncias húmicas são variáveis e dependem, além da espécie testada, das substâncias húmicas utilizadas, concentração, grau de purificação do material e das condições em que foram realizados os experimentos. As substâncias húmicas constituem a fração mais importante da matéria orgânica e afetam as propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos (Hayes et al., 1989).

A resposta das plantas aos ácidos húmicos e fúlvicos é dependente da matéria-prima original e da espécie vegetal principalmente. Matérias-primas orgânicas diversas apresentam em sua composição ácidos húmicos e fúlvicos diferentes. Fontes de substâncias húmicas distintas apresentam concentrações diferentes de ácidos húmicos e fúlvicos. Ácidos húmicos e fúlvicos são empregadas na Europa tanto em hidroponia como em gotejamento, adicionados a fertilizantes fluidos, sendo utilizadas quantidades de 10 a 20 kg de matéria húmica.ha⁻¹ano⁻¹. (Brun, 1993).

Este estudo foi realizado com o objetivo geral de estimular a adoção de modernas técnicas de cultivos vegetais em hidroponia, gotejamento e fertirrigação, com a adição de ácidos orgânicos, permitindo um menor uso de insumos e uma produção ecologicamente mais equilibrada.

Os objetivos específicos do presente trabalho foram: a) determinar quais as substâncias húmicas produzidas no Laboratório de Geoquímica Ambiental (LAGEAMB) e em que dose apresentam a melhor resposta para a planta avaliada em termos de produção de matéria verde da parte aérea e de produção de matéria seca da parte aérea e das raízes;

b) avaliar o efeito destas substâncias, como trocadoras iônicas, sobre as concentrações dos macronutrientes, micronutrientes e dos contaminantes inorgânicos na parte aérea e nas raízes.

2 – REVISÃO DE LITERATURA

2.1 – Aspectos Gerais

Os estudos e pesquisas na área dos ácidos húmicos e fúlvicos congregam atualmente cientistas, pesquisadores e profissionais de diversas áreas e interesses (engenheiros agrônomos, químicos, geólogos, etc...). Procura-se estudar, além dos efeitos destes materiais, sua estrutura e propriedades físico-químicas, visando uma melhor utilização dos mesmos e uma explicação sobre as causas de seus efeitos sobre plantas, fertilidade do solo e meio ambiente. Segundo Senesi (1997), o rápido avanço obtido nos últimos anos deveu-se, além de interesses comerciais, ambientais e das técnicas analíticas, ao surgimento da *International Humic Substances Society* (IHSS) em 1981, que permitiu uma melhor troca de experiência entre os diversos pesquisadores da área.

As substâncias húmicas são tradicionalmente descritas como polímeros de macromoléculas com peso molecular variando de poucas centenas a um milhão de dáltons. Mas, de acordo com Piccolo (1999), estudos recentes com cromatografia têm demonstrado que estas substâncias podem ser melhor descritas como uma associação supramolecular de pequenas moléculas heterogêneas ligadas fracamente por forças como as do tipo van der Waals, pontes de hidrogênio e por interações do tipo π - π e CH- π . Cromatografia de exclusão de diferentes tamanhos e experimentos com ressonância magnética nuclear (RMN) demonstram que estas substâncias apresentam regiões hidrofóbicas contínuas a hidrofílicas e também que ocorre a associação de pequenas moléculas formando conformações de alto peso molecular. O entendimento destas associações permite explicar o processo de acumulação de matéria orgânica no ambiente e abre um campo para novas tecnologias para estabilizar a matéria orgânica do solo, diminuindo o risco de erosão e desertificação em climas áridos e semi-áridos.

Segundo Engebretson e von Wandruszka (1994), o magnésio desempenha um papel fundamental na estrutura das moléculas dos ácidos húmicos (Figura 1) e estas moléculas apresentam regiões hidrofóbicas com pouca polaridade e capazes de capturar outros compostos hidrofóbicos nestas áreas. Já Shulten e Schnitzer (1997) formularam uma hipótese tri-dimensional para a matéria orgânica baseada em um modelo de ácidos húmicos, procurando correlacionar a estrutura, as relações, a atividade e importantes características da matéria

orgânica do solo, como atividade de superfície, capacidade de troca de cátions (CTC), ligação e arranjos de substâncias biológicas ou antropogênicas, estabilização do solo e suprimento de nutrientes. Estes modelos para a matéria orgânica, normalmente são válidos para poucas fontes de matéria orgânica, pois fontes diferentes apresentam composições e características físico-químicas muito distintas.

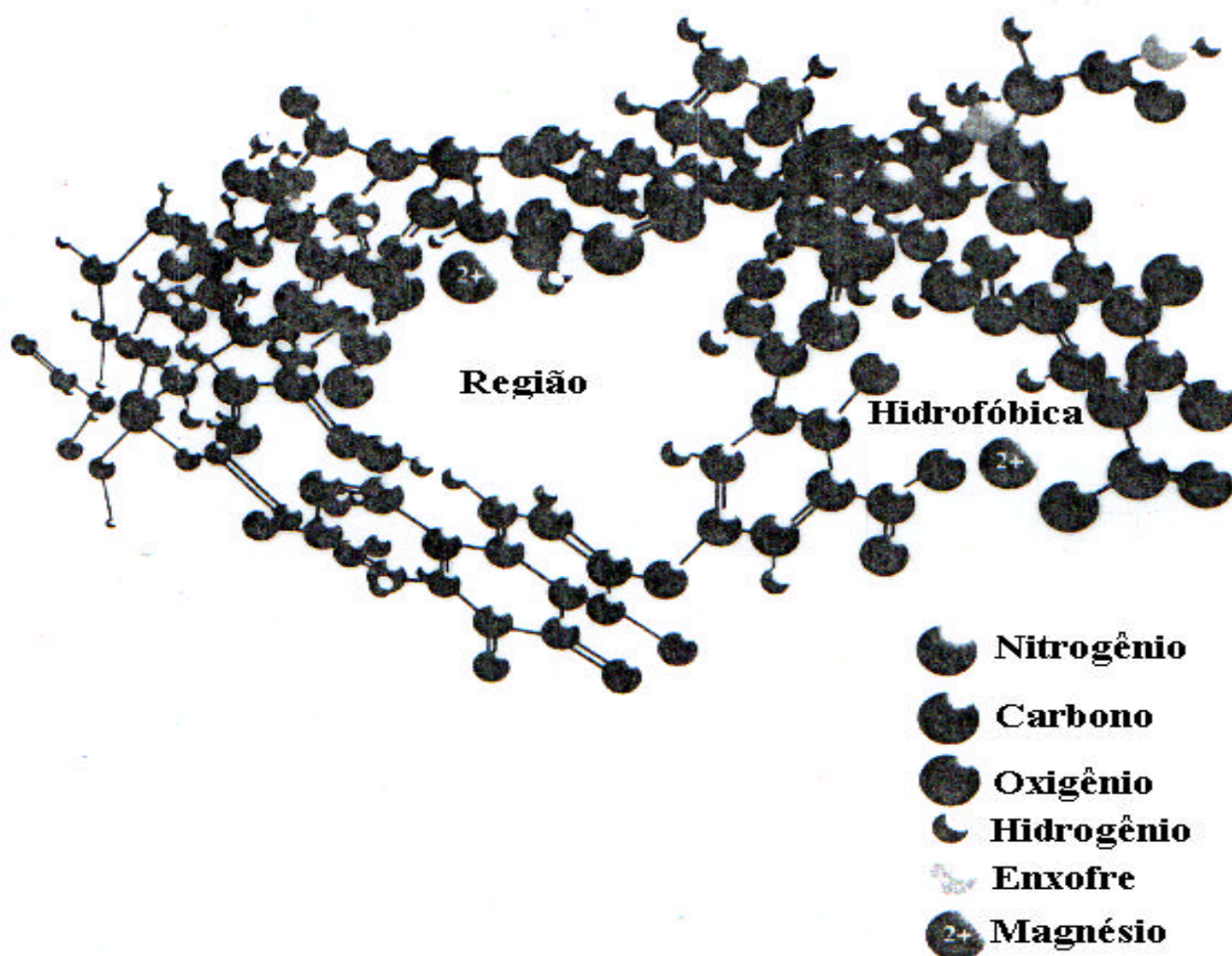


Figura 1 – Estrutura proposta para uma porção de uma molécula de ácidos húmicos, mostrando a contribuição do Mg^{2+} na formação de um microambiente intramolecular hidrofóbico (In: Engebretson e von Wandruszkula (1994))

2.2 – A Adubação Organo–mineral

Os melhores resultados são alcançados quando o homem imita a natureza e consegue obter a formação de húmus a partir da decomposição da massa vegetal depositada, infestada de microorganismos, vermes, insetos e outros pequenos animais. Desta forma ocorre a formação do húmus e a liberação de nutrientes essenciais para as plantas. O húmus que vai sendo gerado, combina-se com minerais originando o que se pode chamar de fertilizante organo-mineral formado naturalmente no solo. Os húmus também se combinam com os colóides do solo (óxidos de ferro e alumínio e minerais da argila) formando complexo argilo-húmico (Kiehl, 1993). Ainda, segundo o mesmo autor, a adubação organo-mineral permite melhores resultados que a adubação orgânica ou mineral, e a capacidade de troca dos cátions desse fertilizante é diretamente proporcional à quantidade de substância coloidal húmica nela existente. Portanto, quanto mais curado o material, maior será a capacidade de troca dos cátions (CTC). Assim, o linhito apresenta uma CTC compreendida entre 180 e 220 cmols.kg^{-1} , a turfa entre 80 cmols.kg^{-1} e 120 cmols.kg^{-1} e o esterco bovino aproximadamente 44 cmols.kg^{-1} .

Desde os tempos mais antigos o agricultor utiliza restos orgânicos, tanto vegetais como animais, como um material a ser incorporado ao solo para favorecer o desenvolvimento das plantas e aumentar a produção agrícola. O conhecimento deste fato tem levado o agricultor a utilizar, das mais variadas maneiras, os restos orgânicos como fertilizantes em suas lavouras. Mas, de acordo com Kiehl (1985), no século passado era conhecido na Europa um adubo orgânico denominado "nitreira" que se preparava amontoando restos vegetais e animais e deixando-os se decomporem naturalmente; como se sabe, o nitrogênio orgânico por decomposição transforma-se em amoniacal e finalmente em nitrato, daí a denominação de "nitreira" para o processo. A matéria orgânica presente no carvão e na turfa pode ser utilizada na produção de fertilizantes organo-minerais, de acordo com Adriesse (1988), mas esta utilização depende do teor de ácidos húmicos presentes na matéria-prima. Segundo ele, existem aproximadamente 342 milhões de hectares de turfeiras no mundo, e a maior parte destas reservas se encontra localizada em áreas úmidas e frias do Canadá, Rússia, Finlândia, Suécia e no Alasca, mas cerca de 60% se concentram na Rússia.

Os depósitos de turfa na costa do Rio Grande do Sul têm sido objeto de estudo (Villwock et al., 1983; Galvão, 1994), e a ocorrência de turfa no município de Rio Grande é relatado em Brasil (1973), como a unidade de mapeamento Taim, correspondente a solos orgânicos salinos e sulfatados indiscriminadamente. A maior utilização da turfa em nosso país é para fins agrícolas, tanto em cultivo como na recuperação de áreas degradadas (Villwock et al., 1983; Galvão, 1994). Conhecimentos sobre a matéria orgânica, o pH, relação carbono/nitrogênio (C/N), a CTC, o poder tampão e a capacidade de retenção de água, dentre outras propriedades, são necessários para a utilização das turfás, pois nelas a matéria orgânica encontra-se em várias formas: matéria orgânica humificada, que sofreu a decomposição completa e se encontra estabilizada ou até mesmo carbonizada, e a matéria orgânica recentemente incorporada, consistindo principalmente de raízes (Kiehl, 1985).

Os fertilizantes organo-minerais são diferentes dos convencionais, pois apresentam substâncias húmicas que estimulam o crescimento das raízes de plantas, tais como beterraba e cevada, tornando-as mais resistentes às pragas e doenças e com maiores teores de açúcar e carboidratos (Fuchsman, 1980). As substâncias húmicas presentes na matéria orgânica ao serem aplicadas no solo agem rapidamente como fornecedoras de nutrientes para os organismos do solo e para as plantas e aumentam a capacidade de assimilação dos nutrientes presentes na matéria orgânica e no solo. Testes feitos na Europa com esse tipo de fertilizante demonstraram um aumento na quantidade de bactérias, fungos e outros decompositores de matéria orgânica, no solo. Existe uma relação entre matéria orgânica e fertilidade do solo, sendo que a manutenção da fertilidade exige a presença de uma determinada porcentagem de matéria orgânica (Kiehl, 1993).

A técnica de extração de substâncias húmicas utilizada, assim como o uso de tratamento prévio do material original, podem aumentar as quantidades de substâncias húmicas produzidas, bem como alterar a qualidade do material obtido (Brun, 1993). Ao avaliarem substâncias húmicas extraídas de turfa de Vivero, na Espanha, com quatro pré-tratamentos (1 – turfa sem incubar; 2- turfa incubada sem aditivos; 3- turfa incubada com NH_4NO_3 e 4 - turfa incubada com $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2$), Fortun et al. (1986a) demonstraram que os tratamentos avaliados alteraram as relações C/N, H/C, O/C e C/H das substâncias húmicas, devido à perda de carbono ocasionada por estes pré-tratamentos. Os tratamentos 3 e 4 provocaram uma diminuição no tamanho das moléculas dos ácidos húmicos, pois a fração de peso superior a 100.000 Da representou 28,9% no tratamento 1, 28% no tratamento 2, 10%

no tratamento 3 e 13% no tratamento 4. Já a fração com um peso médio representou 36,8% no tratamento 1, 37,5% no 2, 25% no 3 e 33% no 4, e a fração de peso molecular inferior a 1000 apresentou 34,3% no tratamento 1, 34,5% no 2, 65% no 3 e 54% no 4.

Os processos de extração e conversão de carvão em ácidos húmicos e fúlvicos estão bem desenvolvidos, sendo baratos e não poluentes, apresentando eficiência no crescimento de diversas culturas de acordo com Xudan (1986). A técnica de extração utilizada, assim como o uso de tratamento prévio do material original, podem aumentar as quantidades de substâncias húmicas produzidas, bem como alterar a qualidade do material obtido (Brun, 1996).

2.3 – Matéria Orgânica e seu Fracionamento

Do ponto de vista químico, o material original do carvão é igual ao que constitui a matéria orgânica do solo, apresentando celuloses, hemiceluloses, ligninas e, em menor quantidade, proteínas, açúcares, pentosanas, pectinas, taninos e substâncias betuminosas, como graxas, ceras e resinas. Durante o processo de carbonificação, ocorrem mudanças na composição e em muitas das propriedades do carvão. A mais importante delas envolve um progressivo aumento no teor de carbono, que passa de menos de 70% em carvões de baixo *rank* para mais de 95% em antracito, e uma correspondente diminuição no teor de oxigênio. Os teores de nitrogênio e enxofre são usualmente elementos menores (1-2%). Entretanto, alguns carvões contêm concentrações com mais de 10% de enxofre. Estes dois últimos elementos não variam com o *rank* do carvão, e seus teores devem estar relacionados com o tipo de planta que originou o carvão. A reatividade química do carvão diminui com o aumento do *rank*, pois o carvão perde, com esse aumento, grupamentos funcionais oxigenados (Lawson e Stewart, 1989).

A matéria orgânica é classificada em dois grandes grupos de substâncias: não húmicas e húmicas. O primeiro grupo é constituído por compostos com características químicas identificáveis, como celulose, hemicelulose, proteínas, peptídios, aminoácidos, graxas, ceras, resinas, pigmentos e outras substâncias de baixo peso molecular. Em geral, estes compostos são atacados com certa facilidade pelos microorganismos do solo e, portanto, têm uma persistência relativamente curta, com exceção das graxas, ceras e resinas.

As substâncias húmicas constituem de 60% a 90% da matéria orgânica do solo. Apresentam cor variando de parda a negra, são amorfas, coloidais e de natureza ácida, com um núcleo central policíclico aromático que se une a restos alifáticos e polifenólicos. Os grupos funcionais predominantes são os oxigenados, principalmente carboxílicos, hidroxilas fenólicas e, em menor escala, carbonilas, hidroxilas alcoólicas e metoxilas (Hayes et al. 1989). As substâncias húmicas extraídas de solos apresentam variações na composição elementar, respectivamente para ácidos húmicos e fúlvicos: C = 53,8 – 58,7%, 40,7 – 50,6%; H = 3,2 – 6,2%, 3,8 – 7,0%; O = 32,8 – 38,3%, 39,7 – 49,8%; N = 0,8 – 4,3%, 0,9 – 3,3% e S = 0,1 – 1,5% e 0,1 – 3,6% (Poppi e Talamoni, 1992).

A matéria orgânica do solo é consequência da acumulação de resíduos vegetais e animais em estado diverso de decomposição (Galvão, 1994). O conteúdo de matéria orgânica do solo geralmente é obtido através da quantificação do teor de carbono total (C_t), determinado em geral pelo método de Walkley-Black, baseado na redução do ácido crômico, segundo separação satisfatória entre húmus e as formas mais estáveis. Já Dias et al. (1991) afirmam que este é um método aproximativo, pois admite que C_t presente na amostra possui número de oxidação zero, o que não é totalmente verdadeiro. Além disso, pressupõe-se que apenas 75% desse elemento é oxidado. A matéria orgânica tem 58% de C_t , porém os teores variam de solo para solo. Em solos com baixo teor de matéria orgânica isto pode ser desprezível, mas em solos orgânicos pode afetar os resultados de C_t de modo significativo de acordo com Galvão (1994).

Soluções comerciais de ácidos fúlvicos e húmicos normalmente apresentam concentrações mais elevadas que as obtidas em laboratório (respectivamente teores médios de 165 g.L⁻¹ e de 8 a 16 g.L⁻¹). Isto é devido à técnica de extração que, comercialmente, emprega métodos bem agressivos, utilizando NaOH ou KOH com concentrações superiores a 0,5 M e uma parte de soluto para no máximo 3 partes de solução extratora, quando, em laboratório, pode-se usar até 4 partes de soluto para 250 de solução extratora. Tratamentos com nitrogênio podem elevar o rendimento de extração em até 30% como, por exemplo, a turfa tratada em laboratório rendeu 11,8 g.L⁻¹ e a não tratada, 8,2 g.L⁻¹. Leonarditas, como as outras fontes de matéria orgânica normalmente utilizadas, também liberaram ácidos fúlvicos e húmicos após tratamento com NaOH, liberando, nesse processo de extração sulfatos e cátions presentes no material original (Brun, 1993).

Gomez et al. (1995) extraíram ácidos húmicos e fúlvicos com NaOH 0,1 M de vermicomposto de esterco bovino, polpa de café e resíduos vegetais de gramíneas e concluíram, após a análise elementar, que os ácidos húmicos apresentam um teor de carbono maior que os fúlvicos. Reintam (1995) afirma que, com o passar do tempo, a solubilidade do húmus decresce e aumentam os complexos entre matéria orgânica e mineral. As substâncias húmicas são produtos da hidrólise da lignina. Yakimenko et al. (1995) demonstraram que os produtos da hidrólise da lignina não contêm nitrogênio, são mais reduzidos, têm espectro no infravermelho diferente dos ácidos húmicos e não podem ser classificados como ácidos húmicos. Os compostos de esterco-lignina apresentam composição semelhante à de ácidos húmicos de solo, mas apresentam um teor mais elevado de carbono e menor de nitrogênio. As substâncias húmicas de compostos incorporados no solo melhoram a composição dos húmus, elevam a CTC e o aumentam o poder tampão do solo.

A adição de matéria verde (aveia + vicia) modifica as propriedades estruturais dos ácidos húmicos do solo de acordo com Debska (1996). Assim, práticas de adubação verde, plantio direto e consorciações alteram a estrutura das substâncias húmicas presentes no solo. Segundo Chen et al. (1996), os ácidos húmicos obtidos a partir de compostos maduros apresentam mais carboidratos aromáticos e grupamentos carboxílicos e menos carboidratos que compostos imaturos. O tipo de compostagem afeta a composição e a qualidade do composto produzido; um composto de esterco bovino apresentou de 18% a 45% da matéria orgânica na forma de substâncias húmicas, ao passo que um composto de lixo urbano apresentou de 5% a 20%. A taxa de humificação pode ser representada pela relação entre ácidos húmicos e ácidos fúlvicos (AH/AF) e esta passou de 0,9 para 3,4 em composto imaturo e de 3 para 9,2 em composto maduro. A relação entre a fração não humificada e humificada decresce durante a compostagem. Os carbonos alifáticos representaram 50% do C_t no composto de esterco bovino, 30% em composto de lixo urbano e 22% em bagaço de uva.

2.4 – Efeito das Substâncias Húmicas Sobre as Plantas

No início do século passado, Bottonley (1920) demonstrou que 368 mg.L^{-1} de substâncias húmicas extraídas de turfa, adicionadas a um substrato mineral, aumentaram em 6300% a produção de matéria verde da erva de pato (*Lemma major*), cortada após um período de 42 dias de crescimento. Os tecidos foram mais densos, apresentando menor espaço de ar e

maior quantidade e tamanho nos cloroplastos. O autor chamou estas substâncias de auximones. As substâncias húmicas de diversas fontes, como solo, leonardita, carvão, ambientes aquáticos e turfa, apresentam o mesmo impacto fundamental, aumentando o crescimento das plantas. Contudo, a intensidade deste efeito depende da planta, da variedade, da matéria-prima original e da ocorrência de algum tipo de pré-tratamento (Fortun et al., 1986a,b,c; Brun, 1993; Ayuso et al., 1996a,b,c; Silva et al., 2000b).

As plantas foram classificadas por Khristeva (1953) em quatro grupos, quanto ao efeito das substâncias húmicas sobre a produção: grupo 1 = ricas em glicídios, apresentam resposta igual ou superior a 50% (tomate, cenoura, beterraba açucareira, batata); grupo 2 = cereais, apresentam bons resultados; grupo 3 = leguminosas, ricas em proteína, resposta pequena; grupo 4 = oleaginosas (canola, algodão, linho e girassol), muito pouca resposta, nenhuma resposta ou efeito negativo. A partir desta classificação muitos trabalhos foram realizados com o objetivo de averiguar o efeito destas substâncias sobre as plantas. Rhauthan e Schnitzer (1981) concluíram que a adição de ácidos fúlvicos a uma solução nutritiva completa de Hoagland elevou a produção de matéria seca da parte aérea da abóbora em 125% e das raízes em 142,1%, o comprimento da parte aérea em 80,71%, o comprimento das raízes em 39,46% e em 43% o número de folhas. Os autores relataram ainda que os teores de N, P, Ca, Mg, Cu, Fe e Zn nas plantas se elevaram com a adição de substâncias húmicas e que a planta responde até a uma dose específica após a qual aparecem efeitos deletérios.

Kononova e Alexandrova (1971) utilizaram 10 mg.L^{-1} de substâncias húmicas e obtiveram um aumento de 22% no teor de nitrogênio da aveia cultivada em areia lavada. Maggioni et al. (1987) adicionaram substância húmica na concentração de 50 mg.L^{-1} e registraram um aumento na taxa de absorção de K^+ e SO_4^{2-} , respectivamente, de 33% e 106% nas raízes de aveia, quando comparados à testemunha.

Segundo Ayuso et al. (1996a), as substâncias húmicas originadas de diferentes fontes orgânicas (lodo de esgoto, composto orgânico, leonardita, turfa e ácidos húmicos comerciais) aumentaram a produção de matéria seca (MS) da parte aérea da cevada em 104,59%; a produção de MS das raízes em 62,50%; em 25,65% o N da parte aérea (g.kg^{-1} de MS) e em 7,39% o das raízes; em 48,53% o P da parte aérea (g.kg^{-1} de MS) e em 80,28% o das raízes; em 32,50% o Fe da parte aérea (g.kg^{-1} de MS) e em 8,89% o das raízes; em 27,85% o Mn da

parte aérea (g.kg^{-1} de MS) e em 15,28% o das raízes; em 136,36% o Cu da parte aérea (g.kg^{-1} de MS) e em 130,30% a das raízes; em 49,06% o Zn da parte aérea (g.kg^{-1} de MS) e em 31,55% a das raízes. A concentração de K na parte aérea (g.kg^{-1} de MS) não foi afetada estatisticamente pela adição de substâncias húmicas, embora a sua concentração nas raízes tenha aumentado em 10,59%. Em um outro trabalho, Ayuso et al. (1996b), utilizaram quatro doses de substâncias húmicas (0, 50, 100 e 200 mg.L^{-1}) extraídas de cinco fontes (lodo de esgoto, composto, turfa, leonardita e um ácido húmico comercial) e cultivaram cevada em um solo calcário. A utilização da substância húmica de turfa aumentou em 53% a produção de matéria seca da cevada; em 53,66% o teor de N; em 56,09% o teor de P e em 15,91% o teor de K. Ayuso et al. (1996c) demonstraram que o efeito das substâncias húmicas variaram com a espécie vegetal avaliada, com a dose empregada, com a fonte utilizada para a obtenção de substâncias húmicas, com o grau de purificação e com a forma de aplicação.

Segundo Ernst et al. (1987), a adição de substâncias húmicas aumentou a produção de matéria seca das folhas em 46,99%, dos colmos em 154,21%, das raízes em 15,75% e do número de flores em 80% e a concentração de Mn nas raízes em 386%; aumentou em 10% a concentração de Mn da parte aérea e diminuiu em 57% a concentração de Fe nas raízes e aumentou em 31% a concentração de Fe na parte aérea, da erva perene de floresta da Alemanha *Scrophularia nodosa* (*Scrophulariaceae*), usando 200 mg.L^{-1} de substâncias húmicas extraídas de um solo de jardim adicionadas a solução de Hoagland em uma relação 1:2 (AF:AH). A utilização de ácidos fúlvicos aumentou a produção de matéria seca da parte aérea do milho em 161,36% e em 108% a das raízes e em 75% a taxa de crescimento das plantas em cm.dia^{-1} , de acordo com Raina e Goswami (1988). A dose de 10 mg.L^{-1} produziu o melhor resultado que as doses 5, 20 e 40 mg.L^{-1} . Já o teor de N na parte aérea aumentou em 30,77% e o de P em 300% e este aumento ocorreu progressivamente até a dose 40 mg.L^{-1} . A concentração dos micronutrientes também aumentou: em 11,77% a de Zn; em 65,57% a de Cu; em 41,68% a de Fe e em 28,24% a de Mn, com a dose 40 mg.L^{-1} . O aumento da absorção de Zn, Cu, Fe foi significativamente afetada pela adição de ácidos fúlvicos em doses superiores a 20 mg.L^{-1} e o Mn com doses acima de 10 mg.L^{-1} .

Os ácidos húmicos afetaram o crescimento e a produção de cana de açúcar bem como a concentração de nutrientes de acordo com Govindasamy e Chandrasekaran (1992), e a aplicação de 6 g/m^2 no 35º dia após o plantio aumentou em 17% a produção de cana, em 13,71% a produção de açúcar, em 21,53% o teor de N na folha bandeira, em 75% o teor de P nas folhas,

em 14,10% o teor de K, em 55,88% o teor de Ca, em 17,39% o teor de Mg, em 44,44% a concentração de Fe, em 38,71% a concentração de Mn, em 75% a concentração de Zn e em 26,67% a concentração de Cu nas folhas.

O processo de absorção do Fe pelas plantas foi descrito por Mengel e Kirkby (1987) como a ligação dos complexos de Fe ao plasmalema seguido pela quebra dos complexos. A absorção do Fe e maiores teores de Fe nas folhas contribuem para a síntese de clorofila e para um maior teor de N nos tecidos vegetais. Utilizando solução nutritiva na cultura do tomate (*Lycopersicon esculentum*) *Sunny*, em casa de vegetação, David et al. (1994), com quatro doses (0, 640, 1280 e 2560 mg.L⁻¹), concluíram que a adição de 1280 mg.L⁻¹ aumentou a acumulação de P, Mg, K, Ca, Fe, Zn e Mn na parte aérea e elevou o teor de N, Ca, Fe, Zn e Cu nas raízes. A permeabilidade da membrana não foi alterada pela adição de ácidos húmicos, mas ocorreu uma melhor ligação eletrolítica que apresentou correlação positiva com a adição de ácidos húmicos. López et al. (1999), utilizando 0,2 mL de ácidos fúlvicos por litro de solução nutritiva completa (Hoagland), na cultura do tomate *Floradade*, relatam aumentos de 43,72% no comprimento das raízes e de 24,51% na produção de MS da parte aérea, e diminuição de 25% no período de formação das plântulas, reduzindo em 8 dias o tempo necessário para o transplante.

O uso de substâncias húmicas extraídas de carvão proveniente da mina do Capané (Palermo CE-4200), na dose de 30 mg de C.L⁻¹, elevou a produção de matéria verde (MV) da parte aérea da alface *Baba de Verão* em 193,31%, a produção de MS da parte aérea em 227,27% e a produção de MS das raízes em 237,04% em relação à dose 0 mg.L⁻¹ (Silva e Jablonski, 1995). O uso de substâncias húmicas de sete diferentes fontes orgânicas (carvões) aumentou em 49,18% a produção total de MS das raízes do azevém (Silva et al., 1998a); em 16,79% a produção de raízes secas da aveia preta, após quatro cortes (Silva et al., 1998b); em 63,17% a produção de MS das raízes do milho (Silva et al., 1998c); em 21,88% a produção total de MS da parte aérea da aveia-preta (Silva et al., 1998d); em 125,53% a produção de forragem de milho (Silva et al., 1998e) e em 61,77% a produção de MS da forragem do azevém (Silva et al., 1998f). No cultivo da beterraba *Detroit Perfection*, a produção de MS da parte aérea e a das raízes foram aumentadas em 56,68% e em 74,29%, respectivamente (Morselli et al., 1999). No cultivo de milho, Silva et al. (1999b) elevaram em 162,86% a produção de MS das raízes, em 96,73% a produção de MS das folhas e em 161,55% a produção de MS dos colmos.

Segundo Silva et al. (2000a,b), a adição de substâncias húmicas elevou a produção de matéria seca da parte aérea do azevém em 140,15% e aumentou os teores da parte aérea de N, S, Mg, Ca, K, P e Na, respectivamente, em 35,23%, 60,23%, 35,42%, 48,28%, 42,07%, 31,60% e 58,64% e a concentração de Fe aumentou em 50,39%. Já as concentrações de Cu, Zn, Mn, Cr, Ni, Cd, Pb e Hg diminuíram, respectivamente, em 55,94%, 70,04%, 29,59%, 73,14%, 82,32%, 84,51%, 74,26% e em 67,04%.

Silva et al. (2000c) avaliaram a produção de forragem e o desenvolvimento das raízes da aveia-preta (*Avena strigosa*) colhida em estágio de grão pastoso cultivada com solução nutritiva e quatro níveis de substâncias húmicas (0, 10, 20 e 30 mg.L⁻¹). A adição de substâncias húmicas aumentou no mínimo 41,66% a altura das plantas de aveia, em 174,54% a produção de matéria seca da parte aérea e em 170,46% a produção de matéria seca das raízes, quando a dose utilizada passou de 0 para 30 mg.L⁻¹. A produção de matéria seca da planta forrageira milheto (*Pennisetum glaucum*) aumentou em 28,25% com a dose 30 mg.L⁻¹ (Silva et al., 2000d) e a adição de substâncias húmicas também aumentou em 112,85% a produção de matéria seca das raízes.

Silva et al. (2000e) relatam que a adição de substâncias húmicas elevou os teores e as quantidades dos seguintes elementos na forragem da aveia-preta colhida em estágio de grão pastoso: P em 123,56%; K em 35,54%; Ca em 62,71%; Mg em 54,39%; S em 34,50%; Na em 100,83%; N em 62,48%; Cu em 33,97%; Zn em 52,72%; Fe em 43,86% e Mn em 34,24%. As substâncias húmicas diminuíram as concentrações do Cr em 35,24%; do Ni em 54,88%; do Cd em 54,06%; do Pb em 30,19% e do Hg em 28,57%. Segundo Silva et al. (2000f), a adição de substâncias húmicas eleva os teores e as concentrações na forragem do milheto de N, P, K, Ca, Mg, S, Na e Fe, respectivamente, em 147,61%, 83,41%, 276,41%, 135,33%, 176,49%, 102,23%, 263,32% e 26,28%. A adição de substâncias húmicas diminuiu as quantidades dos seguintes elementos em: Cu – 51,31%; Zn – 49,56%; Mn – 81,09%; Ni – 67,39%; Hg – 28,57%; Cd – 81,95%; Cr – 81,53% e Pb – 61,54%, quando as doses utilizadas passaram de 0 para 30 mg.L⁻¹. Silva et al. (2000g), em um experimento com milho, concluíram que adição de substâncias húmicas elevou os teores e as concentrações dos seguintes elementos nas raízes: N – em 111,32%; P – em 71,08%; K – em 162,64%; Ca – em 88,76%; Mg – em 109,14%; S – em 56,29%; Na – em 52,59%; Fe – em 73,6%; Cu – em 46,99%; Zn – em

91,73% e Mn – em 83,90%. Para Ni, Cr, Pb, Hg e Cd as substâncias húmicas diminuíram as concentrações nas raízes em 55,06%, 67,98%, 61,30%, 59,03% e 40,93%, respectivamente.

A adição de substâncias húmicas elevou a produção de matéria seca da forragem da aveia-preta, de acordo com Silva et al. (2000h), em 37,11% e aumentou os teores dos seguintes elementos: P – em 23,90%; K – em 35,78%; Ca – 119,62%; Mg – em 32,80%; S – em 43,89% e Na em 72,21%. Na produção da alface *Aurélia*, Silva et al. (2000i) demonstraram que as substâncias húmicas influenciaram o crescimento da parte aérea e das raízes, aumentando em 257,49% a produção de MS da parte aérea, em 289,71% a produção de MV da parte aérea e em 240,16% a das raízes.

Segundo Azan e Malik (1982), o crescimento das raízes do trigo é estimulada pela adição de substâncias húmicas a uma solução nutritiva. Numa solução nutritiva deficiente em N este estímulo é mais evidente, pois os ácidos húmicos fornecem N para as plantas.

Segundo Fagbenro e Agboola (1993), a adição de ácidos húmicos extraídos de um Ultissolo, aplicados em quatro doses (0, 50, 500 e 1000 mg.kg⁻¹ de solo), em dois solos um Alfissolo e um Oxissolo, elevou a produção de MS da parte aérea das plantas de *Tectona grandis* (espécie florestal da Nigéria) em 250% no Alfissolo e em 426,67% no Oxissolo. A adição de ácidos húmicos elevou a concentração de nutrientes, aumentando em 35,04% a concentração de N, em 228,57% a de P, em 51,16% a de K, em 24,53% a de Mg, em 129,85% a de Ca; em 50,39% a de Zn, em 18,69% a de Fe, em 6,06% a de Cu e aumentou em 21,21% a concentração de Mn na parte aérea em um Alfissolo e a concentração de N em 22,58%, a de P em 30,58%, a de K em 75%, a de Ca em 131,25%, a de Zn em 24,74%, a de Fe em 66,67%, a de Cu em 10% e diminui a concentração de Mn em 11,81% na dose máxima e a de Mg manteve-se inalterada na parte aérea desta espécie florestal produzida em Oxissolo.

A adição de substâncias húmicas no cultivo do azevém perene (*Lolium perenne*), de acordo com Fortun et al. (1985), elevou a porcentagem de macronutrientes na parte aérea em 6,48%, nas raízes em 1,92% e o teor de micronutrientes na parte aérea em 96,15%, aumentando a produção de MS das raízes em 26,66%. Fortun et al. (1986a) utilizaram substâncias húmicas na dose de 100 mg.L⁻¹ e elevaram: em 11,11% a produção de MS das raízes; em 35,14% a produção de MV da parte aérea; em 26,67% a produção de MS da parte

aérea; em 25% o teor de P na parte aérea; em 25% o teor de Na na parte aérea; em 250% a concentração de Fe na parte aérea e em 58,32% nas raízes; em 20% a concentração de Zn na parte aérea e em 150% nas raízes; em 33,33% a concentração de Mn na parte aérea e em 40% nas raízes do azevém perene. Também Fortun et al. (1986b) ao utilizarem substâncias húmicas na dose de 100 mg.L⁻¹ observaram um aumento de: 11,11% a produção de MS das raízes; 13,33% a produção de MS da parte aérea; 10% o teor de N na parte aérea; 25% o teor de P na parte aérea; 5,77% o teor de K na parte aérea; 127% o teor de Fe na parte aérea e de 33% o teor de Mn, sendo os efeitos obtidos, segundo os autores, decorrentes da presença das substâncias húmicas que regularam a absorção desses minerais.

Segundo Irintoto et al. (1993), os ácidos húmicos extraídos de um solo argiloso caolínico (*Typic Kanhapludult*), apresentaram efeito sobre *Pinus elliottii*, em doses de 0 a 800 µg de ácidos húmicos por mL. A dose 160 µg foi a mais eficiente e aumentou: em 52,54% a produção de matéria verde das plantas; em 35,69% a altura; em 490% a concentração de P nas células de Pinus; em 1032,74% a concentração de K nas células; em 1500% a concentração de Ca e em 717,02% a concentração de S nas células, devido à ação dos ácidos húmicos, que aumentaram a permeabilidade das membranas celulares do Pinus, levando a uma maior entrada de nutrientes e a um melhor desenvolvimento do mesmo.

2.5 – Mecanismos de Estimulação de Ácidos Húmicos e Fúlvicos

Segundo Petrovic al. (1982), desde 1917 sabe-se que estas substâncias apresentam ação sobre as plantas semelhante à das auxinas, tendo sido isolados em 1982 ácidos húmicos que apresentaram efeito semelhante aos das giberelinas em rabanete (*Raphanus sativus*). Entretanto, um dos fortes argumentos contra a atividade das substâncias húmicas como auxinas é que elas inibem o crescimento radicular, o que só ocorre com as substâncias húmicas a partir de uma determinada dose específica para cada substância húmica e espécie vegetal. O fato de os ácidos húmicos inibirem a enzima oxidase do ácido indol acético (AIA), protegendo desta forma o AIA, pode ser uma das razões para que a presença dos ácidos húmicos promova o desenvolvimento das plantas (Mato et al., 1972). Segundo Chen et al. (1996), os grupamentos carboxílicos presentes nas substâncias húmicas são os maiores responsáveis pelas respostas obtidas com os ácidos húmicos. Os ácidos húmicos alteram a formação de hidroxiprolina por proporcionarem mais íons de ferro disponíveis para hidroxilar

a prolina dentro do tecido e, além disso, estimulam enzima requerida para hidroxilar (Vaughan e Ord, 1983). A eficiência como estimulador de crescimento de plantas dos ácidos húmicos de turfa ou de solo depende da quantidade de radicais livres nos ácidos húmicos de acordo com Chukov et al. (1996).

As substâncias húmicas facilitam a respiração das plantas devido ao aumento da produção de trifosfato de adenosina (ATP). Estimulam a fosforilação oxidativa e promovem maior absorção de nutrientes (com exceção do cloro), maior transporte de nutrientes e aumento da síntese de compostos pelas plantas. Promovem o desenvolvimento do sistema vascular e estimulam o crescimento tanto das raízes quanto da parte aérea (Sladký, 1962). A síntese de compostos nitrogenados é igualmente estimulada (Hernando Fernandes, 1968). A permeabilidade da membrana celular é afetada e ácidos fúlvicos com peso molecular inferior a 2500 Da podem ser absorvidos pelas plantas, existindo interação entre as substâncias húmicas e carreadores do plasmalema (Dell'Agnola et al., 1981). Segundo Samson e Visser (1989), a permeabilidade pode ser alterada tanto pela adição de ácidos húmicos como por ácidos fúlvicos. As substâncias húmicas estimulam a atividade de muitas enzimas (fosforilase, fosfatase e citocromo oxidase), inibem outras (AIA oxidase, fitase e peroxidase) e promovem a síntese de enzimas (invertase) (Mato et al., 1972; Pereira e Méndez, 1976; Vaughan e Ord, 1980).

De acordo com Fortun e Polo (1982), as substâncias húmicas atuam como agentes promotores do crescimento das plantas até uma dose determinada porque, segundo os autores, é atingida uma concentração tóxica de compostos de natureza auxina e grupos hidroxil-fenólicos (polifenóis). Existem substâncias promotoras do crescimento em ácidos húmicos, correspondendo possivelmente, de acordo com Casenave de Sanfillipo et al. (1990a), ao AIA ou a seus precursores. A atividade inibitória de altas doses foi mais marcada durante a germinação que durante o processo de crescimento. O efeito inibitório causado pela alta concentração de ácidos húmicos pode dever-se a uma ação semelhante à das auxinas como inibidores de crescimento. Casenave de Sanfillipo et al. (1990b) constataram a presença de substâncias semelhantes a giberelinas livres e conjugadas.

Maggioni et al. (1987) constataram que os ácidos húmicos e fúlvicos afetam a taxa de absorção de nutrientes de três formas: através de uma interação direta entre as substâncias

húmicas e os carreadores protéicos da membrana responsáveis pelo transporte dos íons, através da influência das substâncias húmicas sobre a matriz fosfolipídica da membrana plasmática devido à penetração destas substâncias nela, ocasionando mudanças na permeabilidade passiva da membrana e no ambiente lipídico ao redor das proteínas da membrana e, finalmente, através de efeitos indiretos sobre o transporte por mudanças nos processos metabólicos que regulam a taxa de absorção nas células das raízes. As substâncias húmicas, em concentrações maiores que $1 \mu\text{g.mL}^{-1}$, inibem a atividade da ATPase dependente de K^+ , que é a enzima responsável pela produção de energia para o transporte de íons através da parede celular. Já a ATPase dependente de Mg é inibida pelas substâncias húmicas em uma concentração de $0,33 \mu\text{g.mL}^{-1}$. Os autores identificaram polipetídeos associados com a membrana tratada com substâncias húmicas. Os ácidos húmicos inibiram mais estas enzimas que os ácidos fúlvicos.

As substâncias húmicas afetam a atividade da ATPase microsomal e do tonoplasto de acordo com Pinton et al. (1992). Em concentrações de até $0,5 \mu\text{g.mL}^{-1}$ as substâncias húmicas estimularam estas enzimas em aveia, sendo que, em doses superiores, o efeito foi deletério. Segundo Pinton et al. (1997), as substâncias húmicas do solo afetam a atividade superficial redox das raízes da aveia, e as substâncias inibem a oxidação da nicotinamida adenina dinucleotídeo hidrogenada (NADH), que é a forma reduzida da NAD. Os resultados obtidos pelos pesquisadores confirmam as presenças de muitos tipos de atividades de oxirredutase na superfície das raízes da aveia e mostram que as duas frações de substâncias húmicas ($>$ e $<$ que 5000 Da) afetam esta atividade de forma diferente. Parcial inibição da atividade da NADH oxidase é interpretada como a possível forma de interferência de substâncias húmicas com processos metabólicos envolvidos na formação da parede celular. Os autores demonstraram que $10 \mu\text{g}$ de carbono por mL de substâncias húmicas estimulam a liberação de prótons pelas raízes da cultivar *Perona*. O efeito obtido foi devido a alterações nas funções da parede celular e houve uma diminuição no pH da solução nutritiva em razão da liberação de íons H^+ para a solução, pois ocorre uma troca entre os cátions da solução e o íon hidrogênio de grupamentos carboxílicos e de hidroxilas fenólicas das substâncias.

As substâncias húmicas aumentam a absorção de N e promovem a síntese de compostos nitrogenados pelas plantas (Chaminade, 1966). Segundo Govindasamy e Chandrasekaran (1992), os ácidos húmicos reduzem as perdas de N por volatilização graças à

formação de complexos com amônia, resultando em maiores teores deste elemento nas plantas cultivadas com adição de substâncias húmicas. Além disso, as substâncias húmicas aumentam a disponibilidade de Fe para as plantas, o que contribui para uma maior síntese de clorofila e para maiores teores de nitrogênio. O aumento da disponibilidade de Zn para as plantas também ocorre porque os complexos formados fornecem Zn para as mesmas. A adição de P não impede que as substâncias húmicas tornem o Fe disponível para as plantas (Aso e Sakai, 1963). Segundo Prakash (1971), a estimulação do crescimento de plantas pelas substâncias húmicas pode ser também explicada pela capacidade de formar complexos de esfera externa além do Fe com outros cátions mono, di, tri e tetravalentes, disponibilizando-os para a bioassimilação pelas plantas.

Segundo Ayuso et al. (1996a), o efeito que as substâncias húmicas têm sobre a absorção dos nutrientes depende da origem da substância húmica, do tipo e concentração da solução nutritiva e da espécie e variedade de planta avaliada. O mecanismo pelo qual o nutriente é absorvido pela planta e a interação entre esta e o substrato em que é cultivada, influenciam na absorção dos nutrientes. As substâncias húmicas afetam as propriedades biológicas e físico-químicas dos micronutrientes e dos metais pesados ao formarem complexos (quelatos) solúveis e insolúveis e, de acordo com Relan et al. (1986), sua disponibilidade para as plantas e microorganismos depende das constantes de estabilidade destes complexos formados entre os ácidos húmicos e fúlvicos. Estes elementos e os valores das constantes de ionização (pKa) aumentam com a diminuição da força iônica em razão de as substâncias húmicas serem polieletrólitos. Os ácidos húmicos têm uma estrutura polimérica que apresenta ligações do tipo COOH/OH, COOH/quinona e COOH e grupamentos NH_2 . Em pHs abaixo do pKa utilizado para a determinação das constantes de estabilidade, ocorre a formação de quelatos entre os grupos OH e COOH pelo fato de estes ácidos apresentarem uma estrutura semelhante à do ácido fítico. A magnitude das constantes de estabilidade determina a força de ligação entre o polieletrólito e o íon metálico. Barancikova et al. (1997) demonstraram que a capacidade de complexação depende principalmente do número de grupamentos carboxílicos e do grau de humificação e, de acordo com Lewis e Broadbent (1961), os grupamentos carboxílicos e OH-fenólicos dos ácidos húmicos e fúlvicos participam na complexação de metais. Segundo Spark et al. (1997), a ligação entre os ácidos húmicos e Cu^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} e Cd^{2+} ocorre principalmente devido aos grupamentos carboxílicos e depende do pH e da concentração do eletrólito.

Segundo Prasad e Sinha (1981), a estabilidade de quelatos metálicos na solução do solo é controlada por um equilíbrio simultâneo de muitas reações competitivas. O agente quelante na solução de solo está envolvido no equilíbrio simultâneo com muitos cátions. Os complexos Zn-ácido fúlvico, Cu-ácido fúlvico e Fe-ácido fúlvico são muito influenciados pelas concentrações de Ca e Mg e a formação de complexos leva a um decréscimo na concentração de Zn, Fe e Cu na forma livre. Aso e Sakai (1963) determinaram que os complexos formados entre as substâncias húmicas e os nutrientes podem penetrar nas células. O grau de penetração depende do peso molecular do complexo formado, e as substâncias húmicas podem, inclusive, ser utilizadas para transportar vírus para o interior das células.

Segundo Chala e Raman (1984), as constantes de estabilidade são índices que medem indiretamente a disponibilidade de nutrientes. Normalmente os complexos com os ácidos húmicos apresentaram maior estabilidade que os formados com ácido fúlvico. A maior estabilidade foi observada em complexos formados entre ácido húmico e Cu (log K variando de 6,68 a 8,65), devido à ligação coordenada covalente, tendo sido a menor estabilidade obtida em complexos de Mg com ácido fúlvico (log K 2,51 a 3,87). A complexação é limitada pela quantidade, qualidade e grau de dissociação dos grupamentos funcionais dos ácidos húmicos e fúlvicos e também pela natureza do íon metálico. A estabilidade ou o número de moles de ácido húmico ou fúlvico que reagem com um mol de íon metálico, determina a disponibilidade de nutrientes (íons metálicos) para plantas. De acordo com Manunza et al. (1992), a ligação de prótons aos grupamentos OH-fenólicos e carboxílicos das substâncias húmicas pode ser representada por uma distribuição bimodal para o ajuste dos dados, sendo que as curvas obtidas apresentam três zonas bem claras: zona de tamponamento (região a), zona de grupamentos carboxílicos (COOH) (b) e zona de dissociação das hidroxilas fenólicas (c). Os ácidos húmicos distintos apresentam posições diferentes nos picos da zona dos grupamentos carboxílicos, indicando diferença nestes ácidos em termos de mmol.kg^{-1} . Segundo Piccolo e Stevenson (1982), o espectro do infravermelho de complexos de Cu^{2+} , Pb^{2+} e Ca^{2+} com substâncias húmicas demonstra a participação de grupos OH e C=O em adição a COOH na ligação de cátions, e a aparente ordem de reação obtida foi $\text{Cu}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$. Os grupamentos funcionais carboxílicos e hidroxilas fenólicas foram reunidos por Zunino e Martin (1977) em três categorias: (1) grupamentos funcionais capazes de formar anéis quelatos, com alta energia de ligação; (2) grupamentos funcionais que participam na formação de complexos abertos, com energia de ligação intermediária e (3) grupamentos

funcionais localizados dentro das macromoléculas de substâncias húmicas com baixa energia de ligação. Segundo Fitch e Stevenson (1984), os sítios do grupo (1) são ocupados nos estágios iniciais de uma titulação para determinação de constantes de estabilidade e, após esta saturação são ocupados os sítios do grupo (2), produzindo a segunda fase de resposta em uma curva de tipo Langmuir.

Bonifazi et al. (1996) demonstraram que a formação de complexos entre ácidos húmicos e o Cu é muito rápida e, em pH 6, 85% do Cu se liga aos ácidos húmicos em 50 segundos. Quanto maior a relação ácidos húmicos: metal (AH:metal), mais rápida é a ligação e maior a quantidade de Cu ligado. Isto pode ser observado pela diminuição na absorbância, quando os autores utilizaram duas relações entre ácidos húmicos e cobre, 2:1 (0,541 e 0,557 nm em um tempo de 50 e 450 segundos, respectivamente, e 3:1 (0,525 e 0,541 nm em um tempo de 50 e 450 segundos, respectivamente). Segundo Nand e Raman (1983), os complexos de ácidos húmicos e fúlvicos com metais são formados como o resultado de reações de troca, adsorção superficial e por formação de quelatos. A formação de complexos entre os ácidos húmicos e fúlvicos e os metais leva a uma queda no pH. Isto pode ser explicado porque a formação do complexo envolve a liberação de H^+ pela seguinte reação: $M^{n+} + AH = MA^{n-1} + H^+$, onde M é o íon metálico e AH é o agente complexante, que apresenta grupamentos carboxílicos e OH – fenólicos, sendo o H^+ liberado durante este processo. A magnitude desta queda apresentou a seguinte ordem para pH 7,5: Cu > Zn > Mn > Ca e esta seqüência mudou em pH de 7,6 a 10: Zn > Cu > Mn > Ca, o que está de acordo com a série de estabilidade de Irving-Williams. Já as titulações condutimétricas mostraram que os ácidos fúlvicos têm mais acidez que os ácidos húmicos, pois apresentam mais grupamentos funcionais oxigenados. Schnitzer e Skinner (1963), utilizando métodos espectroscópicos, demonstraram que um mol de ácido fúlvico reage com um mol de metal levando à formação de complexos 1:1.

As substâncias húmicas têm sido ligadas à deficiência em Cu na produção de arroz, aveia, cevada e trigo, que mostram redução nas suas produções devido à diminuição da disponibilidade deste elemento em decorrência da complexação do Cu pelas substâncias húmicas, preferencialmente pelo N (Goodman e Cheshire, 1973). A disponibilidade do Cu^{2+} nos solos é fortemente influenciada pela complexação, e Stevenson et al. (1993) demonstraram que a capacidade de complexação e a estabilidade dos complexos formados aumentam com o pH e com a concentração de ácido húmico e diminuem com o aumento da força iônica. O Cu^{2+} reage com mais de um tipo de sítio de ligação formando complexos do

tipo 1:1 e 2:1 e estas ligações podem ocorrer através de ligação coordenada com COO⁻ como com a ligação entre dois COO⁻ da mesma molécula através da formação de quelatos e com COO⁻ e OH fenólica e através do Cu²⁺, servindo de ponte entre duas moléculas e formando complexos do tipo 2:1, onde o metal é o átomo central.

Rainville e Weber (1982) demonstraram que a capacidade de complexação de Cu²⁺, Mn²⁺, Cd²⁺, Ni²⁺ e Zn²⁺ por ácidos fúlvicos aumenta quando o pH passa de 5 para 7. Em um mesmo valor de pH as concentrações de Mn, Cd, Ni e Zn são similares, sendo os valores de Cu significativamente mais altos devido à maior afinidade dos ácidos fúlvicos pelo cobre. Manunza et al. (1995) obtiveram as constantes de estabilidade de complexos de Cu²⁺, Pb²⁺, Mn²⁺ e Cd²⁺ com ácidos húmicos (complexos metal-humatos). A afinidade se elevou com o pH e foi dependente do mesmo e apresentou a seguinte ordem Cu > Pb > Mn > Cd. Os autores concluíram que diferentes classes de sítios de complexação estão envolvidos na ligação entre os ácidos húmicos e os metais e observaram que os grupamentos fenólicos desempenham um papel importante na complexação do Cu enquanto o Cd se liga exclusivamente a grupamentos carboxílicos. Foram obtidos gráficos com 2 curvas, a primeira para grupamentos carboxílicos e a segunda para grupamentos fenólicos com a utilização do modelo de distribuição bimodal Gaussiano.

Utilizando três pHs (5, 6 e 7) e três forças iônicas 0,01, 0,03 e 0,1 M, Ghosh e Baenerjee (1997) concluíram que a complexação dos metais aumenta com a elevação do pH em decorrência da ionização de grupos funcionais ácidos, o que possibilita uma maior disponibilidade de sítios ativos para a complexação. O aumento da força iônica reduz o acesso dos íons metálicos aos sítios ativos por levar à formação de uma barreira de contra íons entre os sítios ativos e os íons metálicos, o que determina uma diminuição na estabilidade dos complexos. O tempo de retenção dos metais deve ser examinado criteriosamente, pois os complexos entre os diversos íons e as substâncias húmicas mostram estabilidades diferentes. O Cu e o Pb formam complexos mais estáveis que o Cd, e a reatividade das diferentes frações de peso molecular é afetada pela origem dos ácidos húmicos. A estabilidade dos complexos apresentaram a mesma ordem de estabilidade encontrada por Perrin (1964): Cu > Be > Ni > Zn > Co > Pb > Mn > Cd > Mg.

Existe uma relação muito forte entre a disponibilidade de Ca, pH e de ácidos húmicos com a absorção de Cd pelas plantas de feijão e milho, de acordo com Tyler e McBride (1982). Stevenson (1972) considera que a cinética da dissociação dos complexos formados é um fator importante a ser levado em conta, pois possibilita determinar se estes cátions poderão ser utilizados ou não pelas plantas e se os mesmos poderão causar problemas ambientais.

Segundo Stevenson e Chen (1991), as substâncias húmicas têm um papel fundamental na disponibilidade do Cu^{2+} e de outros cátions micronutrientes para as plantas e outros organismos vivos, reduzindo o efeito tóxico do Cu^{2+} livre através da formação de complexos estáveis. Estes complexos apresentaram a seguinte ordem de estabilidade: ácido húmico do solo > ácido húmico de turfa > ácido húmico de linhito > ácido fúlvico do solo \approx melanina de fungos. As constantes de estabilidade ($\log K$) em pH 4 e em uma força iônica de 0,01 M foram, respectivamente: 8,3, 7,9, 7,4, 7,2 e 6,9 e no pH 5: 8,5, 8,4, 7,9, 7,6 e 7,6. O Cu^{2+} forma complexo de esfera interna com os ligantes dos ácidos húmicos contendo oxigênio como doadores e o Mn^{2+} forma um complexo de esfera externa de acordo com Cotton e Wilkinson (1988). Segundo Boyd et al. (1981), os dados de ressonância paramagnética eletrônica (RPE) revelaram que o mecanismo de ligação entre o Cu^{2+} e os ácidos húmicos se deve à formação de duas ligações equatoriais com átomos doadores de oxigênio originados de grupamentos oxigenados dos ácidos húmicos, ocupando posição cis, resultando na formação de quelato entre o Cu e os ácidos húmicos.

Rashid (1971) determinou que a fração de ácidos húmicos com peso molecular inferior a 700 Da complexa de duas a seis vezes mais íons metálicos que as frações com maiores pesos moleculares e que a capacidade de complexar o Cu e o Ni é entre duas a quatro vezes maior que a do Fe. Conforme Gregor e Powell (1987), os ácidos fúlvicos são a fração solúvel das substâncias húmicas no meio ambiente e estão implicadas na mobilização de íons metálicos, mas apresentam cargas dependentes de pH. Por exemplo, as porcentagens de cobre e chumbo livres diminuem com o aumento do pH, e esta disponibilidade é significativamente afetada pelo tipo de ácido fúlvico utilizado nos experimentos. A complexação começa entre os pH 3 e 3,5 e acima de pH 7 menos de 10% metal livre encontram-se presentes. A porcentagem de complexos não trocáveis entre os ácidos fúlvicos varia de 21% a 31% para o Pb e de 24% a 48% para o Cu conforme a fonte de ácido fúlvico utilizado em pH 4,8.

Segundo D'Yakonova (1962), os humatos e fulvatos formados com Fe são fontes facilmente disponíveis de Fe para as plantas devido à formação de complexos de esfera externa entre as substâncias húmicas e o ferro. O autor também comprovou que a produção vegetal aumenta com a adição de Fe (FeCl_3) e de substâncias húmicas, inclusive em oleaginosas como o girassol (*Helianthus annuus*) que, segundo Khisteva (1953), é uma planta pouco sensível ao efeito destas substâncias. De acordo com Temminghoff et al. (1997), a matéria orgânica dissolvida tem grande importância na movimentação do Cu. A um pH 3,9 apenas 30% do Cu está ligado à matéria orgânica, mas a um pH de 6,6 mais de 99,0% está ligado, no entanto, a mobilidade da matéria orgânica depende, além do pH, da concentração de Ca.

A concentração de Cu ligado na forma não trocável aumenta com a elevação da relação entre ácidos húmicos e o Cu, fazendo com que a disponibilidade deste elemento para as plantas diminua com o aumento desta relação (Bonifazi et al., 1996). Segundo Petruzzelli et al. (1988), o Cu e o Cd nas formas Cu^{2+} , Cd^{2+} , $\text{Cu}(\text{OH})^+$ e $\text{Cd}(\text{OH})^+$ formam humatos insolúveis em água. Utilizando uma amostra de turfa n° IR103H da IHSS, Yu et al. (1996) comprovaram que o Cr^{3+} e o Pb^{2+} , por serem mais reativos, dominam o processo de adsorção inicialmente e, após 200 minutos, outros elementos, como Cu^{2+} , Cd^{2+} ou Ag^{1+} , começaram a apresentar importância neste processo, tendo sido obtida a seguinte ordem de adsorção (entre parênteses a porcentagem de adsorção no ácido 1): Cr (81%) > Pb (53%) > Cu (39%) > Cd (17%) > Ag (10%) > Li (4%) > Co (3%), determinada após um tempo de adsorção de 1500 minutos em pH 5.

Em um estudo realizado na China, Peng e Wang (1982) demonstraram que os ácidos húmicos possuem capacidade de complexação com o Hg variando de 170 a 420 mg de Hg.g^{-1} e que os ácidos húmicos têm maior afinidade pelo Hg que por Fe^{3+} , Al^{3+} , Mn^{2+} e La^{2+} . Segundo Lia e Li (1982), a capacidade de adsorção de Hg apresenta a seguinte ordem: ácido húmico > MnO_2 > ilita > caolinita > montmorilonita > Fe_2O_3 > SiO_2 . Thanabalasingan e Pickering (1985) demonstraram que a capacidade de adsorção do Hg pelos ácidos húmicos atinge o pico de adsorção em um pH entre 4,5 – 5 e a adição de Cl diminui esta adsorção em 20%, deslocando a região de maior absorção para um pH próximo a 7. Já a adição de S diminui a complexação de Hg devido à formação de sulfato de Hg que precipita. A adsorção de Hg é inferior à de outros cátions divalentes (250 mmol.kg^{-1} para o Ca^{2+} e o Mg^{2+} ; 320

mmol.kg⁻¹ para o Cd²⁺; 500 mmol.kg⁻¹ para o Zn²⁺ e o Cu²⁺ ou 700 mmol.kg⁻¹ para o Pb²⁺). Isto confirmou um trabalho realizado anteriormente por Beveridge e Pickering (1980), onde a adsorção de Hg (50 mmol.kg⁻¹) foi muito inferior à do Pb, que atingiu 900 mmol.kg⁻¹, ou à do Cd, com 300 mmol.kg⁻¹. A maior parte do Hg fica complexado com os ácidos húmicos na forma trocável e uma pequena fração se liga fortemente ao substrato orgânico por coordenação de acordo com Slavek et al. (1982). Thanabalasingam e Pickering (1985) demonstraram que o Hg fica fortemente ligado à matriz orgânica e apenas 20% deste Hg foi trocado pelo Mg²⁺ 1 M por efeito de massa, evidenciando que apenas 20% estava complexado na forma trocável. Segundo Zara et al. (1999), a disponibilidade de Hg e de outros metais pesados para as plantas depende do tipo de interação entre os metais pesados. Os ácidos húmicos complexam e também reduzem alguns metais, aumentando a concentração de Hg²⁺ que é mais disponível para as plantas; mas verifica-se que o pico desta redução ocorre em pH 8.

Wang et al. (1997) demonstraram que a disponibilidade de Hg para as plantas diminui com o aumento da adição de ácidos húmicos, embora a utilização destes ácidos tenha reduzido a perda de Hg por lixiviação para 7%, enquanto sem a aplicação de ácidos húmicos ocorreu a perda por lixiviação de 16% do Hg em um solo aluvial de Beibei, Chongqing, China, e de 84% em um solo purpúreo coletado na mesma localidade. Estes resultados indicaram que os ácidos húmicos influenciaram o transporte vertical de Hg, principalmente em solos com baixos teores de argila. Ao aplicarem 10 g de ácidos húmicos por kg de solo púrpura, não foi detectado Hg nas raízes da *Lactuca sativa*, variedade *Angustura Irish*; a concentração na *Brassica chinensis* diminuiu em 73,08% e, no solo aluvial, ocorreu uma diminuição na concentração de Hg de 66,67% na *Brassica chinensis* e de 52,63% na alface. A distribuição do Hg em *Brassica chinensis* apresentou a seguinte ordem: raízes 91% > folhas 9% > caules 1% e, em *Lactuca sativa*, a ordem foi esta: raízes 68% > folhas 21% > talos 6% > medula 5%.

Segundo Prasad et al. (1987), os ácidos fúlvicos isolados apresentam picos de grupamentos carboxílicos em 1850 cm⁻¹ e mudam com a adição de metais para a menor frequência em 1580-1600 cm⁻¹ (carboxilato assimétrico) e um novo pico de absorção aparece em 1380 cm⁻¹ (carboxilato assimétrico), indicando a formação de complexos orgânicos. O aumento da intensidade das bandas de absorção em 1920 cm⁻¹ (grupamento -NH) ou o seu desaparecimento quando os ácidos fúlvicos interagem com os íons metálicos sugerem a

ligação de coordenação covalente entre os grupamentos $-NH$ e os íons metálicos. Os ácidos fúlvicos complexam os íons metálicos pela formação de ligação covalente entre grupamentos $-NH$ e $R-COO^-$, e os grupamentos carboxílicos formam complexos monodentados com ferro e zinco.

O Cr^{6+} pode ser reduzido tanto pela ação da matéria orgânica como pela ação do Fe^{2+} , e as substâncias húmicas representam uma reserva significativa de elétrons para doar e reduzir o Cr^{6+} . Wittbrodt e Palmer (1995) investigaram a taxa de redução do Cr^{6+} pelos ácidos fúlvicos do solo, concluindo que a taxa de redução de Cr^6 aumenta com o incremento da concentração de $[H^+]$, [ácidos fúlvicos] e com a diminuição da $[Cr^{6+}]$. Segundo Wittbrodt e Palmer (1996), a capacidade de redução do Cr^{6+} varia com a fonte de substância húmica e com a diminuição do pH, sendo necessário um menor tempo para a redução do Cr^{6+} . Por exemplo, em pH 2, 100% do Cr foi reduzido em 10 dias; em pH 4, ocorreu uma redução de 91% do Cr^{6+} em 80 dias; em pH 6, houve redução de 78% do Cr em 180 dias e, em pH 7 verificou-se redução de 34% do Cr^{6+} em 180 dias. Assim, as taxas de redução de Cr^{6+} dependem fortemente da $[H^+]$, que aumenta com o decréscimo do pH. Reações típicas de Cr^{6+} com substâncias húmicas não são lineares com o tempo e não podem ser modeladas por equações simples de primeiro ou segundo grau. A diferença entre os coeficientes para ácidos húmicos e fúlvicos, para o mesmo solo, foi maior que a diferença da taxa de coeficientes para ácidos húmicos de diferentes solos.

A difusão é o processo dominante no transporte de nutrientes para as raízes das plantas. A disponibilidade do Zn na solução do solo pode ser aumentada com a aplicação de Zn e com a adição de ácido fúlvico, de acordo com Prasad et al. (1993). Zhu e Lu (1982) obtiveram as constantes de estabilidade para complexos formados entre Zn e ácidos húmicos extraídos de diferentes matérias-primas orgânicas e obtidos pelo método de equilíbrio de troca iônica (solo, compostos, turfa e carvão). Os valores mais altos foram obtidos em carvão ($\log K$ 7,85), e os mais baixos, em solos do horizonte Álbico de floresta marrom (3,52). O movimento de Zn no solo é afetado pela presença de complexantes orgânicos, pH, disponibilidade de Zn e pelas raízes; a concentração de Zn nas raízes diminuiu quando aumentam os complexos de ácido fúlvico com Zn, quando o pH do solo se eleva ou quando o Zn total diminui. O fluxo de Zn nas raízes também é função de tempo, e a adição de ácido fúlvico diminuiu o fluxo. O fluxo de Zn também decresce quando a porcentagem da fração

argila do solo aumenta, enquanto a mesma concentração de Zn por volume de solo for mantida.

2.6 – Macro e Micronutrientes para as Plantas e para os Seres Humanos

Segundo Resh (1992) cerca de 60 elementos naturais são encontrados nas plantas, mas somente dezesseis são considerados essenciais e se classificam, conforme as necessidades, em macronutrientes quando as plantas necessitam de quantidades iguais ou superiores a 1000 mg.kg⁻¹, e em micronutrientes, quando as necessidades são inferiores a esse valor. Os macronutrientes são C, H, O, N, P, K, Ca, Mg e S. Os micronutrientes incluem Cu, Zn, Fe, Mn, Cl, B e Mo. Estes elementos apresentam funções que impossibilitam a espécie de completar seu ciclo e sua ação não pode ser substituída por nenhum outro elemento.

O N faz parte dos aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucléicos e da clorofila (Resh, 1992). Segundo Willians (1997), as proteínas, nos seres humanos, atuam de diversas formas: como unidades estruturais, atuam na formação dos tecidos; como enzimas, transformam os alimentos em nutrientes para serem utilizados pelas células; como anticorpos, protegem o organismo; como hormônios peptídicos, enviam mensagens que coordenam a atividade contínua do organismo.

Entre as proteínas estruturais temos a miosina, que é composta de 153 aminoácidos de cadeia longa e forma uma proteína fibrosa nas fibras musculares, que se enrolam e desenrolam na contração e no relaxamento. O colágeno é uma outra proteína estrutural cuja função é fortalecer ossos, cartilagens, pele, para manter a estrutura corporal (Willians, 1997). A hemoglobina é uma proteína globular formada por quatro cadeias da proteína globina e cada cadeia apresenta várias centenas de aminoácidos, conjugados com uma porção não protéica, o pigmento heme carreador de oxigênio, que se une ao ferro. A globina, numa forma globular compacta, enrola-se ao redor do heme, formando cavidades protetoras para segurar o ferro e facilitar sua exposição ao oxigênio. A albumina, que é uma importante proteína no plasma, é constituída por uma única cadeia polipeptídica de 584 aminoácidos, em hélice com 17 pontes de dissulfeto (Willians, 1997).

Outros exemplos de proteínas teciduais formadas por funções estruturais ou metabólicas especiais no organismo incluem anticorpos do sistema imunológico como gamaglobulina, fibrinogênio, alguns hormônios reguladores, como a insulina, a tiroxina e peptídios gastrintestinais e todas as enzimas.

O P atua no armazenamento e na transferência de energia nas plantas e faz parte do trifosfato de adenosina, difosfato de adenosina, ácidos nucleicos, fosfolipídeos e coenzimas (Ferri, 1979). Ele tem a capacidade de se combinar de modo reversível com muitos sistemas de coenzimas e, também, com numerosos compostos necessários ao funcionamento dos processos metabólicos, sobretudo os relacionados com o trifosfato de adenosina, difosfato de adenosina e com a fosfocreatina. Além disso, está presente nos ossos e dentes na forma de fosfato de cálcio (Guyton e Hall, 1997).

Nas plantas o K, de acordo com Resh (1992), atua como coenzima ou como ativador de muitas enzimas e na síntese de proteínas. Está relacionado com a abertura e o fechamento dos estômatos, com a síntese e estabilidade das proteínas, com relações osmóticas e com a síntese de carboidratos pelas plantas (Ferri, 1979). Segundo Behrman et al. (1992), atua na contração muscular, na condução dos impulsos nervosos, na manutenção da pressão osmótica intracelular e no balanço dos fluídos.

O Ca na forma de pectato apresenta função estrutural, pois une as paredes primárias de células adjacentes. É um elemento necessário para manter a integridade da membrana celular das plantas e forma parte da enzima α -amilase (Resh, 1992). Segundo Guyton e Hall (1997), encontra-se presente no organismo humano, principalmente na forma de fosfato de cálcio nos ossos e dentes. As quantidades excessivas deste elemento podem provocar parada cardíaca durante a sístole. Já sua falta pode causar descarga espontânea das fibras nervosas, resultando em tetania. O Ca ainda participa na coagulação do sangue e na produção de leite (Behrman et al., 1992).

O Mg é parte essencial da molécula de clorofila e é necessário, também, para a atividade de muitas enzimas, principalmente as relacionadas com a atuação do ATP. Este elemento é de fundamental importância na manutenção da estrutura do ribossoma (Resh, 1992). Segundo Guyton e Hall (1997), o Mg, atua como catalizador de muitas reações

enzimáticas intracelulares, especialmente as que fazem parte do metabolismo dos glicídios. Um aumento na concentração de magnésio deprime a atividade do sistema nervoso, bem como a contração do músculo esquelético, mas este último efeito pode ser bloqueado com a administração de Ca. Baixas concentrações de Mg produzem aumento na irritabilidade do sistema nervoso, vasodilatação periférica e arritmias cardíacas, sobretudo após um infarto agudo do miocárdio.

O S nas plantas está incorporado dentro de diversos compostos orgânicos que incluem aminoácidos e proteínas (Resh, 1992). Nos seres humanos está presente na queratina e é essencial na formação do cabelo, dos pêlos, da pele, da mucosa intestinal, do epitélio bronquial dos pulmões e das unhas. Encontra-se também nos aminoácidos metionina, cisteína e cistina, na coenzima A e nas vitaminas tiamina, biotina e ácido pantotênico e no hormônio insulina. A sua necessidade diária assim como a do N se expressa em termos de necessidades diárias de proteína e aminoácidos. Não foram observadas deficiências nutricionais devido à falta deste elemento, mas a falência pela falta de proteínas deve decorrer, em parte, da deficiência de aminoácidos sulfurados. O S é considerado como um elemento que não apresenta toxidez ao homem uma vez que o excesso de consumo é excretado pela urina na forma de sulfato. As formas inorgânicas são indisponíveis ao homem e são excretadas como sulfato inorgânico ou sulfato entérico via urina e bile (NRC, 1989).

O Na de acordo Van Soest (1994), não é um elemento essencial para as plantas, mas é um nutriente essencial para os microorganismos do rúmen e para os animais. Apresenta funções específicas e atua na manutenção da pressão osmótica, balanço ácido-base, balanço de água e na irritabilidade dos músculos e dos nervos (Behrman et al., 1992).

O Cu atua como transportador de elétrons e é constituinte das enzimas plastocianina que atua na fotossíntese, polifenol oxidase e da nitrato redutase e está relacionado com a fixação do N₂ (Resh, 1992).

O Zn é necessário para a formação do hormônio vegetal ácido indol acético e atua como ativador das enzimas desidrogenase alcoólica, desidrogenase láctica, desidrogenase do ácido glutâmico e da carboxipeptidase (Resh, 1992). Segundo Guyton e Hall (1997), ele é constituinte de muitas enzimas, sendo a anidrase carbônica uma das mais importantes,

encontrada principalmente nos eritrócitos. Esta enzima é a responsável pela rápida combinação do dióxido de carbono com a água nos eritrócitos dos capilares periféricos e pela rápida liberação do dióxido de carbono dos capilares pulmonares para os alvéolos. A anidrase carbônica também está presente na mucosa gastrintestinal, nos túbulos renais e nas células epiteliais de muitas glândulas. O Zn é igualmente um componente da desidrogenase láctica, sendo, portanto, importante na interconversão entre ácido láctico e pirúvico, participando da composição de algumas peptidases e tendo importância na digestão de proteínas no trato gastrintestinal.

O Fe, é necessário para a síntese da clorofila e parte essencial do citocromo, e atua como transportador de elétrons na fotossíntese e na respiração e faz parte ainda da ferridoxina e da nitrato redutase, sendo também ativador enzimático (Resh, 1992). Cerca de dois terços do Fe no organismo humano estão presentes na forma de hemoglobina. Segundo Guyton e Hall (1997), os transportadores que contêm Fe (em particular os citocromos) estão presentes nas mitocôndrias de todas as células do organismo e são imprescindíveis para a maioria das oxidações intracelulares. O Fe é absolutamente essencial tanto para o transporte de oxigênio para os tecidos, quanto para processos oxidativos no interior das células, sem os quais a vida cessaria em segundos.

O Mn está relacionado com a ativação enzimática na síntese dos ácidos graxos e na formação do DNA e do RNA e atua como ativador da enzima desidrogenase no ciclo do ácido cítrico. Participa diretamente na produção fotossintética de O_2 a partir da H_2O e está implicado na formação da clorofila. Segundo Behrman et al. (1992), o Mn age na ativação da enzima superóxido dismutase e na manutenção da estrutura normal dos osso e no metabolismo dos glicídios.

2.7 – Contaminantes Inorgânicos

Segundo Smith (1992), no *Codex Alimentarius* são apresentados os limites máximos de tolerância dos contaminantes inorgânicos considerados como aditivos incidentais presentes nos alimentos, tais como: o Ni em suco e néctares de frutas é de 3 mg.kg^{-1} , em produtos hidrogenados é de 4 mg.kg^{-1} e, em outros alimentos, de 5 mg.kg^{-1} ; o Cr em qualquer alimento é de $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$; o Cd em sucos de frutas e xaropes naturais é de $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ e, em outros

alimentos, de 1 mg.kg^{-1} ; o Pb presente em bulbos, raízes e tubérculos, cereais, hortaliças e leguminosas é de $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ e, em sucos de frutas, de $0,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ e o Hg apresenta um limite para peixes, crustáceos e moluscos de $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ e, para qualquer outro tipo de alimento, o limite é de $0,01 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Segundo Van Soest (1994), o Ni é um elemento essencial para plantas e é cofator da enzima urease, sendo essencial também para os animais. Conforme Uthus e Poellot (1996), o níquel interage com a vitamina B12 e com o ácido fólico na síntese da metionina a partir de homocisteína, e Nielsen (1985) demonstrou que este elemento interfere na absorção e no metabolismo do íon férrico. Em ratos, dietas deficientes em Ni levaram a retardo no crescimento e a uma baixa concentração em hemoglobina (Scheneegg e Kirshgessner, 1975). Solomons et al. (1982) determinaram que de 29% a 40% do Ni ingerido é absorvido, e a eliminação pela urina da dose absorvida variou de 51% a 82%. O IOM (2001) considera que a alimentação supre naturalmente as necessidades diárias deste nutriente e apresenta como limites de ingestão diária para humanos de $0,2 \text{ mg.dia}^{-1}$ nos primeiros três anos de vida e 1 mg.dia^{-1} a partir de quatorze anos. O IOM (2001) considera que ele pode causar riscos ao homem por inalação e por contato, podendo causar efeitos carcinogênicos e dermatites, mas seu consumo em alimentos não tem apresentado problemas.

A concentração de elementos traços depende da matéria-prima original. Souza et al. (1996) comprovaram, ao estudar dez perfis de solos de regiões fisiográficas distintas do Estado do Paraná, que o material de origem teve forte influência na variação da concentração de metais, que o horizonte B apresenta teores de metais mais elevados que o horizonte A e que os metais analisados mostraram as seguintes variações em suas concentrações: Zn de 5,40 a 194 mg.kg^{-1} ; Cu de 10,2 a 466 mg.kg^{-1} ; Pb de 13,9 a 94 mg.kg^{-1} ; Cr de 4,4 a $145,5 \text{ mg.kg}^{-1}$; níquel de 8 a 89 mg.kg^{-1} e Cd de 2,8 a $3,21 \text{ mg.kg}^{-1}$. De acordo com Novoa (1980), os metais podem ocasionar problemas dependendo da extração, do refino e da elaboração. No Chile, os metais de menor perigo tóxico são Al, Zn, Cr, Pb, Br, Ca, Ni e Ag e os mais perigosos são As, Cd, Cu e Hg, embora todos os elementos citados possam produzir efeitos tóxicos de alguma maneira.

Segundo Yapijakis et al. (1986), os contaminantes mais importantes, nos Estados Unidos, são o Cu, o Cr, o Pb, o Ni, o Zn, o Cd e o Hg, e a indústria da galvanoplastia é a

principal fonte de poluição. Os elementos tóxicos não afetam o rendimento das plantas quando a sua concentração for inferior aos limites estabelecidos.

Segundo Van Soest (1994), o Cr não é um elemento essencial para as plantas, entretanto, é um micronutriente essencial para os animais. O IOM (2001) considera que o cromo potencializa a ação da insulina, e a ingestão diária recomendada para homens deve ser limitada a $35 \mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$ e a $25 \mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$ para mulheres jovens. Segundo a mesma fonte, os efeitos adversos do consumo em quantidades superiores a estas têm sido pouco relatados. Até o momento não se conseguiu estabelecer experimentalmente o limite de consumo máximo aceitável para este elemento, bem como a ingestão diária necessária para os seres humanos em suas diversas categorias e percentis. O Cr^{3+} é o estado de oxidação mais estável (Grenwood e Earnshaw, 1997) e é a forma presente nos alimentos devido à presença de substâncias redutoras nos alimentos. O organismo humano tem mecanismos para prevenir a absorção de Cr^{6+} tanto no trato intestinal como do sangue para as células (Kuykendall et al., 1996). Aditivos com cromo utilizando picolinato de cromo têm causado nefrite crônica de acordo com Cerulli et al. (1998) e, conforme o IOM (2001), nosso organismo elimina normalmente $0,2 \mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$ pela urina. O cromo produz irritações no organismo humano e ocasiona dermatites, úlceras cutâneas, inflamação nasal, câncer de pulmão e perfuração do septo nasal. Para as plantas, o cromo é considerado um elemento tóxico. Ocorre em solos derivados de rochas ultrabásicas ou serpentina e é adicionado ao solo por indústrias (produzido pela curtição de couros, galvanoplastias, moedas, fotocopiadoras e eletrônicos) e esgoto/lixo. No organismo humano, o cromo se acumula principalmente nos ossos, baço e testículos, sendo excretado principalmente pela urina. A principal via de penetração dos compostos de cromo na exposição ocupacional é a via respiratória, mas pode ser ingerido em função da higiene, alimentação e hábitos (IOM, 2001).

Os estados de oxidação do Cr variam de -2 a $+6$, mas somente os estados de $+3$ e $+6$ são prevalentes no solo de acordo com Cotton e Wilkinson (1988). De acordo com van Weerelt et al. (1984), a forma mais tóxica hexavalente (Cr^{6+}) é mais móvel que o cromo na forma trivalente (Cr^{3+}). Segundo Zachara et al. (1989), os Cr^{6+} oxianions cromato $\text{Cr}(\text{O}_4)^{2-}$, bicromato HCrO_4^- e dicromato $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ não são fortemente adsorvidos no solo em condições alcalinas ou levemente ácidas, mas estas formas são muito móveis. Sass e Rai (1987) concluíram que as formas de Cr^{3+} normalmente são precipitadas como $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ou como $\text{Fe}_x\text{Cr}_{1-x}(\text{OH})_3$ dentro de condições alcalinas ou levemente ácidas. O Cr^{3+} pode ser

imobilizado pela complexação com moléculas orgânicas que são adsorvidas a superfícies minerais (James e Bartelett, 1983a,b).

2.8 – O Uso da Hidroponia na Produção de Cultivos Agrícolas

De acordo com Ayuso et al. (1996a), é praticamente impossível a reprodução em laboratório das condições naturais de crescimento das plantas sem a introdução de fatores que obscurecem o objeto de estudo. Por isso o meio hidropônico vem sendo utilizado para estudar a influência de fatores particulares sobre o desenvolvimento das plantas e, em geral, o efeito das substâncias húmicas é mais evidente em meio hidropônico que no solo. O cultivo em areia é o método de cultivo sem solo mais amplamente utilizado e, segundo Resh (1992), adapta-se particularmente às zonas desérticas como as existentes no Oriente Médio e Norte da África. Normalmente, este método de cultivo utiliza o gotejamento ou a aspersão como técnica de aplicação de água e nutrientes.

A hidroponia é a técnica que permite a produção de vegetais sem cultivo no solo, alimentando-os com soluções de água e sais minerais. Ela pode ser praticada de inúmeras maneiras visando a produção de hortaliças, flores e frutos em escala comercial. O termo hidroponia deriva de duas palavras gregas: hydro = água e ponos = trabalho, significando “trabalhar com a água”. É, portanto, diferente da agricultura convencional que pode ser denominada de geoponia. Esta técnica é bastante antiga e, em 1699, John Woodward, um professor de medicina e membro da Sociedade Real da Inglaterra, conseguiu fazer crescer menta em diversos tipos de água (de chuva, de rio, de enxurrada e de esgoto diluído) e observou que onde a quantidade de sólidos era mais elevada maior era a produtividade da menta (Epstein, 1975; Huterwal, 1977; Mengel e Kirkby, 1987). Entretanto, a utilização desta técnica começou em 1938 através dos trabalhos de Gericke, professor de Fisiologia Vegetal da Universidade da Califórnia, para resolver os problemas de suprimento de verduras e legumes para as tropas americanas na Groenlândia e nas ilhas Guadalupe. Durante a Segunda Guerra Mundial, o governo norte-americano adotou essa técnica visando a alimentação de tropas (Schubert, 1981), e as primeiras instalações foram construídas na ilha Ascensão (Huterwal, 1977). A produção vegetal exige cinco itens básicos: água, luz, ar, sais minerais e suporte para as raízes. A unidade hidropônica de produção necessita de três elementos: recipiente, substrato e solução nutritiva. As fórmulas de soluções nutritivas foram

desenvolvidas para plantas e para locais específicos. Assim, normalmente, não pode ser utilizada uma fórmula desenvolvida para alface na Suíça em uma região de clima tropical. As cultivares plantadas, o clima, as exigências de água e nutrientes e o ciclo serão diferentes. O pH da solução nutritiva varia conforme a espécie cultivada, existindo soluções nutritivas com pH oscilando de 4,5 a 7,5. O suporte para as plantas em hidroponia é uma exigência fundamental e, com esta finalidade, podem ser utilizados inúmeros materiais como: isopor, brita, cascalho, retalhos de tijolos, vermiculita, turfa, areia, etc. O material utilizado deve ser facilmente disponível e apresentar baixo custo. O recipiente para conter as raízes pode ter formatos diversos, podendo ser utilizados desde telhas de fibrocimento até cochos, bandejas, pias velhas, bacias, tigelas, áreas delimitadas com areia ou brita e mesmo panelas velhas. Podem ser utilizados cochos com 15 cm de profundidade que oferecem espaço suficiente para o crescimento das raízes, sem ser demasiado profundos. As raízes neste tipo de cultivo são mais compactas, e o suprimento de nutrientes é prontamente disponível para ser absorvido pelas raízes (Douglas, 1989). Segundo Teixeira (1996), o cultivo hidropônico utilizando vasos como recipientes pode ser feito com vasos auto-alimentáveis usando lã de vidro para irrigar as plantas por capilaridade, empregando cascalho e vermiculita como substrato, ou vasos irrigados por gotejamento intermitente, cuja frequência de irrigação depende da cultura, do substrato e do clima, podendo-se utilizar turfa, areia, casca de arroz, areia e cascalho como substrato.

A técnica do filme nutriente (NFT) foi desenvolvida por Cooper (1982) permitindo que os vegetais sejam alimentados por subirrigação. O leito hidropônico é formado por um suporte ou bancada de no máximo 20 metros de comprimento, e sobre esse suporte se colocam os canais de cultivo, que podem se constituir de telhas de fibrocimento, chapas de ferro galvanizado, fibra de vidro, bambus gigante e tubos de PVC. Com exceção dos tubos de PVC, todos os outros materiais devem ser cobertos com plástico preto: no caso do bambu, para evitar vazamentos, e nos demais, para evitar contaminações (Castellane e Araújo, 1994).

Fazio (1979) sugeriu a técnica da aeroponia, que é o cultivo de plantas suspensas no ar, com as raízes protegidas da luminosidade e recebendo irrigação intermitente, permitindo 152 plantas por m². Já a aeroponia horizontal consiste no cultivo em tubos de PVC, visando o maior aproveitamento das áreas. Este sistema já está sendo adaptado com vistas ao cultivo em pirâmide, comportando 32 pés de alface por m², ao contrário do NFT tradicional, que comporta 16 plantas na mesma área.

A hidroponia é uma técnica bastante difundida em todo o mundo e, além de ser utilizada na produção de hortaliças, vem sendo usada em floricultura (Teixeira, 1996). Pode também ser empregada em fruticultura e na produção de forragem de milho, aveia, avevém ou milho para a alimentação de suínos e bovinos e eqüinos em bandejas de no máximo 1 metro de largura que podem ser sobrepostas. Este tipo de forragem, capaz de ser enrolada como um tapete, permite a substituição de grande parte da alimentação concentrada desses animais. A técnica pode ser utilizada para a produção leiteira, produzindo 24 kg de forragem verde de milho em bancadas plásticas de 1m x 0,5 m; com seis bancadas é possível suplementar 18 vacas leiteiras. Atualmente, também se tem notícia do emprego desta técnica na alimentação de suínos, em instalações simples e baratas (Krug, 1987; Teixeira, 1996).

Segundo Teixeira (1996), o cultivo hidropônico é uma atividade que deve ser praticada em ambiente protegido, sendo realizada normalmente em estufas, para que se possa ter controle sobre o desenvolvimento das plantas e, também, da solução nutritiva. De acordo com Sganzerla (1995), o plantio em estufas oferece uma série de vantagens, tais como: melhor qualidade dos produtos, maior controle de pragas e doenças e proteção contra as intempéries. Existem dois tipos de estufas: as climatizadas, que são empregadas em climas frios e que contam com equipamentos para o controle de temperatura, umidade relativa e ventilação, e as não climatizadas, que são instalações utilizadas em regiões de clima ameno.

Entre as vantagens de se cultivar por hidroponia destacam-se, de acordo com Teixeira (1996), as seguintes: a) produção com melhor qualidade, normalmente produzindo folhosas com todas as folhas aproveitáveis e com tamanho e aparência iguais durante todo o ano; b) menor emprego de mão-de-obra, já que não utiliza aração, gradagem, capinas, sendo a irrigação normalmente automatizada; c) mínimo uso de fungicidas e inseticidas devido ao plantio em meio limpo e, além disso, não haver ataque de nematóides e microorganismos do solo; d) colheita precoce, pois, devido ao fornecimento adequado de nutrientes, as raízes não gastam energia demasiadamente para crescer, levando a um maior aporte de nutrientes; e) menor consumo de água e fertilizantes pelo aproveitamento mais racional, acarretando economia em comparação com o cultivo convencional; f) melhor possibilidade de colocação do produto no mercado em razão da melhor qualidade e aparência, obtendo-se normalmente um melhor preço de venda; pela utilização racional de áreas, pode-se incorporar ao processo

produtivo, por exemplo, áreas pedregosas; g) dispensa da rotação de culturas, pois não é necessário quebrar o ciclo das pragas e doenças e h) maior produtividade, como pode ser comprovada pela Tabela 1. Contudo, o cultivo hidropônico apresenta uma série de desvantagens: a) emprego de fungicidas e inseticidas, embora em muito menor quantidade do que o do cultivo convencional; b) alto custo de instalação, atingindo R\$20,00 o m² da área construída; c) dependência de eletricidade nos sistemas automáticos, necessitando-se de um gerador para acionar as bombas de irrigação em caso de falta de luz, o que encarece os custos; d) exigência de mão-de-obra especializada com conhecimentos de fisiologia vegetal e, muitas vezes, de química e e) as atividades são rotineiras, o que pode levar a negligência.

Tabela 1 – Produção de algumas hortaliças cultivadas em estufas em sistema hidropônico e em campo.

Culturas	Hidroponia			Campo
	t.ha. ⁻¹	nº de cultivo	t.ha. ⁻¹ .ano ⁻¹	t.ha. ⁻¹ .ano ⁻¹
Brócolis	32,5	3	97,5	10,5
Feijão-Vagem	11,5	4	46,0	6,0
Repolho	57,5	3	172,5	30,0
Pepino	250,0	3	750,0	30,0
Beringela	28,0	2	56,0	20,0
Alface	31,3	10	313,0	52,0
Pimentão	32,0	3	96,0	16,0
Tomate	187,5	2	375,0	100,0

Fonte: Castellane e Araújo (1994).

Não existe uma solução nutritiva ideal para todas as espécies vegetais e condições de cultivo, pois cada variedade tem as exigências nutricionais próprias e, de acordo com Mengel e Kirkby (1987), deve apresentar as seguintes características: a) conter todos os nutrientes; b) ser equilibrada de acordo com a cultura; c) ter potencial osmótico entre 0,5 e 1 atm, pois quanto maior esse potencial maior o teor de sais e maior a dificuldade das plantas em absorver os nutrientes (o potencial osmótico pode ser calculado da seguinte forma: $P_o = m \cdot i \cdot R \cdot t$, onde P_o = o potencial osmótico, m = número de moles, i = correção devido à ionização de sais (constante

de dissociação do produto multiplicado pelo número de íons fornecidos pelo sal), $R =$ constante dos gases (0,0823 atm) e $t =$ a temperatura em Kelvin e $d)$ ter pH entre 5,8 e 6,2.

Uma outra possibilidade de se avaliar as concentrações de sais é medir a condutividade elétrica, que nada mais é que medir a possibilidade de uma solução de transmitir eletricidade por meio de um condutivímetro, variando a condutividade elétrica ideal de acordo com a cultura. Benoit (1987), citado por Resh (1992), relata como ideais: 1,5 mSiemens/cm para o moranguinho, 2,5mSiemens para a alface e outras folhosas e 4mSiemens para o tomate e o pepino, devendo-se adicionar mais solução nutritiva quando a condutividade estiver abaixo, pois ela indica a quantidade de sais presentes. A solução nutritiva deve ser mais diluída no verão que no inverno, pois nesse período, devido ao calor, as plantas absorvem mais água.

Atualmente existem muitas soluções nutritivas-padrão e, desde o início do desenvolvimento deste método, ocorreu uma evolução. Inicialmente só os macronutrientes eram considerados nestes cálculos, mas, a partir de 1938, os micronutrientes passaram a serem utilizados nas formulações (Pellicer et al., 1995).

2.9 – Fertirrigação e Fertilizantes Fluidos

No Brasil, a fertirrigação é pouco utilizada, porém a tendência é que esta situação seja alterada, quer como forma de potencializar a utilização de equipamentos de irrigação, quer como forma de diminuição dos custos de adubação. A fertirrigação pode ser utilizada nas modalidades de gotejamento, aspersão, irrigação por sulco e hidroponia. A qualidade da água de irrigação é um dos fatores que mais afetam a fertirrigação. As características da água têm maior ou menor importância dependendo do método de irrigação utilizado e do modo de aplicação. A aplicação por aspersão limita a concentração de sais como sódio, boro, cloro e flúor na água devido às injúrias que podem causar às folhas das plantas (Boas et al., 1994). As condições de salinidade da água de irrigação ou o excesso de fertilizante podem ter efeito significativo na produção (Mass, 1979).

Os fertilizantes fluidos podem ser aplicados na água de irrigação ou diretamente sobre o cultivo ou sobre o solo. Dentre os fertilizantes fluidos incluem-se o chorume, a suspensão resultante da fermentação do esterco de curral, e a vinhaça, o subproduto da destilação do

álcool (Malavolta, 1994). Os fertilizantes fluidos industriais somente começaram a ser utilizados no Brasil meio século após o início de seu emprego nos Estados Unidos. Com poucas exceções, o uso dos adubos fluidos não foi precedido de experimentação local (Malavolta, 1994). A produção de adubos fluidos no Brasil é feita: a) pela indústria propriamente dita: sintetiza amônia, ácido nítrico, ácido fosfórico e produtos NP, como o fosfato de amônio (MAP), e utiliza cloreto de potássio em grande parte importado; b) por empresas produtoras que adquirem matéria-prima e os produtos intermediários, que são misturados de acordo com as suas necessidades; c) por produtores agrícolas que compram produtos finais fluidos ou sólidos, dissolvem-nos e preparam soluções com técnicas artesanais (Malavolta, 1994). Os fertilizantes fluidos têm um menor custo de adubação nas culturas que utilizam irrigação e apresentam uma maior resposta em termos de produção por hectare de acordo com Bittencourt e Beauclair (1992).

Em 1989, foram utilizadas 370.000 toneladas deste tipo de fertilizante e, atualmente, 85% da fertilização da cultura da cana de açúcar e cerca de 10% dos fertilizantes empregados nas culturas de café, citros, algodão, cereais, soja, feijão e essências florestais é feita com adubos fluidos (Malavolta, 1994). A hidroponia e o gotejamento são técnicas de cultivo que utilizam somente adubos fluidos na água de irrigação; os ácidos húmicos e fúlvicos são comercialmente fertilizantes fluidos, pois são aplicados em soluções nutritivas, e o produto comercial obtido normalmente com concentração próxima a 165 g.L^{-1} é líquido.

Segundo Trivelin (1986), com o emprego da adubação fluida, a produção de cana-de-açúcar aumentou de 143 para 155 toneladas de massa verde por hectare. Sebastião (1991) demonstrou, em um ensaio com café, que o custo de adubação diminuiu em 22,54%, pois passou de US\$275 para US\$213 por hectare. A produção aumentou em 32%, passando de 33,3 para 44 sacas de café beneficiado por hectare, e a renda líquida do agricultor aumentou em 42%, pois passou de US\$1476 para US\$2100 por hectare.

3 – MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – Área Experimental: Localização e Substrato

O experimento foi instalado em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, distante 6 km do centro da cidade de Porto Alegre, RS, em vasos de 3,6 litros e foram utilizados 4,6 kg de areia lavada e esterilizada como substrato para cada vaso. A análise laboratorial da areia usada nos experimentos antes do processo de lavagem com água e ácidos apresentou os seguintes resultados: Argila % – 7%, matéria orgânica % (MO%) = 0,5%; pH – 5,9; pH-SMP – 6,9; P mg.kg⁻¹ – 20; K mg.kg⁻¹ – 19; Na mg.kg⁻¹ – 0,9; Al me.dL⁻¹ – 0; Ca me.dL⁻¹ – 0,7; Mg me.dL⁻¹ – 0,2; Mn mg.kg⁻¹ – 7; B mg.kg⁻¹ – 1,3; Cu mg.kg⁻¹ – 1,5; Zn mg.kg⁻¹ – 4,4; S mg.kg⁻¹ – 10 e Fe% – 0,19. Após o processo de lavagem com água destilada e ácidos, foi coletada uma amostra que apresentou os resultados mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados da análise da areia utilizada como substrato no experimento realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Argila%	pH	pH-SMP	P*	K*	MO%	Fe%	Al**	Ca**
1	5,9	6,8	1	1	0,1	0,09	0	0,2
Mg**	Zn*	Cu*	B*	Mn*	Na*	S*		
0,1	0,4	0,3	0,2	2	0,1	1		

* mg.kg⁻¹

** me.dL⁻¹

3.2 – Características Físico-Químicas das Substâncias Húmicas Utilizadas

As substâncias húmicas foram produzidas pelo LAGEAMB utilizando a matéria-prima turfa JOSAPAR (Domingos Petrolina, Rio Grande, RS), que sofreu previamente a extração com KOH 1 M, oito pré-tratamentos (PT): PT1= H₃PO₄; PT2 = HCl; PT3 = sem pré-tratamento; PT4 = HNO₃; PT5 = HCl/HNO₃; PT6 = HCl/H₃PO₄; PT7 = triplo ácido (HCl/HNO₃/H₃PO₄) e PT8 = HNO₃/H₃PO₄.

As oito substâncias húmicas obtidas pelo LAGEAMB (PT1; PT2; PT3; PT4; PT5; PT6; PT7 e PT8) foram caracterizadas através das seguintes determinações: a) curva de titulação de pH, para avaliar a acidez e a resistência à troca de pH, em razão dos diferentes grupos funcionais; b) concentração do produto comercial em g.L^{-1} ; c) teor de cinzas na matéria seca; d) razão E4/E6; e) concentração de carbono orgânico em base seca e isenta de cinzas (%daf); f) porcentagem de substâncias húmicas produzidas (Produção %) em relação à matéria-prima utilizada e g) relação C/N (Tabela 3).

Tabela 3 – Resultados da concentração (g.L^{-1} de C), porcentagem de cinzas (A%), carbono orgânico em base seca e isenta de cinzas (C org. (%daf)), razão E4/E6, acidez titulável, produção de substâncias húmicas em relação à matéria-prima utilizada (Produção (%)), teores de nitrogênio, fósforo e potássio e relação C/N.

Substâncias Húmicas	g.L^{-1} de C	A (%)	C org. (%daf)	
PT1	67,68	35,84	66,64	
PT2	44,00	37,51	62,24	
PT3	99,14	41,19	38,11	
PT4	68,08	39,88	69,26	
PT5	70,54	37,12	62,21	
PT6	70,78	38,62	66,71	
PT7	77,56	30,81	51,73	
PT8	81,62	35,23	55,53	
	Razão E4/E6	Acidez titulável*	Produção (%)	
PT1	6,4	826,51	18,29	
PT2	6,7	596,37	10,06	
PT3	6,1	821,12	18,05	
PT4	6,8	840,66	17,22	
PT5	8,1	686,52	19,53	
PT6	6,4	863,96	17,99	
PT7	6,2	651,80	19,34	
PT8	6,1	631,23	21,44	
	N (%)	P (%)	K (%)	C/N
PT1	1,21	0,40	22	35,34
PT2	0,72	0,07	31	54,53
PT3	0,97	0,17	21	23,10
PT4	1,04	0,40	22	40,04
PT5	1,38	0,08	25	28,35
PT6	1,40	0,49	23	29,24
PT7	1,28	0,23	24	27,96
PT8	1,10	0,36	26	32,70

* cmol.kg^{-1} .

3.3 – Delineamento Experimental e Tratamentos Utilizados

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado com um arranjo do tipo fatorial 8 (substâncias húmicas: PT1, PT2, PT3, PT4, PT5, PT6, PT7 e PT8) x 4 (doses de substâncias húmicas: Dose 1 (D1)= solução nutritiva (SN) + 0 mg.L⁻¹ de substâncias húmicas (SH); D2= SN + 15 mg.L⁻¹ de SH; D3= SN + 30 mg.L⁻¹ de SH e D4= SN + 45 mg.L⁻¹ de SH), com três repetições por tratamento. As quantidades dos extratos das diferentes substâncias húmicas adicionadas à solução nutritiva nas doses 2, 3 e 4 são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Volume (mL) de extrato das diferentes substâncias adicionados à solução nutritiva nas doses 2 (D2= SN + 15 mg.L⁻¹ de SH); 3 (D3= SN + 30 mg.L⁻¹) e 4 (D4 = SN + 45 mg.L⁻¹ de SH).

Substâncias Húmicas	15 mg.L ⁻¹ *	30 mg.L ⁻¹ *	45 mg.L ⁻¹ *
PT1= H ₃ PO ₄	0,22	0,44	0,66
PT2= HCl	0,34	0,68	1,02
PT3 = sem pré-tratamento	0,15	0,30	0,45
PT4= HNO ₃	0,22	0,44	0,66
PT5= HCl/HNO ₃	0,21	0,43	0,64
PT6= HCl/H ₃ PO ₄	0,21	0,42	0,64
PT7= HCl/HNO ₃ /H ₃ PO ₄	0,19	0,39	0,58
PT8= HNO ₃ /H ₃ PO ₄	0,18	0,37	0,56

* Valores em mL de extrato de substâncias húmicas por litro de solução nutritiva.

O esquema de um dos blocos experimentais está representado pela Figura 2, e a solução nutritiva foi específica para a espécie testada, visando o maior ganho econômico, tendo sido utilizado neste experimento a alface (*Lactuca sativa*) variedade *Maravilha de Verão*, que é uma espécie da família das compostas e responsiva a adição de substâncias húmicas (Silva e Jablonski, 1995; Silva et al., 1999a; Silva et al., 2000i).

Os dados foram analisados estatisticamente através do programa SANEST para microcomputadores (Zonta e Machado, 1984). Foram calculados os pontos de máxima e de mínima das equações de regressão obtidas a partir da determinação da dose de substância húmica que produziu a maior inflexão na curva (D (dose) = termo de X / derivada do termo X², por exemplo: se X for igual a 0,1 e X² igual a 0,01, teremos 0,1/0,02 = 5 mg.L⁻¹ = dose). Ao substituímos X e X² nas equações, obtivemos os pontos de máxima quando a equação foi

do tipo $Y = a + bX - cX^2$, e os pontos de mínima quando a equação obtida foi do tipo $Y = a - bX + cX^2$.

PT7-D1	PT2-D1	PT7-D3	PT6-D2
PT1-D1	PT4-D2	PT3-D3	PT4-D1
PT5-D1	PT8-D4	PT8-D2	PT2- D4
PT1-D2	PT3-D4	PT1-D3	PT5- D2
PT7-D4	PT2-D3	PT3-D2	PT8-D3
PT2-D2	PT1-D4	PT4-D3	PT6-D4
PT4-D4	PT6-D1	PT5-D4	PT5-D3
PT7-D2	PT6-D3	PT8-D1	PT3-D1

Figura 2 – Esquema representativo do bloco 1 com a distribuição dos tratamentos sorteados.

3.4 – Condução do Experimento e Coleta de Dados

O experimento com a alface *Maravilha de Verão* ocupou totalmente uma casa de vegetação com 130 m² e essa área experimental ocupou cinco mesas, com uma distância entre vasos de 20 centímetros, visando a menor interferência possível de um tratamento sobre o outro. O experimento foi implantado em 01.12.1999 em vasos de 3,6 litros cheios com areia lavada e tratada com HCl 0,5 M até 1 cm da altura da borda, tendo sido utilizada uma planta por vaso. Foram utilizadas regas com solução nutritiva completa com respectivos tratamentos a cada dois dias. O experimento foi colhido 32 dias após o transplante, em 02.01.2000. Nessa

data foi feita a pesagem em separado das raízes e da parte aérea que foram secas em estufa à 65 °C com ar forçado.

A solução nutritiva tinha a seguinte composição: 220 mg.L⁻¹ de K, 85 mg.L⁻¹ de Cl, 54 mg.L⁻¹ de Mg, 63 mg.L⁻¹ de S-SO₄, 30 mg.L⁻¹ de P, 120 mg.L⁻¹ de N, 100 mg.L⁻¹ de Ca, 5 mg.L⁻¹ de Fe-EDTA, 2,4 mg.L⁻¹ de Mn, 0,64 mg.L⁻¹ de Cu, 0,8 mg.L⁻¹ de Zn, 1,3 mg.L⁻¹ de B e 0,08 mg.L⁻¹ de Mo.

As concentrações de N, P e K na areia utilizada como substrato e nas substâncias húmicas foram consideradas no cálculo do balanço de massa destes elementos, para a obtenção da eficiência do aproveitamento destes macronutrientes.

3.5 – Determinações Laboratoriais

3.5.1 – Teor de Matéria Seca

O teor de matéria seca (% MS) das plantas avaliadas foi determinado pela secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até peso constante. Posteriormente as amostras foram moídas em moinhos de malha 1 a 2 mm, sendo acondicionadas em sacos plásticos e convenientemente armazenadas até a realização das análises químicas. O teor de matéria seca total (%MST) foi determinado (nas amostras anteriormente secas a 65 °C e já moídas), após secagem por duas horas a 105 °C, no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

3.5.2 – Teor de Nitrogênio Total

A determinação do teor de N (N_{total}) foi feito pelo método microkjeldahl, utilizando peróxido de hidrogênio e selenito de sódio para acelerar a digestão das amostras segundo o método de Tedesco et al. (1995), determinado no Laboratório de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O teor de proteína bruta foi calculado pela fórmula: %PB = %N x 6,25.

3.5.3 – Teores de P, K, Ca, Mg, S e Na

A digestão das amostras e as análises foram feitas nos laboratórios do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A digestão de tecido vegetal com $\text{HNO}_3 - \text{HClO}_4$ (nitroperclórica) é amplamente empregada na determinação de vários nutrientes e os procedimentos adotados variam conforme a sensibilidade desejada, os nutrientes a determinar, vidraria e equipamentos utilizados. Esta digestão deve ser feita com cuidado, mas apresenta as seguintes vantagens: a) não há perda de elementos por volatilização, com exceção de B e Cl, porque a temperatura não ultrapassa o ponto de ebulição do HClO_4 (203 °C), e b) não ocorre adsorção de elementos metálicos na sílica (o que se observa na queima a 500-600 °C). Este processo de extração pode ser utilizado não só para o P, K, Ca, Mg, S e Na, como também para a determinação da concentração total dos micronutrientes Cu, Fe, Zn, Mn, Ni e de contaminantes como Cr, Cd e Pb (Tedesco et al., 1995). Foi usada um grama de amostra, sendo o material colocado em tubos para digestão de 25x250 mm, em bloco digestor com temperatura regulável até 300 °C; após a filtragem, foi completado o volume de um balão volumétrico de 50 mL. Os extratos assim obtidos foram acondicionados em frascos plásticos até o momento das determinações, tendo as amostras sido conservados até o final das determinações laboratoriais.

A determinação do teor de P foi realizada por espectrofotometria utilizando uma alíquota de extrato representativa de 0,1 g de amostra, após a adição de molibdato de amônio e ácido 1-amino-2-naftol-4-sulfônico, segundo o método modificado por Sarruge e Haag (1974). O teor de S foi determinado pelo método turbidimétrico de acordo com a metodologia de Tedesco et al. (1995) em um colorímetro (UV-visível), usando-se uma alíquota representativa de 0,05 g de amostra. As análises para a determinação dos teores de K e Na foram feitas com um fotômetro de chama segundo o método de Tedesco et al. (1995). Os teores de Ca e Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção (fotômetro de absorção) após a adição de lantânio em solução ácida. Foi adotado o método de Tedesco et al. (1995).

Os teores dos macronutrientes N, P e K presentes na areia e nas substâncias foram utilizados no balanço de massa destes elementos para verificar a eficiência de sua utilização pelas plantas de alface em um cultivo com adição de substâncias húmicas.

3.5.4 – Concentração dos Micronutrientes – Cu, Fe, Mn e Zn

As análises para a determinação dos teores de Na foram feitas com um fotômetro de chama segundo o método de Tedesco et al. (1995). As concentrações totais de Cu, Fe, Mn e Zn dos extratos nitroperclóricos foram determinadas em fotômetro de absorção utilizando a metodologia de Tedesco et al. (1995), tendo sido utilizados padrões específicos com 1.000 mg.L⁻¹ de cada elemento analisado, como solução estoque, visando as curvas para determinar os teores totais de cada elemento analisado.

3.5.5 – Concentração dos Contaminantes Incidentais – Ni, Cr, Cd, Pb e Hg

As concentrações na matéria seca de Ni, Cr, Cd e Pb dos extratos nitroperclóricos foram determinadas em espectrofotômetro de absorção atômica em forno de grafite utilizando adição de padrões de cada metal pesado (padrões mistos), segundo a metodologia de Tedesco et al. (1995). Nesta técnica foi usado argônio no fluxo de 45 a 50 mL por minuto e reagentes p.a. Merck visando uma maior homogeneidade dos reagentes e uma menor contaminação com metais pesados. Já o mercúrio foi determinado em amostras (0,5 g) digeridas pelo processo de digestão nitroperclórico a 60 °C ± 2 °C, utilizando vidraria especialmente desenvolvida para esta análise (tubos de 25x85 mm com conexão esmerilhada e com funis para cobrir como tampa após a adição de HNO₃ para reagir por 12 horas). Os tubos com as amostras digeridas com adição de padrão de mercúrio foram conectados ao gerador de hidreto após adição de 5 mL de SnCl₂ a 5%. O aparelho foi ligado após o fluxo de N₂ e foi registrado o pico de absorbância. Os íons Hg²⁺ em solução são reduzidos a Hg⁰ (gás) por cloreto estano em meio ácido, e o mercúrio é arrastado por um fluxo de gás (normalmente N₂) para uma célula de absorção no percurso ótico do espectrofotômetro de absorção atômica. Esta técnica é muito sensível e chamada de absorção em vapor frio, descrita inicialmente por Hatch e Ott (1968) e modificada por Tedesco et al. (1995), com a utilização de vidraria específica.

3.6 – Análise Estatística e Variáveis Analisadas

As análises estatísticas foram feitas com o Programa SANEST (Zonta e Machado, 1984). Foram avaliadas as seguintes variáveis: (a) produção total de matéria verde da parte aérea; (b) produção total de matéria seca da parte aérea e das raízes; (c) teores de N, P, K, Ca, Mg, S e Na; (d) teores dos micronutrientes Cu, Fe, Zn e Mn; (e) concentração dos contaminantes incidentais Ni, Cr, Cd, Pb e Hg; (f) eficiência na utilização dos elementos N, P e K presentes na solução nutritiva. Para a análise das produções de matéria seca, teores de N, P, K, Ca, Mg, S e Na e micronutrientes e contaminantes incidentais nos tecidos vegetais avaliados e para a eficiência de utilização dos elementos N, P e K, realizou-se a análise de regressão polinomial em função das doses crescentes de substâncias húmicas. Foi também utilizado o teste de Tukey para a comparação de médias, para os efeitos de substâncias húmicas utilizadas em cada uma das doses e para a média dos resultados. Foram avaliados os efeitos isolados das doses e das substâncias húmicas utilizadas e da interação substâncias húmicas x doses.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados aqui apresentados e discutidos referem-se à produção de matéria verde da parte aérea e de matéria seca da parte aérea e das raízes, aos teores de N, P, K, Ca, Mg, S e Na e às concentrações de Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Cr, Ni, Pb e Hg nos tecidos da parte aérea e das raízes da alface cultivar *Maravilha de Verão*.

4.1 – Produção de Matéria Verde da Parte Aérea

A análise de variância mostrou significância estatística para o efeito dos fatores substâncias húmicas e doses e para a interação entre substâncias húmicas x doses ($P < 0,01$), apresentando $CV = 19,34\%$, $EPM = 1,19 \text{ g.vaso}^{-1}$ e média = $60,38 \text{ g.vaso}^{-1}$ (Tabela I em Anexo). As regressões polinomiais da interação substâncias húmicas x doses encontram-se na Figura 3, tendo sido obtidas respostas quadráticas para as doses para todas as substâncias húmicas avaliadas, verificando-se acréscimo máximo na produção de MV para a dose de 30 mg.L^{-1} .

Os coeficientes de determinação (r^2) obtidos variaram de 0,68 a 0,96, indicando que no mínimo 68% da variação obtida foram devidos ao efeito das doses utilizadas. Quanto mais próximo de 1 estiver o coeficiente de determinação, mais a equação se ajusta aos dados. A parte da variação total não explicada pela regressão é dada por $1 - r^2$ (coeficiente de indeterminação). Para a equação obtida a partir da PT3 temos um coeficiente de indeterminação de 0,32, indicando que 32% da variação na produção de MV não foi devido ao efeito das doses utilizadas.

Observa-se que os maiores pontos de máxima foram obtidos pelos tratamentos: PT8 ($99,8 \text{ g.vaso}^{-1}$); PT7 ($96,97 \text{ g.vaso}^{-1}$); PT3 ($87,83 \text{ g.vaso}^{-1}$); PT2 ($85,27 \text{ g.vaso}^{-1}$) e PT5 ($84,44 \text{ g.vaso}^{-1}$) e cada uma das substâncias húmicas apresentou uma dose mais efetiva em termos de produção de MV, sendo estas mais próximas da dose avaliada de 30 mg.L^{-1} . A produção de MV depende da dose de substância húmica utilizada.

Na Tabela II em Anexo, os resultados de produção de MV com a adição das substâncias húmicas foram comparados pelo teste de Tukey. Verifica-se que, a adição das

substâncias húmicas PT3, PT5 e PT7, na dose 30 mg.L⁻¹, produziram quantidades de MV superiores a PT4. Como médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade, os resultados obtidos com a utilização de PT1, PT2, PT6 e PT8, não apresentaram diferença estatística em termos de produção de MV de PT3, PT7, PT5, PT8 e PT4.

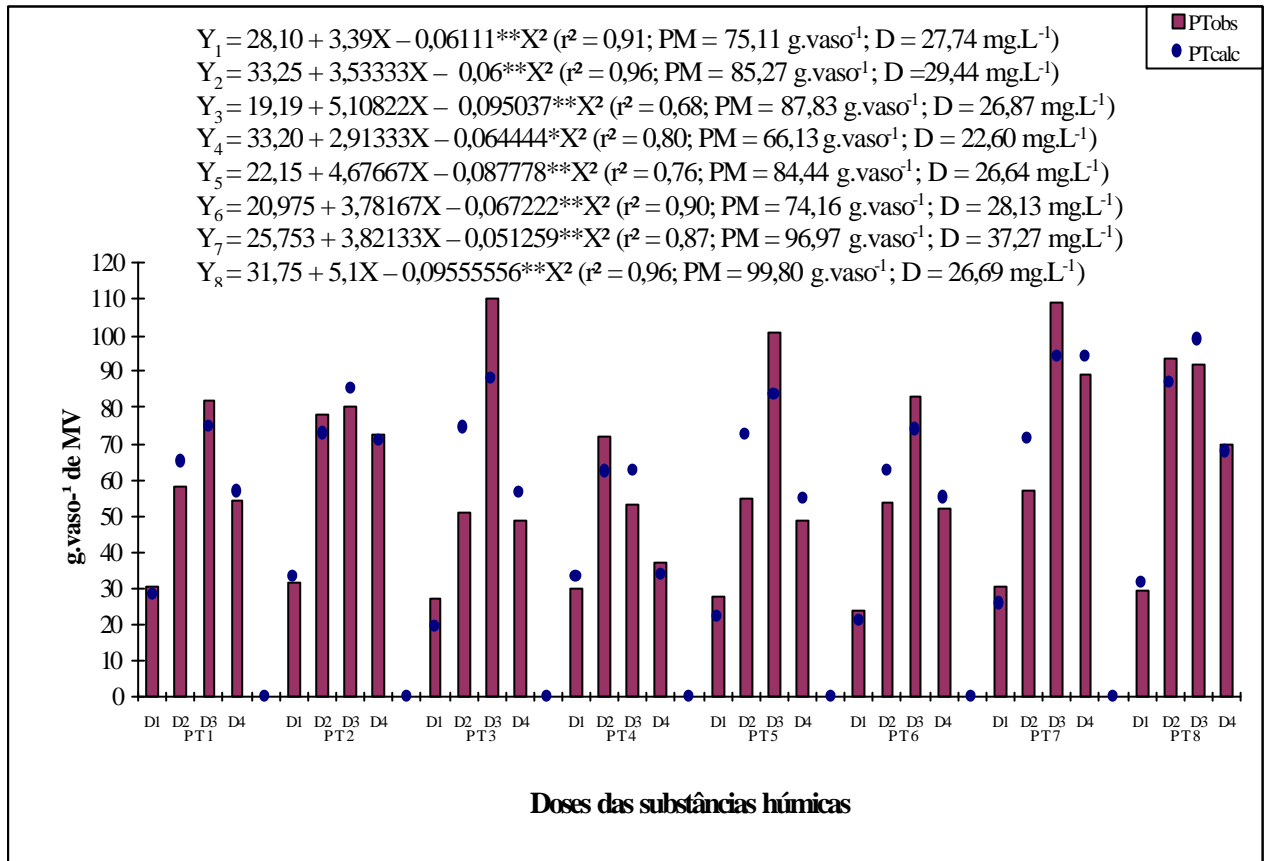


Figura 3 – Produção de MV da parte aérea da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

As maiores médias de produção foram obtidas com o emprego das substâncias húmicas PT3 (110,33 g.vaso⁻¹), PT7 (109 g.vaso⁻¹), PT5 (101 g.vaso⁻¹) e PT8 (92 g.vaso⁻¹), na dose de 30 mg.L⁻¹, que elevaram a produção de MV da parte aérea da alface em relação à dose 0 mg.L⁻¹, respectivamente, em 308,63%, 255,4%, 260,71% e 211,86%. Como o coeficiente de indeterminação da equação de regressão polinomial de PT3 foi de 0,32, esta curva não se ajustou aos dados, tendo subestimado a produção de MV, pois 32% da variação entre as médias dos tratamentos não pode ser explicada pelo ajustamento da regressão quadrática (Figura 3 e Tabela II em Anexos).

A maior resposta com a adição de PT3 não se deveu à acidez titulável uma vez que esta substância húmica apresentou a quarta maior acidez e, juntamente com PT8, mostrou a menor relação E4/E6. Os resultados da produção de matéria verde da parte aérea seguiram a ordem crescente da relação C/N (PT3 (23,1) < PT7 (27,96) < PT5 (28,35)), até PT8 (32,7)). A adição desta substância húmica possibilitou uma maior produção que a PT6 (29,34). Os resultados demonstraram que as respostas dependem da substância húmica avaliada.

Deveríamos esperar que a eficiência das substâncias húmicas de turfa como estimulantes do crescimento da alface estivesse diretamente relacionada com a quantidade de radicais livres presentes (Chukov et al., 1996; Chem et al., 1996). Um aumento na humificação e/ou na condensação destes materiais é indicado por uma diminuição da razão E4/E6, que é uma medida do grau de humificação ou condensação destes materiais (Varshovi e Sartair, 1993). Quanto mais condensada a substância húmica menor é o teor de oxigênio esperado e, portanto, apresenta uma menor acidez titulável e uma menor capacidade de troca de cátions (CTC).

Entretanto, os resultados obtidos indicam um comportamento adverso, indicando a necessidade de novos testes com substâncias húmicas separadas por faixas de peso molecular, para determinação da fração que apresente maior eficiência para estimular o desenvolvimento da parte aérea.

O acréscimo máximo obtido na produção de MV da parte aérea foi superior aos de Silva e Jablonski (1995), com a alface *Baba de Verão* e de Silva et al. (2000i), com a alface *Aurélia*, que obtiveram, respectivamente, um aumento de 193,31% e 289,71% na produção de MV. Em outras culturas também foram observados efeitos positivos destas substâncias sobre a produção de MV. Fortun et al. (1986a) constataram um aumento de 35,14% na produção de MV da parte aérea do azevém perene. No mesmo sentido, Govindasamy e Chandrasekaran (1992) verificaram um acréscimo de 17% na produção de cana de açúcar, e Irintoto et al. (1993) obtiveram um aumento de 52,54% na produção de MV da parte aérea do *Pinus elliottii*.

Pelos resultados obtidos neste experimento, não verifica-se a necessidade de utilização

de pré-tratamentos na matéria-prima turfa JOSAPAR, visando a obtenção de substâncias húmicas, pois a utilização destes não elevou a produção de MV.

4.2 – Produção de Matéria Seca da Parte Aérea

Houve significância para os efeitos das substâncias húmicas, das doses e para a interação entre substâncias húmicas x doses ($P < 0,01$), apresentando $CV = 21,61\%$, $EPM = 0,13 \text{ g.vaso}^{-1}$ e média = $5,9 \text{ g.vaso}^{-1}$ (Tabela I em Anexo). Pela análise de regressão polinomial da interação substâncias húmicas x doses (Figura 4), obteve-se uma resposta quadrática para as doses em todas as substâncias húmicas, verificando-se acréscimo máximo na produção de MS para a dose de 30 mg.L^{-1} . Onde os coeficientes de determinação (r^2) variaram de 0,73 a 1, indicando que mais de 73% da variação deveu-se ao efeito das doses utilizadas. Os maiores pontos de máxima foram obtidos pelos tratamentos: PT8 ($9,73 \text{ g.vaso}^{-1}$), PT7 ($9,22 \text{ g.vaso}^{-1}$), PT2 ($8,62 \text{ g.vaso}^{-1}$), PT3 ($8,38 \text{ g.vaso}^{-1}$) e PT5 ($8,04 \text{ g.vaso}^{-1}$) e cada uma das substâncias húmicas apresentou uma dose mais efetiva em termos de produção de MS.

O teste de Tukey é usado quando um F significativo já foi obtido. Por este método, o que fazemos é comparar a diferença entre quaisquer duas médias com uma diferença mínima significativa. Uma diferença entre duas médias diz-se estatisticamente significativa só se for igual a ou maior a DMS. A DMS é a amplitude total estudentizada, que permite comparar todo e qualquer contraste entre duas médias de tratamentos pelo teste de Tukey. Na Tabela II (em Anexo), os resultados de produção de MS (g.vaso^{-1}) com a adição das substâncias húmicas foram comparados pelo teste de Tukey. Verifica-se que, como médias seguidas por letras distintas diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância as substâncias húmicas PT1, PT2, PT3, PT5, PT7 e PT8, na dose 30 mg.L^{-1} , foram superiores a PT4. Porém, o resultado obtido com a utilização de PT6 não apresentou diferença estatística em termos de produção de MS de PT1, PT2, PT3, PT4, PT5, PT7 e PT8. As maiores médias de produção foram obtidas com o emprego das substâncias húmicas PT7 ($10,67 \text{ g.vaso}^{-1}$), PT3 ($10,33 \text{ g.vaso}^{-1}$), PT5 ($9,50 \text{ g.vaso}^{-1}$) e PT8 (9 g.vaso^{-1}), na dose 30 mg.L^{-1} , que elevaram a produção de MS da parte aérea da alface em relação à dose 0 mg.L^{-1} , respectivamente em 247,56%, 230,42%, 224,23%.

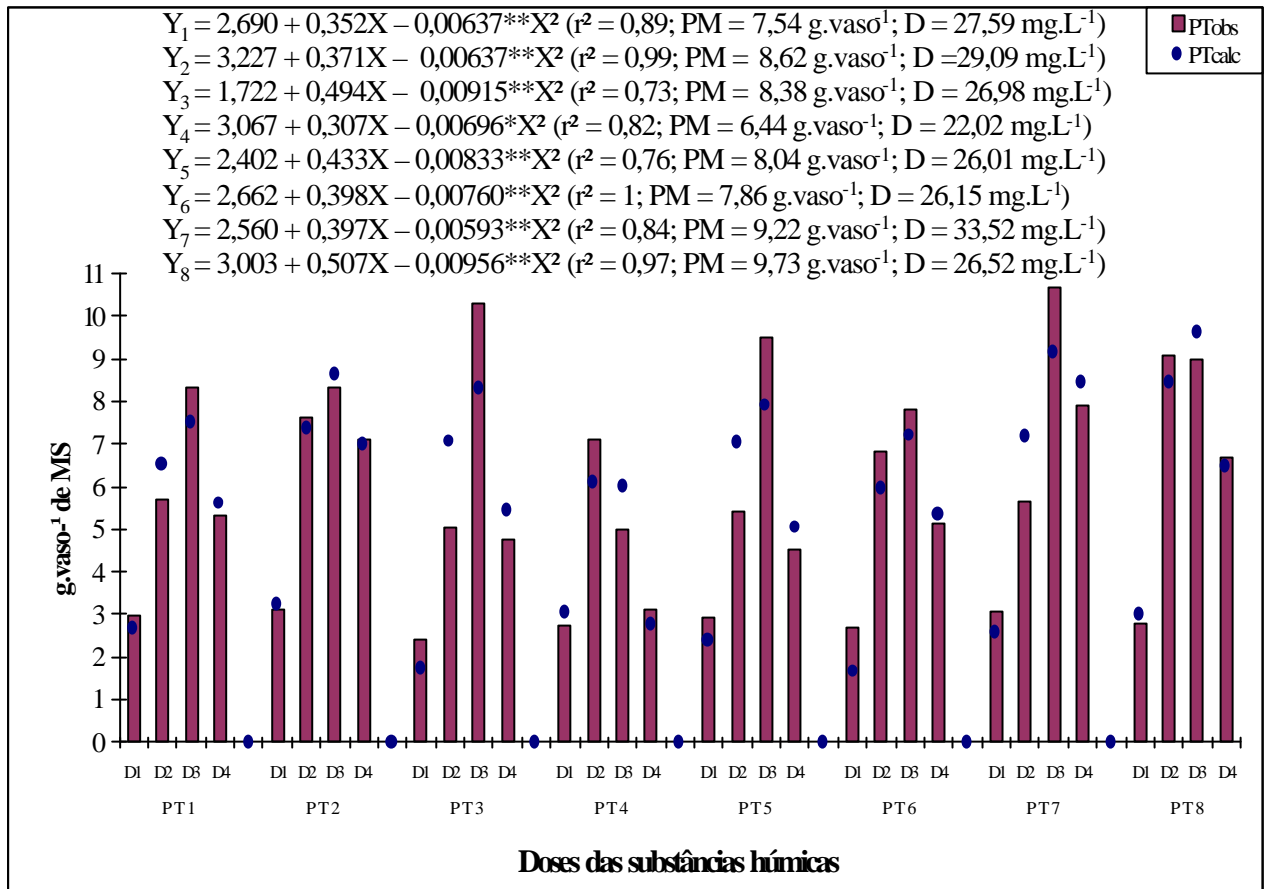


Figura 4 – Produção de MS da parte aérea da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas.

Assim, como para a produção de MV a acidez titulável, a relação C/N e a relação E4/E6 não foram bons indicadores para a produção de MS.

A magnitude dos valores dos acréscimos na produção de MS da parte aérea foram superiores aos registrados em outros trabalhos com alface. Silva et al. (2000i), com a cultivar *Aurélia*, constataram um aumento na produção de matéria seca da parte aérea de 257,49%, e Silva e Jablonski (1995), um aumento de 227,27% na produção de MS da parte aérea da alface *Baba de Verão*, com o uso de substâncias húmicas extraídas de um carvão da mina do Capané (Palermo CE-4200) na dose 30 mg.L⁻¹. Em outras cultura também tem se verificado o efeito destas substâncias sobre o crescimento da parte aérea. Ayuso et al. (1996a) constataram aumentos de 104,59% na produção de MS da parte aérea da cevada, e Silva et al. (1998c), acréscimos de até 47,39% na produção total de MS de forragem de azevém após quatro

cortes. No mesmo sentido, Silva et al. (1999b), observaram acréscimos de até 125,53% na produção de forragem de milho com a adição de substâncias húmicas.

Pelos resultados vistos, não se faz necessário a realização de pré-tratamentos na matéria-prima turfa JOSAPAR, visando a obtenção de substâncias húmicas, pois a utilização destes não elevou a produção de MS da parte aérea.

4.3 – Produção de Matéria Seca das Raízes

Assim como para a variável anterior, verifica-se que a produção de MS das raízes sofreu variação devido ao efeito das doses ($P < 0,01$), das substâncias húmicas utilizadas ($P < 0,01$) e da interação substâncias húmicas x doses ($P < 0,05$), com $CV = 19,91\%$, $EPM = 0,06$ g de $MS.vaso^{-1}$ e média = $3,08$ g de $MS.vaso^{-1}$ (Tabela I em Anexo). Os resultados das regressões polinomiais da interação substâncias húmicas x doses encontram-se na Figura 5. Foi obtida uma resposta quadrática para as doses, para todas as substâncias húmicas, verificando-se acréscimo máximo na produção de MS para a dose de 30 mg.L^{-1} . As curvas ajustadas por regressão que apresentaram os maiores pontos de máxima foram as das substâncias húmicas PT8 ($4,72\text{ g.vaso}^{-1}$), PT7 ($4,72\text{ g.vaso}^{-1}$), PT6 ($4,24\text{ g.vaso}^{-1}$) e PT2 ($4,14\text{ g.vaso}^{-1}$). Os coeficientes de determinação (r^2) obtidos foram no mínimo de $0,75$, indicando que pelo menos 75% da variação deveu-se às doses utilizadas. Cada uma das substâncias húmicas avaliadas apresentou uma dose calculada que mostrou maior capacidade de produção de MS de raízes e esta foi inferior a calculada na MS da parte aérea em cinco das oito substâncias húmicas avaliadas.

Na Tabela II (em Anexo), os resultados de produção de MS com a adição das substâncias húmicas foram comparados pelo teste de Tukey. Verifica-se que, na dose 30 mg.L^{-1} , as substâncias húmicas PT7 e PT8 foram superiores a PT1, PT3 e PT4. Porém, não houve diferença estatística entre a utilização de PT2, PT5 e PT6 e das outras cinco substâncias húmicas.

As maiores produções e incrementos foram obtidos com a utilização das substâncias húmicas PT7 ($5,43\text{ g.vaso}^{-1}$; $171,5\%$); PT8 ($5,17\text{ g.vaso}^{-1}$; $142,72\%$); PT6 ($4,33\text{ g.vaso}^{-1}$; $113,30\%$); PT5 ($4,1\text{ g.vaso}^{-1}$; $101,97\%$) e PT2 ($3,87\text{ g.vaso}^{-1}$; $93,50\%$) na dose de 30 mg.L^{-1} .

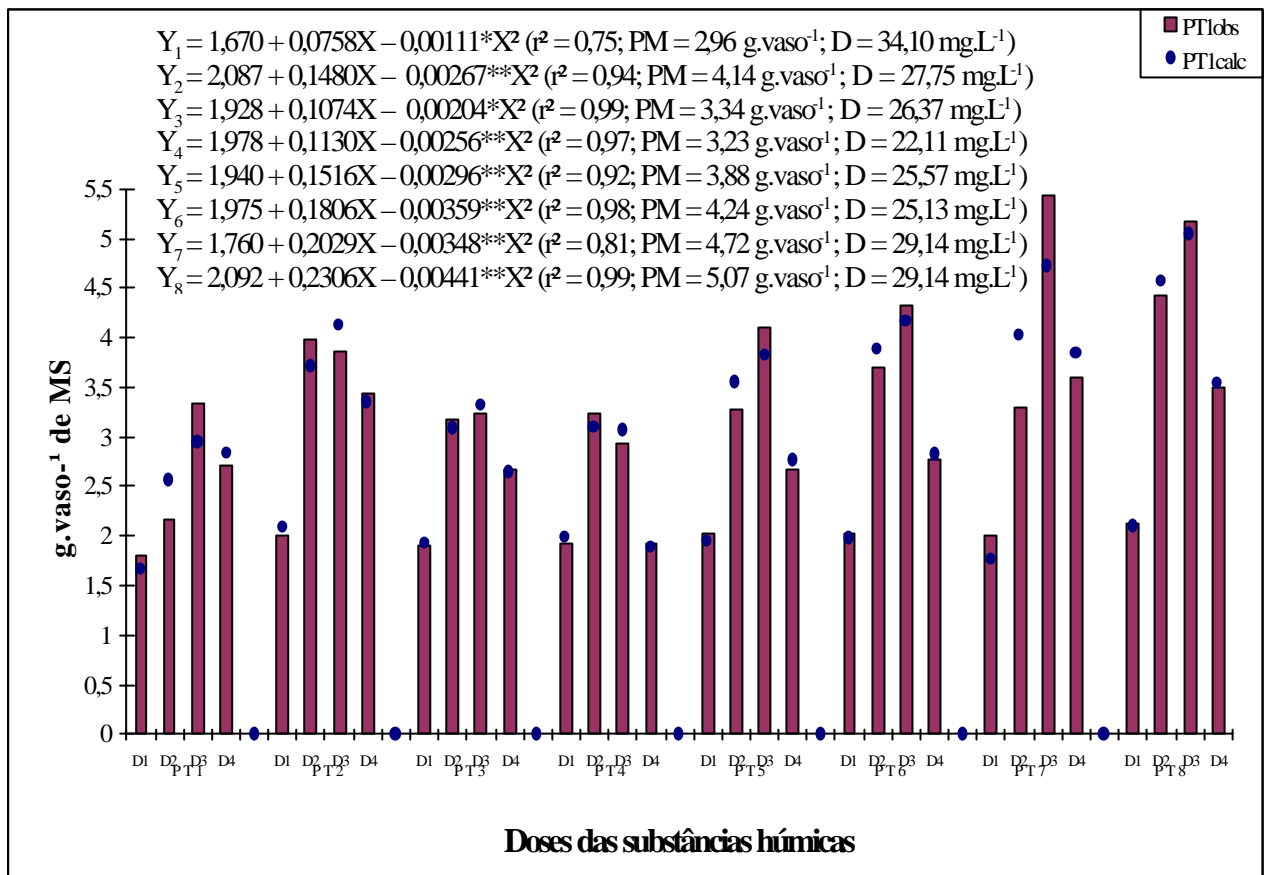


Figura 5 – Produção de MS das raízes da alfaca *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

Os resultados aqui apresentados foram inferiores aos obtidos por Silva e Jablonski (1995), que observaram um aumento de 237,04% na produção de MS das raízes do alface *Baba de Verão*, e por Silva et al. (1999i) que registraram um incremento de 240,16% na produção de matéria seca das raízes do alface cultivar *Aurélia*. Em outras culturas também se verificou um aumento na produção de MS das raízes. Rauthan e Schnitzer (1981) constataram um aumento de 142,10% em um trabalho com abóbora, e Ayuso et al. (1996a), observou um aumento na produção de MS das raízes da cevada de 62,50%; Silva et al. (1998b) obtiveram um aumento na produção das raízes da aveia preta, após quatro cortes, em 16,79%, e Silva et al. (1998d), elevaram em 49,23% a produção de MS de raízes do azevém após quatro cortes. No cultivo do milho, Silva et al. (1998f) obtiveram um aumento de 133,79%; Raina e Goswami (1988) conseguiram elevar em 108% a produção de MS das raízes do milho e Silva et al. (1999b) elevaram em 162,86% o peso seco das raízes.

A variação na produção de MS das raízes depende da substância húmica e da dose utilizadas. Após uma certa dose específica para cada espécie e para cada variedade, as substâncias húmicas presentes na solução apresentam uma carga de grupamentos carboxílicos e hidroxilas fenólicas superior à dos nutrientes presentes na solução nutritiva. De acordo com Rauthan e Schnitzer (1981), estes nutrientes se tornam menos disponíveis para as raízes das plantas, inibindo o desenvolvimento das mesmas.

4.4 – Teor de Nitrogênio na Matéria Seca da Parte Aérea

Pela análise de variância verifica-se o efeito significativo para o fator doses ($P < 0,01$), apresentando $CV = 14,06\%$, $EPM = 0,03\%$ e média = $2,08 \%$ (Tabela I em Anexo). O que indica que o teor de N é influenciado pelas doses de substâncias húmicas aplicadas.

A Figura 6 mostra que o teor de N na parte aérea apresentou um comportamento quadrático e aumentou até a dose de 30 mg.L^{-1} . Foi obtida a seguinte equação de regressão polinomial para o efeito das doses utilizadas: $Y = 1,628979 + 0,0584514X - 0,00110213X^2$ ($r^2 = 0,98$). Portanto, 98% da variação das médias do teor de N, devido aos níveis de substâncias húmicas, pode ser explicada pela regressão polinomial quadrática ajustada. O teor máximo (ponto de máximo da equação) calculado foi de 2,4%, tendo sido obtido com a utilização da dose calculada de $26,52 \text{ mg.L}^{-1}$.

Os maiores incrementos no teor de N foram devido à utilização das substâncias húmicas PT1 (2,56%), PT3 (2,53%) e PT8 (2,5%), na dose de 30 mg.L^{-1} , que elevaram o teor de N na matéria seca da parte aérea da alface *Maravilha de Verão* em 53,29%, 54,27% e 48,8%, respectivamente (Tabela II em Anexo). O incremento no teor de N variou de 44,44% com a utilização da substância húmica PT5 a 54,27% com o emprego da substância húmica PT3.

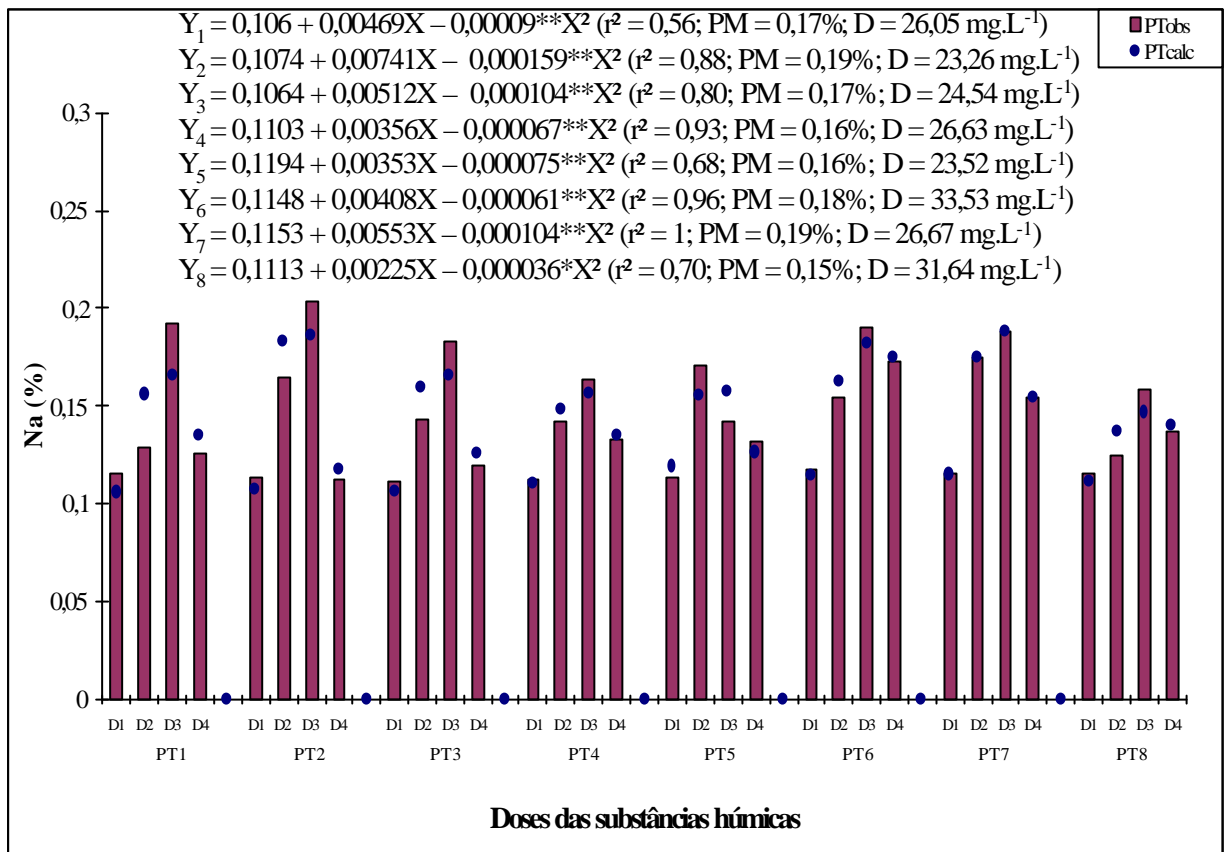


Figura 6 – Teor de N na matéria seca da parte aérea da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

As substâncias húmicas formam complexos com amônia, reduzindo a perda de N por volatilização, o que explica, em parte, o maior teor deste elemento em plantas cultivadas com adição de substâncias húmicas (Govindasamy e Chandrasekaran, 1992). Como estas substâncias interferem no processo de absorção de ferro pelas plantas, segundo Mengel e Kirkby (1987), ocorre a ligação dos complexos de Fe ao plasmalema seguida pela quebra dos complexos, e a absorção do Fe e sua concentração mais elevada nas folhas contribuem para a síntese de clorofila e para um maior teor de N nos tecidos vegetais. Ocorreu um aumento de 54,27% no teor de N da matéria seca da parte aérea da alface quando a dose de substâncias húmicas foi elevada de 0 para 30 mg.L^{-1} (Figura 5 e Tabela II em Anexos).

A utilização de substâncias húmicas aumentou a eficiência de utilização do N adicionado na solução nutritiva completa e apresentou significância para os efeitos das substâncias húmicas ($P < 0,01$), das doses ($P < 0,01$) e para a interação substâncias húmicas x

doses ($P < 0,05$), apresentando $CV = 7,16\%$, $EPM = 0,47\%$ e média = $64,53\%$ (Tabela I em Anexo). Verifica-se, pelos resultados apresentados na Tabela IV em Anexo, que a maior eficiência foi atingida com a dose de 30 mg.L^{-1} para sete das substâncias avaliadas, com exceção da PT3 que mostrou a maior efetividade com a dose de 15 mg.L^{-1} .

A análise de regressão polinomial mostrou significância para o efeito linear para PT4 e PT7 e significância para o efeito quadrático para as outras seis substâncias húmicas (Tabela VI em Anexo). Os maiores aproveitamentos do N foram obtidos com a utilização das substâncias húmicas PT1 ($75,85\%$), PT3 ($74,35\%$) e PT5 ($74,23\%$), que elevaram o aproveitamento deste elemento, respectivamente, em $30,98\%$, $29,6\%$ e $30,57\%$.

Em outras culturas também foram conseguidos aumentos no teor de N na parte aérea com a utilização de substâncias húmicas, e Raina e Goswami (1988), com milho, Ayuso et al. (1996a,b), com cevada, Silva et al. (2000e), com aveia-preta e Silva et al. (2000f), com milho, obtiveram, respectivamente, um aumento de $30,77\%$, $25,65\%$, $74,39\%$, $62,48\%$ e $147,61\%$. Este resultado também foi superior ao de Silva et al. (2000a), com azevém, em que substâncias húmicas utilizadas elevaram em $17,59\%$ o teor de N no primeiro corte, em $18,54\%$ no segundo, em $22,08\%$ no terceiro e em $35,23\%$ no quarto corte.

Os resultados obtidos com a substância húmica PT3 indicam que não há necessidade da utilização de pré-tratamentos visando a produção de alface com teores mais elevados de N.

4.5 – Teor de Nitrogênio na Matéria Seca das Raízes

A análise de variância (Tabela I em Anexo) acusou significância ($P < 0,01$) para as doses de substâncias húmicas utilizadas, apresentando $CV = 22,97\%$, $EPM = 0,02\%$ e média = $0,81\%$. A variação obtida no teor de N nas raízes foi devido unicamente ao efeito das doses utilizadas de substâncias húmicas.

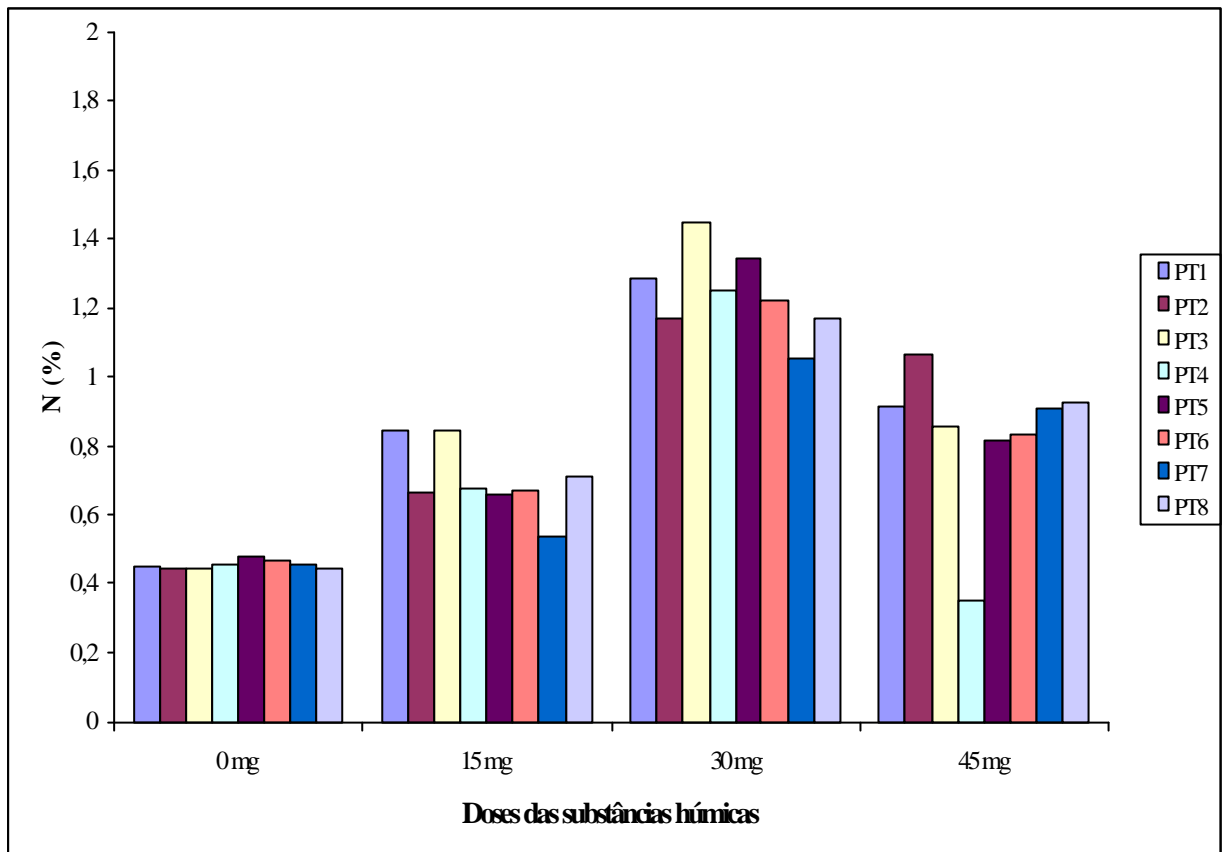


Figura 7 – Teor de N na matéria seca das raízes da alfaca *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

O resultado da análise de regressão polinomial para doses de substâncias húmicas (Figura 7) foi significativa para o efeito quadrático, com a seguinte equação de regressão polinomial: $Y = 0,392803 + 0,0439022X - 0,00072719**X^2$ ($r^2 = 0,76$), onde X = dose de substâncias húmicas e Y = teor de N na matéria seca das raízes. O coeficiente de determinação obtido indica que 76% da variação no teor de N é explicada pelas doses de substâncias húmicas. Pelas médias ajustadas a partir da equação, verifica-se que a medida que as doses aumentam o teor de N na matéria seca se eleva, até atingir o ponto de máximo 1,06%, com a dose calculada de 30,19 mg.L⁻¹.

Na Figura 7 e na Tabela IV (em Anexo), verifica-se que os maiores incrementos foram obtidos com a utilização das substâncias húmicas PT3 (1,45%), PT5 (1,34%) e PT1 (1,29%), na dose 30 mg.L⁻¹, que elevaram o teor de N na matéria seca das raízes da alfaca em 222,22%, 179,17% e 186,67%, respectivamente.

Em outras culturas também foram conseguidos aumentos no teor de N nas raízes com o emprego de substâncias húmicas. Ayuso et al. (1996a), com cevada, Silva et al. (2000f), com milho, e Silva et al. (2000g), com milho, obtiveram, respectivamente, um aumento de 7,39%, 147,61% e 111,32%.

Pelos resultados obtidos neste ensaio não se faz necessário a utilização de pré-tratamentos para a matéria-prima utilizada.

4.6 – Teor de Fósforo na Matéria Seca da Parte Aérea

O teor de P foi afetado significativamente pelo efeito de doses ($P < 0,01$). Foi obtido um teor médio de 0,38%, um EPM de 0,007% e um CV = 19,11% (Tabela III em Anexo). A análise de regressão polinomial apresentou significância para o efeito quadrático, com a seguinte equação: $Y = 0,294290 + 0,0086415X - 0,00013995**X^2$ ($r^2 = 0,98$), com PM= 0,43% na dose calculada de 30,87 mg.L⁻¹ das substâncias húmicas, valor este próximo a dose de 30 mg.L⁻¹ avaliada.

Os teores mais elevados foram obtidos com a utilização de PT6 e PT7 que mostraram um teor de 0,47% na dose de 30 mg.L⁻¹ e elevaram o teor de P na matéria seca da parte aérea em 34,29% (Figura 8 e Tabela IV em Anexo). Entretanto, o maior incremento no teor de P ocorreu com a utilização de PT3 e PT8, que elevaram o teor deste elemento em 53,57%, quando a dose de substâncias húmicas foi elevada de 0 para 30 mg.L⁻¹.

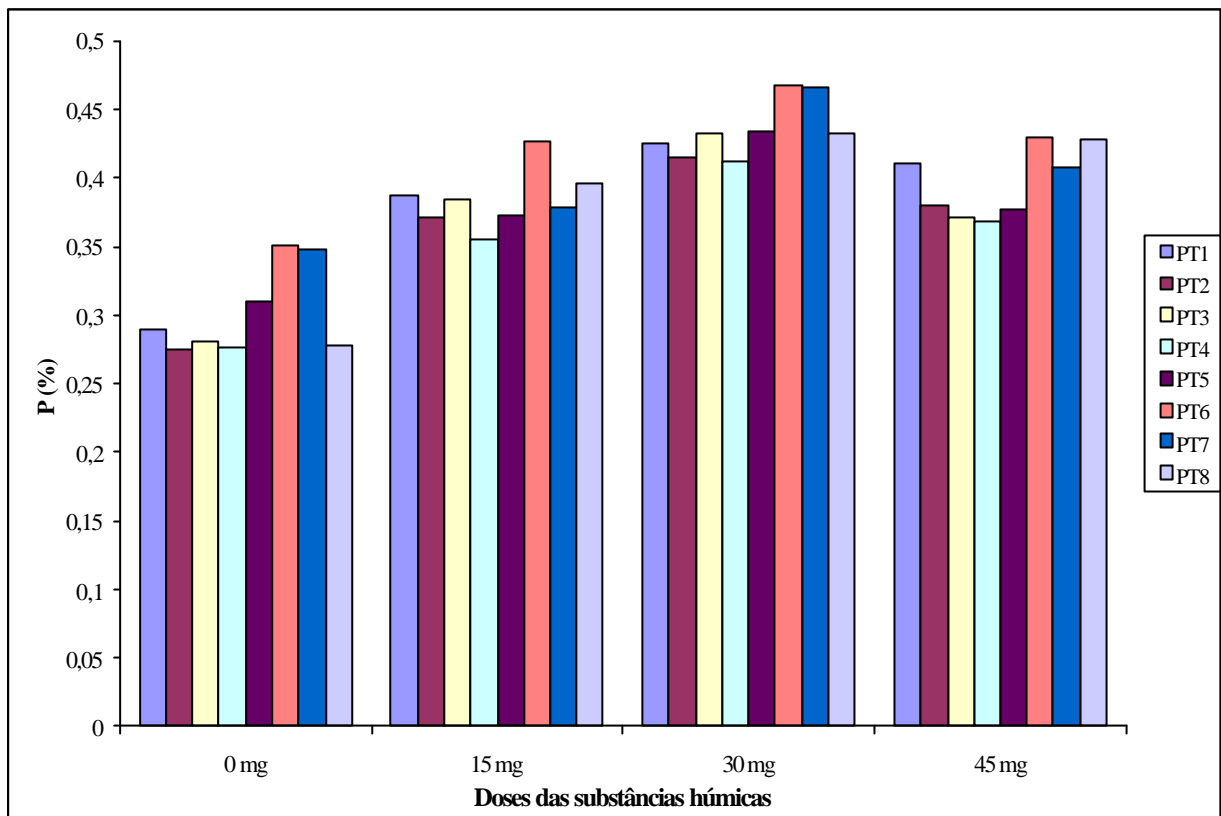


Figura 8 – Teor de P na matéria seca da parte aérea da alfaca *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

A eficiência de utilização do P foi afetada significativamente pelas substâncias húmicas e pelas doses (Tabela III em Anexo), apresentando um CV = 11,74%, uma média de 51,77% e um EPM de 0,62%. A análise de regressão apresentou significância para o efeito quadrático, com a seguinte equação: $Y = 34,357 + 1,6201X - 0,02417X^2$ ($r^2 = 0,89$), com PM = 61,50% na dose calculada de 33,51 mg.L⁻¹. O melhor resultado foi alcançado com PT1, que apresentou uma maior eficiência na utilização do P que a PT6. Porém, não há diferença estatística entre os teores de P obtidos na dose 30 mg com a utilização de PT2, PT3, PT4, PT5, PT7, PT8 e os teores obtidos com PT1 e PT6, pois médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os melhores resultados foram obtidos com PT1 (68,14%) PT7 (62,87%) e PT3 (62,8%), que elevaram o aproveitamento do P, respectivamente, em 93,03%, 84,37% e 83,2% (Tabela V em Anexo).

Este efeito já havia sido relatado por Raina e Goswami (1988), que demonstraram que ocorre a formação de fosfo-humatos, que são facilmente absorvíveis pelas plantas. O efeito

deletério observado para o teor de P pode ser explicado por um desequilíbrio causado pelo aumento de seu teor acima das necessidades das plantas (Ayuso et al., 1996a) e por um efeito fito-hormonal que acima de uma concentração específica para cada substância húmica, é fitotóxico.

Outros trabalhos têm sido realizados com o objetivo de avaliar o efeito de substâncias húmicas sobre o teor de P, e em outras culturas também foram registrados aumentos no teor de P com a utilização de substâncias húmicas. Fortun et al. (1986a), com azevém perene, Silva et al. (2000e), com aveia-preta e Raina e Goswami (1988), com milho, obtiveram, respectivamente, um aumento de 25%, 123,56% e 300%. Silva et al. (2000a), com azevém comum, elevaram em 31,60% o teor de P no primeiro corte, em 19,32% no segundo, em 25,28% no terceiro e em 36,82% no quarto. Silva et al. (2000h), com aveia-preta, obtiveram um incremento no teor de P de 6,99% no primeiro corte, de 31,45% no segundo, de 20,64% no terceiro e de 23,90% no quarto corte.

4.7 – Teor de Fósforo na Matéria Seca das Raízes

A análise de variância desta variável mostrou significância para os efeitos das substâncias húmicas, das doses e para a interação substâncias húmicas x doses ($P < 0,01$), apresentando $CV = 23,65\%$, $EPM = 0,004\%$ e média = 0,18% (Tabela III em Anexo). Como houve variação no teor de P das raízes devido ao efeito da interação entre as substâncias húmicas utilizadas e as doses cada uma das substâncias apresentou uma resposta específica quanto ao teor de P na matéria seca das raízes. As regressões polinomiais da interação mostraram significância para o efeito quadrático, e os coeficientes de determinação (r^2) variaram entre 0,65 a 0,99.

Os maiores pontos de máxima foram atingidos com a utilização destas mesmas substâncias húmicas, tendo sido registrados os seguintes resultados: PT1 – 0,37% na dose calculada de $29,40 \text{ mg.L}^{-1}$ e PT6 – 0,33% na dose calculada de $35,76 \text{ mg.L}^{-1}$.

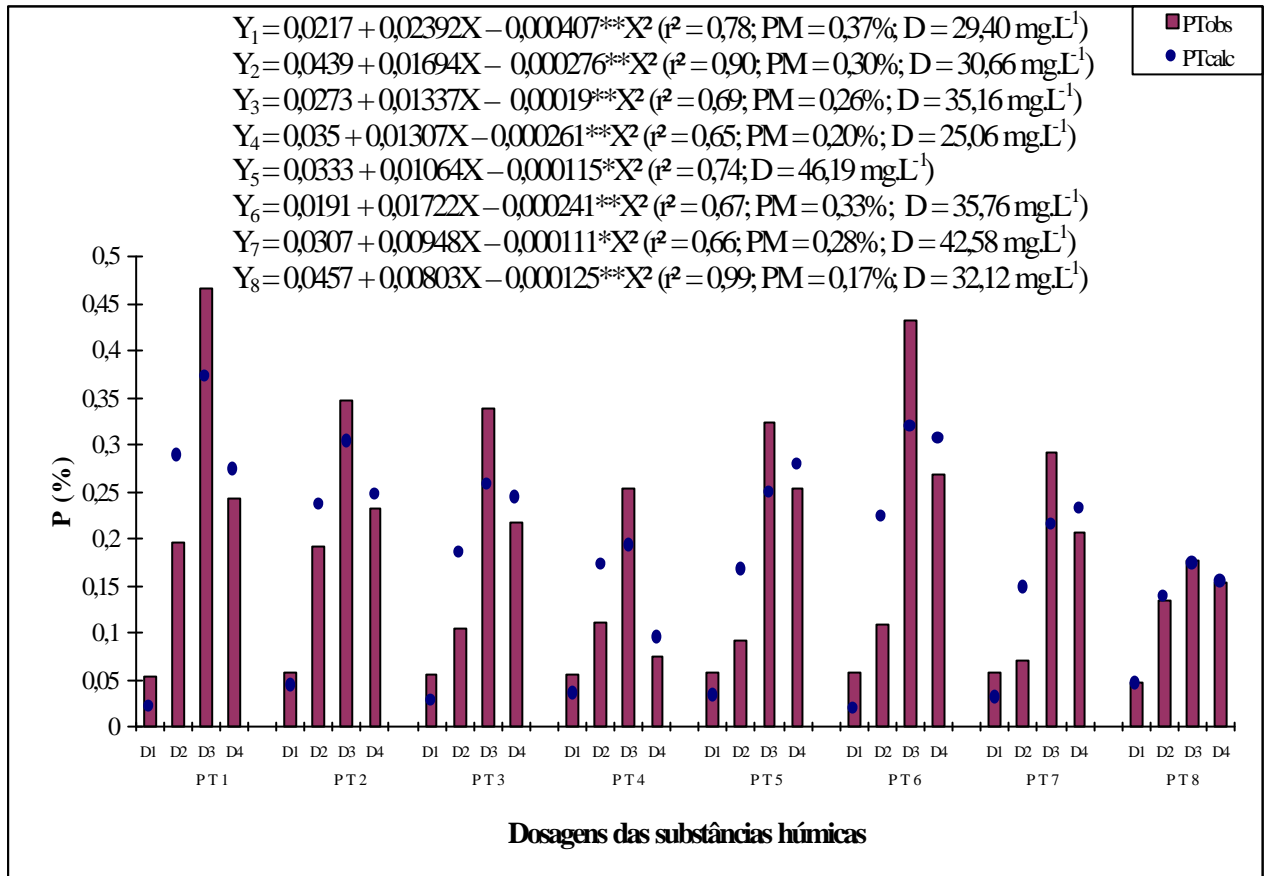


Figura 9 – Teor de P na matéria seca das raízes da alfaca *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

Na Tabela IV (em Anexo), os resultados dos teores de P com a adição das substâncias húmicas foram comparados pelo teste de Tukey. Verifica-se que, a substância húmica PT1 na dose 30 mg.L^{-1} foi superior a PT2, PT3, PT4, PT5, PT7 e PT8, pois médias seguidas por letras distintas diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%. Os resultados de PT1 e PT6 não apresentaram diferença em termos de teores de N nas raízes. Nesta dosagem PT2, PT3, PT5 e PT7 foram superiores a PT8 e os resultados obtidos com PT2, PT3, PT4, PT5 e PT7 não apresentaram diferença.

Os teores mais elevados e incrementos foram obtidos com a utilização das substâncias húmicas PT1 (0,47%) e PT6 (0,43%), na dose 3 (30 mg.L^{-1}), que elevaram o teor de P na matéria seca das raízes da alfaca em 786,79% e 754,39%, respectivamente. Contudo os piores resultados foram obtidos com PT4 e PT8, que elevaram o teor de P nas raízes em 357,94% e 279,27%, respectivamente (Tabela IV em Anexo e Figura 9).

Existem alguns trabalhos com outras culturas que verificaram aumentos no teor de P das raízes com a utilização de substâncias húmicas. Ayuso et al. (1996a), com cevada, e Silva et al. (2000g), com milho, obtiveram, respectivamente, um aumento de 80,28% e 71,08%.

4.8 – Teor de Potássio na Matéria Seca da Parte Aérea

Houve significância para os efeitos de doses ($P < 0,01$). Foi obtido um teor médio de 4,62%, EPM = 0,03% e um CV = 6,28% (Tabela III em Anexo).

O resultado da análise de regressão polinomial para doses apresentou significância para o efeito quadrático, tendo sido obtida a curva de regressão $Y = 4,1129 + 0,05467X - 0,000912X^2$ ($r^2 = 0,96$), que permitiu a obtenção do ponto de máxima de 4,93% na dose calculada 29,98 mg.L⁻¹. Na Figura 10, verifica-se que o aumento no teor de K na matéria seca da parte aérea da alface aumenta com a utilização das substâncias húmicas até a dose de 30 mg.L⁻¹.

Os melhores resultados foram obtidos com a utilização da dose de 30 mg.L⁻¹ das substâncias húmicas PT2, PT6 e PT3. Na Figura 10 e na Tabela V em Anexo, verifica-se que PT2 (5,3%), PT6 (5,24%) e PT3 (5,08%) elevaram o teor de K na matéria seca da parte aérea, respectivamente, em 28,73%, 26,63% e 25,82%.

A eficiência na utilização de K pelas plantas de alface foi afetada significativamente pela utilização das substâncias húmicas, das doses e pela interação entre substâncias húmicas e doses, apresentando um CV = 5,25%, um EPM = 0,43% e uma média geral igual a 80,08% (Tabela III em Anexo). As substâncias húmicas PT1, PT4, PT5, PT7 e PT8 apresentaram uma maior eficiência na utilização do K com a dose de 30 mg.L⁻¹. Para PT2, PT3 e PT6, a dose com maior efetividade foi a de 45 mg.L⁻¹ (Tabela V em Anexo). A análise de regressão polinomial mostrou significância para o efeito linear para a substância húmica PT6 e quadrático para as outras sete (Tabela VI em Anexo). Para a PT6 foi obtido um aumento de 0,86% na eficiência de utilização do K para cada mg.L⁻¹ de substância húmica adicionada.

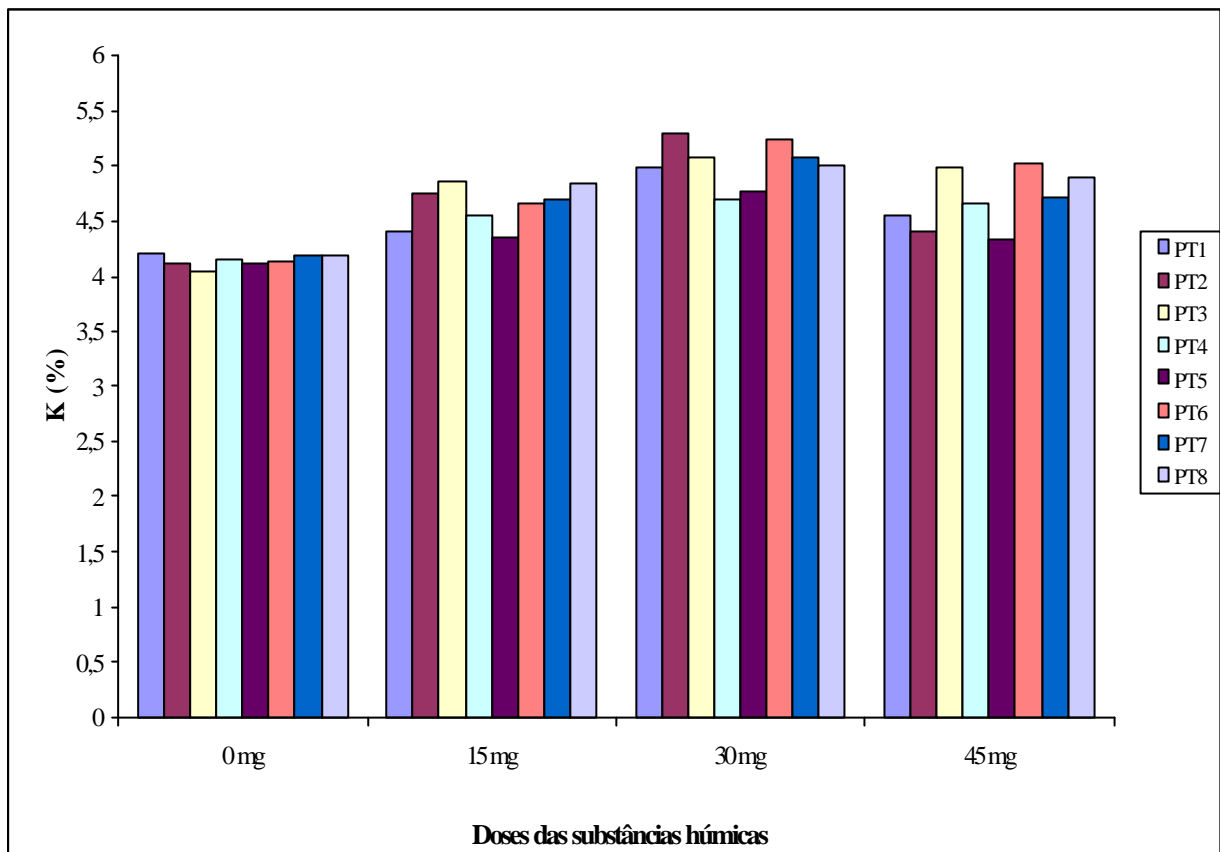


Figura 10 – Teor de K na matéria seca da parte aérea da alfaca *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

O efeito sobre o K foi menos pronunciado que o observado sobre os outros macronutrientes anteriormente apresentados, já tendo este resultado sido constatado anteriormente em outros trabalhos científicos (Raina e Goswamy, 1988; Govindasamy e Chandrasekaran, 1992; Ayuso et al. 1996a). Assim como para os elementos anteriormente analisados, o efeito das substâncias húmicas ocorre até uma determinada dose específica (Pinton et al., 1992), e foi calculada uma dose específica para cada uma das substâncias húmicas avaliadas. Pinton et al. (1992) demonstraram que as moléculas de substâncias húmicas atuam sobre a membrana da parede celular elevando a absorção de nutrientes devido à alteração na permeabilidade da membrana e observaram que concentrações muito elevadas de substâncias húmicas específicas para cada substância húmica podem, inclusive, danificar a parede celular.

Outros experimentos têm comprovado o efeito das substâncias húmicas sobre o teor de

K nas plantas. Ayuso et al. (1996c), com cevada, Govindasamy e Chandrasekaran (1992), com cana de açúcar, e Silva et al. (2000e), com aveia-preta, obtiveram um aumento no teor de K, respectivamente, de 15,91%, 14,10%, 35,54%. Silva et al. (2000a), com azevém, aumentaram o teor de K em 42,07% no primeiro corte, em 24,89% no segundo, em 18,11% no terceiro e em 36,70% no quarto corte e Silva et al. (2000h), com aveia-preta, elevaram o teor de K em 35,78% no corte 1, em 19,69% no corte 2, em 29,67% no corte 3 e em 14,50% no corte 4.

4.9 – Teor de Potássio na Matéria Seca das Raízes

A análise de variância para esta variável mostrou significância para os efeitos das substâncias húmicas, das doses e para a interação substâncias húmicas x doses ($P < 0,01$), apresentando $CV = 18,38\%$, $EPM = 0,023\%$ e média geral = 1,22% (Tabela III em Anexo).

A análise de regressão polinomial mostrou significância para o efeito linear para a substância húmica PT3 e quadrático para todas as outras substâncias húmicas avaliadas (Figura 11). O diagrama de dispersão ou de pontos de observação, no entanto, muitas vezes indica uma curva. Outras vezes a relação é aproximadamente linear para uma amplitude limitada de valores de X, mas torna-se curvilínea quando estudada em uma amplitude maior. Por exemplo, a resposta do teor de K na matéria seca da parte aérea devido a adição de doses de PT3 é aproximadamente linear para doses baixas; os incrementos no teor porém, tornam-se paulatinamente menores com doses crescentes de substâncias húmicas, tomando a regressão uma forma não linear.

As curvas de regressão quadráticas permitiram a obtenção dos pontos de máxima e, como pode ser verificado na Figura 11, os maiores pontos de máxima foram obtidos com a utilização de PT1 (2,39%), PT2 (2,13%) e PT6 (2,11%). Os coeficientes de determinação (r^2) variaram entre 0,69 e 0,84. Na Tabela V (em Anexo), os resultados dos teores de K com a adição das substâncias húmicas foram comparados pelo teste de Tukey. Verifica-se que, PT1, PT2 e PT6, na dose 30 mg.L^{-1} , foram superiores a PT3, PT4, PT5, PT7 e PT8.

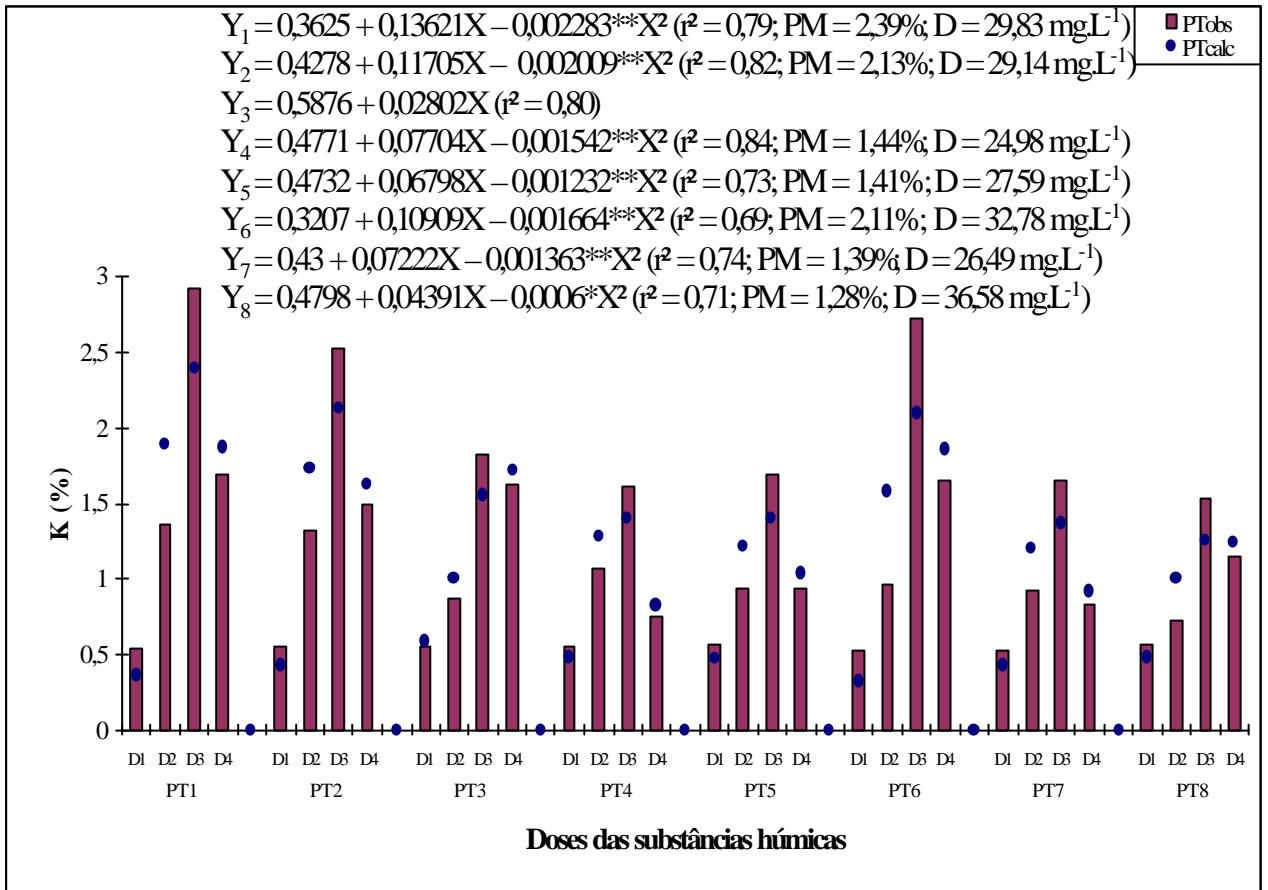


Figura 11 – Teor de K na matéria seca das raízes da alfafa *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

Os melhores resultados foram alcançados com a utilização da dose 30 mg.L^{-1} de PT1 (2,930%), PT6 (2,72%) e de PT2 (2,53%), que aumentaram o teor de K na matéria seca das raízes do alfafa, respectivamente, em 442,55%, 414,82% e 351,01%, quando a dose de substâncias húmicas foi elevada de 0 para 30 mg.L^{-1} (Figura 11 e Tabela V em Anexos).

Outros experimentos têm comprovado o efeito das substâncias húmicas sobre o teor deste elemento nas raízes das plantas. Silva et al. (2000f), com milho, obtiveram um aumento no teor de K de 276,41% e Maggioni et al. (1987), com aveia, verificaram um aumento na taxa de absorção de K^+ de 33%, quando comparado à testemunha, confirmando o efeito destas substâncias sobre a taxa de absorção dos nutrientes.

4.10 – Teor de Cálcio na Matéria Seca da Parte Aérea

A análise de variância desta variável mostrou significância para o efeito das doses ($P < 0,01$), apresentando CV= 14,72%, EPM = 0,023% e média = 1,56% (Tabela VII em Anexo).

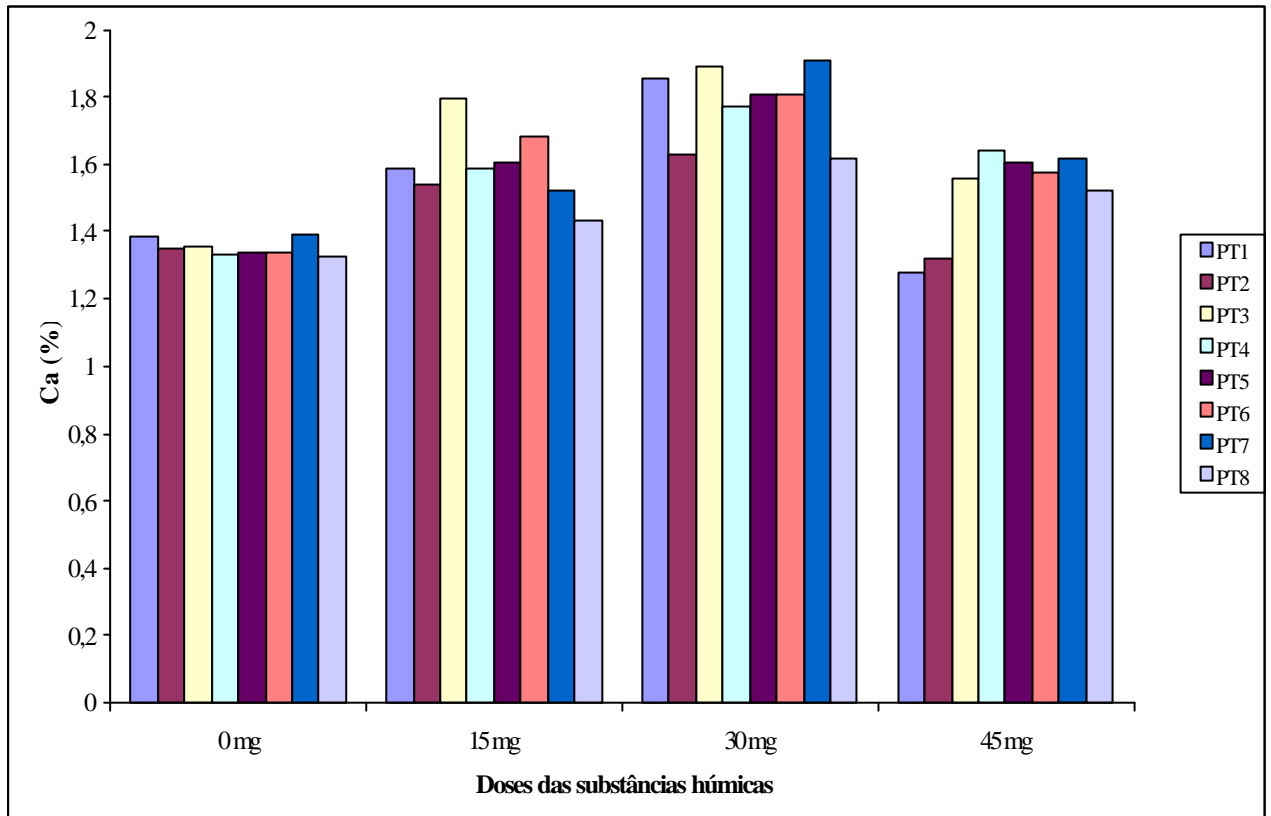


Figura 12 – Teor de Ca na matéria seca da parte aérea da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

O resultado da análise de regressão polinomial apresentou significância para o efeito quadrático, com a seguinte equação: $Y = 1,3311 + 0,03027X - 0,000572X^2$ ($r^2 = 0,96$), onde X = dose de substâncias húmicas e Y = teor de Ca na matéria seca da parte aérea. O coeficiente de determinação obtido indica que 96% da variação no teor de Ca é explicada pelas doses de substâncias húmicas. As doses utilizadas possibilitaram que o ponto de máxima 1,73% fosse atingido com a adição de 26,46 mg.L⁻¹ de substâncias húmicas.

Na Figura 12 e na Tabela VIII (em Anexo), observa-se que os teores mais elevados foram alcançados na dose de 30 mg.L⁻¹ com a adição das substâncias húmicas PT1 (1,86%), PT3 (1,89%), PT6 (1,81%) e PT7 (1,91%), na dose de 30 mg.L⁻¹, que elevaram o teor de Ca em 34,37%, 39,91%, 35,07% e 36,90%, respectivamente, quando comparado com a testemunha na dose 0 mg.L⁻¹.

Outros trabalhos têm sido realizados com o objetivo de verificar o efeito de substâncias húmicas sobre macronutrientes. Fagbenro e Agboola (1993), com *Tectona grandis*, espécie florestal da Nigéria, cultivada com adição de ácidos húmicos, obtiveram um aumento no teor de Ca de 129,85%. Govindasamy e Chandrasekaran (1992), com cana de açúcar, e Silva et al. (2000e), com aveia-preta, verificaram um aumento no teor de Ca da forragem de 55,88% e 88,76%, respectivamente. Segundo Silva et al. (2000h), a utilização de substâncias húmicas extraídas de carvões elevaram o teor de cálcio na forragem de aveia-preta em 34,62% no corte 1, em 18,23% no corte 2, em 16,73% no corte 3 e em 119,62% no corte 4, e Silva et al. (2000a), com quatro cortes de azevém, observaram que os teores de Ca se elevaram em 48,28% no primeiro corte; em 23,12% no segundo, em 26,13% no terceiro e em 48,42% no quarto, devido ao efeito das doses e das substâncias húmicas utilizadas.

Pelos resultados obtidos não se recomendaria o pré-tratamento da matéria-prima turfa JOSAPAR com os pré-tratamentos utilizados, pois não houve variação devido ao efeito das substâncias húmicas utilizadas.

4.11 – Teor de Cálcio na Matéria Seca das Raízes

O teor médio de cálcio foi de 0,25% com um CV = 27,26%, um EPM = 0,007% e os teores de Ca foram influenciados pelas substâncias húmicas e pelas doses ($P < 0,01$) (Tabela VII em Anexo). A análise de regressão polinomial para doses mostrou significância para o efeito quadrático ($Y = 0,1419 + 0,01225X - 0,000213**X^2$ ($r^2 = 0,68$)), apresentando como ponto de máxima um teor de 0,32% na dose calculada 28,69 mg.L⁻¹. Na Figura 13, verifica-se que o teor de Ca na matéria seca das raízes aumentou com a utilização das substâncias húmicas até a dose 30 mg.L⁻¹.

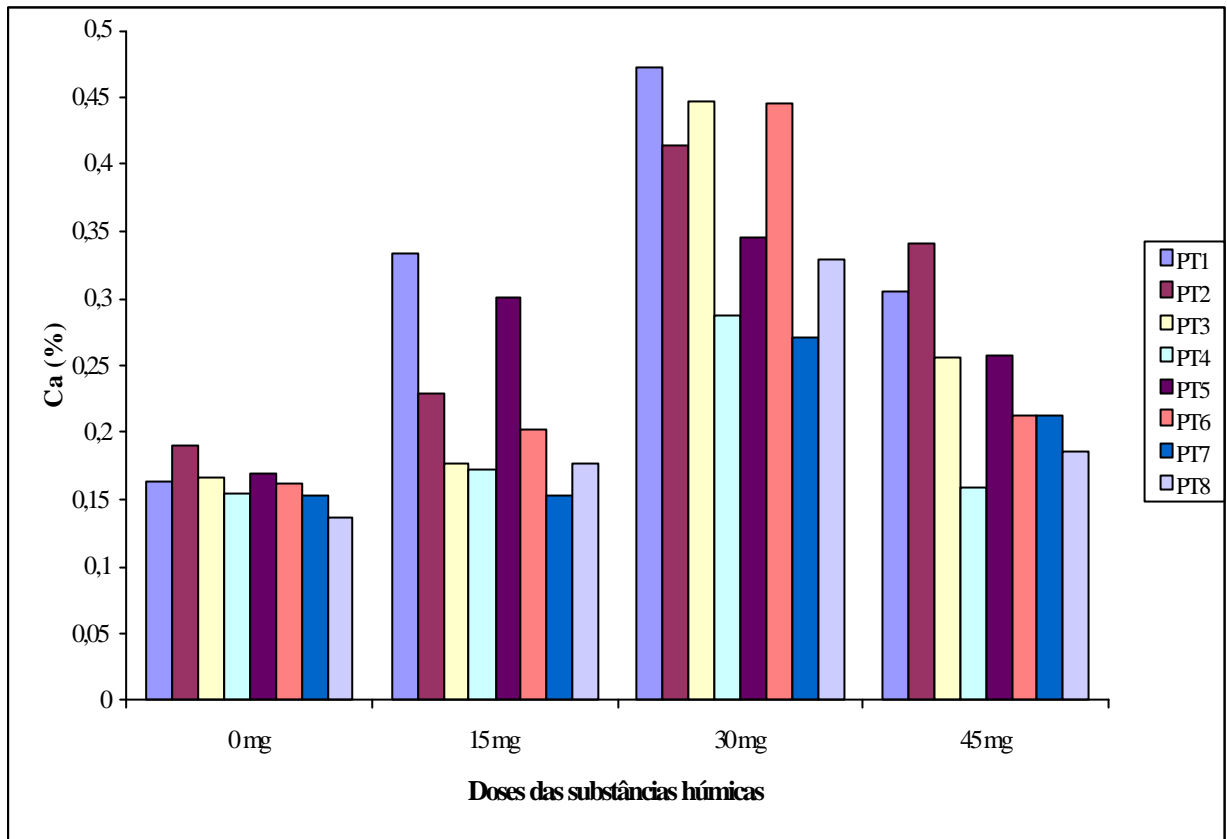


Figura 13 – Teor de Ca na matéria seca das raízes da alfaca *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

Na Tabela VIII (em Anexo), os resultados médios dos teores de Ca (%) com a adição das substâncias húmicas foram comparados pelo teste de Tukey. Verifica-se que, a substância húmica PT1 foi significativamente superior a PT4 e PT7 ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Os resultados médios obtidos com a utilização de PT2, PT3, PT4, PT5, PT6 e PT8 não diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey. Os resultados médios obtidos com PT1, PT2, PT3, PT5, PT6 e PT8 também não apresentaram diferença estatística, pois médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Verifica-se que, PT1 (0,47% na dose 30 mg.L⁻¹) foi a mais eficiente em aumentar o teor de Ca elevando-o em 190,04%, quando comparado com a testemunha na dose 0 mg.L⁻¹ (Figura 13 e Tabela VIII em Anexo).

Outros trabalhos têm sido realizados com o objetivo de verificar o efeito de substâncias húmicas sobre macronutrientes. Silva et al. (2000f), com milheto, e Silva et al. (2000g), com milho, obtiveram, respectivamente, um aumento no teor de Ca da forragem de 135,33% e 88,76%.

4.12 – Teor de Magnésio na Matéria Seca da Parte Aérea

Houve significância para o efeito das substâncias húmicas e doses ($P < 0,01$), apresentando $CV = 11,95\%$, $EPM = 0,006\%$ e média geral = $0,52\%$ (Tabela VII em Anexo). A adição de substâncias húmicas aumentou o teor de Mg na matéria seca da parte aérea até a dose de 30 mg.L^{-1} (Figura 14).

O resultado da análise de regressão polinomial mostrou significância para o efeito quadrático, com a equação $Y = 0,4528 + 0,01115X - 0,000229X^2$ ($r^2 = 0,87$), onde X = dose de substâncias húmicas e Y = teor de Mg na matéria seca da parte aérea. O coeficiente de determinação obtido indica que 87% da variação no teor de Mg é explicada pelas doses de substâncias húmicas. As doses utilizadas possibilitaram o cálculo do ponto de máxima $0,59\%$ de Mg na dose calculada $24,34 \text{ mg.L}^{-1}$.

Na Tabela VIII (em Anexo), os resultados médios dos teores de Mg com a adição das substâncias húmicas foram comparados pelo teste de Tukey. Verifica-se que, a substância húmica PT5 foi significativamente superior a PT2, pois médias seguidas de letras distintas diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Os resultados médios obtidos com a utilização de PT1, PT3, PT4, PT5, PT6, PT7 e PT8 não apresentaram diferença em termos de teores médios de Mg na parte aérea. Assim como os resultados médios de PT1, PT2, PT3, PT4, PT6, PT7 e PT8 não apresentaram diferença.

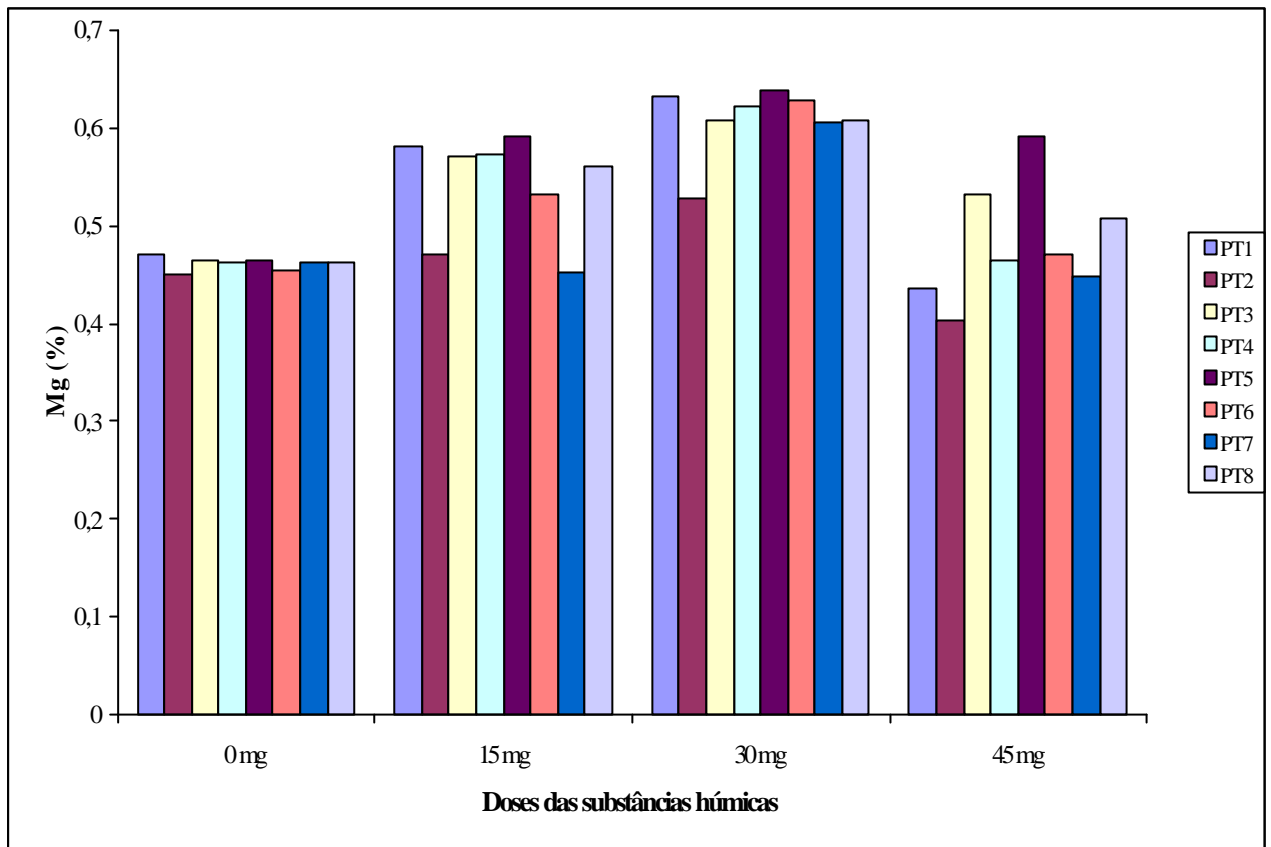


Figura 14 – Teor de Mg na matéria seca da parte aérea da alfaca *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

A substância húmica PT5 possibilitou a obtenção do teor mais elevado de Mg – 0,64% na dose 30 mg.L⁻¹ o que elevou o teor deste elemento em 37,5%, quando comparado com a testemunha na dose 0 mg.L⁻¹ (Figura 14 e Tabela VIII em Anexo).

Em outros trabalhos com outras culturas vegetais também tem-se verificado o aumento do teor de Mg. Govindasamy e Chandrasekaran (1992), com cana de açúcar, e Silva et al. (2000e), com aveia-preta, obtiveram um aumento no teor de Mg da forragem de 17,39% e 54,39%, respectivamente. Silva et al. (2000h), com aveia-preta, elevaram em 17,04% o teor de Mg da forragem da aveia-preta no corte 1, em 14,84% no corte 2, em 27,72% no corte 3 e em 32,80% no corte 4, devido ao efeito das doses e das substâncias húmicas utilizadas. Silva et al. (2000a), com quatro cortes de azevém, observaram que os teores de Mg se elevaram em 31,19% no primeiro corte do azevém, em 23,16% no segundo, em 35,08% no terceiro e em 35,42% no quarto corte.

Os resultados não recomendariam a utilização dos pré-tratamentos, pois a substância húmica PT3 não foi significativamente inferior a nenhuma das outras.

4.13 – Teor de Magnésio na Matéria Seca das Raízes

A análise de variância da variável teor de Mg na matéria seca das raízes (Tabela VII em Anexo) apresentou significância ($P < 0,01$) para substâncias húmicas e doses e para a interação entre substâncias húmicas x doses. A média geral obtida foi de 0,11% de Mg na matéria seca das raízes com um CV = 22,52% e um EPM = 0,002%. Os resultados apresentados na Figura 15 demonstraram que cada uma das substâncias húmicas avaliadas apresentou uma resposta específica sobre o teor de Mg nas raízes.

A análise de regressão polinomial para a interação entre substâncias húmicas x doses acusou significância para o efeito quadrático para todas as substâncias húmicas avaliadas, e os coeficientes de determinação (r^2) das equações de regressão polinomial variaram de 0,63 a 1 (Figura 15). As curvas de regressão apresentadas na Figura 15 possibilitaram o cálculo da dose em que cada uma das substâncias húmica foi mais efetiva e, nesta dose, o ponto de máxima foi obtido, com exceção da equação de regressão polinomial para PT3. Neste experimento, verifica-se que PT1, PT6 e PT7, possibilitaram que fossem alcançados os teores mais elevados deste elemento, que foram, respectivamente, de 0,21%, 0,16% e 0,15% nos seus pontos de máximo.

Os resultados dos teores de Mg com a adição das substâncias húmicas foram comparados pelo teste de Tukey (Tabela VIII em Anexo). Verifica-se que, na dose de 30 mg.L⁻¹, PT1 foi significativamente superior a PT4 e PT5. Os resultados médios obtidos com a utilização de PT1, PT2, PT3, PT6 e PT7 e PT8 não apresentaram diferença em termos de teores médios de Mg nas raízes. Assim como os resultados obtidos com a adição de PT2, PT3, PT4, PT5, PT7 e PT8 não apresentaram diferença. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

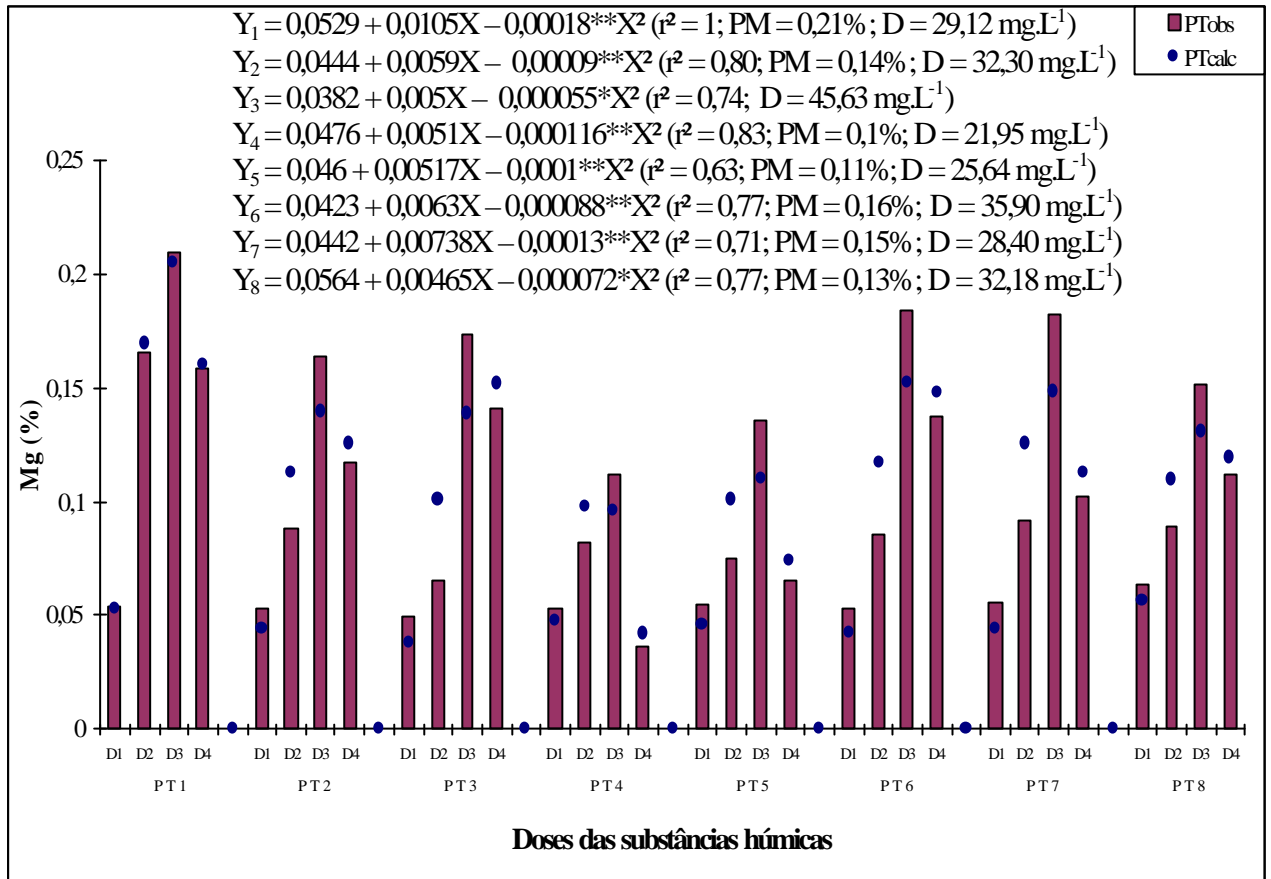


Figura 15 – Teor de Mg na matéria seca das raízes da alfaca *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

A adição de PT1, PT6 e PT7 possibilitou a obtenção dos teores mais elevados e permitiu a obtenção, respectivamente, de 0,21%, 0,18% e 0,18% de Mg na matéria seca das raízes. Estas substâncias adicionadas na dose de 30 mg.L^{-1} elevaram o teor de Mg quando comparada com a testemunha na dose 0 mg.L^{-1} em 288,89%, 239,62% e 227,27%, respectivamente (Figura 15 e Tabela VIII em Anexo).

Em outros trabalhos com outras culturas vegetais também tem-se verificado o aumento do teor de Mg nas raízes em cultivos com adição de substâncias húmicas. Silva et al. (2000f), com milho, e Silva et al. (2000g), com milho, obtiveram um aumento no teor de Mg da forragem de 176,49% e 109,14%, respectivamente.

4.14 – Teor de Enxofre na Matéria Seca da Parte Aérea

O teor de S na matéria seca da parte aérea sofreu variação unicamente devido ao efeito das doses utilizadas ($P < 0,01$), apresentando $CV = 9,64\%$, $EPM = 0,002\%$ e média geral = $0,21\%$ (Tabela VII em Anexo). O resultado da análise de regressão polinomial mostrou significância para o efeito quadrático $Y = 0,159860 + 0,0046654X - 0,00007578X^2$ ($r^2 = 0,99$), com o ponto de máxima de $0,23\%$ na dose calculada de $30,78 \text{ mg.L}^{-1}$.

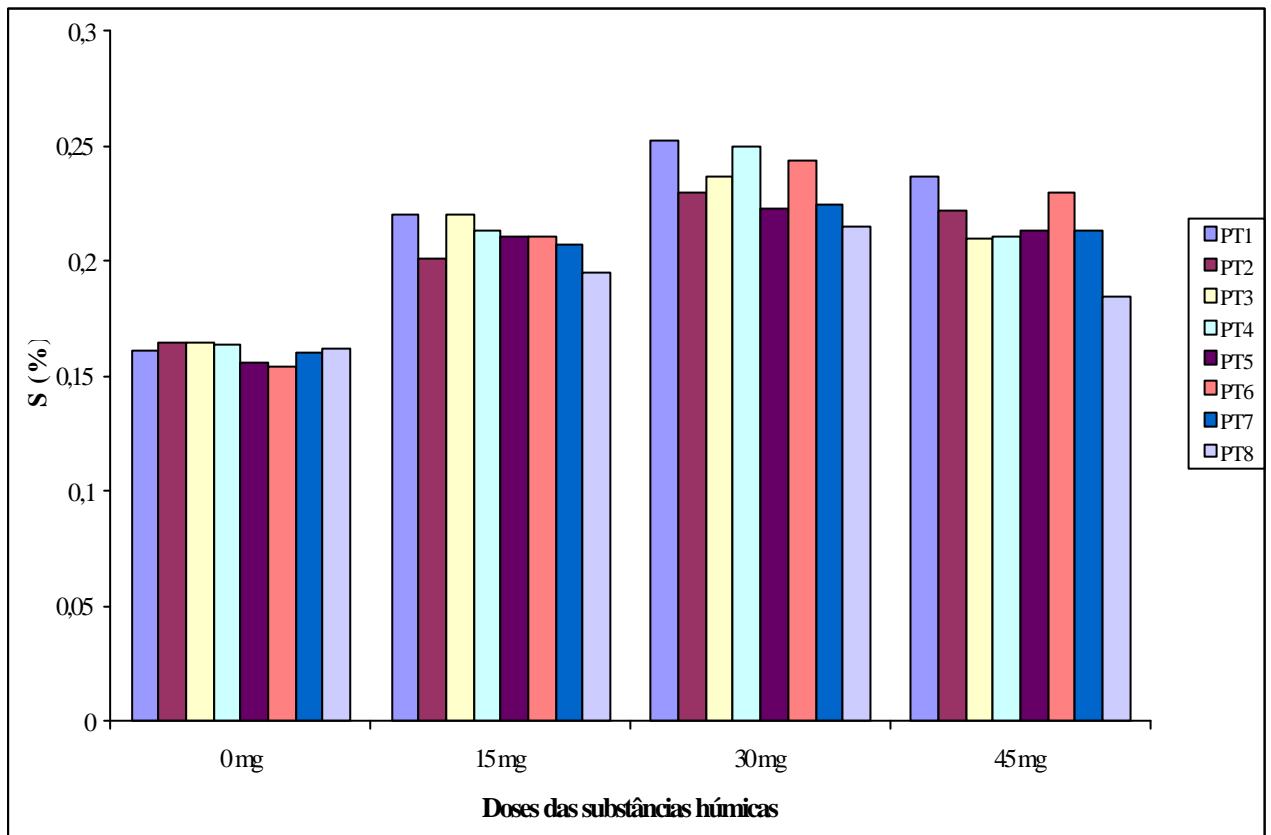


Figura 16 – Teor de S na matéria seca da parte aérea da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

Na Figura 16 e na Tabela X (em Anexo), verifica-se que os melhores resultados foram obtidos com a adição das substâncias húmicas PT1 (0,25%), PT3 (0,24%), PT4 (0,25%) e PT6 (0,24%), na dose 30 mg.L^{-1} , que elevaram o teor de S na matéria seca da parte aérea em 56,25%, 41,17%, 56,25% e 60%, respectivamente. PT1, PT4 e PT6 na dose 30 mg.L^{-1} .

Estes resultados concordam com os citados pela literatura, que demonstram que as substâncias húmicas aumentam a absorção de S pelas plantas, e outros trabalhos têm referido o efeito destas substâncias sobre o teor de S na matéria seca da parte aérea em outras culturas. Silva et al. (2000a) refere que, com quatro cortes de azevém, as doses utilizadas elevaram o teor de S nos tecidos da parte aérea em 60,23% no primeiro corte, em 55,53% no 2º segundo, em 50,37% no terceiro e em 56,91% no quarto corte. Silva et al. (2000e), com aveia-preta, obtiveram um aumento no teor de S da forragem de 34,50%, e Silva et al. (2000h), com aveia-preta, observaram que os teores de S na parte aérea aumentaram em 26,97% no corte 1, em 34,83% no corte 2, em 18,93% na corte 3 e em 43,89% no corte 4.

4.15 – Teor de Enxofre na Matéria Seca das Raízes

A análise de variância da variável teor de S na matéria seca das raízes (Tabela VII em Anexo) apresentou significância para substâncias húmicas, doses e para a interação substâncias húmicas x doses ($P < 0,01$). A média geral obtida foi de 0,09% com um CV = 8,63% e um EPM = 0,001%.

Cada uma das substâncias húmicas avaliadas apresentou uma resposta diferente sobre o teor de S nas raízes da alfaca. A análise de regressão polinomial mostrou significância para o efeito quadrático para todas as substâncias húmicas avaliadas (os coeficientes de determinação (r^2) foram $\geq 0,62$), e as doses utilizadas permitiram o cálculo dos pontos de máxima a partir das curvas de regressão polinomiais. O maior ponto de máxima foi observado com a utilização de PT1 (0,17% na dose calculada 22,85 mg.L⁻¹).

Os teores mais elevados de S foram atingidos com a utilização da dose 3 (D3=30 mg.L⁻¹) (Figura 17). Os resultados dos teores de S com a adição das substâncias húmicas foram comparados pelo teste de Tukey (Tabela X em Anexo). Verifica-se que, na dose de 30 mg.L⁻¹ a substância húmica PT1 foi significativamente superior a todas as outras sete substâncias húmicas avaliadas. A adição de PT2, PT3, PT6, PT7 e PT8 produziram alfaca com teores de S significativamente mais elevados que as substâncias húmicas PT4 e PT5. Os resultados obtidos com a utilização de PT2, PT3, PT6, PT7 e PT8 equivalem-se pois a diferença obtida com a adição destas substâncias húmicas é casual.

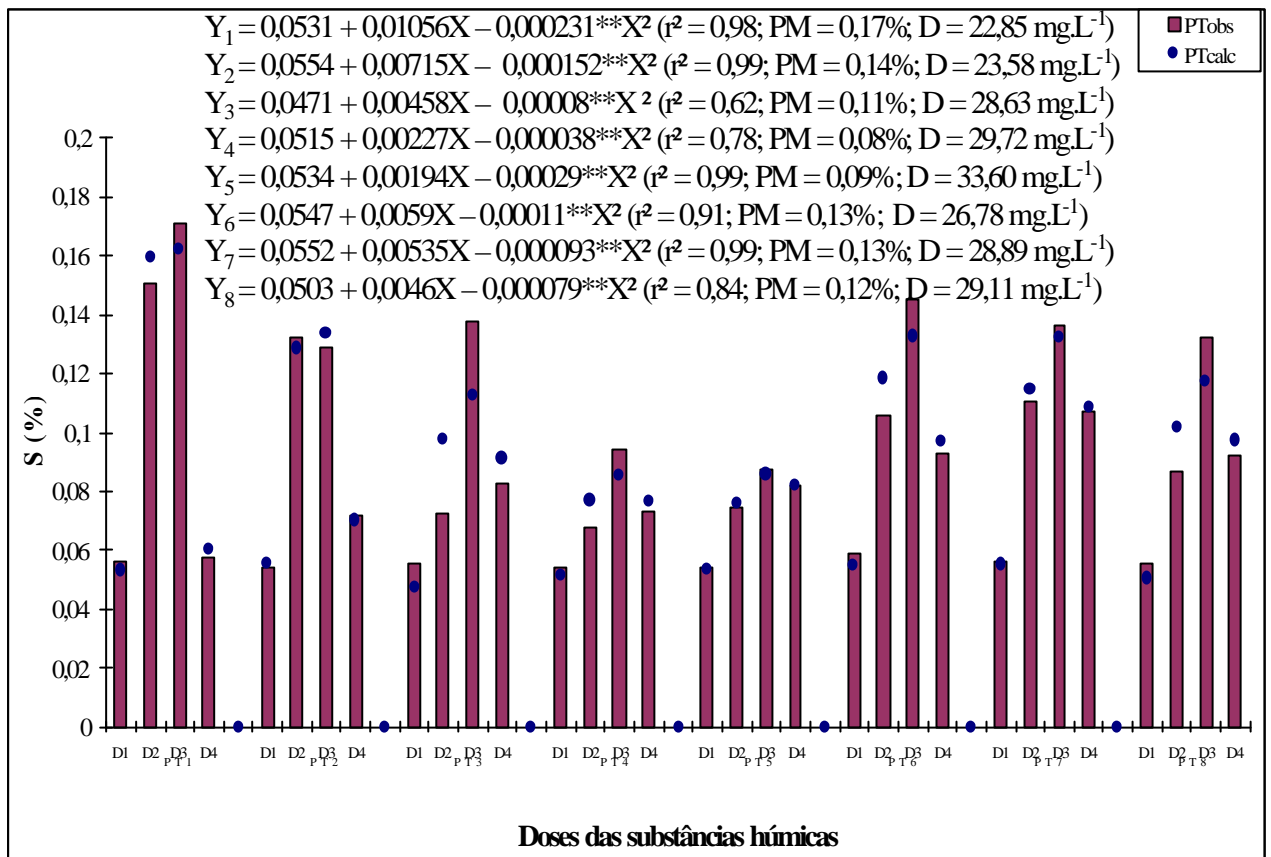


Figura 17 – Teor de S na matéria seca das raízes da alfaca *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

Verifica-se, que PT1 (0,17%) apresentou o melhor resultado experimental, permitindo o maior incremento no teor de S na matéria seca das raízes (183,33%) (Figura 17 e Tabela X em Anexo).

Os resultados estão de acordo com os citados pela literatura que demonstram que as substâncias húmicas aumentam a absorção de S pelas raízes das plantas. Maggioni et al. (1987), com aveia, obtiveram um aumento na taxa de absorção de SO_4^{2-} de 106%, quando comparado à testemunha. Silva et al. (2000f), com milho, obtiveram um aumento de 102,23% e Silva et al. (2000g), com milho, ao utilizarem substâncias húmicas, elevaram o teor de S nas raízes em 56,29%.

4.16 – Teor de Sódio na Matéria Seca da Parte Aérea

Os resultados da análise de variância desta variável são apresentados na Tabela IX (em Anexo) e mostram que houve significância para os efeitos das substâncias húmicas, das doses e para a interação entre substâncias húmicas x doses ($P < 0,01$), com um CV = 4,8%, um EPM = 0,001% e uma média geral = 0,16% de Na na matéria seca da parte aérea.

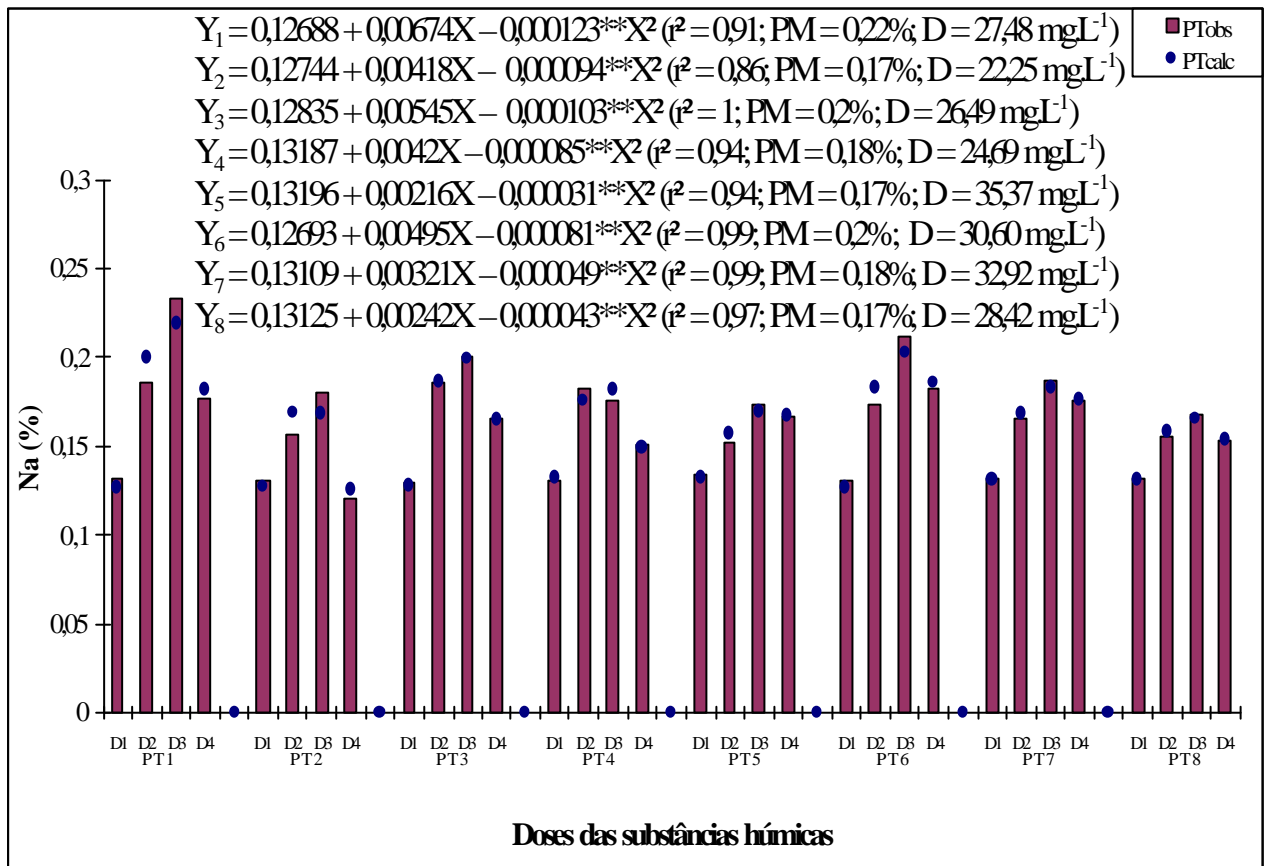


Figura 18 – Teor de Na na matéria seca da parte aérea da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

Os resultados apresentados na Figura 18 demonstram que cada uma das substâncias avaliadas apresentou uma resposta diferente e verifica-se, que como para todas as variáveis anteriormente apresentadas e discutidas, os teores mais elevados foram obtidos com a utilização da dose 3 (D3 = 30 mg.L⁻¹). O resultado da análise de regressão polinomial mostrou significância para o efeito quadrático para todas as substâncias húmicas. Os pontos de máxima e mínima das curvas de regressão foram calculados, e os maiores pontos de máxima

foram obtidos com a utilização de PT1 (0,22%), PT3 (0,20%) e PT6 (0,20%) (os coeficientes de determinação (r^2) obtidos foram $\geq 0,86$).

Os resultados dos teores de Na na dose 30 mg.L^{-1} foram comparados pelo teste de Tukey (Tabela X em Anexo). Verifica-se que, a substância húmica PT1 foi significativamente superior as outras sete substâncias húmicas avaliadas. PT6 foi superior a PT2, PT4, PT5, PT7 e PT8. Os resultados obtidos com a utilização de PT6 e PT3 não diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. As substâncias húmicas PT3 e PT7 equivalem-se para o teor de Na na matéria seca da parte aérea, pois a diferença encontrada em seus teores é casual.

Verifica-se, que os melhores resultados experimentais foram alcançados com a dose de 30 mg.L^{-1} das substâncias húmicas PT1 (0,23%) e PT6 (0,21%), que elevaram o teor de Na na matéria seca da parte aérea em 76,92% e 61,54%, respectivamente (Figura 18 e Tabela X em Anexo).

Em outros trabalhos com outras culturas, os resultados obtidos também são muito variáveis. Silva et al. (2000a), com cortes de azevém, observaram que as doses utilizadas elevaram o teor de Na nos tecidos da parte aérea em 58,64% no primeiro corte e em 26,76% no segundo, e diminuíram o teor em 21,91% no terceiro e em 25,71% no quarto corte. Silva et al. (2000e), com aveia-preta, obtiveram um aumento no teor de sódio da forragem de 100,83% e Silva et al. (2000h), com aveia-preta, verificaram nos quatro cortes avaliados, que o teor de Na elevou-se em 72,21% no corte 1, em 50,60% no corte 2, em 43,06% no corte 3 e em 62,29% no corte 4.

4.17 – Teor de Sódio na Matéria Seca das Raízes

Houve significância para os efeitos das substâncias húmicas, das doses e da interação substâncias húmicas x doses. O teor médio foi de 0,14% com um CV = 7,57% e um EPM = 0,001% (Tabela IX em Anexo).

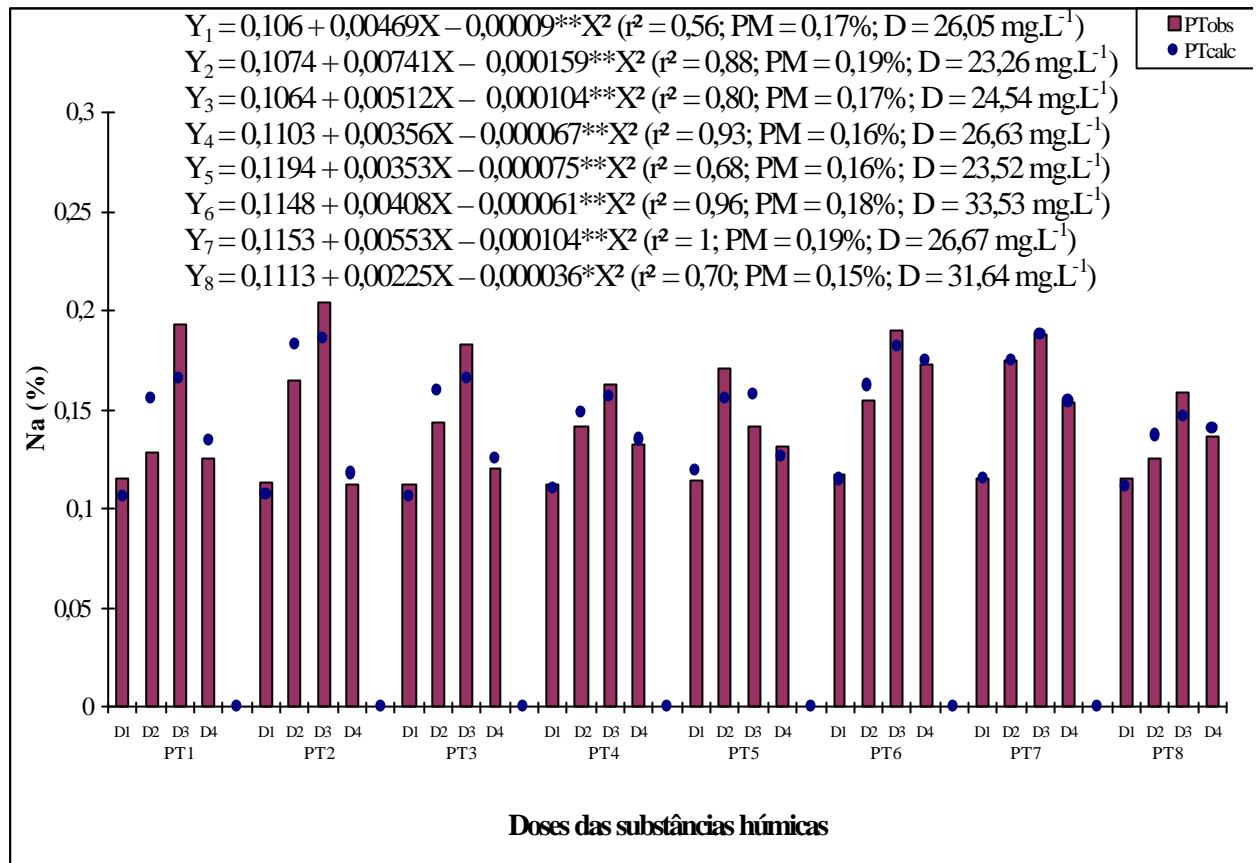


Figura 19 – Teor de Na na matéria seca das raízes da alfaca *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

Os resultados apresentados na Figura 19 mostram que a adição de substâncias húmicas elevou o teor de sódio na matéria seca e este efeito aumentou até a dose 30 mg.L⁻¹. A análise de regressão polinomial mostrou significância para o efeito quadrático para todas as substâncias húmicas, e as doses utilizadas permitiram a obtenção dos pontos de máxima das curvas de regressão. As seguintes substâncias húmicas possibilitaram os maiores pontos de máxima: PT1 (0,17%), PT2 (0,19%), PT3 (0,17%), PT6 (0,18%) e PT7 (0,19%) (os coeficientes de determinação (r^2) variaram de 0,56 a 0,96). A dose calculada em que as substâncias húmicas apresentaram a maior efetividade variou de 23,20 mg.L⁻¹ a 33,53 mg.L⁻¹.

Na Tabela X (em Anexo), são apresentados os resultados obtidos neste experimento comparados pelo teste de Tukey na dose 30 mg.L⁻¹. Verifica-se que, as substâncias húmicas diferem entre si para o teor de Na na matéria seca das raízes. A adição de PT1 e PT2 produziu raízes com teores de Na significativamente superiores aos obtidos com PT4, PT5 e PT8. Porém, não há diferença estatística entre os teores obtidos com as substâncias húmicas PT1,

PT2, PT3, PT6 e PT7, pois médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os melhores resultados experimentais foram alcançados com a dose de 30 mg.L^{-1} das substâncias húmicas PT1 e PT2, que elevaram o teor de Na na matéria seca da parte aérea em 58,33% e 81,81%, respectivamente (Figura 19 e Tabela X em Anexos).

Os resultados deste ensaio concordam com os citados pela literatura que demonstram que as substâncias húmicas afetam a absorção de Na pelas plantas, mas os resultados obtidos foram muito variáveis. Outros trabalhos têm sido realizados avaliando o efeito das substâncias húmicas sobre o teor de Na nas raízes. Silva et al. (2000f), com milheto, e Silva et al. (2000g), com milho, obtiveram um aumento no teor de Na nas raízes de 263,32% e 52,59%, respectivamente.

4.18 – Concentração de Cobre na Matéria Seca da Parte Aérea

Os resultados da análise de variância da variável concentração de Cu na parte aérea são apresentados na Tabela IX (em Anexo), havendo significância para os efeitos das substâncias húmicas, das doses e para a interação substâncias húmicas x doses ($P < 0,01$), com CV = 8,25%, EPM = $0,095 \text{ mg.kg}^{-1}$ de matéria seca e média geral = $11,24 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Na Figura 20, verifica-se que cada uma das substâncias húmicas avaliadas apresentou uma resposta diferente e que as concentrações mais elevadas foram obtidas com PT8, PT7 e PT6 na dose de 30 mg.L^{-1} . Os resultados da análise de regressão polinomial apresentados na Figura 20 mostram que ocorreu significância para o efeito quadrático para todas as substâncias húmicas avaliadas (os coeficientes de determinação (r^2) foram $\geq 0,97$). As doses utilizadas neste ensaio permitiram o cálculo dos pontos de máxima das curvas de regressão, e as substâncias húmicas PT7 ($17,77 \text{ mg.kg}^{-1}$ na dose calculada $27,53 \text{ mg.L}^{-1}$), PT8 ($16,96 \text{ mg.kg}^{-1}$ na dose calculada $30,88 \text{ mg.L}^{-1}$), PT6 ($15,88 \text{ mg.kg}^{-1}$ na dose calculada $28,53 \text{ mg.L}^{-1}$) e PT2 ($15,09 \text{ mg.kg}^{-1}$ na dose calculada $30,83 \text{ mg.L}^{-1}$) apresentaram os maiores pontos de máxima.

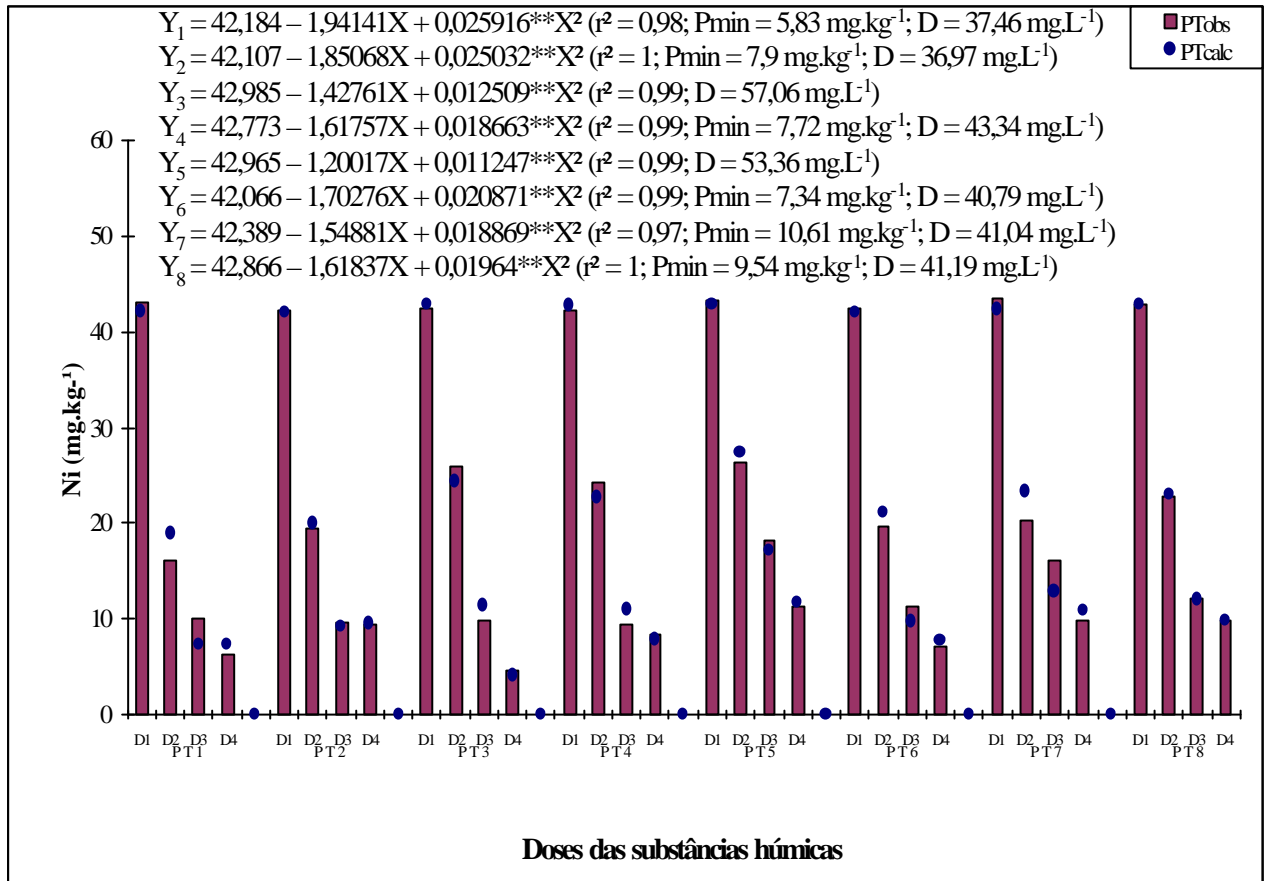


Figura 20 – Concentração de Cu na matéria seca da parte aérea da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

Na Tabela XI (em Anexo), são apresentados os resultados (mg.kg^{-1}) obtidos neste experimento comparados pelo teste de Tukey na dose 30 mg.L^{-1} . Verifica-se que, a substância húmica PT8 produziu uma concentração de Cu na matéria seca da parte aérea significativamente superior a PT1, PT2, PT3, PT4, PT5 e PT6, mas o resultado obtido nesta dose não foi superior ao de PT7. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os melhores resultados foram obtidos com a utilização das substância húmica PT8 (18 mg.kg^{-1}) e PT7 ($17,08 \text{ mg.kg}^{-1}$), que elevaram a concentração de Cu na matéria seca da parte aérea, respectivamente, em 242,86% e 162,77%, quando a concentração obtida com a utilização da dose 3 foi comparada com a da dose 1 (testemunha). A PT4 foi a menos efetiva, mas elevou a concentração de Cu na parte aérea do alface em 100%.

A adição de substâncias húmicas elevou a concentração de Cu nos tecidos até uma determinada concentração específica para cada substância húmica avaliada, concordando com o citado na literatura (Rhauthan e Schnitzer, 1981; Ayuso et al., 1996a). De acordo com Casenave de Sanfillipo et al. (1990a,b), o efeito inibitório causado pela alta concentração de ácidos húmicos pode ser devido a uma ação semelhante à das auxinas como inibidores de crescimento.

Muitos trabalhos têm demonstrado que o Cu pode ser complexado pelas substâncias húmicas, o que diminui a sua disponibilidade para as plantas, e que os grupamentos carboxílicos e OH-fenólicos dos ácidos húmicos e fúlvicos participam na complexação deste elemento (Lewis e Broadbent, 1961; Piccolo e Stevenson, 1982; Rainville e Weber, 1982; Manunza et al., 1992). A formação dos complexos entre ácidos húmicos e o Cu é muito rápida e em pH 6 85% do Cu se liga aos ácidos húmicos em 50 segundos e, quanto maior a relação ácidos húmicos: metal (AH:metal), mais rápida é a ligação e maior a quantidade de Cu ligado (Bonifazi et al., 1996). Segundo Chala e Raman (1984), os complexos formados entre ácido húmico e Cu são muito estáveis (log K variando de 6,68 a 8,65) devido à ligação coordenada covalente. Manunza et al. (1995) determinaram que os grupamentos fenólicos apresentam um papel importante na complexação do Cu. Entretanto, neste trabalho, verificou-se que este efeito depende da dose das substâncias húmicas utilizadas. Tais resultados concordam com os de diversos trabalhos que comprovaram que as substâncias afetam a disponibilidade e a absorção do Cu pelas plantas, o que afeta a concentração deste elemento nos tecidos vegetais, e que este efeito depende da substância húmica e da dose utilizada (Rhauthan e Schnitzer, 1981; Raina e Goswami, 1988; Govindasamy e Chandrasekaran, 1992; David et al., 1994; Ayuso et al., 1996a; Silva et al., 2000a).

Em outros trabalhos também foi observado o efeito das substâncias húmicas na concentração de Cu na parte aérea das plantas e normalmente a utilização de substâncias húmicas elevou a concentração de Cu até uma determinada dose calculada. Raina e Goswami (1988), com milho, Ayuso et al. (1996a), com cevada, Govindasamy e Chandrasekaran (1992), com folhas de cana de açúcar, Silva et al. (2000b), com aveia-preta, Fagbenro e Agboola (1993), com *Tectona grandis*, obtiveram um aumento na concentração de Cu de 65,57%, 136,36%, 26,67%, 33,97% e 6,06%, respectivamente. Entretanto Silva et al. (2000a), com azevém, verificou que, no segundo, terceiro e quarto cortes, a utilização de substâncias

húmicas diminuiu em 55,94%, 70,04% e 61,10%, respectivamente, a concentração de Cu nos tecidos da parte aérea.

4.19 – Concentração de Cobre na Matéria Seca das Raízes

A análise de variância desta variável mostra que houve significância para o efeito das substâncias húmicas, das doses e para a interação entre substâncias húmicas x doses ($P < 0,01$), apresentando $CV = 13,01\%$, $EPM = 0,465 \text{ mg.kg}^{-1}$ e média geral = $34,98 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Tabela IX em Anexo). Os resultados apresentados na Figura 21 mostram que a concentração de cobre aumentou até uma determinada dose específica para cada uma das substâncias húmicas avaliadas, concordando com o citado na literatura (Rhauthan e Schnitzer, 1981; Ayuso et al., 1996a).

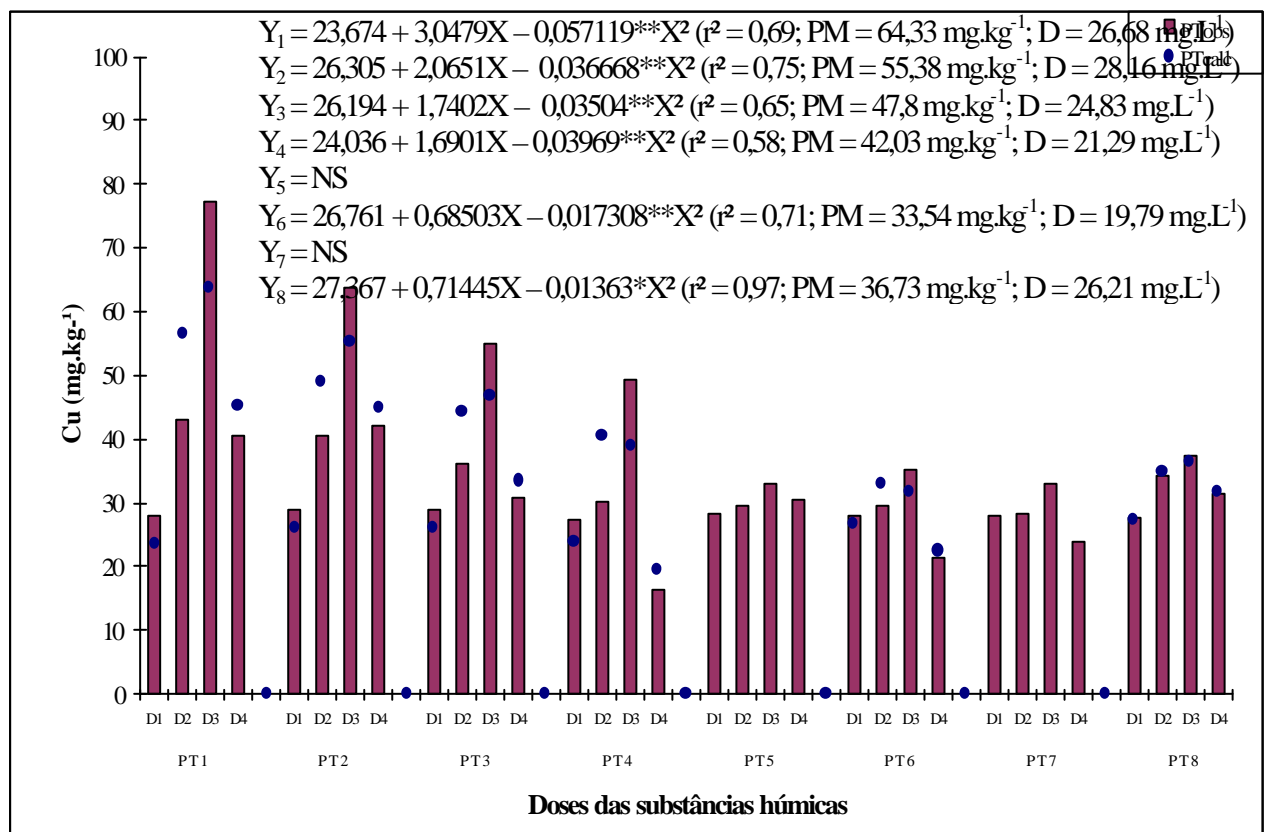


Figura 21 – Concentração de Cu na matéria seca das raízes da alfaca *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

O resultado da análise de regressão polinomial é apresentado na Figura 21 e mostra que não houve significância para o efeito da interação entre doses e substâncias húmicas para PT5 e PT7, que sofreram variação unicamente devido ao efeito das doses utilizadas. Para as outras seis substâncias húmicas restantes, houve significância para o efeito quadrático. Observa-se que os melhores resultados foram obtidos com o emprego de PT1, PT2 e PT3. Verifica-se que os maiores pontos de máxima foram obtidos com a utilização de PT1 (64,33 mg.kg⁻¹ na dose calculada 26,68 mg.L⁻¹), PT2 (55,38 mg.kg⁻¹ na dose calculada 28,16 mg.L⁻¹) e PT3 (47,8 mg.kg⁻¹ na dose calculada 24,88 mg.L⁻¹) (os coeficientes de determinação (r²) variaram de 0,58 a 0,97).

Na Tabela XI (em Anexo), são apresentados os resultados (mg.kg⁻¹) obtidos neste experimento comparados pelo teste de Tukey na dose 30 mg.L⁻¹. Observa-se que, a substância húmica PT1 produziu alface com maiores concentrações de Cu na matéria seca das raízes e esta substância húmica foi significativamente superior a PT2, PT3, PT4, PT5, PT6, PT7 e PT8. Entretanto, as concentrações de Cu de PT2 e PT3, não diferiram entre si, pois médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A utilização das substâncias húmicas PT1 (77,19 mg.kg⁻¹), PT2 (63,67 mg.kg⁻¹) e PT3 (55,09 mg.kg⁻¹) elevou a concentração de Cu nas raízes em 174,01%, 118,72% e em 90,43%, respectivamente.

Neste experimento foi obtido um aumento na concentração de Cu presente nos tecidos das raízes do alface e a adição de substâncias húmicas a uma solução nutritiva completa elevou a concentração de Cu até uma determinada dose específica para cada uma das substâncias avaliadas. Outros trabalhos também têm comprovado o efeito das substâncias húmicas sobre a concentração de Cu nas raízes. Ayuso et al. (1996a), com cevada, e Silva et al. (2000g), com milho, elevaram a concentração de cobre nas raízes em 130,3% e 46,99%, respectivamente. Silva et al. (2000f), em um experimento com milheto, diminuíram a concentração de Cu em 51,31%.

4.20 – Concentração de Zinco na Matéria Seca da Parte Aérea

A concentração de Zn na matéria seca da parte aérea foram afetados pelas substâncias húmicas, pelas doses e pela interação entre substâncias húmicas x doses ($P < 0,01$). O teor médio obtido foi de $26,53 \text{ mg.kg}^{-1}$ com $CV = 5,19\%$ e um $EPM = 0,141 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Tabela IX em Anexo).

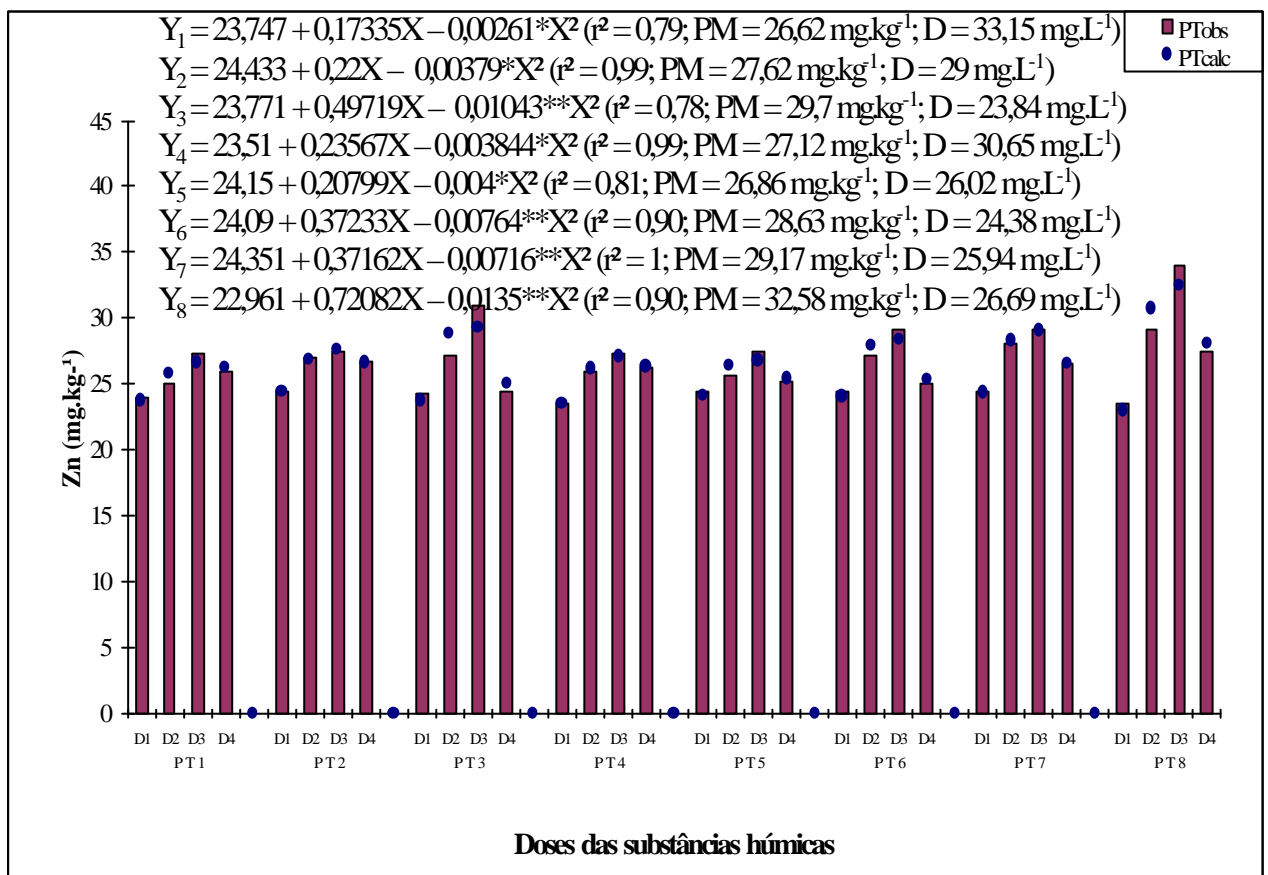


Figura 22 – Concentração de Zn na matéria seca da parte aérea da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

Os resultados apresentados na Figura 22 mostram que a concentração de Zn na parte aérea da alface aumentou devido ao efeito de doses e das substâncias húmicas utilizadas e, cada uma das substâncias húmicas apresentou uma resposta diversa. A análise de regressão polinomial mostra que ocorreu significância para o efeito quadrático para todas as substâncias húmicas avaliadas (os r^2 variaram de 0,78 a 1). Os pontos de máxima das curvas de regressão

foram calculados, tendo sido os maiores pontos obtidos com o emprego de PT8 (32,58 mg.kg⁻¹ na dose 26,69 mg.L⁻¹) e PT3 (29,70 mg.kg⁻¹ na dose 23,84 mg.L⁻¹).

Os resultados obtidos neste experimento comparados pelo teste de Tukey na dose 30 mg.L⁻¹, são apresentados na Tabela XI (em Anexo). Verifica-se que, a substância húmica PT8 produziu alface com uma concentração de Zn na matéria seca da parte aérea significativamente superior a PT1, PT2, PT4, PT5, PT6 e PT7, mas o resultado obtido nesta dose não foi superior ao de PT3. As substâncias húmicas PT3, PT2, PT6, PT7 e PT8 equivalem-se, pois médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

As substâncias húmicas PT8 (34 mg.kg⁻¹) e PT3 (31 mg.kg⁻¹), possibilitaram o melhores resultados e elevaram a concentração de Zn na matéria seca em 44,8% e em 27,36%, respectivamente.

O efeito das substâncias húmicas sobre a disponibilidade do Zn apresenta controvérsias. De acordo Prasad et al. (1993), pode ocorrer aumento com a aplicação de Zn e com a adição de ácido fúlvicos ao cultivo. Segundo Zhu e Lu (1982), a concentração de Zn nos tecidos diminui quando aumentam os complexos formados entre ácidos fúlvicos e Zn, quando o pH do solo aumenta ou quando o Zn total diminui. O fluxo de Zn nas raízes também é função de tempo, e a adição de ácido fúlvico diminui este fluxo. Segundo Spark et al. (1997a), a ligação entre os ácidos húmicos e o Zn ocorre principalmente devido aos grupamentos carboxílicos e depende do pH e da concentração do eletrólito.

Assim como neste trabalho, também em outros tem sido observado o efeito de substâncias húmicas sobre a disponibilidade de Zn para as plantas e sobre a concentração deste elemento na parte aérea de espécies vegetais. Raina e Goswami (1988), com milho, Govindasamy e Chandrasekaran (1992), com folhas de cana de açúcar, Fagbenro e Agboola (1993), com *Tectona grandis*, Ayuso et al. (1996a), com cevada, e Silva et al. (2000e), com aveia-preta, obtiveram um aumento na concentração de Zn de 11,77%, 75%, 50,39%, 49,06% e 52,72%, respectivamente.

4.21 – Concentração de Zinco na Matéria Seca das Raízes

Houve significância para os efeitos dos fatores substâncias húmicas, doses e para a interação entre substâncias húmicas x doses ($P < 0,01$), apresentando $CV = 11,77\%$, $EPM = 0,308 \text{ mg.kg}^{-1}$ de MS e média geral = $25,61 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Tabela IX em Anexo). Os resultados apresentados na Figura 23 demonstram que cada uma das substâncias húmicas avaliadas apresentou uma resposta específica e que a concentração deste elemento aumentou até a dose 3 (30 mg.L^{-1}).

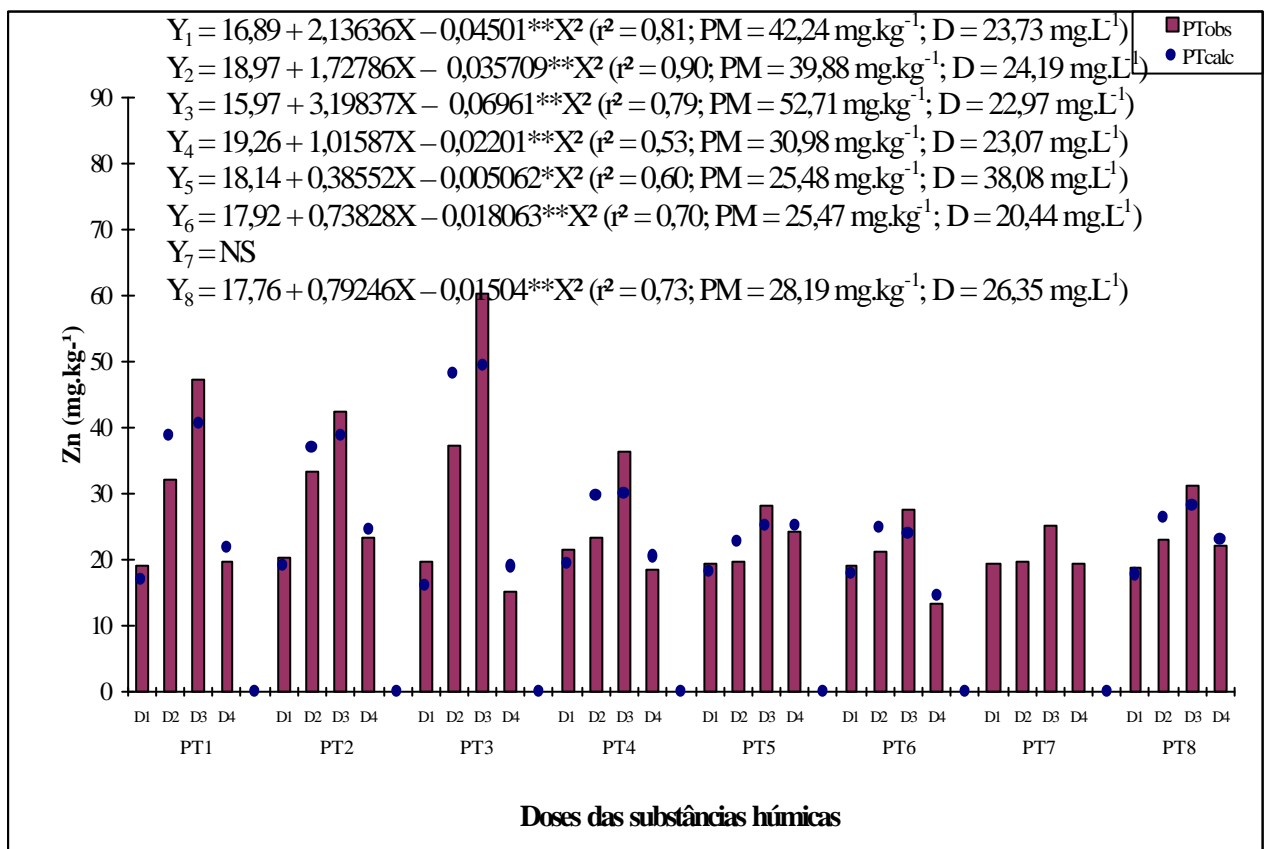


Figura 23 – Concentração de Zn na matéria seca das raízes da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

A análise de regressão polinomial para a interação entre substâncias húmicas e doses mostra que ocorreu significância para o efeito quadrático para sete dos oito pré-tratamentos, pois não houve significância para PT7 (os r^2 variaram de 0,53 a 0,90). Os pontos de máxima das curvas de regressão foram calculados, e o maior ponto de máxima foi obtido a partir da equação de regressão polinomial de PT3 ($52,71 \text{ mg.kg}^{-1}$ na dose calculada de $22,97 \text{ mg.L}^{-1}$).

Na Tabela XI (em Anexo), são apresentados os resultados médios obtidos neste experimento, em cada nível de dose, comparados pelo teste de Tukey. Como os melhores resultados foram obtidos com a dose de 30 mg.L⁻¹. Verifica-se que, a substância húmica PT3 produziu alface com concentrações de Zn na matéria seca das raízes significativamente superior a todas as outras substâncias húmicas avaliadas. Nesta dose a substâncias húmica PT1 foi superior a PT4, PT5, PT6, PT7 e PT8. Entretanto, as concentrações de PT1 e PT2 não apresentaram diferença estatística.

O melhor resultado foi obtido com a utilização de PT3 (60,23 mg.kg⁻¹), que elevou a concentração de Zn na matéria seca das raízes em 206,98% (Figura 23 e Tabela XI em Anexo).

A adição de substâncias húmicas aumentou a concentração de Zn nos tecidos até uma determinada concentração específica para cada substância húmica avaliada. Estes resultados concordam com os de diversos autores: Rhauthan e Schnitzer (1981), Raina e Goswami (1988), Govindasamy e Chandrasekaran (1992), David et al. (1994) e Silva et al. (2000a). Outros experimentos têm sido realizados, e Ayuso et al. (1996a), com cevada, obtiveram um aumento na concentração de Zn de 31,55%. Já Silva et al. (2000f), com a planta forrageira milheto, e Silva et al. (2000g), com milho, constataram, respectivamente, uma diminuição de 49,56% e 91,73% na concentração de Zn nas raízes.

4.22 – Concentração de Ferro na Matéria Seca da Parte Aérea

A análise de variância desta variável mostrou significância para os efeitos das substâncias húmicas, das doses e da interação entre substâncias húmicas x doses ($P < 0,01$), com CV = 4,42%, com EPM = 1,513 mg.kg⁻¹ de matéria seca e média geral = 335,61 mg.kg⁻¹ (Tabela XII em Anexo).

O resultado da análise de regressão da interação entre substâncias húmicas e doses é apresentado na Figura 24 e mostra que não ocorreu significância para a PT5 e que houve significância para o efeito quadrático para as sete substâncias húmicas restantes. Os maiores

pontos de máxima foram calculados a partir das curvas de regressão polinomial de PT6 (485,36 mg.kg⁻¹) e PT7 (487,67 mg.kg⁻¹). Cada uma das substâncias húmicas apresentou uma dose que foi mais efetiva em promover o aumento na concentração de Fe nos tecido da parte aérea da alface.

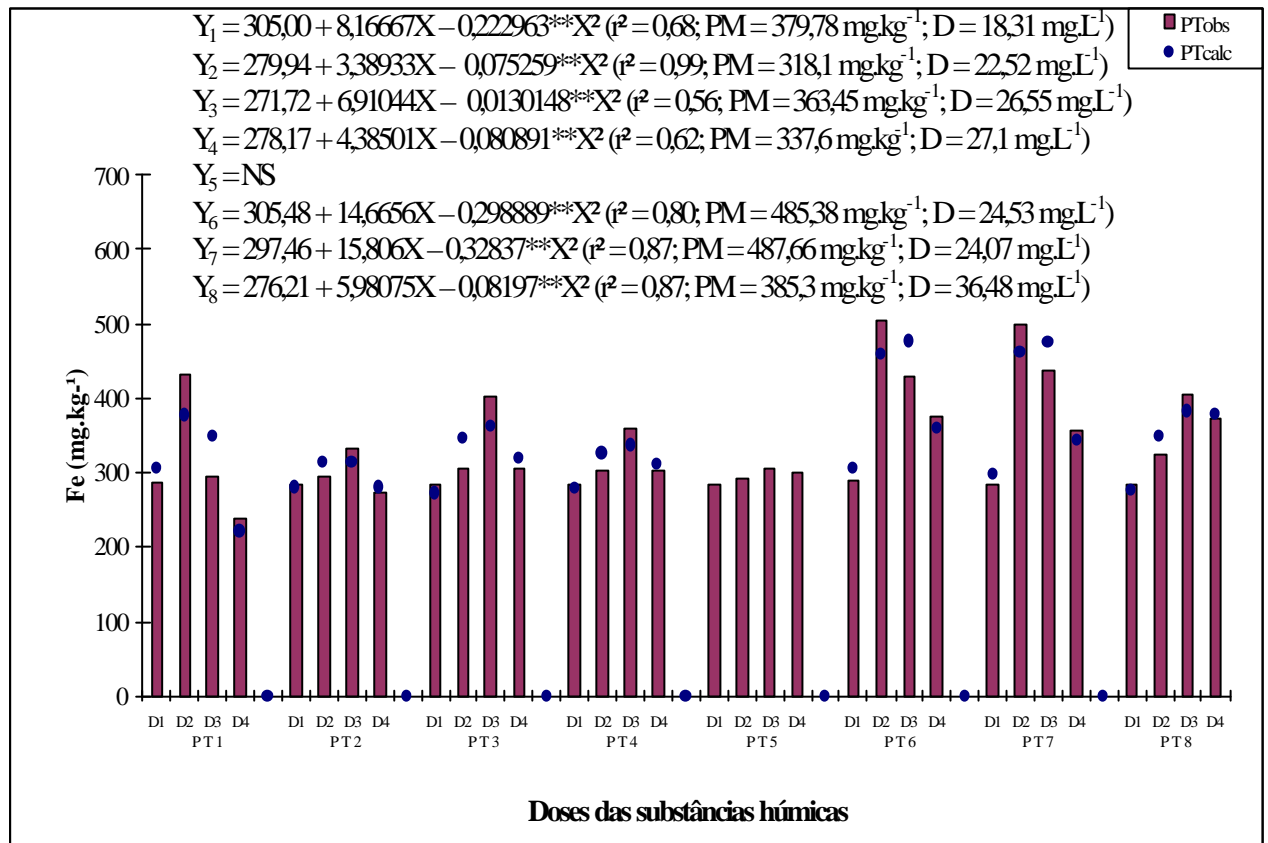


Figura 24 – Concentração de Fe na matéria seca da parte aérea da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

Na Tabela XIII (em Anexo), são apresentados os resultados médios obtidos neste experimento, em cada nível de dose, comparados pelo teste de Tukey, verificando-se que a adição das substâncias PT6 e PT7 na dose de 15 mg.L⁻¹, produziu alface com maiores concentrações de Fe (mg.kg⁻¹) na matéria seca da parte aérea que as outras substâncias húmicas avaliadas. Na dose de 30 mg.L⁻¹ a utilização de PT3, PT6, PT7 e PT8 produziu alface com uma concentração significativamente maior de Fe que o produzido com PT1, PT2, PT4 e PT5. Como as concentrações de Fe seguidas da mesma letra não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, a diferença observada é considerada

casual, não havendo diferença estatística entre os resultados obtidos na dose de 30 mg.L⁻¹ com a adição de PT1, PT2, PT4 e PT5.

As concentrações de Fe mais elevadas neste experimento foram atingidas com a utilização da dose 2 (D2 = 15 mg.L⁻¹), com a adição das substâncias húmicas PT1, PT6 e PT7 e na dose 3 (D3 = 30 mg.L⁻¹), com a utilização das outras cinco substâncias húmicas.

Pelos resultados obtidos, pode-se concluir que PT6 (504,67 mg.kg⁻¹) e PT7 (500,33 mg.kg⁻¹), na dose 2 (15 mg.L⁻¹), foram as mais efetivas em aumentar a concentração de Fe nos tecidos da parte aérea da alfaca e elevaram sua concentração, respectivamente, em 74,02% e em 76,03%.

Os resultados confirmam as conclusões de Mengel e Kirkby (1987), de que as substâncias húmicas aumentam o processo de absorção de Fe, pois ocorre a ligação dos complexos de Fe ao plasmalema seguida pela quebra destes complexos e da absorção do Fe. Isto possibilita a produção de folhas com concentrações mais elevadas de Fe, contribuindo para a síntese de clorofila, o que eleva também o teor de N. Outros experimentos têm comprovado o efeito das substâncias húmicas no aumento da concentração de Fe nos tecidos da parte aérea das plantas. Ernst et al. (1987), com a erva perene de floresta da Alemanha *Scrophularia nodosa* (*Scrophulariaceae*), Raina e Goswami (1988), com milho, Govindasamy e Chandrasekaran (1992), com folhas de cana de açúcar, Fagbenro e Agboola (1993), com *Tectona grandis*, Ayuso et al. (1996a), com cevada, e Silva et al. (2000e), com aveia-preta, obtiveram um aumento na concentração de Fe de 31%, 41,68%, 44,44%, 18,69%, 32,5% e 43,86%, respectivamente. Silva et al. (2000a) elevaram em 50,39% no primeiro corte, em 47,26% no segundo, em 45,86% no terceiro e em 57,51% no quarto corte a concentração de Fe (mg.kg⁻¹) nos tecidos da parte aérea de azevém.

4.23 – Concentração de Ferro na Matéria Seca das Raízes

A análise de variância mostrou significância (Tabela XII em Anexo) para os efeitos das substâncias húmicas, das doses e da interação entre substâncias húmicas x doses ($P < 0,01$). Foi obtida na concentração média de Fe nos tecidos das raízes foi de 657,4 mg.kg⁻¹ de matéria seca, com CV = 3,89% e com EPM = 2,613 mg.kg⁻¹.

Os resultados apresentados na Figura 25 demonstram que a adição de substâncias húmicas elevou a concentração de Fe nos tecidos das raízes até uma determinada concentração específica para cada uma das substâncias húmicas avaliada e estes resultados concordam com os de diversos autores: Rhauthan e Schnitzer (1981), Raina e Goswami (1988), Govindasamy e Chandrasekaran (1992), David et al. (1994), Ayuso et al. (1996a) e Silva et al. (2000a).

A análise de regressão polinomial mostrou significância para o efeito quadrático para todas as substâncias húmicas avaliadas (os coeficientes de determinação (r^2) foram \geq que 0,76) (Figura 25). Os maiores pontos de máxima foram obtidos com a utilização de PT1 (837,66 mg.kg⁻¹), PT7 (792,43 mg.kg⁻¹) e PT3 (777,4 mg.kg⁻¹), com a utilização de doses calculadas mais próximas a 30 mg.L⁻¹ que a 15 mg.L⁻¹.

Os resultados médios obtidos neste experimento, em cada nível de dose, comparados pelo teste de Tukey, são apresentados na Tabela XIII (em Anexo), verificando-se que a adição das substâncias PT1 na dose de 30 mg.L⁻¹, produziu alface com maiores concentrações de Fe na matéria seca das raízes que as outras sete substâncias húmicas avaliadas. A utilização de PT3 e PT7 produziu alface com uma concentração de Fe na matéria seca das raízes superior a obtida com a utilização de PT2, PT4, PT5, PT6 e PT8. Porém, as concentrações obtidas com PT7 e PT5 foram equivalentes.

Verifica-se, que PT1 (908,25 mg.kg⁻¹), na dose 3 (30 mg.L⁻¹), foi a mais efetiva em elevar a concentração de Fe nos tecidos das raízes da alface, aumentando em 59,01% a concentração deste elemento (Figura 25 e Tabela XIII em Anexo).

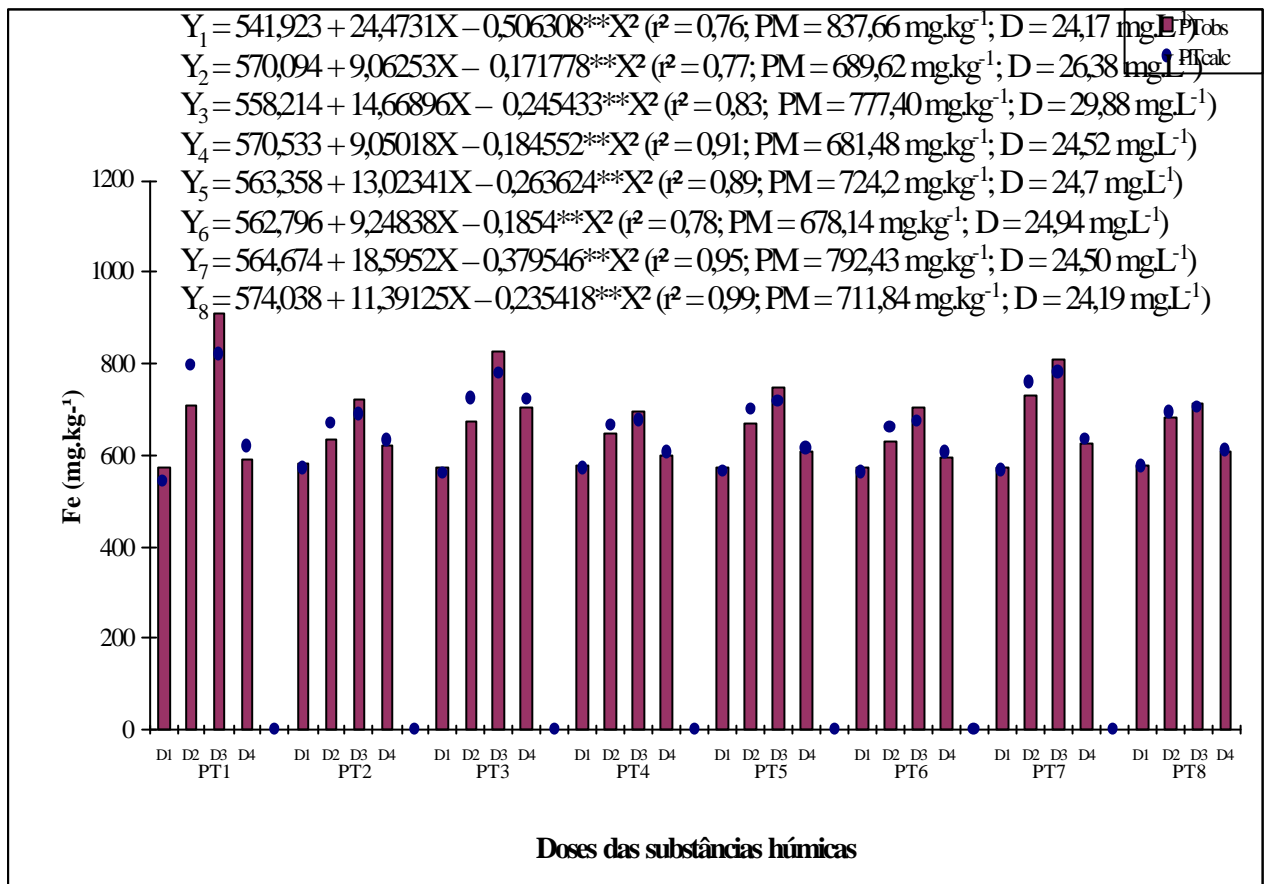


Figura 25 – Concentração de Fe na matéria seca das raízes da alfaca *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

Os resultados deste experimento comprovam os anteriormente verificados em ensaios com outras espécies vegetais que obtiveram efeito das substâncias húmicas sobre a concentração de Fe nos tecidos das raízes das plantas. Fortun et al. (1986a), com azevém perene (*Lolium perenne*), Ayuso et al. (1996a), com aveia, Silva et al. (2000f), com a planta forrageira milheto, e Silva et al. (2000g), em um experimento com milho, elevaram a concentração de Fe em 58,32%, em 8,89%, em 26,28% e em 73,6%, respectivamente. Já Ernst et al. (1987), com a erva perene de floresta da Alemanha *Scrophularia nodosa*, diminuíram em 57% a concentração deste elemento nos tecidos radiculares ao adicionarem substâncias húmicas ao cultivo.

4.24 – Concentração de Manganês na Matéria Seca da Parte Aérea

Houve significância para os efeitos das substâncias húmicas, das doses e para a interação entre substâncias húmicas x doses ($P < 0,01$). Foi obtida uma concentração média de $230,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ de matéria seca com $CV = 4,34\%$ e $EPM = 1,02 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Tabela XII em Anexo). Os resultados apresentados na Figura 26 demonstram que as oito diferentes substâncias húmicas avaliadas afetaram de forma diversa a concentração de Mn nos tecidos da parte aérea da alfaca.

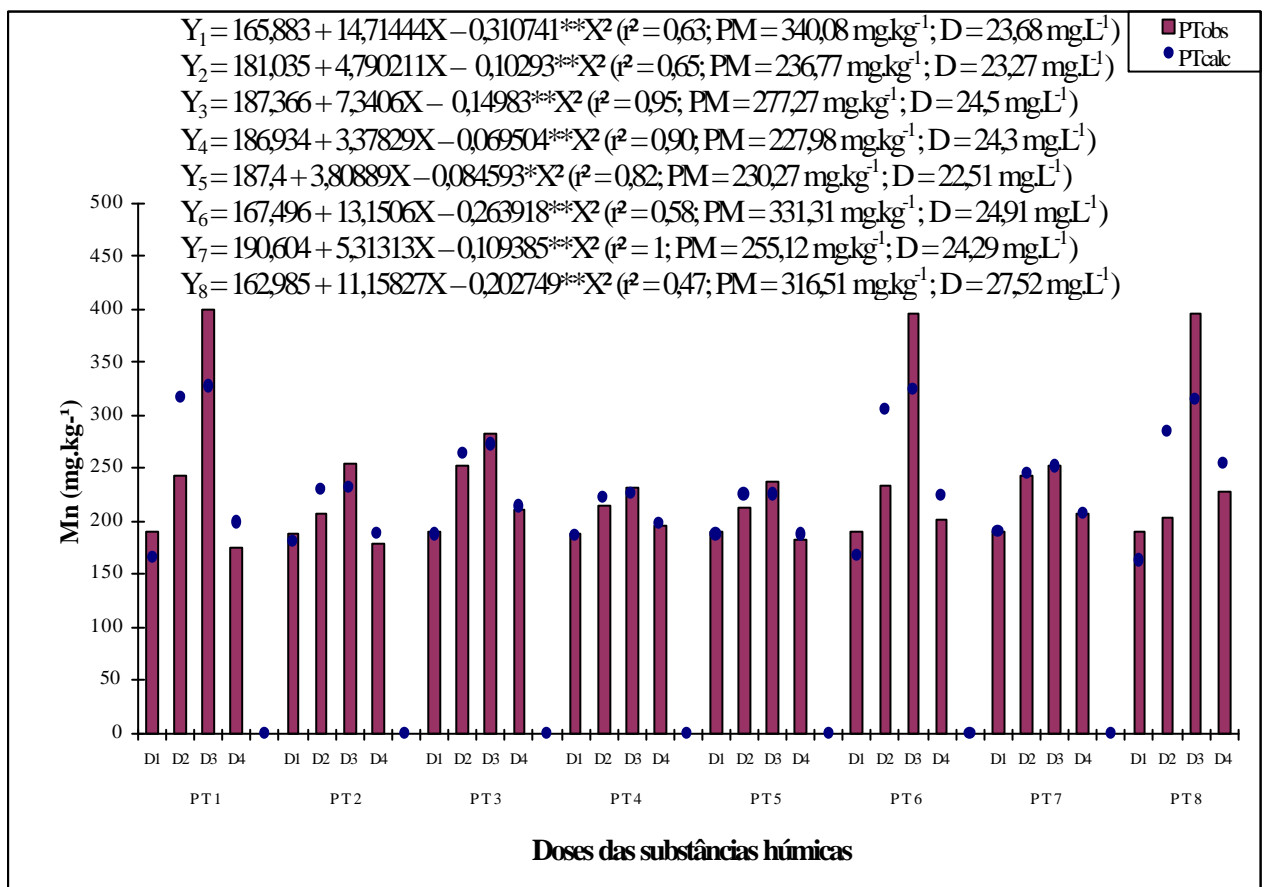


Figura 26 – Concentrações de Mn na matéria seca da parte aérea da alfaca *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

A análise de regressão mostrou significância para o efeito quadrático em todas as substâncias húmicas avaliadas (os r^2 variaram de 0,47 a 1). Verifica-se, na Figura 26, que os maiores pontos de máxima foram obtidos a partir das curvas de regressão de PT1 (340,08

mg.kg⁻¹), PT6 (331,31 mg.kg⁻¹) e PT8 (316,52 mg.kg⁻¹). As maiores concentrações de Mn (mg.kg⁻¹) ocorreram com a utilização da dose de 30 mg.L⁻¹.

Na Tabela XIII (em Anexo), são apresentados os resultados médios obtidos neste experimento, em cada nível de dose, comparados pelo teste de Tukey. Com a utilização das substâncias húmicas PT1, PT6 e PT8 na dose 30 mg.L⁻¹, produziu-se alface com concentrações de Mn na matéria seca da parte aérea significativamente superiores às obtidas com a adição de PT2, PT3, PT4, PT5 e PT7.

A adição de PT1, PT6 e PT8, na dose 30 mg.L⁻¹ elevaram as concentrações de Mn nos tecidos da parte aérea em 110,53%, 106,97% e 108,59%, respectivamente (Figura 26 e Tabela XIII em Anexo).

Segundo Prakash (1971), a estimulação do crescimento de pode ser também explicada pela capacidade das substâncias húmicas de formar complexos de esfera externa além do Fe com outros cátions mono, di, tri e tetravalentes, disponibilizando-os para a bioassimilação pelas plantas. Resultados de diversos experimentos têm comprovado que o Mn pode ser complexado pelas substâncias húmicas, mas que esta complexação ocorre com uma energia de ligação menor do que para o Cu e o Zn (Perrin, 1964; Rainville e Weber, 1982; Ghosh e Baenerjee, 1997), o que possibilita o aumento na concentração até uma dose específica para cada uma das substâncias húmicas utilizadas. O Mn²⁺ forma um complexo de esfera externa de acordo com Cotton e Wilkinson (1988), portanto com Mn na forma trocável.

Os resultados obtidos têm sido muito variáveis, conforme a espécie avaliada e a substância húmica utilizada e Ernst et al. (1987), com a erva perene de floresta da Alemanha *Scrophularia nodosa*, Raina e Goswami (1988), com milho, Govindasamy e Chandrasekaran (1992), com folhas de cana de açúcar, Ayuso et al. (1996a), com cevada, e Silva et al. (2000e), com aveia-preta, obtiveram um aumento na concentração de Mn de 10%, 28,24%, 38,71%, 27,85% e 34,24%, respectivamente. Já Fagbenro e Agboola (1993), com *Tectona grandis*, e Silva et al. (2000a), com azevém, observaram que as concentrações de Mn (mg.kg⁻¹) diminuíram com o aumento das doses utilizadas e decresceram em 11,81% em *Tectona grandis* e em 29,59% no primeiro corte do azevém, em 26,65% no segundo, em 24% no terceiro e em 35,31% no quarto corte.

4.25 – Concentração de Manganês na Matéria Seca das Raízes

A análise de variância desta variável mostrou significância para os efeitos das substâncias húmicas, das doses e para a interação entre substâncias húmicas x doses ($P < 0,01$). Foi obtida uma concentração média de Mn de $195,29 \text{ mg.kg}^{-1}$ de matéria seca com CV de 8,91% e $\text{EPM} = 1,775 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Tabela XII em Anexo).

Os resultados apresentados na Figura 27 mostram que a adição de substâncias húmicas elevou a concentração de Mn nos tecidos até uma determinada dose específica para cada uma das substâncias húmicas avaliada.

O resultado da análise de regressão polinomial (Figura 27) mostra que ocorreu significância para o efeito linear para a substância húmica PT8. Pela equação obtida, verifica-se, que cada mg.L^{-1} de substância húmica adicionada a solução nutritiva elevou em $2,78 \text{ mg.kg}^{-1}$ a concentração de Mn na matéria seca das raízes. Houve significância para o efeito quadrático para as outras sete substâncias húmicas avaliadas e os r^2 das oito equações variaram de 0,52 a 0,95. Foram calculados os pontos de máxima para as equações de regressão polinomiais quadráticas e verificou-se que, assim como na parte aérea, o maior ponto de máxima também foi obtido a partir da equação de regressão da substâncias húmica PT1 ($435,98 \text{ mg.kg}^{-1}$). As maiores concentrações foram obtidas com a utilização da dose de 30 mg.L^{-1} .

Na Tabela XIII (em Anexo), são apresentados os resultados médios das concentrações de Mn (mg.kg^{-1}) obtidos neste experimento, em cada nível de dose, comparados pelo teste de Tukey. Na dose de 30 mg.L^{-1} , verifica-se que a concentração obtida com a adição de PT1 foi significativamente superior às obtidas com a adição de PT2, PT3, PT4, PT5, PT6, PT7 e PT8. O segundo melhor resultado, quando o objetivo for o de elevar a concentração de Mn, foi alcançado com a utilização de PT3, cujo resultado obtido na dose 30 mg.L^{-1} foi superior ao das outras seis substâncias húmicas.

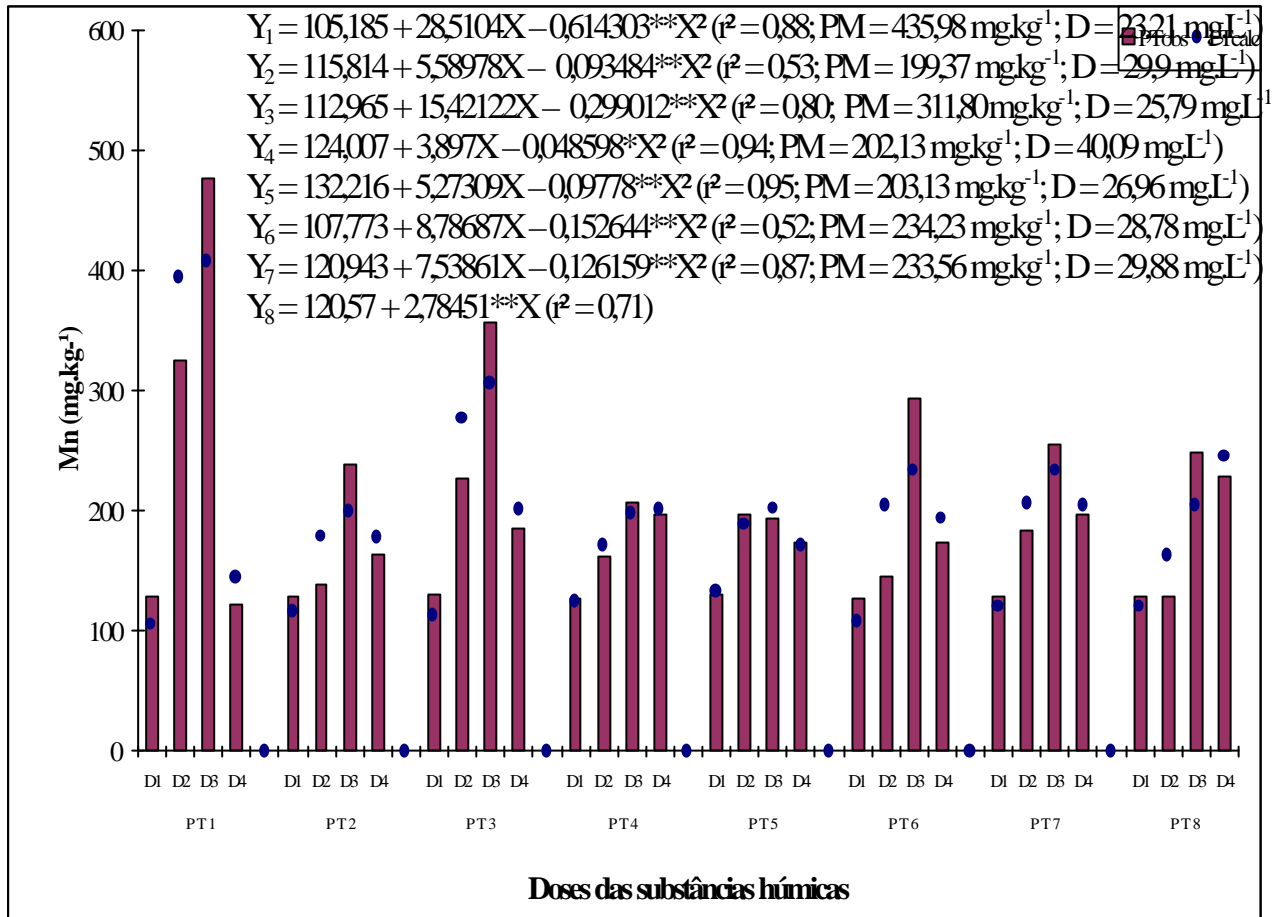


Figura 27 – Concentração de Mn na matéria seca das raízes da alfaca *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

Os maiores incrementos na concentração de Mn foram obtidos com a adição de PT1 e PT3 que elevaram a concentração nas raízes da alfaca *Maravilha de Verão* deste elemento em 271,91% e 175,01%, respectivamente (Figura 27 e Tabela XIII em Anexo).

Os resultados concordam com os de diversos autores: Rhauthan e Schnitzer (1981), Raina e Goswami (1988), Govindasamy e Chandrasekaran (1992), David et al. (1994), Ayuso et al. (1996a) e Silva et al. (2000a), que obtiveram aumentos na concentração deste elemento até uma determinada dose de substâncias húmicas. Com outras culturas observa-se que os resultados foram variáveis. Ernst et al. (1987), com a erva perene de floresta da Alemanha *Scrophularia nodosa* (*Scrophulariaceae*), Ayuso et al. (1996a), com cevada, e Silva et al. (2000g), com milho, também obtiveram um aumento na concentração de Mn de 386%, 15,28% e 83,9%, respectivamente, mas Silva et al. (2000f), com milho, observaram uma redução na concentração de Mn de 81,09%.

4.26 – Concentração de Níquel na Matéria Seca da Parte Aérea

A concentração média obtida foi de $5,95 \text{ mg.kg}^{-1}$ de matéria seca, com $CV = 7,99\%$ e $EPM = 0,049 \text{ mg.kg}^{-1}$. As concentrações foram influenciadas pela interação entre substâncias húmicas x doses e pelos fatores substâncias húmicas e doses ($P < 0,01$) (Tabela XII em Anexo). Os resultados observados na Figura 28 demonstraram que a adição de substâncias húmicas diminuiu a concentração de Ni nos tecidos, comprovando que ocorre a redução deste elemento nos tecidos da parte aérea de plantas cultivadas com adição de substâncias húmicas.

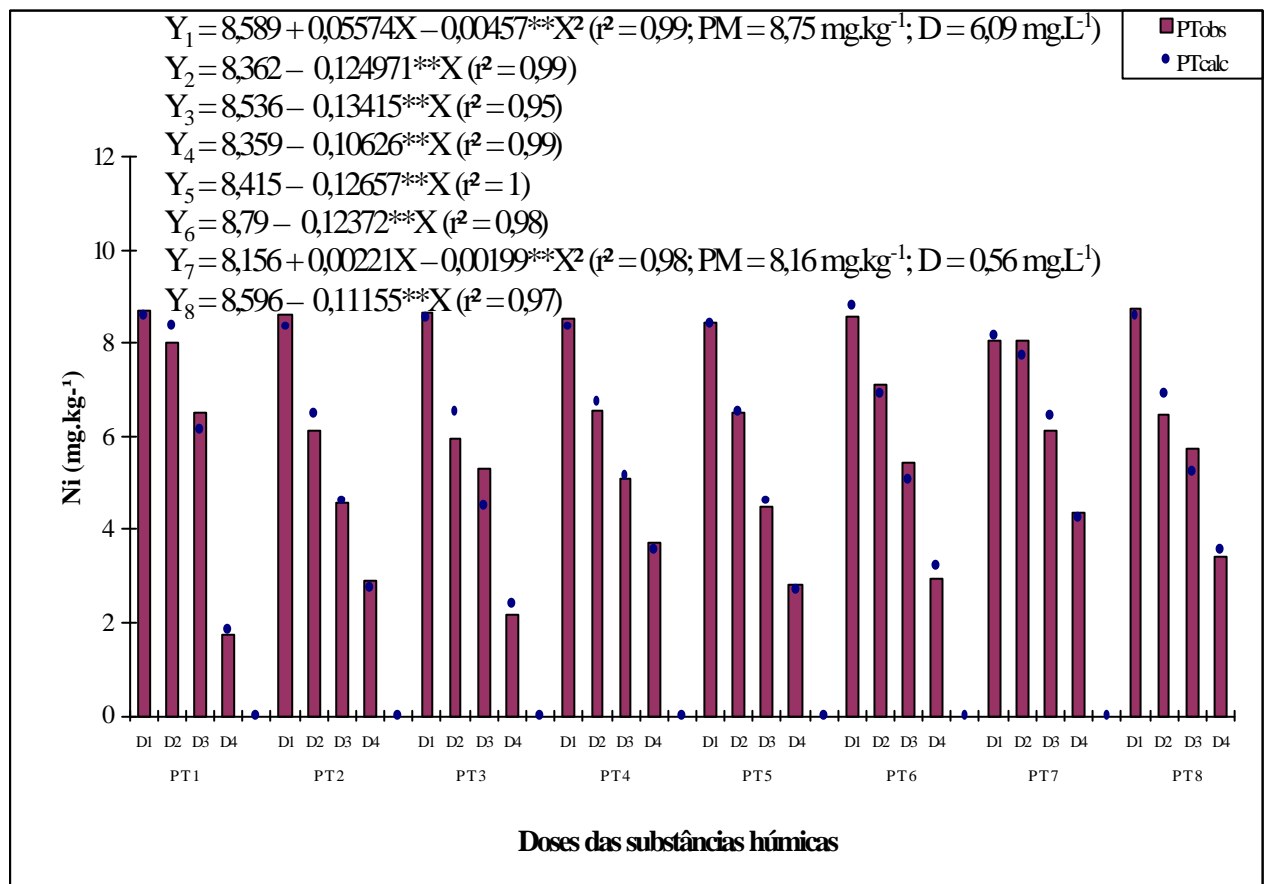


Figura 28 – Concentração de Ni na matéria seca da parte aérea da alfaca *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

A análise de regressão apresentou significância para o efeito linear para seis das substâncias húmicas avaliadas. Para as quadráticas foram obtidos os pontos de máxima das curvas de regressão polinomiais.

Na Tabela XV (em Anexo), são apresentados os resultados médios das concentrações de Ni (mg.kg^{-1}) obtidos neste experimento, em cada nível de dose, comparados pelo teste de Tukey. Verifica-se que, a adição de PT1 e PT3 na dose máxima possibilitaram a produção de alface com as menores concentrações de Ni na matéria seca dos tecidos da parte aérea. Estes resultados foram significativamente inferiores aos obtidos com PT4, PT7 e PT8. Porém, não houve diferença estatística entre as concentrações obtidas com a adição de PT1, PT2, PT3, PT5 e PT6.

A utilização de PT1, PT2, PT3, PT5 e PT6 reduziu a concentração de Ni na parte aérea em 80,25%, 66,47%, 75,17%, 66,78% e de 65,73%, respectivamente (Figura 28 e Tabela XV em Anexo).

A Tabela XIV em Anexo contém os resultados da análise de variância da porcentagem do Ni total presente na matéria seca da parte aérea e mostram que houve significância para o efeito das substâncias húmicas, das doses e para a interação entre substâncias húmicas x doses ($P < 0,01$) com $CV = 11,55\%$, $EPM = 0,44\%$ e média geral = 37,57%. A adição de substâncias húmicas alterou a distribuição de Ni na planta, elevando a sua concentração na parte aérea. Este aumento, entretanto, não elevou a extração total deste elemento pela parte aérea.

Na Tabela XVI (em Anexo), são apresentados os resultados médios das porcentagens de Ni na parte aérea (%) obtidos neste experimento, em cada nível de dose, comparados pelo teste de Tukey. Verifica-se que os resultados variaram muito em função das doses utilizadas e, na dose de 30 mg, as menores porcentagens na parte aérea foram obtidas com a utilização de PT2, PT4, PT6, PT7 e PT8, que não apresentaram diferença estatística. Já na dose máxima utilizada, as menores porcentagens foram alcançadas com a adição das substâncias húmicas PT5, PT1, PT2 e PT8.

Rainville e Weber (1982) demonstraram que o Ni pode ser complexado e deveria se esperar que estes complexos apresentassem uma alta energia de ligação e seguissem a ordem de estabilidade encontrada por Perrin (1964): $\text{Cu} > \text{Be} > \text{Ni} > \text{Zn} > \text{Co} > \text{Pb} > \text{Mn} > \text{Cd} > \text{Mg}$. O IOM (2001) considera que a alimentação supre naturalmente as necessidades diárias deste

nutriente e apresenta como limites de ingestão diária para humanos $0,2 \text{ mg.dia}^{-1}$ nos primeiros três anos de vida e, a partir de 14 anos, 1 mg.dia^{-1} . Deve-se evitar a utilização de sais solúveis deste elemento, como o sulfato de Ni, na alimentação humana, e o IOM (2001) considera-o capaz de causar riscos ao homem por inalação e por contato, podendo provocar efeitos carcinogênicos e dermatites, mas seu consumo em alimentos não tem apresentado problemas. Seria necessário o consumo de 114,8 g de matéria seca da alfaca PT1 ($8,71 \text{ mg.kg}^{-1}$ na dose 0 mg.L^{-1}), que foi a alfaca que apresentou a maior concentração de Ni para superar os limites de ingestão diárias em seres humanos com mais de 14 anos de idade. A concentração deste elemento foi inferior à preconizada por Smith (1992), no *Codex Alimentarius*, que, para este tipo de alimento, é de 5 mg.kg^{-1} de matéria verde, pois a alfaca apresentou um teor de matéria seca médio de apenas 9,77%.

Com outras culturas também tem-se observado uma redução na concentração de Ni na matéria seca da parte aérea. Silva et al. (2000e), ao cultivarem aveia-preta com adição de substâncias húmicas, obtiveram uma redução de 35,24% e Silva et al. (2000a), em experimento com quatro cortes da planta forrageira azevém, verificou que a concentração de Ni caiu em 62,82% no primeiro corte, em 67,94% no segundo, em 73,14% no terceiro e em 66,01% no quarto corte.

4.27 – Concentração de Níquel na Matéria Seca das Raízes

A concentração de Ni na matéria seca das raízes apresentou significância para o efeito da interação entre substâncias húmicas x doses e para as substâncias húmicas e doses ($P < 0,01$). A concentração média obtida foi de $21,28 \text{ mg.kg}^{-1}$, com $CV = 12,41\%$ e $EPM = 0,269 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Tabela XII em Anexo).

A análise de regressão polinomial mostrou significância para o efeito quadrático para todas as substâncias húmicas avaliadas, e as doses utilizadas permitiram o cálculo dos pontos de mínima para seis das oito substâncias húmicas (Figura 29). Nesta mesma Figura estão apresentados os resultados obtidos neste experimento e os calculados a partir das equações de regressão para cada uma das doses de substâncias húmicas utilizadas para esta variável. Observa-se que, os mesmos variaram em função das substâncias húmicas e das doses

empregadas, tendo-se comprovado que a adição de substâncias húmicas diminui a concentração de Ni nos tecidos das raízes.

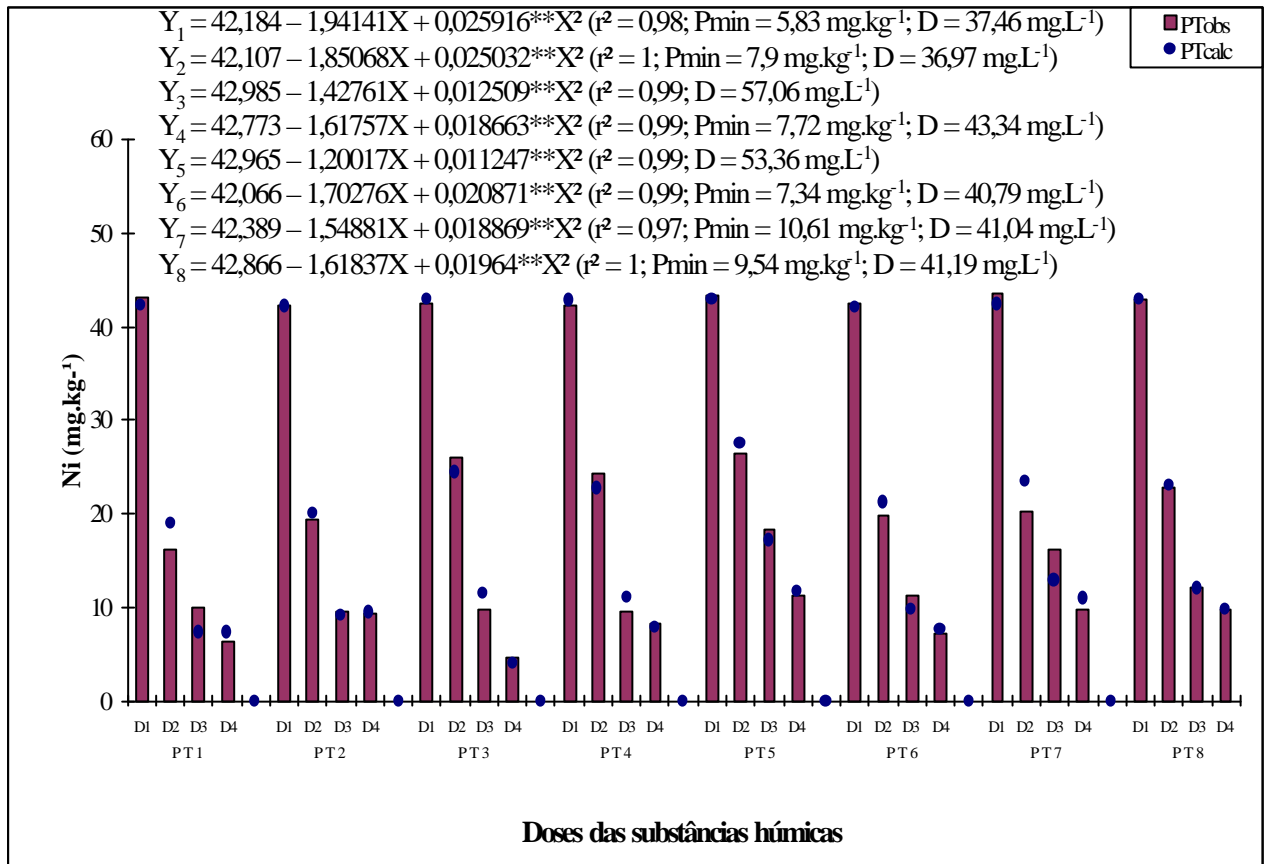


Figura 29 – Concentração de Ni na matéria seca das raízes da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

Pelos resultados médios comparados pelo teste de Tukey apresentados na Tabela XV em Anexo, na dose de 45 mg.L^{-1} , verifica-se que, as substâncias húmicas cuja adição possibilitou a maior redução na concentração de Ni na matéria seca das raízes (mg.kg^{-1}) foram PT3, PT1 e PT6. Vê-se, nesta mesma Tabela, que a diferença entre as três médias não apresentou significância.

A adição de PT3, PT1 e PT6 diminuiram as concentrações de Ni na matéria seca das raízes (mg.kg^{-1}), respectivamente, em 89,11%, 85,25% e 83,03% (Figura 29 e Tabela XV).

A adição de substâncias húmicas ao cultivo da alface alterou a distribuição do Ni total extraído pela planta e que a adição destas substâncias diminui a porcentagem de Ni extraído pelas raízes (Ni total (100%) = Ni extraído pela parte aérea + Ni extraído pelas raízes) (Tabela

XIV em Anexo). Pelos resultados médios comparados pelo teste de Tukey apresentados na Tabela XVI em Anexo, verifica-se que as substâncias húmicas cuja adição possibilitaram maiores médias de porcentagem de Ni total extraído pelas raízes foram as substâncias húmicas PT5, PT6, PT7 e PT8.

Verifica-se que a redução na porcentagem de raízes foi de no máximo 34,96%, obtida com a utilização de PT7 na dose máxima (Tabela XVI em Anexo).

Outros trabalhos com outros cultivos agrícolas têm comprovado a redução das concentrações deste elemento nas raízes. Silva et al. (2000g), em um experimento com milho, concluíram que adição de substâncias húmicas diminuiu as concentrações de Ni em 55,06% e Silva et al. (2000f), com milheto, comprovaram que houve uma redução de 67,39% devido à utilização de substâncias húmicas.

4.28 – Concentração de Cromo na Matéria Seca da Parte Aérea

A concentração de Cr na matéria seca produzida foi de 2,64 mg.kg⁻¹, com CV = 15,52% e EPM = 0,042 mg.kg⁻¹. As concentrações deste elemento somente foram afetadas pelo efeito das doses de substâncias húmicas utilizadas ($P < 0,01$) (Tabela XIV em Anexos). A análise de regressão para o efeito de doses mostrou significância para o efeito linear, tendo sido obtida a equação $Y = 3,621414 - 0,0434995X$ ($r^2 = 0,99$).

Como pode-se verificar pelos resultados experimentais apresentados na Figura 30 e na Tabela XII em Anexo, a adição de substâncias húmicas diminuiu a concentração de Cr nos tecidos, comprovando que ocorre a redução da concentração deste elemento nos tecidos de plantas cultivadas com adição de substâncias húmicas.

Constata-se, entretanto, que as diferenças entre as concentrações de Cr em cada dose para as substância húmicas avaliada não apresentaram significância. Neste experimento, a

redução na concentração de Cr na parte aérea da alface variou de 47,91% (PT8) a 62,25% (PT6).

A porcentagem de Cr na matéria seca da parte aérea foi afetada pelas substâncias húmicas, pelas doses e pela interação entre substâncias húmicas x doses ($P < 0,01$). A porcentagem média obtida foi de 18,7% com CV = 16,94% e EPM = 0,32% (Tabela XIV em Anexo).

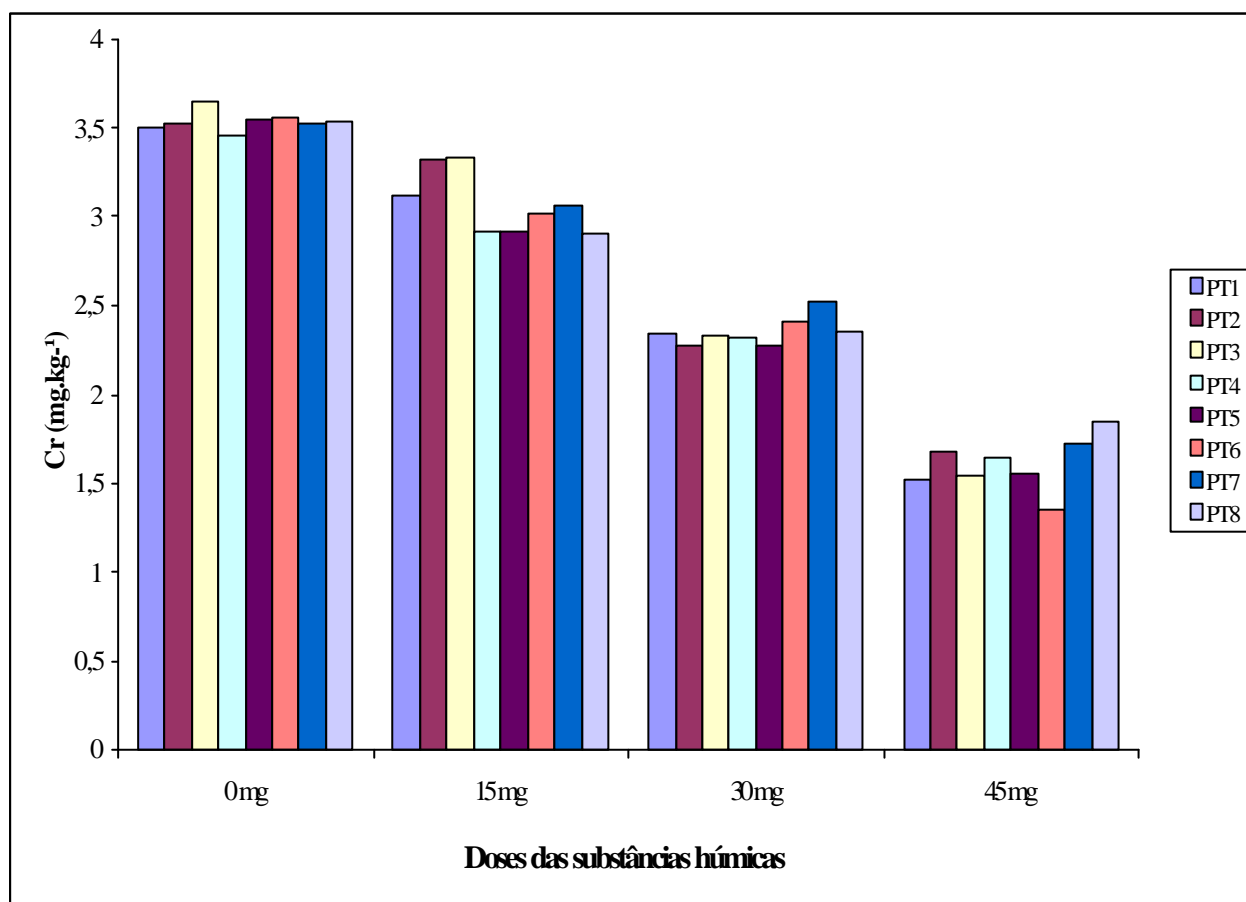


Figura 30 – Concentração de Cr na matéria seca da parte aérea da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

Verifica-se, entretanto, na Tabela XVI em Anexo, que a porcentagem deste elemento presente na parte aérea aumentou com a adição de substâncias húmicas. A maior parte do cromo fica localizado nos tecidos radiculares. Nesta Tabela, são apresentados os resultados médios obtidos neste experimento, em cada nível de dose, comparados pelo teste de Tukey. Como o Cr é um contaminante deve-se buscar produzir com uma menor concentração

possível deste elemento na parte aérea. Na dose 30 mg.L⁻¹, observa-se que, as substâncias húmicas PT1, PT2, PT4, PT5, PT6, PT7 e PT8 produziram alface com menores porcentagens de Cr na parte aérea e estas porcentagens foram significativamente inferiores à obtida com a adição de PT3. Verifica-se que, as porcentagens de Cr na parte aérea produzidas com a adição de PT1, PT2, PT6, PT7 e PT8 foram semelhantes, não diferindo entre si. As menores porcentagens de Cr na parte aérea foram obtidas com a utilização de PT4, PT5, PT6, PT7 e PT8.

Na dose 15 mg.L⁻¹, verifica-se que, as substâncias húmicas PT5 e PT7 produziram alface com menores porcentagens de Cr na parte aérea e a porcentagem obtida foram significativamente inferiores à obtida por PT1. Com a adição das substâncias húmicas PT2, PT3, PT4, PT6 e PT8 foram produzidas alface com uma porcentagem de cromo na parte aérea semelhante a obtida com PT1, PT5 e PT7.

A análise de regressão polinomial da interação substâncias húmicas x doses com exceção de PT4 e PT7 mostrou significância para o efeito quadrático para as substâncias húmicas avaliadas (os r² variaram de 0,73 a 0,93). Os pontos de máxima das curvas de regressão foram calculados. O menor ponto foi obtido com o emprego de PT5 (17,74% na dose de 20,96 mg.L⁻¹) (Tabela XVII em Anexo) e o maior com a adição de PT3 (32,28% na dose de 28,43 mg.L⁻¹).

Alguns trabalhos têm comprovado que as substâncias húmicas além de complexarem o cromo reduzem o Cr⁶⁺ e que elas representam uma reserva significativa de elétrons para doar e reduzir o Cr⁶⁺. Wittbrodt e Palmer (1995) demonstraram que a taxa de redução de Cr⁶⁺ aumenta com o incremento da concentração de [H⁺], [ácidos fúlvicos] e com a diminuição da [Cr⁶⁺] e, segundo Wittbrodt e Palmer (1996), a capacidade de redução do Cr⁶⁺ varia com a fonte de substância húmica e com a diminuição do pH, sendo necessário um menor tempo para a redução do Cr⁶⁺. Yu et al. (1996) comprovaram que o Cr³⁺ e o Pb²⁺, por serem mais reativos, dominam o processo de complexação inicialmente e, após 200 minutos, outros elementos como o Cu²⁺, o Cd²⁺ ou Ag¹⁺ começam a apresentar importância neste processo, tendo sido obtida a seguinte ordem de complexação: Cr (81% complexado > Pb (53%) > Cu (39%) > Cd (17%) > Ag (10%) > Li (4%) > Co (3%), determinada após 1500 minutos em pH 5.

O Cr^{3+} é o estado de oxidação mais estável (Grenwood e Earnshaw, 1997) e é a forma presente nos alimentos devido à presença neles, de substâncias redutoras. O organismo humano dispõe de mecanismos para prevenir a absorção de Cr^{6+} tanto no trato intestinal como do sangue para as células (Kuykendall et al., 1996). Os resultados obtidos comprovam que houve a complexação deste elemento pelas substâncias húmicas. Conforme Behrman et al. (1992), o Cr é um microelemento essencial na regulação da glicemia e no metabolismo da insulina em seres humanos, e o DM (2001) considera que ele potencializa a ação da insulina. Entretanto o limite proposto pelo *Codex Alimentarius*, de acordo com Smith (1992), para este elemento é de apenas $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$. Para a alface mesmo com sua alta concentração de água, este índice foi superado mesmo com a utilização da dose máxima em cinco das oito substâncias húmicas avaliadas. Como a alface foi produzida utilizando-se reagentes p.a, os níveis estabelecidos podem inviabilizar o suprimento deste mineral essencial na alimentação. Nos Estados Unidos, isto também ocorre devido aos limites impostos pela EPA, e este microelemento está sendo suplementado em dietas (IOM, 2001).

Outros trabalhos também obtiveram uma redução na concentração de Cr na parte aérea. Silva et al. (2000e), com aveia-preta cultivada com adição de substâncias húmicas, obtiveram uma redução de 35,24%, e Silva et al. (2000a) verificou, em experimento com quatro cortes da planta forrageira azevém, que a concentração de Cr caiu em 62,82% no primeiro corte, em 67,94% no segundo, em 73,14% no terceiro e em 66,01% no quarto corte.

4.29 – Concentração de Cromo na Matéria Seca das Raízes

A concentração média de Cr obtida foi de $22,18 \text{ mg.kg}^{-1}$ de matéria seca, com CV = 4,98% e EPM = $0,113 \text{ mg.kg}^{-1}$. Houve significância para o efeito da interação entre substâncias húmicas x doses e para os fatores principais substâncias húmicas e doses (Tabela XIV em Anexo).

A Figura 31 mostra os resultados médios obtidos e calculados a partir das equações de regressão em cada uma das doses utilizadas. Observa-se que a adição de substâncias húmicas diminuiu a concentração de Cr nos tecidos das raízes, comprovando que ocorre a redução na disponibilidade deste elemento para as plantas, o que leva a uma diminuição de sua concentração nos tecidos das raízes de plantas cultivadas com adição de substâncias húmicas.

A análise de regressão mostrou significância para o efeito linear para PT6 e PT7 e quadrático para todas as outras substâncias húmicas avaliadas. Para PT4, os termos de X e X² da equação de regressão polinomial apresentaram o sinal de subtração e, para as outras cinco substâncias húmicas avaliadas, as doses utilizadas somente permitiram a obtenção do ponto de mínima a partir da equação de PT5 (21,72 mg.kg⁻¹); para as substâncias húmicas restantes, as doses calculadas a partir das respectivas equações de regressão polinomiais superaram a dose máxima utilizada (Figura 31).

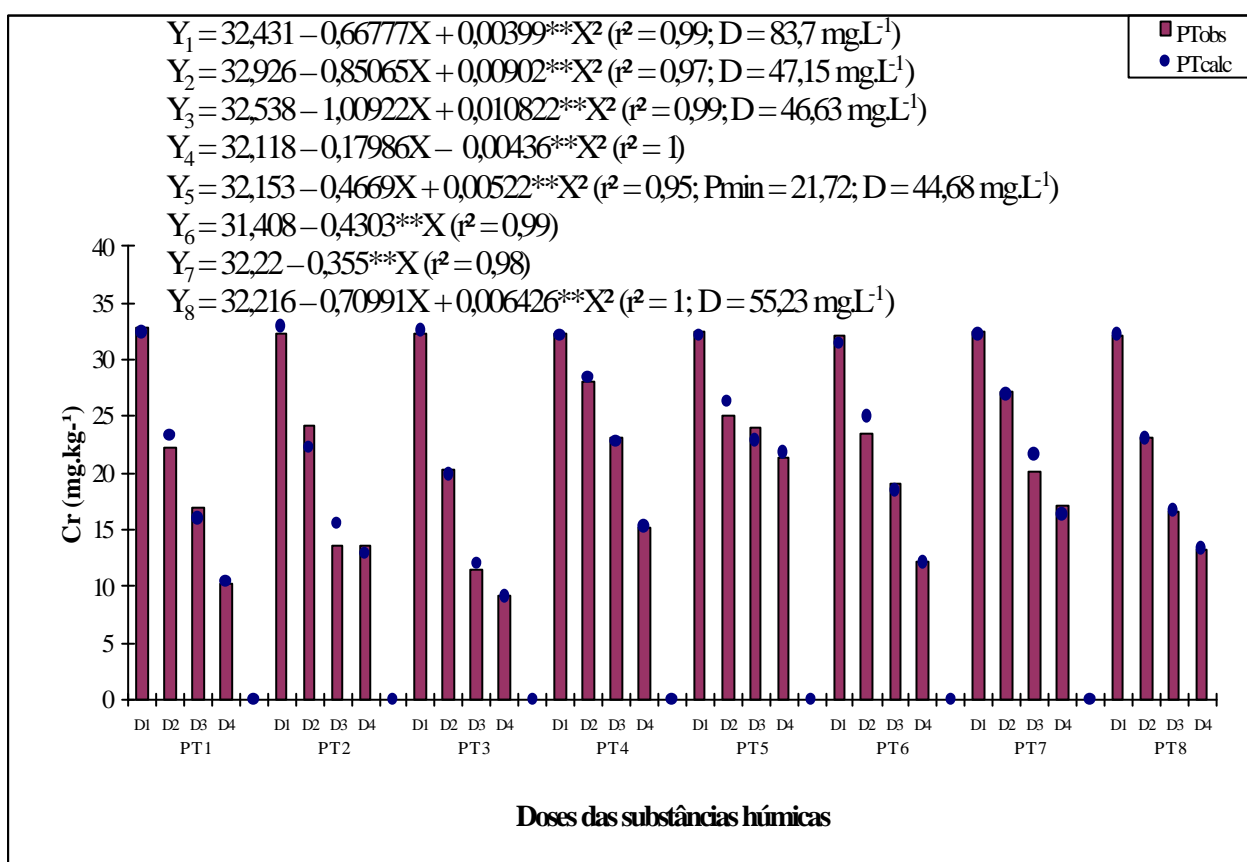


Figura 31 – Concentração de Cr na matéria seca das raízes da alfaca *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

Na Figura 31 e na Tabela XV em Anexo, verifica-se que as menores concentrações foram obtidas com a utilização da dose de 45 mg.L⁻¹. Como o Cr é um contaminante deve-se buscar produzir com uma menor concentração possível deste elemento. Os resultados médios obtidos neste experimento, em cada nível de dose, comparados pelo teste de Tukey são apresentados na Tabela XV (em Anexo). Na dose 45 mg.L⁻¹, observa-se que, a substância

húmica PT3 produziu alface com uma concentração de Cr significativamente inferior às obtidas com PT2, PT4, PT5, PT6, PT7 e PT8. A adição de PT1 e PT3, produziu alface com concentrações de Cr semelhantes, não diferindo entre si, pois médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

As menores concentrações foram obtidas com PT3 ($9,2 \text{ mg.kg}^{-1}$), PT1 ($10,12 \text{ mg.kg}^{-1}$) e PT6 ($12,12 \text{ mg.kg}^{-1}$) na dose de 45 mg.L^{-1} , que reduziram a concentração deste elemento nas raízes respectivamente em 71,59%, 69,12% e em 62,7%.

A análise de variâncias da porcentagem de Cr na matéria seca das raízes mostrou significância para o efeito das substâncias húmicas, das doses e da interação entre substâncias húmicas x doses ($P < 0,01$). A porcentagem média obtida foi de 81,45% com $CV = 3,4\%$ e $EPM = 0,28\%$ (Tabela XIV em Anexo). A Tabela XVI (em Anexo) mostra que as diferentes substâncias húmicas avaliadas apresentaram um comportamento distinto quanto à distribuição do Cr na planta. Verifica-se, entretanto, nesta Tabela, que a porcentagem deste elemento presente nas raízes diminuiu com a adição de substâncias húmicas. A maior parte do Cr fica localizado nos tecidos radiculares. A adição de PT3, na dose 30 mg.L^{-1} , apresentou a menor porcentagem do Cr total extraído pela planta nas raízes, e este resultado foi significativamente inferior ao obtido com a adição de PT1, PT2, PT4, PT5, PT6, PT7 e de PT8.

A análise de regressão polinomial da interação substâncias húmicas x doses acusou que não houve significância para o efeito de doses para as substâncias húmicas PT4 e PT7 e mostrou significância para o efeito quadrático para todas as outras seis substâncias húmicas avaliadas (os r^2 variaram de 0,73 a 0,93). Os pontos de mínima das curvas de regressão foram calculados. O maior ponto foi obtido com o emprego de PT5 (82,26% na dose calculada de $20,96 \text{ mg.L}^{-1}$) e o menor com a adição de PT3 (67,72% na dose de $28,43 \text{ mg.L}^{-1}$) (Tabela XVII em Anexo).

Verifica-se, na Tabela XVI em Anexo, que a adição de PT3 na dose 3 ($D_3=30 \text{ mg}$) possibilitou que 61,15% do Cr total extraído estivesse localizado nas raízes ao passo que a adição de PT4 permitiu que 85,37% do Cr total estivesse localizado nos tecidos das raízes. Assim, as oito diferentes substâncias húmicas extraídas a partir da matéria-prima turfa

JOSAPAR influenciam de forma diversa as concentrações, a absorção de metais pesados e a sua distribuição na planta.

A redução na concentração de Cr em tecidos das raízes também foi observada em outros trabalhos com outras culturas. Silva et al. (2000g), com aveia-preta, concluíram que a adição de substâncias húmicas reduziu em 35,24% a concentração de cromo nas raízes, e Silva et al. (2000f), com milho, registraram uma redução de 81,53% no Cr presente na matéria seca das raízes.

4.30 – Concentração de Cádmio na Matéria Seca da Parte Aérea

A concentração média de Cd obtida na matéria seca da parte aérea foi de = 2,54 mg.kg⁻¹, com CV = 18,55% e EPM = 0,048 mg.kg⁻¹. As concentrações obtidas sofreram variação devido ao efeito das doses utilizadas (P < 0,01) (Tabela XVII em Anexo).

Os resultados apresentados na Figura 32 demonstraram que a adição de substâncias húmicas diminuiu a concentração de Cd nos tecidos da parte aérea. Os resultados obtidos estão de acordo com Silva et al. (2000a) e Silva et al. (2000e), que comprovaram a redução da concentração deste elemento nos tecidos de plantas cultivadas com adição de substâncias húmicas. A análise de regressão polinomial apresentou significância para o efeito quadrático, tendo sido obtida a seguinte equação: $Y = 4,07398 - 0,1199999X + 0,00147674X^2$ ($r^2 = 0,99$). O ponto de máxima 1,64 mg.kg⁻¹ foi atingido na dose calculada de 40,63 mg.L⁻¹.

A redução na concentração variou de 54,28% com a utilização de PT2 a 67,31% com a adição de PT6 (Tabela XVI em Anexo). A concentração de Cd na matéria verde da alface foi inferior ao limite máximo de tolerância para este tipo de alimento que é de 1 mg.kg⁻¹.

A análise de variância da variável porcentagem de Cd na parte aérea (Tabela XVIII em Anexo) mostrou significância para os efeitos das substâncias húmicas, das doses e da interação entre substâncias húmicas x doses (P < 0,01). Na Tabela XVIII em Anexo, é apresentado o resultado da porcentagem da extração total do Cd que é extraída pela parte aérea, verificando-se que, com o aumento das doses das substâncias húmicas, a porcentagem

do cádmio extraído pela parte aérea elevou-se. Nesta mesma Tabela, constata-se que a substância húmica PT2 produziu alface com uma porcentagem de Cd na parte aérea significativamente inferior às obtidas com PT1 e PT3. A adição das substâncias húmicas PT2, PT4, PT5, PT6, PT7 e PT8, produziu alface com porcentagem de Cd semelhantes, não diferindo entre si, pois médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

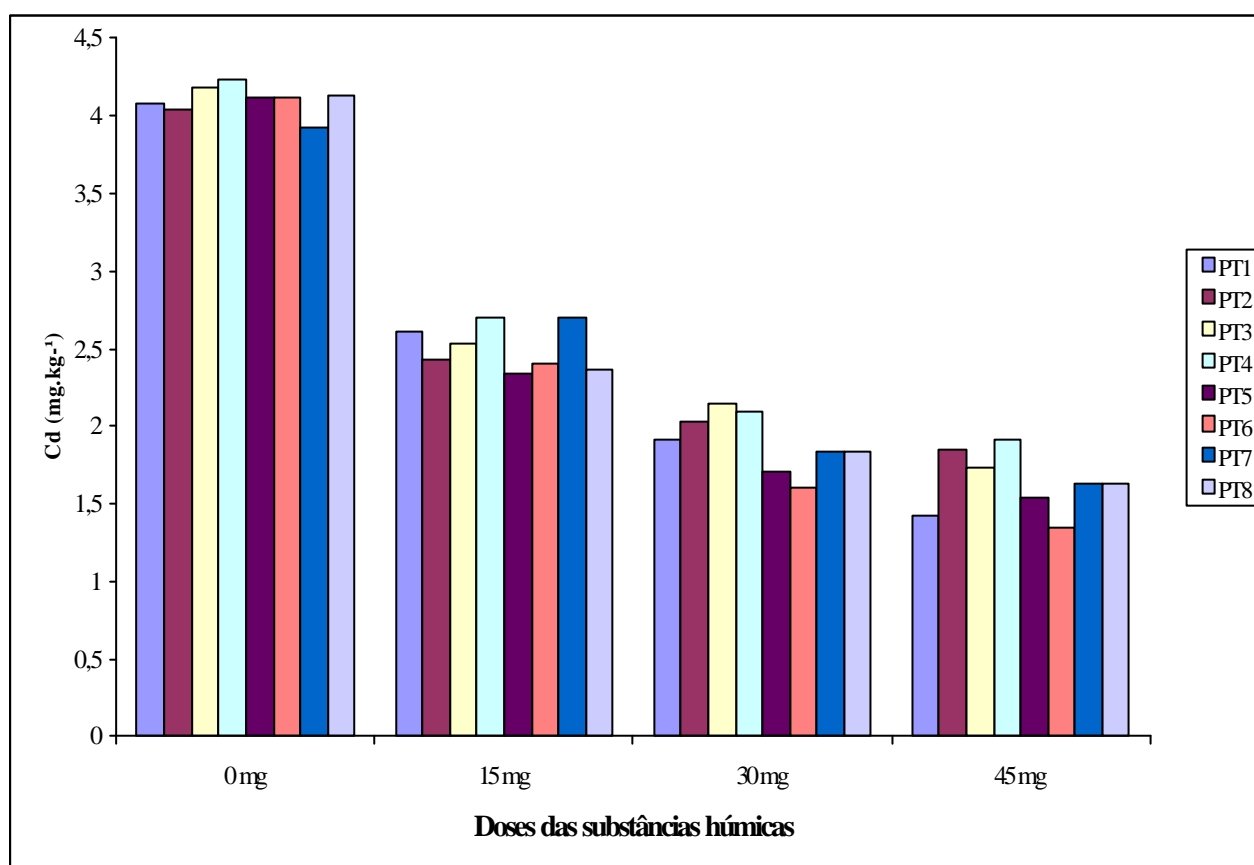


Figura 32 – Concentração de Cd na matéria seca da parte aérea da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

A análise de regressão polinomial mostrou significância para o efeito linear para sete das oito substâncias húmicas avaliadas para a porcentagem de Cd presente na matéria seca da parte aérea (Tabela XXII em Anexo).

Outros trabalhos com outras culturas também têm alcançado redução na concentração de Cd nos tecidos da parte aérea devido à adição de substâncias húmicas. Silva et al. (2000e),

com aveia-preta, e Silva et al. (2000a), com azevém no primeiro corte, obtiveram, respectivamente, uma redução na concentração de Cd na matéria seca da forragem de 54,06% na aveia-preta e de 51,29% no azevém. Já Silva et al. (2000a), com azevém, em três cortes obtiveram uma redução de: 84,51% no segundo corte; 63,35% no terceiro e de 72,1% no quarto corte.

4.31 – Concentração de Cádmio na Matéria Seca das Raízes

A análise de variância desta variável acusou significância para os efeitos das substâncias húmicas e das doses utilizadas e para a interação entre estes dois fatores ($P < 0,01$). Foi obtida uma média = $7,14 \text{ mg.kg}^{-1}$ de matéria seca com um CV = 6,77% e um EPM = $0,049 \text{ mg.kg}^{-1}$ (Tabela XVIII em Anexos).

Verifica-se que, os resultados apresentados na Figura 33 demonstraram que a adição de substâncias húmicas diminuiu a concentração de cádmio neste tipo de tecido vegetal, e a análise de regressão indicou significância para o efeito linear para PT2 e quadrática para as outras sete substâncias húmicas avaliadas. Observa-se, nesta Figura, que as doses utilizadas só permitiram a obtenção dos pontos de mínima em apenas duas substâncias húmicas (PT7 e PT8).

Na Tabela XVI em Anexo, são apresentados os resultados médios obtidos neste ensaio comparados pelo teste de Tukey, pelos quais comprovou-se que, com 30 mg.L^{-1} , que foi a dose de maior produção de matéria seca, PT2 apresentou a maior concentração de cádmio na matéria seca das raízes entre as oito substâncias húmicas avaliadas, mas, quando se considera a dose de 45 mg.L^{-1} , a maior concentração de Cd nas raízes foi atingida com a utilização de PT7, que apresentou uma concentração significativamente superior a obtida por PT1, PT3, PT6 e PT8. Não havendo diferença entre as concentrações obtidas com o emprego das substâncias húmicas PT7, PT2, PT4 e PT5.

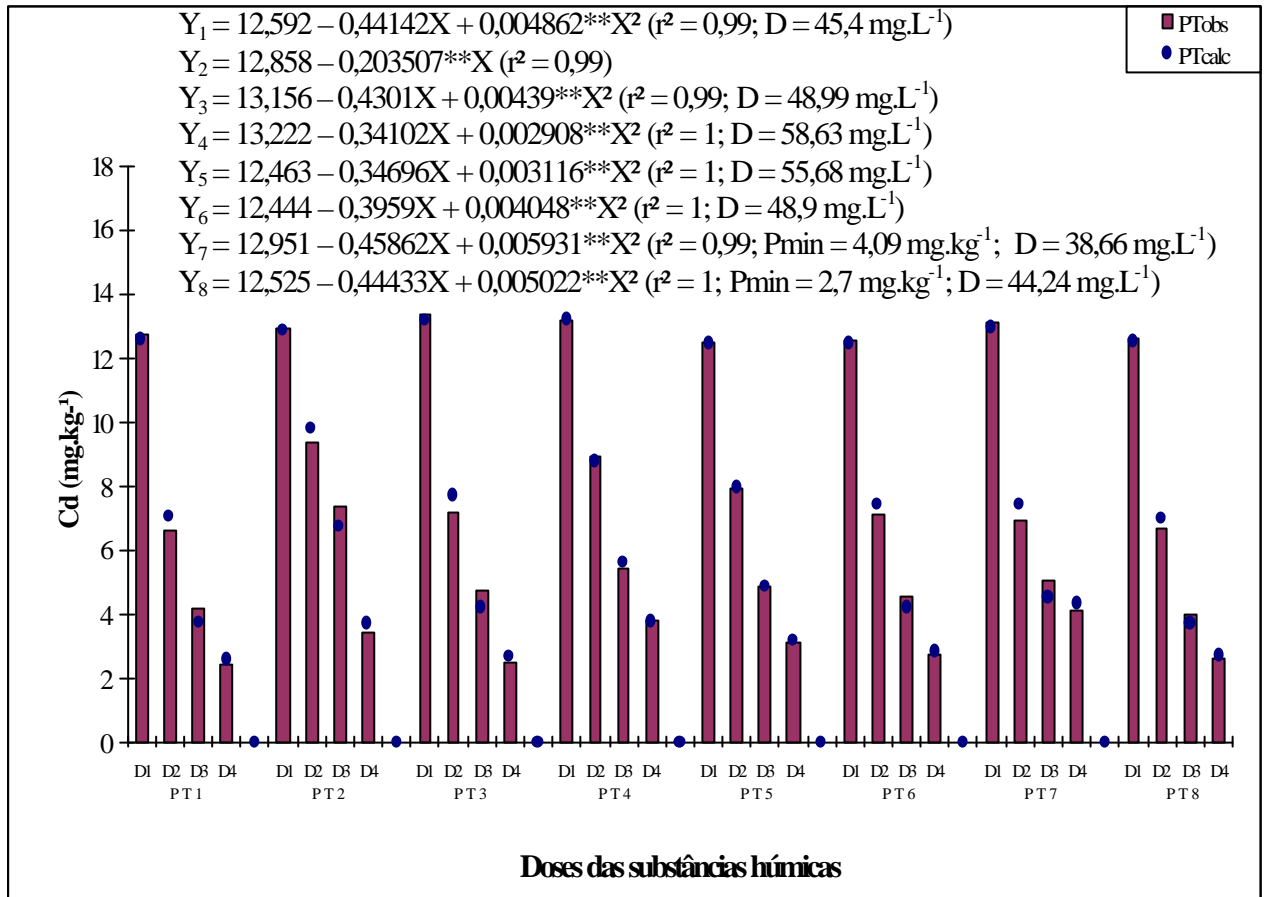


Figura 33 – Concentração de Cd na matéria seca das raízes da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

A redução na concentração de Cd nas raízes do alface variou de 68,37% (PT7) a 81,18 (PT3), comprovando-se com este trabalho, que as diferentes substâncias húmicas extraídas da matéria-prima turfa JOSAPAR influenciam de forma diversa as concentrações e a absorção de metais pesados por esta planta.

A percentagem de Cd nas raízes mostrou significância para os efeitos dos fatores substâncias húmicas e doses ($P < 0,01$) e para a interação entre substâncias húmicas x doses ($P < 0,05$), tendo sido obtida uma concentração média de 58,74%, com $CV = 9,26\%$ e $EPM = 0,56\%$ (Tabela XVII em Anexo). Na Tabela XXI em Anexo, observa-se que a percentagem de Cd presente nos tecidos das raízes (100% = extração total = Cd parte aérea + Cd raízes) diminuiu com o aumento das doses de substâncias húmicas avaliadas. Nesta mesma Tabela, constata-se que a substância húmica PT2, na dose de 30 mg.L^{-1} , produziu alface com uma percentagem de Cd na parte aérea significativamente superior às obtidas com PT1 e PT3. A

adição das substâncias húmicas PT2, PT4, PT5, PT6, PT7 e PT8, produziu alface com porcentagem de Cd semelhantes, não diferindo entre si, pois médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A análise de regressão mostrou significância para o efeito linear para seis das oito substâncias húmicas avaliadas para a porcentagem de Cd presente na matéria seca da parte aérea (Tabela XXII em Anexo).

A redução na concentração de Cd na matéria seca das raízes também foi obtida por Silva et al. (2000f), com milheto, e por Silva et al. (2000g), com milho, que obtiveram, respectivamente, uma redução de 81,95% e 40,93%.

4.32 – Concentração de Chumbo na Matéria Seca da Parte Aérea

Foi obtida uma concentração média de chumbo de $4,26 \text{ mg.kg}^{-1}$ de MS, com CV = 10,92% e EPM = $0,047 \text{ mg.kg}^{-1}$ de MS. Houve significância para os efeitos das substâncias húmicas, das doses e da interação entre estes dois fatores (Tabela XVIII em Anexos).

Os resultados desta variável, apresentados na Figura 34, comprovam que ocorre redução na concentração deste elemento nos tecidos da parte aérea com a adição de substâncias húmicas. A análise de regressão mostrou significância para o efeito linear para quatro das oito substâncias húmicas avaliadas. Para as quadráticas foram calculados os pontos de mínima e as equações obtidas a partir de PT1 e PT6 apresentaram os menores pontos de mínima.

A Tabela XIX em Anexo apresenta os resultados médios comparados pelo teste de Tukey. Verificou-se que, na dose de 45 mg.L^{-1} as menores concentrações (mg.kg^{-1}) foram obtidas com a adição de PT1, PT2, PT3, PT5 e PT6. Essas concentrações diferiram significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade das concentrações obtidas por PT4, PT7 e PT8.

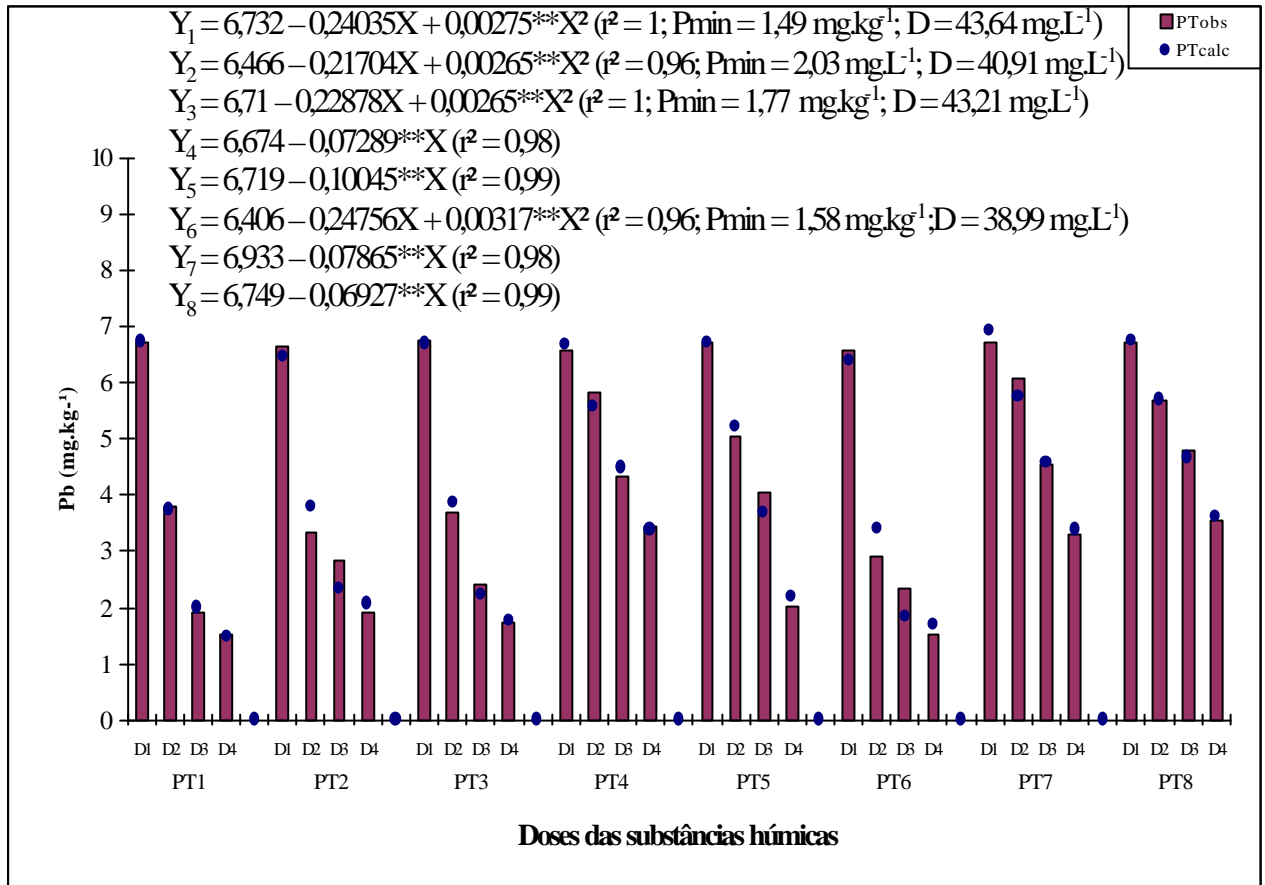


Figura 34 – Concentração de Pb na matéria seca da parte aérea da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

As concentrações obtidas por PT1, PT2, PT3, PT5 e PT6 permitiram os melhores resultados na dose máxima, reduzindo a concentração de Pb nos tecidos da parte aérea em 77,4%, 71,21%, 74,59%, 69,88% e 76,81 (Figura 34 e Tabela XIX em Anexo).

As concentrações obtidas mesmo nas testemunhas foram abaixo dos limites máximos de tolerância dos contaminantes inorgânicos considerados como aditivos incidentais apresentados no *Codex Alimentarius*, segundo o qual, para este tipo de alimento, o limite para o chumbo presente em bulbos, raízes e tubérculos, cereais, hortaliças e leguminosas é de $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ de peso fresco (Smith, 1992). Verifica-se, entretanto, que as concentrações obtidas nas testemunha foram próximas ao limite preconizado para este elemento, mesmo tendo sido utilizados produtos PA para o preparo da solução nutritiva.

Na Tabela XX em Anexo, são apresentados os resultados da análise de variância da porcentagem de chumbo na parte aérea. A análise de variância mostra que houve significância ($P < 0,01$) para o efeito dos fatores principais substâncias húmicas e doses e para a interação simples entre estes dois fatores com um CV = 8,09%, um EPM = 0,47% e uma média geral = 57,53%. Verifica-se, contudo, que, mesmo nas substâncias húmicas em que ocorreu um aumento na porcentagem da parte aérea, a diminuição nas concentrações de Pb foi superior a este aumento, fazendo com que a extração de Pb pela parte aérea da alface diminuísse com a utilização de substâncias húmicas (Tabela XXI em Anexo). O resultado da análise de regressão polinomial da interação não acusou significância para as substâncias húmicas PT2 e PT6, mas mostrou significância para o efeito linear para PT7 e significância para o efeito quadrático para as cinco substâncias húmicas restantes (Tabela XXIV em Anexos).

Em outras cultura também tem-se obtido uma redução na disponibilidade deste elemento. Silva et al. (2000e), com a forragem da aveia-preta, constataram que a adição de substâncias húmicas diminuiu a concentração de Pb em 30,19%. Já Silva et al. (2000a), com a planta forrageira azevém, verificaram que a concentração de Pb diminuiu em 64,18% no primeiro corte, em 74,26% no segundo, em 57,04% no terceiro e em 74,88% no quarto corte.

4.33 – Concentração de Chumbo na Matéria Seca das Raízes

Houve significância para os efeitos das substâncias húmicas e das doses utilizadas ($P < 0,01$), registrando-se uma concentração média de 5,4 mg.kg⁻¹ de MS, com CV = 9,92% e um EPM = 0,055 mg.kg⁻¹ (Tabela XVIII).

A análise de regressão polinomial para o efeito das doses utilizadas apresentou significância para o efeito quadrático, tendo sido obtida a equação $Y = 8,385837 - 0,1976967X + 0,00185906X^2$ ($r^2 = 1$). O ponto de máxima não foi alcançado, pois a dose calculada superou a máxima utilizada em 8,17 mg.L⁻¹. A Figura 35 mostra que houve uma redução da concentração deste elemento com o aumento da dose de substância húmica adicionada e o melhor resultado foi obtido com a utilização da dose mais elevada.

Na Tabela XIX em Anexo, verifica-se que as menores concentrações médias foram atingidas na dose de 45 mg.L⁻¹ com a utilização de PT1 e de PT3, que foram

significativamente inferiores às obtidas com PT7 e PT8. Porém, não houve diferença estatística entre os resultados obtidos por PT1, PT2, PT3, PT4, PT5, PT6, PT7 e PT8.

A redução obtida na concentração de Pb na matéria seca das raízes da alface variou de 55,54% (PT7) a 66,15% (PT1), com a adição de substâncias húmicas na dose de 45 mg.L⁻¹ (Figura 35 e Tabela XIX em Anexos).

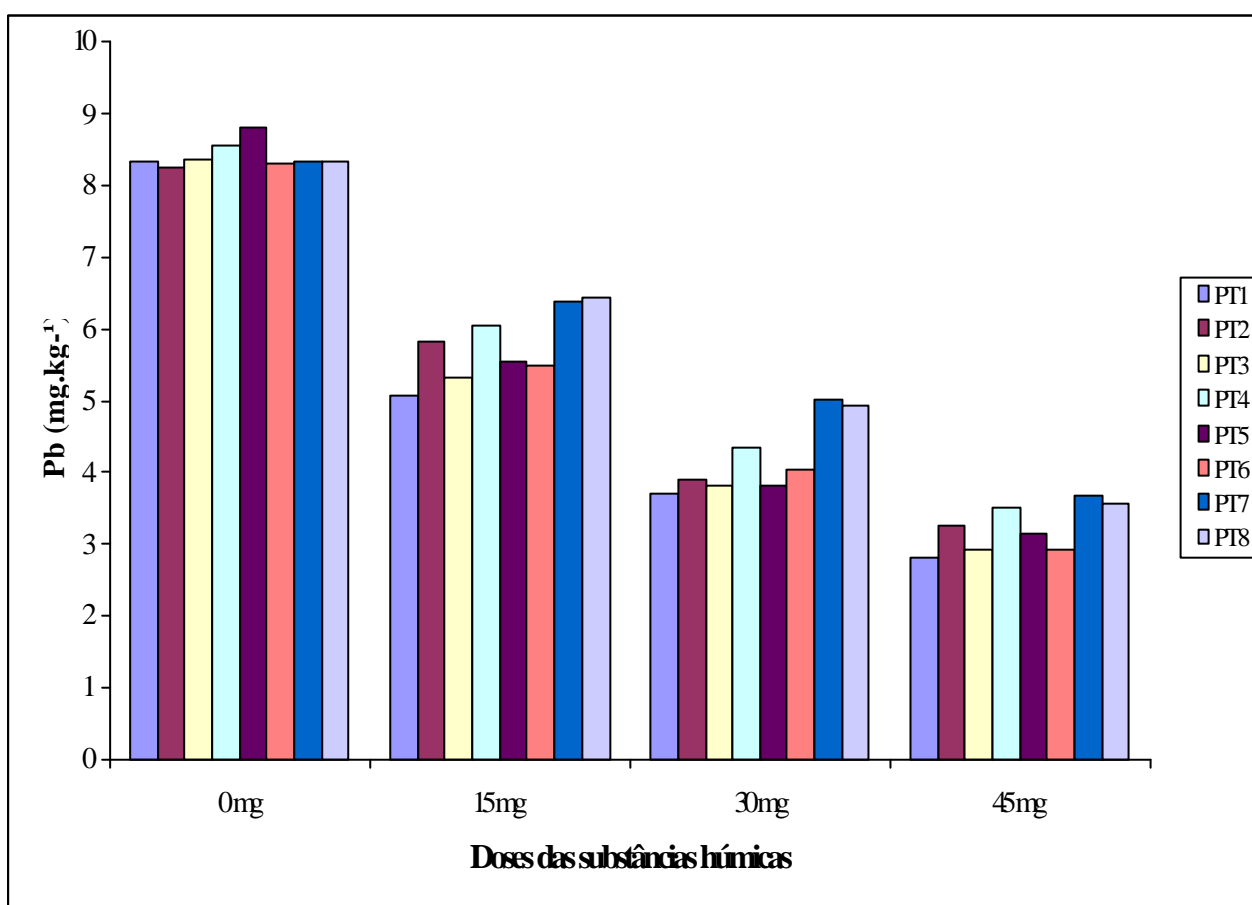


Figura 35 – Concentração de Pb na matéria seca das raízes da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

Na Tabela XX, são mostrados os resultados da análise de variância da variável porcentagem de chumbo nas raízes, podendo-se verificar que houve significância ($P < 0,01$) para o efeito dos fatores principais substâncias húmicas e doses e para a interação substâncias húmicas x doses com CV = 10,96%, EPM = 0,47% e média geral = 42,47%.

Pelos resultados da porcentagem do Pb total extraído pelas raízes, pode-se verificar que as diferentes substâncias húmicas afetaram as porcentagens deste elemento na matéria

seca das raízes (Tabela XXI em Anexos). Na Tabela XXIV, são apresentados, os resultados da análise de regressão polinomial para a interação e pelos resultados observa-se que não houve significância para as substâncias húmicas PT2 e PT6, mas mostrou significância para o efeito linear para PT7 e significância para o efeito quadrático para as cinco substâncias húmicas restantes.

Outros trabalhos têm demonstrado o efeito destas substâncias na redução da absorção do Pb. Silva et al. (2000f), em um experimento com milho demonstraram que a adição de substâncias húmicas diminuiu em 61,54% as concentrações do Pb, e Silva et al. (2000g), em um experimento com milho, concluíram que adição de substâncias húmicas diminuiu a concentração de Pb nas raízes em 61,30%.

4.34 – Concentração de Mercúrio na Matéria Seca da Parte Aérea

Foi obtida uma concentração média de $0,017 \text{ mg.kg}^{-1}$ de MS, com CV = 6,6% e EPM = $0,0001 \text{ mg.kg}^{-1}$ de MS. As concentrações deste elemento na parte aérea do alface variaram em função dos efeitos das doses, das substâncias húmicas utilizadas e da interação entre substâncias húmicas x doses ($P < 0,01$) (Tabela XX em Anexos), demonstrando que cada uma delas apresentou uma resposta diferente.

Na Figura 36, estão indicados os resultados desta variável. Observa-se que a adição de substâncias húmicas diminuiu a concentração de Hg nos tecidos, comprovando que ocorre redução de sua concentração nos tecidos de plantas cultivadas com adição de substâncias húmicas.

A análise de regressão polinomial vista na Figura 36 indica que houve significância para o efeito linear para cinco das oito substâncias húmicas avaliadas e as doses utilizadas de substâncias húmicas não permitiram a obtenção dos pontos de mínima para as outras três uma vez que a dose calculada superou a dose máxima utilizada em no mínimo $18,91 \text{ mg.L}^{-1}$.

Na Tabela XXIII em Anexo, são apresentados os resultados médios obtidos neste ensaio comparados pelo teste de Tukey, pelos quais comprovou-se que, com 45 mg.L^{-1} , que

foi a dose de menor concentração de Hg na MS, a adição de PT4, PT7 e PT8 produziu alface com uma concentração significativamente maior deste elemento que às obtidas com a utilização de PT1, PT2, PT3, PT5 e PT6. Verifica-se que, as menores concentrações foram obtidas com o emprego de PT1 e PT6. Porém, não houve diferença estatística entre as concentrações obtidas com o emprego das substâncias húmicas PT2 e PT5, pois médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

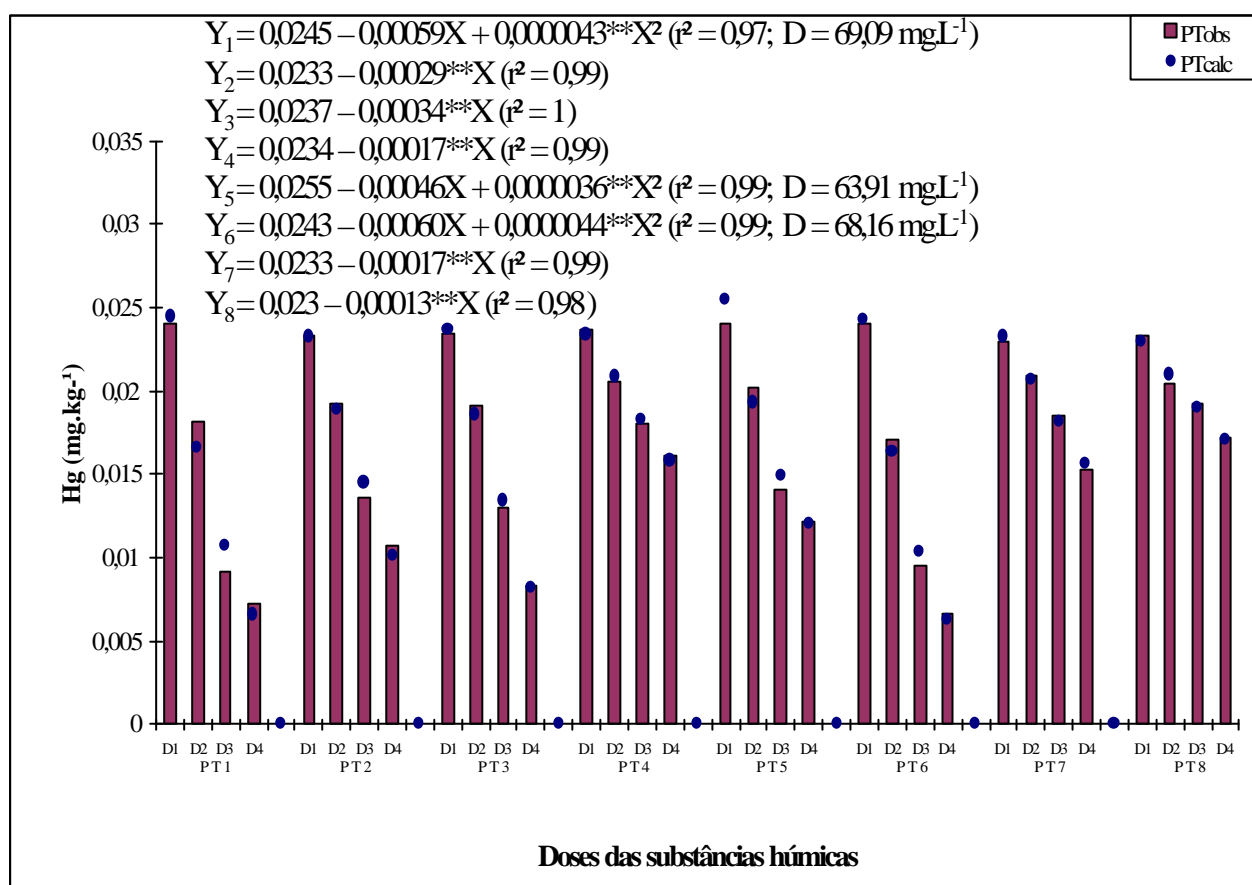


Figura 36 – Concentração de Hg na matéria seca da parte aérea da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

Verifica-se, na Figura 36 e na Tabela XXIII em Anexo, que a redução na concentração de Hg nos tecidos da parte aérea, em função da adição de substâncias húmicas, variou de 26,18% (PT8) a 72,5% (PT6), conforme a substância húmica avaliada. As menores concentrações na parte aérea foram obtidas com a utilização de PT1 (0,0072 mg.kg⁻¹), PT3

(0,0083 mg.kg⁻¹) e PT6 (0,0066 mg.kg⁻¹), que possibilitaram uma redução, respectivamente, de 70%, 64,68% e 72,5%.

Segundo Wang et al. (1997), a disponibilidade de Hg para as plantas diminui com o aumento da adição de ácidos húmicos, embora a utilização destes ácidos tenha diminuído a perda de Hg por lixiviação, tendo esses autores obtido uma diminuição na concentração de Hg de 66,67% em *Brassica chinesis* e de 52,63% em alface. A distribuição do Hg em *Brassica chinesis* apresentou a seguinte ordem: raízes 91% > folhas 9% > caules 1%; *Lactuca sativa* variedade *Angostura Irish*, a ordem foi: raízes 68% > folhas 21% > talos 6% > medula 5%.

O grau de complexação do Hg pelas substâncias húmicas ainda causa discordância. Slavek et al. (1982) concluíram que a maior parte do Hg fica complexado com os ácidos húmicos na forma trocável, com uma pequena fração ligada fortemente ao substrato orgânico por coordenação. Thanabalasingam e Pickering (1985), entretanto, demonstraram que o Hg fica fortemente ligado à matriz orgânica e apenas 20% dele foi trocado pelo Mg²⁺ 1 M por efeito de massa, demonstrando que apenas 20% estava complexado na forma trocável.

Todas as concentrações obtidas neste experimento ficaram abaixo do limite máximo de tolerância para o mercúrio neste tipo de alimento, que é de 0,01 mg.kg⁻¹ de matéria verde (Smith, 1992).

A análise de variância da variável porcentagem de mercúrio na parte aérea apresentou uma média geral = 43,6% com CV = 10% e EPM = 0,45%. Houve significância (P < 0,01) para os efeitos das doses, das substâncias húmicas utilizadas e da interação substâncias húmicas x doses (Tabela XX em Anexos), demonstrando que cada uma delas apresentou uma resposta diferente.

Na Tabela XXIII em Anexo, verifica-se que a porcentagem do Hg total extraído pela parte aérea aumentou com a adição de substâncias húmicas e este aumento variou de 45,88% (PT6) a 117,16% (PT3), fazendo com que apenas a adição das substâncias húmicas PT1, PT2 e PT6 não tenham provocado um aumento na extração total de Hg pela matéria seca da parte aérea da alface nos pontos em que foi obtida a maior porcentagem de Hg. Na Tabela XXIV, são apresentados, os resultados da análise de regressão polinomial para a interação e pelos

resultados observa-se que houve significância para o efeito linear para seis das substâncias húmicas avaliadas e significância para o efeito quadrático para as duas substâncias húmicas restantes.

Em outros trabalhos, com outros cultivos agrícolas, também foram alcançadas reduções nas concentrações deste elemento na matéria seca da parte aérea. Silva et al. (2000e), com a forragem da aveia-preta, observaram que a adição de substâncias húmicas diminuiu a concentração de Hg em 28,57%, e Silva et al. (2000a), com a planta forrageira azevém, verificaram que a concentração de mercúrio diminuiu em 67,04% no primeiro corte, em 61,66% no segundo, em 62,04% no terceiro e em 60,01% no quarto corte.

4.35 – Concentração de Mercúrio na Matéria Seca das Raízes

Houve significância para os efeitos dos fatores substâncias húmicas e doses e para a interação entre estes fatores ($P < 0,01$), alcançando uma concentração média de Hg na matéria seca das raízes de $0,0436 \text{ mg.kg}^{-1}$ de MS, com $CV = 6,9\%$ e $EPM = 0,0003 \text{ mg.kg}^{-1}$ de MS. Os resultados desta variável são apresentados na Figura 37, onde se pode observar que a adição de substâncias húmicas diminuiu a concentração de Hg nas raízes e que este efeito aumentou à medida que as doses de substâncias húmicas foram elevadas.

A análise de regressão polinomial apresentada na Figura 37 mostra que ocorreu significância para o efeito linear para PT4 e PT5 e que houve significância para o efeito quadrático para as seis substâncias húmicas restantes.

Na Tabela XXIII em Anexo, são apresentados os resultados obtidos neste experimento comparados pelo teste de Tukey, em cada uma das doses utilizadas, verificando-se que os melhores resultados experimentais foram obtidos na dose máxima e que a menor concentração de Hg (mg.kg^{-1}) nas raízes foi alcançada com a utilização de PT1, significativamente menor que a PT4, que possibilitou a menor redução na concentração de Hg nas raízes. Entretanto observa-se que as concentrações médias obtidas com PT1 e PT4 não diferiram estatisticamente das obtidas com PT2, PT3, PT5, PT6, PT7 e PT8.

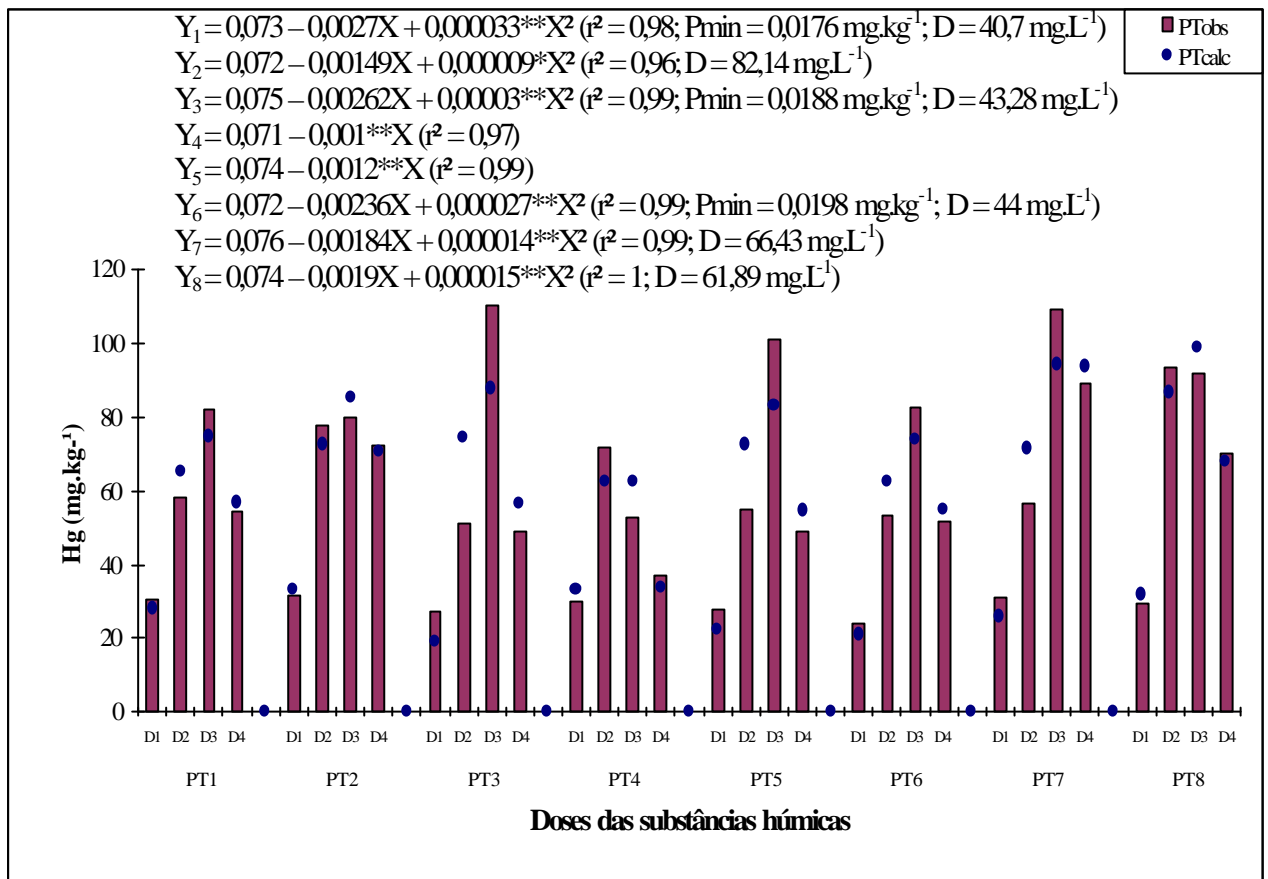


Figura 37 – Concentração de Hg na matéria seca das raízes da alface *Maravilha de Verão* em função das doses e das substâncias húmicas avaliadas.

A utilização das substâncias húmicas possibilitou uma redução na concentração de Hg nos tecidos radiculares que variou de 65,56% (PT4) a 77,03% (PT1) (Figura 37 e Tabela XXIII em Anexo).

A porcentagem de Hg na matéria seca das raízes foi afetada pelas substâncias húmicas, pelas doses e pela interação entre substâncias húmicas x doses ($P < 0,01$). A porcentagem média obtida foi de 56,41% com $CV = 7,77\%$ e $EPM = 0,45\%$ (Tabela XX em Anexo).

Na Tabela XXI em Anexo, verifica-se que a adição de substâncias húmicas altera a distribuição da extração total de Hg, que a adição destas substâncias ao cultivo da alface reduz a participação das raízes na extração total deste elemento e que esta diminuição experimentalmente variou de 20,19% (PT6) a 45,59% (PT8). A análise de regressão polinomial para a interação substâncias húmicas x doses mostrou significância para o efeito

linear para as substâncias húmicas PT2, PT4, PT5, PT7 e PT8 e acusou significância para o efeito quadrático para PT1, PT3 e PT6. As doses utilizadas permitiram o cálculo dos pontos de mínima nas equações quadráticas. Os coeficientes de determinação (r^2) variaram de 0,58 a 1.

Outros trabalhos também têm comprovado este efeito. Silva et al. (2000g), em um experimento com milho, concluíram que adição de substâncias húmicas diminuiu a concentração de Hg em 59,03% e, de acordo com Silva et al. (2000f), a adição de substâncias húmicas diminuiu a concentração deste elemento nas raízes da planta forrageira milheto em 28,57%.

5 – CONCLUSÕES

Os resultados alcançados em relação ao cultivo hidropônico da alface (*Lactuca sativa*) *Maravilha de Verão* permitem que se estabeleçam as conclusões abaixo.

Os resultados recomendam a utilização de substâncias húmicas no cultivo hidropônico da alface *Maravilha de Verão*.

A adição de substâncias húmicas na solução nutritiva completa, durante o cultivo hidropônico elevou a produção de matéria verde e seca da parte aérea e a produção de matéria seca das raízes.

A variação obtida na produção de matéria verde e seca da parte aérea e seca das raízes depende da dose e do tipo de substância húmica utilizada.

A adição de substâncias húmicas elevou os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Na e as concentrações de Cu, Zn, Fe e Mn na matéria seca da parte aérea e das raízes.

Os teores de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea e de N e Ca nas raízes foram afetados apenas pelo efeito das doses utilizadas.

Cada uma das substâncias húmicas agiu de forma diferente quanto aos teores de P, K, Mg e S nas raízes e do Na tanto na parte aérea quanto nas raízes.

A adição de substâncias húmicas aumentou a eficiência de utilização dos macronutrientes N, P e K.

A adição de substâncias húmicas produziu aumento nos teores dos macronutrientes e na concentração dos micronutrientes Cu, Zn e Mn nas raízes maior que o observado na parte aérea.

Cada uma das substâncias húmicas avaliadas agiu de forma diferente sobre as concentrações dos micronutrientes Cu, Zn, Fe e Mn na parte aérea e nas raízes.

A adição de substâncias húmicas diminuiu as concentrações de Ni, Cr, Cd, Pb e Hg na matéria seca da parte aérea e das raízes.

As concentrações de Cr e Cd na parte aérea e de Pb nas raízes são afetadas negativamente apenas pelo efeito das doses de substâncias húmicas.

Cada uma das substâncias húmicas agiu de forma diferente sobre as concentrações de Cr e Cd nas raízes, de Pb na parte aérea e de Ni e Hg na parte aérea e nas raízes.

As substâncias húmicas avaliadas atuaram de forma diferente sobre a distribuição do Cr, Ni, Cd e Pb, aumentando as concentrações na parte aérea e diminuindo nas raízes. Entretanto, o aumento na porcentagem destes elementos não determinou elevação na extração total pelas plantas.

A adição de substâncias húmicas elevou a porcentagem de Hg na parte aérea, e apenas a adição das substâncias húmicas PT1, PT2 e PT6 não provocou um aumento na extração de Hg pela matéria seca da parte aérea.

A acidez titulável, a razão E4/E6 e a relação C/N não foram bons indicadores da produção de matéria verde e seca da parte aérea, da produção de matéria seca das raízes e dos teores de macro e micronutrientes tanto na parte aérea como nas raízes.

6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos com a substância húmica PT3 = sem tratamento demonstram que a utilização de pré-tratamentos para a turfa JOSAPAR não é recomendável, devendo-se recomendar a produção industrial desta matéria-prima sem os pré-tratamentos anteriormente propostos.

Recomenda-se que sejam realizados trabalhos com substâncias húmicas por faixa de peso molecular, visando determinar que frações possibilitariam os melhores resultados em termos de produção de matéria seca e de teores de macro e micronutrientes.

Os resultados obtidos justificam a necessidade de realização de análises suplementares, visando determinar a forma de complexação e a cinética de reação dos complexos formados com essas substâncias.

Os dados do trabalho também sugerem a necessidade de se determinar a concentração dos metais presentes nas substâncias húmicas, visando o cálculo do balanço de massa destes elementos.

ANEXOS

Tabela I – Quadro da análise de variância das variáveis produção de matéria verde e seca da parte aérea e seca das raízes e teores de nitrogênio na matéria seca da parte aérea e das raízes e eficiência no aproveitamento do nitrogênio pela alface *Maravilha de Verão*.

Produção de Matéria Verde da Parte Aérea					
Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
SHs*	7	5925,2867264	846,4695323	6,2058	0,00006
Doses	3	43655,8297264	14551,9432421	106,6864	0,00001
SHs x Doses	21	12215,1130794	581,6720514	4,2645	0,00003
Resíduo	64	8729,5545046	136,3992891		
Total	95	70525,7840368			
Média geral = 60,38 g.vaso ⁻¹ , EPM = 1,19 g.vaso ⁻¹ e CV = 19,34%					
Produção de Matéria Seca da Parte Aérea					
SHs*	7	55,3845587	7,9120798	4,8731	0,00034
Doses	3	416,0144359	138,6714786	85,4080	0,00001
SHs x Doses	21	102,3621179	4,8743866	3,0021	0,00056
Resíduo	64	103,9126567	1,6236353		
Total	95	677,6737692			
Média geral = 5,9 g.vaso ⁻¹ , EPM = 0,13 g.vaso ⁻¹ e CV = 21,61%					
Produção de Matéria Seca das Raízes					
SHs*	7	19,6528967	2,8075567	7,4413	0,00002
Doses	3	54,8920660	18,2973553	48,4965	0,00001
SHs x Doses	21	13,7079330	0,6527587	1,7301	0,04854
Resíduo	64	24,1466898	0,3772920		
Total	95	112,3995855			
Média geral = 3,08 g.vaso ⁻¹ , EPM = 0,06 g.vaso ⁻¹ e CV = 19,91%					
Teor de Nitrogênio na Matéria Seca da Parte Aérea					
SHs*	7	0,6267540	0,0895363	1,0509	0,40564
Doses	3	8,1702216	2,7234072	31,9657	0,00001
SHs x Doses	21	0,7210370	0,0343351	0,4030	0,98835
Resíduo	64	5,4526591	0,0851978		
Total	95	14,9706717			
Média geral = 2,08%, EPM = 0,03% e CV = 14,06%					
Teor de Nitrogênio na Matéria Seca das Raízes					
SHs*	7	0,4142193	0,0591742	1,7177	0,12017
Doses	3	7,8076185	2,6025395	75,5474	0,00001
SHs x Doses	21	1,0456262	0,0497917	1,4454	0,13152
Resíduo	64	2,2047434	0,0344491		
Total	95	11,4722074			
Média geral = 0,81%, EPM = 0,02% e CV = 22,97%					
Eficiência no Aproveitamento do Nitrogênio					
SHs*	7	512,8840643	73,2691520	3,4305	0,00382
Doses	3	2525,1984270	841,7328090	39,4099	0,00001
SHs x Doses	21	913,5304500	43,5014500	2,0367	0,01554
Resíduo	64	1366,9387212	21,3584175		
Total	95	5318,5516625			
Média geral = 64,53%, EPM = 0,47% e CV = 7,16%					

*Substâncias húmicas.

Tabela II – Resultados das variáveis produção de matéria verde e seca da parte aérea, produção de matéria seca das raízes e teor de nitrogênio na parte aérea e nas raízes da alface *Maravilha de Verão*.

Produção de Matéria Verde da Parte Aérea*					
SHs**	0 mg	15 mg	30 mg	45 mg	Médias
PT1	30,50	58,00b	82,00ab	54,50bc	56,25abc
PT2	31,50	78,00ab	80,00ab	72,50ab	65,50ab
PT3	27,00	51,00b	110,33a	48,80bc	59,28abc
PT4	30,00	72,00ab	53,00b	37,00c	48,00c
PT5	28,00	55,00b	101,00a	49,00bc	58,25abc
PT6	24,00	53,50b	83,00ab	52,00bc	53,13bc
PT7	30,67	56,80b	109,00a	89,00a	71,37a
PT8	29,50	93,50a	92,00ab	70,00ab	71,25a
Produção de Matéria Seca da Parte Aérea*					
PT1	2,97	5,70b	8,33a	5,33abc	5,58ab
PT2	3,13	7,63ab	8,33a	7,10ab	6,55a
PT3	2,40	5,03b	10,33a	4,73abc	5,62ab
PT4	2,73	7,10ab	5,00b	3,10c	4,48b
PT5	2,93	5,43b	9,50a	4,50bc	5,59ab
PT6	1,87	6,83ab	7,83ab	5,13abc	5,62ab
PT7	3,07	5,67b	10,67a	7,93a	6,83a
PT8	2,80	9,07a	9,00a	6,67ab	6,88a
Produção de Matéria Seca das Raízes*					
PT1	1,80	2,17b	3,33b	2,70ab	2,50d
PT2	2,00	3,97a	3,87ab	3,43ab	3,32abc
PT3	1,90	3,17ab	3,23b	2,67ab	2,74cd
PT4	1,93	3,23ab	2,93b	1,93b	2,51d
PT5	2,03	3,27ab	4,10ab	2,67ab	3,02bcd
PT6	2,03	3,70ab	4,33ab	2,77ab	3,21abcd
PT7	2,00	3,30ab	5,43a	3,60a	3,58ab
PT8	2,13	4,43a	5,17a	3,50ab	3,81a
Teor de Nitrogênio na Parte Aérea*					
PT1	1,67	2,25	2,56	2,01	2,12
PT2	1,64	2,11	2,43	1,91	2,02
PT3	1,64	2,35	2,53	2,49	2,25
PT4	1,66	2,07	2,41	2,11	2,06
PT5	1,62	2,10	2,34	1,89	1,99
PT6	1,68	2,18	2,43	1,92	2,05
PT7	1,59	2,24	2,35	1,81	2,00
PT8	1,68	2,33	2,50	1,94	2,11

*Médias, nas colunas, com letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), ausências de letras correspondem à valores semelhantes.

**Substâncias húmicas.

Tabela III – Resultados da análise de variância das variáveis teores de fósforo e potássio na matéria seca da parte aérea e das raízes e eficiência no aproveitamento do fósforo e do potássio pelas plantas da alface *Maravilha de Verão*.

Teor de Fósforo na Parte Aérea					
Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
SHs*	7	0,0358763	0,0051252	0,9793	0,54511
Doses	3	0,2472370	0,0824123	15,7475	0,00001
SHs x Doses	21	0,0112011	0,0005334	0,1019	0,99999
Resíduo	64	0,3349357	0,0052334		
Total	95	0,6292500			
Média geral = 0,38%, EPM = 0,007% e CV = 19,11%					
Teor de Fósforo nas Raízes					
SHs*	7	0,1452254	0,0207465	11,5687	0,00001
Doses	3	0,9924389	0,3308130	184,4682	0,00001
SHs x Doses	21	0,1642513	0,0078215	4,3614	0,00002
Resíduo	64	0,1147733	0,0017933		
Total	95	1,4166889			
Média geral = 0,18%, EPM = 0,004% e CV = 23,65%					
Teor de Potássio na Matéria Seca da Parte Aérea					
SHs*	7	1,4657928	0,2093990	2,4845	0,02516
Doses	3	9,4609298	3,1536433	37,4174	0,00001
SHs x Doses	21	1,6884028	0,0804001	0,9539	0,52825
Resíduo	64	5,3941058	0,0842829		
Total	95	18,0092312			
Média geral = 4,62%, EPM = 0,03% e CV = 6,28%					
Teor de Potássio na Matéria Seca das Raízes					
SHs*	7	5,8486795	0,8355256	16,4958	0,00001
Doses	3	28,7561599	9,5853866	189,2449	0,00001
SHs x Doses	21	5,2002808	0,2476324	4,8890	0,00001
Resíduo	64	3,2416440	0,0506507		
Total	95	43,0467642			
Média geral = 1,22%, EPM = 0,023% e CV = 18,38%					
Eficiência no Aproveitamento do Fósforo					
SHs*	7	850,7433861	121,5347694	3,2897	0,00500
Doses	3	10496,8332896	3498,9444299	94,7095	0,00001
SHs x Doses	21	1023,5614274	48,7410204	1,3193	0,19713
Resíduo	64	2364,4133123	36,9439580		
Total	95	14735,5514154			
Média geral = 51,77%, EPM = 0,62% e CV = 11,74%					
Eficiência no Aproveitamento do Potássio					
SHs*	7	1899,0895071	271,2985010	15,4190	0,00001
Doses	3	18566,4224702	6188,8074901	351,7352	0,00001
SHs x Doses	21	2383,6057032	113,5050335	6,4510	0,00001
Resíduo	64	1126,0847776	17,5950746		
Total	95	23975,2024581			
Média geral = 80,08%, EPM = 0,43% e CV = 5,24%					

*Substâncias húmicas.

Tabela IV – Resultados das variáveis teor de nitrogênio nas raízes, eficiência na utilização do nitrogênio e teores de fósforo na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface *Maravilha de Verão*.

Teor de Nitrogênio nas Raízes*					
SHs**	0 mg	15 mg	30 mg	45 mg	Médias
PT1	0,45	0,84	1,29	0,92a	0,87
PT2	0,44	0,67	1,17	1,07a	0,84
PT3	0,45	0,85	1,45	0,86a	0,90
PT4	0,45	0,67	1,25	0,35b	0,68
PT5	0,48	0,66	1,34	0,81ab	0,82
PT6	0,47	0,67	1,22	0,84a	0,80
PT7	0,45	0,54	1,05	0,91a	0,74
PT8	0,44	0,71	1,17	0,92a	0,81
Eficiência na Utilização do Nitrogênio*					
PT1	57,91	71,35ab	75,85	61,51ab	66,66ab
PT2	56,47	69,88ab	70,66	69,02a	66,51ab
PT3	57,37	74,35a	73,10	68,63a	68,36a
PT4	56,92	62,14b	66,63	66,17a	62,97ab
PT5	56,85	64,82ab	74,23	63,76a	64,92ab
PT6	55,72	61,98b	66,40	65,40ab	62,37b
PT7	55,05	60,70b	67,77	69,40a	63,23ab
PT8	56,00	64,91ab	71,12	53,02b	61,26b
Teor de Fósforo na Matéria Seca da Parte Aérea*					
PT1	0,29	0,39	0,43	0,41	0,38
PT2	0,28	0,37	0,42	0,38	0,36
PT3	0,28	0,38	0,43	0,37	0,37
PT4	0,28	0,36	0,41	0,37	0,35
PT5	0,31	0,37	0,44	0,38	0,37
PT6	0,35	0,43	0,47	0,43	0,42
PT7	0,35	0,38	0,47	0,41	0,40
PT8	0,28	0,40	0,43	0,43	0,38
Teor de Fósforo na Matéria Seca das Raízes*					
PT1	0,053	0,196a	0,466a	0,243ab	0,240a
PT2	0,058	0,193a	0,347bc	0,232ab	0,208abc
PT3	0,055	0,103ab	0,339bc	0,217ab	0,178bcd
PT4	0,055	0,111ab	0,254cd	0,075c	0,124e
PT5	0,058	0,092ab	0,324c	0,254ab	0,182bcd
PT6	0,057	0,110ab	0,433ab	0,269a	0,217ab
PT7	0,056	0,071b	0,292c	0,206ab	0,156cde
PT8	0,047	0,135ab	0,178d	0,153bc	0,128de

*Médias, nas colunas, com letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), ausências de letras correspondem à valores semelhantes.

**Substâncias húmicas.

Tabela V – Resultados das variáveis teores de potássio na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface *Maravilha de Verão* e eficiência na utilização do fósforo e do potássio aplicados.

Teor de Potássio na Matéria Seca da Parte Aérea*					
SHs**	0 mg	15 mg	30 mg	45 mg	Médias
PT1	4,21	4,40	4,99	4,56	4,54ab
PT2	4,12	4,75	5,30	4,41	4,64ab
PT3	4,04	4,86	5,08	4,99	4,74ab
PT4	4,15	4,56	4,70	4,66	4,52ab
PT5	4,11	4,35	4,76	4,33	4,39b
PT6	4,14	4,66	5,24	5,02	4,77a
PT7	4,19	4,70	5,07	4,72	4,67ab
PT8	4,18	4,85	5,01	4,89	4,73ab
Teor de Potássio na Matéria Seca das Raízes*					
PT1	0,54	1,36a	2,92a	1,69a	1,63a
PT2	0,56	1,33a	2,53a	1,49ab	1,48ab
PT3	0,55	0,86ab	1,83b	1,63a	1,22bc
PT4	0,55	1,07ab	1,62b	0,75c	1,00c
PT5	0,57	0,93ab	1,69b	0,94bc	1,03c
PT6	0,53	0,96ab	2,72a	1,65a	1,46ab
PT7	0,52	0,92ab	1,65b	0,83c	0,98c
PT8	0,57	0,73b	1,53b	1,15abc	1,00c
Eficiência na Utilização do Fósforo*					
PT1	35,30	60,33	68,14a	62,72	56,62a
PT2	35,24	57,50	62,29ab	55,60	52,66ab
PT3	34,28	60,61	62,80ab	62,71	55,10ab
PT4	35,26	51,48	58,60ab	49,91	48,81b
PT5	33,22	45,49	60,56ab	53,98	48,31b
PT6	32,87	45,76	52,17b	61,44	48,06b
PT7	34,10	47,59	62,87ab	62,90	51,86ab
PT8	33,87	59,13	60,08ab	57,98	52,76ab
Eficiência na Utilização do Potássio*					
PT1	58,39	98,13a	98,24a	95,91ab	87,67a
PT2	58,61	93,10a	93,28ab	96,59a	85,39a
PT3	58,33	89,98ab	89,06ab	94,33ab	82,92ab
PT4	58,56	78,68cd	94,35ab	83,05c	78,66bc
PT5	55,40	65,38e	93,01ab	92,85abc	76,66c
PT6	54,82	68,74de	76,63c	95,16ab	73,84c
PT7	55,14	77,95cd	90,93ab	89,03abc	78,26bc
PT8	56,23	80,20bc	89,99bc	85,33bc	77,19c

*Médias, nas colunas, com letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), ausências de letras correspondem à valores semelhantes.

**Substâncias húmicas.

Tabela VI – Equações de regressão polinomial das variáveis porcentagem de aproveitamento do nitrogênio, do fósforo e do potássio pela alface *Maravilha de Verão*.

Porcentagem de Aproveitamento do Nitrogênio Aplicado			
SHs*	Equações**	PM***	Dose****
PT1	$Y = 57,419 + 1,4906X - 0,03086**X^2$ ($r^2 = 0,98$)	75,42	24,15
PT2	$Y = 56,981 + 1,0089X - 0,01673**X^2$ ($r^2 = 0,96$)	72,20	30,16
PT3	$Y = 58,121 + 1,2894X - 0,02384**X^2$ ($r^2 = 0,94$)	75,56	27,05
PT4	$Y = 58,13 + 0,21489**X$ ($r^2=0,85$)	–	–
PT5	$Y = 55,787 + 1,1228X - 0,02049**X^2$ ($r^2 = 0,85$)	71,17	27,40
PT6	$Y = 55,544 + 0,5866X - 0,00809**X^2$ ($r^2 = 0,99$)	66,18	36,26
PT7	$Y = 55,712 + 0,33416**X$ ($r^2 = 0,95$)	–	–
PT8	$Y = 54,916 + 1,3329X - 0,03002**X^2$ ($r^2 = 0,89$)	69,71	22,20
Porcentagem de Aproveitamento do Fósforo Aplicado			
Doses	$Y = 34,357 + 1,6201X - 0,02417**X^2$ ($r^2 = 0,89$)	61,50	33,51
Porcentagem de Aproveitamento do Potássio Aplicado			
PT1	$Y = 60,25 + 2,85487X - 0,04675**X^2$ ($r^2 = 0,94$)	103,84	30,53
PT2	$Y = 60,479 + 2,32003X - 0,03465**X^2$ ($r^2 = 0,93$)	99,32	33,48
PT3	$Y = 60,268 + 2,03243X - 0,0293**X^2$ ($r^2 = 0,91$)	95,51	34,68
PT4	$Y = 57,437 + 2,16527X - 0,03491**X^2$ ($r^2 = 0,96$)	91,01	31,01
PT5	$Y = 53,129 + 1,43991 - 0,01126**X^2$ ($r^2 = 0,91$)	–	63,94
PT6	$Y = 54,501 + 0,85942**X$ ($r^2 = 0,98$)	–	–
PT7	$Y = 54,89 + 1,99954X - 0,02745**X^2$ ($r^2 = 1$)	91,31	36,42
PT8	$Y = 56,67 + 1,90824X - 0,02847**X^2$ ($r^2 = 1$)	88,65	33,52

*Substâncias húmicas.

**X = dose de substância húmica utilizada (0, 10, 20 e 30 mg.L⁻¹).

***Ponto de máxima.

****Dose calculada para atingir o ponto de máxima.

Tabela VII – Resultados da análise de variância das variáveis teores de cálcio, magnésio e enxofre na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface *Maravilha de Verão*.

Teor de Cálcio na Matéria Seca da Parte Aérea					
Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
SHs*	7	0,3857455	0,0551065	1,0425	0,41126
Doses	3	2,3498338	0,7832779	14,8178	0,00001
SHs x Doses	21	0,5310632	0,0252887	0,4784	0,96902
Resíduo	64	3,3830854	0,0528607		
Total	95	6,6497280			
Média geral = 1,56%, EPM = 0,023% e CV = 14,72%					
Teor de Cálcio na Matéria Seca das Raízes					
SHs*	7	0,1785692	0,0255099	5,5225	0,00014
Doses	3	0,5993720	0,1997907	43,2514	0,00001
SHs x Doses	21	0,1233857	0,0058755	1,2720	0,22785
Resíduo	64	0,2956341	0,0046193		
Total	95	1,1969611			
Média geral = 0,25%, EPM = 0,007% e CV = 27,26%					
Teor de Magnésio na Matéria Seca da Parte Aérea					
SHs*	7	0,0898584	0,0128369	3,2810	0,00508
Doses	3	0,3137212	0,1045737	26,7283	0,00001
SHs x Doses	21	0,0686981	0,0032713	0,8361	0,66767
Resíduo	64	0,2503978	0,0039125		
Total	95	0,7226755			
Média geral = 0,52%, EPM = 0,006% e CV = 11,95%					
Teor de Magnésio na Matéria Seca das Raízes					
SHs*	7	0,0425745	0,0060821	10,8442	0,00001
Doses	3	0,1495046	0,0498349	88,8547	0,00001
SHs x Doses	21	0,0318439	0,0015164	2,7037	0,00145
Resíduo	64	0,0358949	0,0005609		
Total	95	0,2598178			
Média geral = 0,11%, EPM = 0,002% e CV = 22,52%					
Teor de Enxofre na Matéria Seca da Parte Aérea					
SHs*	7	0,0058501	0,0008357	2,1374	0,05153
Doses	3	0,0709042	0,0236347	60,4461	0,00001
SHs x Doses	21	0,0048725	0,0002320	0,5934	0,90840
Resíduo	64	0,0250243	0,0003910		
Total	95	0,1066510			
Média geral = 0,21%, EPM = 0,002% e CV = 9,64%					
Teor de Enxofre na Matéria Seca das Raízes					
SHs*	7	0,0145436	0,0020777	33,0917	0,00001
Doses	3	0,0686496	0,0228832	364,4693	0,00001
SHs x Doses	21	0,0249881	0,0011899	18,9522	0,00001
Resíduo	64	0,0040182	0,0000628		
Total	95	0,1121995			
Média geral = 0,09%, EPM = 0,001% e CV = 8,63%					

*Substâncias húmicas.

Tabela VIII – Resultados das variáveis teores de cálcio e magnésio na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface *Maravilha de Verão*.

Teor de Cálcio na Matéria Seca da Parte Aérea*					
SHs**	0 mg	15 mg	30 mg	45 mg	Médias
PT1	1,38	1,59	1,86	1,28	1,53
PT2	1,35	1,54	1,63	1,32	1,46
PT3	1,35	1,79	1,89	1,56	1,65
PT4	1,33	1,59	1,77	1,64	1,58
PT5	1,34	1,61	1,81	1,60	1,59
PT6	1,34	1,68	1,81	1,57	1,60
PT7	1,39	1,52	1,91	1,62	1,61
PT8	1,33	1,44	1,62	1,52	1,48
Teor de Cálcio na Matéria Seca das Raízes*					
PT1	0,16	0,33a	0,47a	0,31ab	0,32a
PT2	0,19	0,23ab	0,41abc	0,34a	0,29ab
PT3	0,17	0,18ab	0,45ab	0,26ab	0,26abc
PT4	0,15	0,17ab	0,29bc	0,16b	0,19c
PT5	0,17	0,30ab	0,35abc	0,26ab	0,27abc
PT6	0,16	0,20ab	0,45ab	0,21ab	0,26abc
PT7	0,15	0,15b	0,27c	0,21ab	0,20c
PT8	0,14	0,18ab	0,33abc	0,19ab	0,21bc
Teor de Magnésio na Matéria Seca da Parte Aérea*					
PT1	0,47	0,58	0,63	0,44	0,53ab
PT2	0,45	0,47	0,53	0,40	0,46b
PT3	0,47	0,57	0,61	0,53	0,54ab
PT4	0,46	0,57	0,62	0,47	0,53ab
PT5	0,46	0,59	0,64	0,59	0,57a
PT6	0,46	0,53	0,63	0,47	0,52ab
PT7	0,46	0,45	0,61	0,45	0,49ab
PT8	0,46	0,56	0,61	0,51	0,54ab
Teor de Magnésio na Matéria Seca das Raízes*					
PT1	0,054	0,17a	0,21a	0,16a	0,15a
PT2	0,053	0,09b	0,16abc	0,12ab	0,11bc
PT3	0,050	0,07b	0,17ab	0,14a	0,11bc
PT4	0,053	0,08b	0,11c	0,04c	0,07d
PT5	0,055	0,08b	0,14bc	0,07bc	0,08cd
PT6	0,053	0,09b	0,18ab	0,14a	0,12b
PT7	0,055	0,09b	0,18ab	0,10ab	0,12bc
PT8	0,064	0,09b	0,15abc	0,11ab	0,10bc

*Médias, nas colunas, com letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), ausências de letras correspondem à valores semelhantes.

**Substâncias húmicas.

Tabela IX – Resultados da análise de variância das variáveis teor de sódio e concentração de cobre e zinco na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface *Maravilha de Verão*.

Teor de Sódio na Matéria Seca da Parte Aérea					
Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
SHs*	7	0,0114493	0,0016356	26,5931	0,00001
Doses	3	0,0444153	0,0148051	240,7135	0,00001
SHs x Doses	21	0,0113245	0,0005393	8,7678	0,00001
Resíduo	64	0,0039363	0,0000615		
Total	95	0,0711253			
Média geral = 0,16%, EPM = 0,001% e CV = 4,80%					
Teor de Sódio na Matéria Seca das Raízes					
SHs*	7	0,0074686	0,0010669	8,8933	0,00001
Doses	3	0,0510354	0,0170118	141,7988	0,00001
SHs x Doses	21	0,0169657	0,0008079	6,7340	0,00001
Resíduo	64	0,0076782	0,0001200		
Total	95	0,0831478			
Média geral = 0,14%, EPM = 0,001% e CV = 7,57%					
Concentração de Cobre na Matéria Seca da Parte Aérea					
SHs*	7	135,9809934	19,4258562	22,5996	0,00001
Doses	3	1116,4174727	372,1391576	432,9381	0,00001
SHs x Doses	21	90,8916100	4,3281719	5,0353	0,00001
Resíduo	64	55,0122717	0,8595667		
Total	95	1398,3023478			
Média geral = 11,24 mg.kg ⁻¹ , EPM = 0,095 mg.kg ⁻¹ e CV = 8,25%					
Concentração de Cobre na Matéria Seca das Raízes					
SHs*	7	4389,2065484	627,0295069	30,2660	0,00001
Doses	3	5866,3007853	1955,4335951	94,3864	0,00001
SHs x Doses	21	3553,5795224	169,2180725	8,1680	0,00001
Resíduo	64	1325,9084082	20,7173189		
Total	95	15134,9952643			
Média geral = 34,98 mg.kg ⁻¹ , EPM = 0,465 mg.kg ⁻¹ e CV = 13,01%					
Concentração de Zinco na Matéria Seca da Parte Aérea					
SHs*	7	79,0132942	11,2876135	5,9456	0,00008
Doses	3	312,4844195	104,1614732	54,8654	0,00001
SHs x Doses	21	100,7016555	4,7953169	2,5259	0,00264
Resíduo	64	121,5034712	1,8984917		
Total	95	613,7028403			
Média geral = 26,53 mg.kg ⁻¹ , EPM = 0,141 mg.kg ⁻¹ e CV = 5,19%					
Concentração de Zinco na Matéria Seca das Raízes					
SHs*	7	1810,4355936	258,6336562	28,4337	0,00001
Doses	3	5058,4318635	1686,1439545	185,3715	0,00001
SHs x Doses	21	2542,5477462	121,0737022	13,3106	0,00001
Resíduo	64	582,1457548	9,0960274		
Total	95	9993,5609580			
Média geral = 25,61 mg.kg ⁻¹ , EPM = 0,308 mg.kg ⁻¹ e CV = 11,77%					

*Substâncias húmicas.

Tabela X – Resultados das variáveis teores de enxofre e sódio na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface *Maravilha de Verão*.

Teor de Enxofre na Matéria Seca da Parte Aérea*					
SHs**	0 mg	15 mg	30 mg	45 mg	Médias
PT1	0,16	0,22	0,25	0,24	0,22a
PT2	0,17	0,20	0,23	0,22	0,20ab
PT3	0,17	0,22	0,24	0,21	0,21ab
PT4	0,16	0,21	0,25	0,21	0,21ab
PT5	0,16	0,21	0,22	0,21	0,20ab
PT6	0,15	0,21	0,24	0,23	0,21ab
PT7	0,16	0,21	0,23	0,21	0,20ab
PT8	0,16	0,20	0,22	0,19	0,19b
Teor de Enxofre na Matéria Seca das Raízes*					
PT1	0,06	0,15a	0,17a	0,06d	0,11a
PT2	0,05	0,13a	0,13b	0,07cd	0,10bcd
PT3	0,06	0,07d	0,14b	0,08bc	0,09d
PT4	0,05	0,07d	0,09c	0,07bcd	0,07e
PT5	0,05	0,07d	0,09c	0,08bc	0,07e
PT6	0,06	0,11bc	0,15b	0,09ab	0,10abc
PT7	0,06	0,11b	0,14b	0,11a	0,10ab
PT8	0,06	0,09cd	0,13b	0,09ab	0,09cd
Teor de Sódio na Matéria Seca da Parte Aérea*					
PT1	0,13	0,20a	0,23a	0,18a	0,18a
PT2	0,13	0,16cd	0,18d	0,12c	0,15e
PT3	0,12	0,19a	0,20bc	0,17ab	0,17b
PT4	0,13	0,18ab	0,18d	0,15b	0,16cd
PT5	0,13	0,15d	0,17d	0,17ab	0,16cde
PT6	0,13	0,17bcd	0,21b	0,18a	0,18ab
PT7	0,13	0,17bcd	0,19cd	0,18a	0,17bc
PT8	0,13	0,16cd	0,17d	0,15b	0,15e
Teor de Sódio na Matéria Seca das Raízes*					
PT1	0,12	0,13e	0,19a	0,13c	0,14bc
PT2	0,11	0,17abc	0,20a	0,11c	0,15ab
PT3	0,11	0,14cde	0,18abc	0,12c	0,14bc
PT4	0,11	0,14cde	0,16bcd	0,13bc	0,14bc
PT5	0,11	0,17ab	0,14d	0,13bc	0,14bc
PT6	0,12	0,16abcd	0,19ab	0,17a	0,16a
PT7	0,12	0,18a	0,19ab	0,15ab	0,16a
PT8	0,12	0,13e	0,16cd	0,14bc	0,13c

*Médias, nas colunas, com letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), ausências de letras correspondem à valores semelhantes.

**Substâncias húmicas.

Tabela XI – Resultados das variáveis concentração de cobre e zinco na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface *Maravilha de Verão*.

Concentração de Cobre na Matéria Seca da Parte Aérea*					
SHs**	0 mg	15 mg	30 mg	45 mg	Médias
PT1	5,30	11,00c	13,75cd	11,70bc	10,44c
PT2	5,50	13,20bc	14,50c	13,30ab	11,63b
PT3	5,73	12,50bc	13,32cd	8,90c	10,11c
PT4	6,00	11,36c	12,00d	10,00cd	9,84c
PT5	5,20	12,65bc	13,34cd	9,70cd	10,22c
PT6	5,43	14,22ab	15,22bc	12,69ab	11,89b
PT7	6,50	16,08a	17,08ab	13,52ab	13,30a
PT8	5,25	12,72bc	18,00a	14,08a	12,51ab
Concentração de Cobre na Matéria Seca das Raízes*					
PT1	28,17	43,05a	77,19a	40,67a	47,27a
PT2	29,11	40,62ab	63,67b	42,18a	43,89a
PT3	28,93	36,20abc	55,09bc	30,82ab	37,76b
PT4	27,46	30,19bc	49,29c	16,30c	30,81c
PT5	28,44	29,67bc	33,08d	30,53ab	30,43c
PT6	27,97	29,53bc	35,35d	21,33bc	28,54c
PT7	28,08	28,45c	33,12d	24,09bc	28,43c
PT8	27,63	34,23abc	37,32d	31,65ab	32,71bc
Concentração de Zinco na Matéria Seca da Parte Aérea*					
PT1	24,00	25,00b	27,35c	26,00	25,59b
PT2	24,39	27,00ab	27,50bc	26,69	26,40b
PT3	24,34	27,19ab	31,00ab	24,47	26,75b
PT4	23,57	26,00ab	27,30c	26,27	25,79b
PT5	24,37	25,72ab	27,44c	25,20	25,68b
PT6	24,35	27,18ab	29,17bc	25,12	26,45b
PT7	24,40	28,17ab	29,20bc	26,52	27,07ab
PT8	23,48	29,17a	34,00a	27,53	28,55a
Concentração de Zinco na Matéria Seca das Raízes*					
PT1	19,11	32,16a	47,12b	19,67abc	29,51a
PT2	20,19	33,20a	42,33bc	23,20a	29,73a
PT3	19,62	37,32a	60,23a	15,28bc	33,12a
PT4	21,36	23,23b	36,23cd	18,29abc	24,78b
PT5	19,19	19,65bc	28,28e	24,19a	22,83bc
PT6	19,16	21,23c	27,52e	13,33c	20,31c
PT7	19,35	19,56c	25,22e	19,42abc	20,89c
PT8	18,82	23,06bc	31,20de	21,90ab	23,74bc

*Médias, nas colunas, com letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), ausências de letras correspondem à valores semelhantes.

**Substâncias húmicas.

Tabela XII – Resultados da análise de variância das variáveis concentração de ferro, manganês e níquel na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface *Maravilha de Verão*.

Concentração de Ferro na Matéria Seca da Parte Aérea					
Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
SHs*	7	143045,7659984	20435,1094283	93,0445	0,00001
Doses	3	126521,4798994	42173,8266331	192,0245	0,00001
SHs x Doses	21	153989,7184268	7332,8437346	33,3877	0,00001
Resíduo	64	14056,1465025	219,6272891		
Total	95	437613,1108271			
Média geral = 335,61 mg.kg ⁻¹ , EPM = 1,513 mg.kg ⁻¹ e CV = 4,42%					
Concentração de Ferro na Matéria Seca das Raízes					
SHs*	7	70920,8303872	10131,5471982	15,4621	0,00001
Doses	3	483613,8883618	161204,6294539	246,0201	0,00001
SHs x Doses	21	105025,9541620	5001,2359125	7,6326	0,00001
Resíduo	64	41935,9958490	655,2499351		
Total	95	701496,6687600			
Média geral = 657,4 mg.kg ⁻¹ , EPM = 2,613 mg.kg ⁻¹ e CV = 3,89%					
Concentração de Manganês na Matéria Seca da Parte Aérea					
SHs*	7	39839,4826201	5691,3546600	57,0034	0,00001
Doses	3	204484,1158510	68161,3719503	682,6896	0,00001
SHs x Doses	21	97724,4850415	4653,5469067	46,6089	0,00001
Resíduo	64	6389,9140408	99,8424069		
Total	95	348437,9975535			
Média geral = 230,4 mg.kg ⁻¹ , EPM = 1,02 mg.kg ⁻¹ e CV = 4,34%					
Concentração de Manganês na Matéria Seca das Raízes					
SHs*	7	88443,0135379	12634,7162197	41,7718	0,00001
Doses	3	301368,3103038	100456,1034346	332,1190	0,00001
SHs x Doses	21	200515,1114115	9548,3386386	31,5679	0,00001
Resíduo	64	19358,0928290	302,4702005		
Total	95	609684,5280821			
Média geral = 195,29 mg.kg ⁻¹ , EPM = 1,775 mg.kg ⁻¹ e CV = 8,91%					
Concentração de Níquel na Matéria Seca da Parte Aérea					
SHs*	7	12,9558005	1,8508286	8,1885	0,00001
Doses	3	397,2862212	132,4287404	585,8989	0,00001
SHs x Doses	21	27,2210622	1,2962411	5,7349	0,00001
Resíduo	64	14,4657035	0,2260266		
Total	95	451,9287875			
Média geral = 5,95 mg.kg ⁻¹ , EPM = 0,049 mg.kg ⁻¹ e CV = 7,99%					
Concentração de Níquel na Matéria Seca das Raízes					
SHs*	7	270,6931527	38,6704504	5,5480	0,00014
Doses	3	17159,4073318	5719,8024439	820,6067	0,00001
SHs x Doses	21	335,1272049	15,9584383	2,2895	0,00611
Resíduo	64	446,0935323	6,9702114		
Total	95	18211,3212216			
Média geral = 21,28 mg.kg ⁻¹ , EPM = 0,269 mg.kg ⁻¹ e CV = 12,41%					

*Substâncias húmicas.

Tabela XIII – Resultados das variáveis concentração de ferro e manganês na matéria seca da parte aérea e das raízes da alfaca *Maravilha de Verão*.

Concentração de Ferro na Matéria Seca da Parte Aérea*					
SHs**	0 mg	15 mg	30 mg	45 mg	Médias
PT1	287,00	431,33b	295,33c	239,00c	313,17cd
PT2	286,00	295,67c	332,07bc	274,00bc	296,93d
PT3	285,20	305,67c	402,33a	305,67b	324,72c
PT4	285,86	302,67c	360,00b	304,00b	313,13cd
PT5	285,10	293,21c	306,17c	300,00b	296,12d
PT6	290,00	504,67a	430,00a	375,67a	400,08a
PT7	284,23	500,33a	436,43a	357,00a	394,50a
PT8	283,70	325,00c	404,33a	371,86a	346,22b
Concentração de Ferro na Matéria Seca das Raízes*					
PT1	571,19	707,29ab	908,25a	588,67b	693,85a
PT2	580,86	635,09c	719,67d	619,29b	638,73b
PT3	574,67	673,67abc	826,75b	704,86a	694,99a
PT4	576,62	646,51bc	694,19d	597,99b	628,83b
PT5	573,04	670,33abc	745,86cd	605,89b	648,78b
PT6	573,33	628,19c	705,00d	593,00b	624,88b
PT7	573,63	731,33a	807,82bc	623,92b	684,17a
PT8	576,73	683,86abc	711,98d	607,23b	644,95b
Concentração de Manganês na Matéria Seca da Parte Aérea*					
PT1	190,00	244,33a	400,00a	174,67e	252,25a
PT2	188,67	206,83c	255,00c	180,53de	207,76c
PT3	190,95	253,00a	283,50b	210,70ab	234,54b
PT4	189,31	214,83bc	232,87c	195,83bcde	208,21c
PT5	191,33	213,70bc	237,33c	183,57cde	206,48c
PT6	191,33	233,86ab	396,00a	201,00bcd	255,55a
PT7	191,13	244,12a	253,12c	207,67abc	224,01b
PT8	190,01	203,67c	396,33a	227,52a	254,38a
Concentração de Manganês na Matéria Seca das Raízes*					
PT1	128,04	326,05a	476,20a	121,33c	262,91a
PT2	128,91	139,33e	238,67de	164,95bc	167,97d
PT3	129,63	227,00b	356,50b	184,75ab	224,47b
PT4	127,35	161,52cde	207,19ef	197,63ab	173,42cd
PT5	129,43	197,67bc	194,05f	174,29b	173,86cd
PT6	127,85	145,00de	294,23c	174,00b	185,27cd
PT7	128,09	184,19bcd	255,00cd	197,56ab	191,21c
PT8	128,64	128,20e	248,20de	227,86a	183,22cd

*Médias, nas colunas, com letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), ausências de letras correspondem à valores semelhantes.

**Substâncias húmicas.

Tabela XIV – Resultados da análise de variância das variáveis porcentagem de níquel e de cromo na parte aérea e nas raízes e concentração de cromo na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface *Maravilha de Verão*.

Porcentagem de Níquel na Parte Aérea					
Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
SHs*	7	1517,7896495	216,8270928	11,5144	0,00001
Doses	3	9140,0875798	3046,6958599	161,7919	0,00001
SHs x Doses	21	2668,7519456	127,0834260	6,7486	0,00001
Resíduo	64	1205,1808221	18,8309503		
Total	95	14531,8099971			
Média geral = 37,57%, EPM = 0,44% e CV = 11,55%					
Porcentagem de Níquel nas Raízes					
SHs*	7	1517,7939842	216,8277120	11,5145	0,00001
Doses	3	9140,0916947	3046,6972316	161,7924	0,00001
SHs x Doses	21	2668,7477551	127,0832264	6,7487	0,00001
Resíduo	64	1205,1776220	18,8309003		
Total	95	14531,8110560			
Média geral = 62,43%, EPM = 0,44% e CV = 6,95%					
Concentração de Cromo na Matéria Seca da Parte Aérea					
SHs*	7	0,2954518	0,0422074	0,2509	0,96923
Doses	3	51,6344613	17,2114871	102,3277	0,00001
SHs x Doses	21	0,9994733	0,0475940	0,2830	0,99863
Resíduo	64	10,7647767	0,1681996		
Total	95	63,6941632			
Média geral = 2,64 mg.kg ⁻¹ , EPM = 0,042 mg.kg ⁻¹ e CV = 15,52%					
Concentração de Cromo na Matéria Seca das Raízes					
SHs*	7	516,4923787	73,7846255	60,5391	0,00001
Doses	3	4604,3495491	1534,7831830	1259,2659	0,00001
SHs x Doses	21	340,0503216	16,1928725	13,2860	0,00001
Resíduo	64	78,0026844	1,2187919		
Total	95	5538,8949337			
Média geral = 22,18 mg.kg ⁻¹ , EPM = 0,113 mg.kg ⁻¹ e CV = 4,98%					
Porcentagem de Cromo na Parte Aérea					
SHs*	7	864,4948682	123,4992669	12,3058	0,00001
Doses	3	1075,8025918	358,6008639	35,7320	0,00001
SHs x Doses	21	929,2807645	44,2514650	4,4093	0,00002
Resíduo	64	642,2939909	10,0358436		
Total	95	3511,8722154			
Média geral = 18,7%, EPM = 0,32% e CV = 16,94%					
Porcentagem de Cromo nas Raízes					
SHs*	7	968,5249273	138,3607039	18,0348	0,00001
Doses	3	1041,8871888	347,2957296	45,2687	0,00001
SHs x Doses	21	888,8607850	42,3267040	5,5171	0,00001
Resíduo	64	490,9997529	7,6718711		
Total	95	3390,2726539			
Média geral = 81,45%, EPM = 0,28% e CV = 3,4%					

*Substâncias húmicas.

Tabela XV – Resultados das variáveis concentração de níquel e cromo na matéria seca da parte aérea e das raízes da alface *Maravilha de Verão*.

Concentração de Níquel na Matéria Seca da Parte Aérea*					
SHs**	0 mg	15 mg	30 mg	45 mg	Médias
PT1	8,71	8,03a	6,51a	1,72c	6,24ab
PT2	8,62	6,12b	4,56cd	2,89bc	5,55c
PT3	8,66	5,92b	5,33abcd	2,15c	5,52c
PT4	8,53	6,55b	5,09bcd	3,70ab	5,97bc
PT5	8,46	6,52b	4,48d	2,81bc	5,57c
PT6	8,55	7,11ab	5,43abcd	2,93bc	6,01bc
PT7	8,05	8,06a	6,12ab	4,34a	6,64a
PT8	8,74	6,47b	5,73abc	3,41ab	6,09abc
Concentração de Níquel na Matéria Seca das Raízes*					
PT1	43,12	16,08c	10,08b	6,36bc	18,91c
PT2	42,27	19,49bc	9,61b	9,35ab	20,18bc
PT3	42,44	26,02ab	9,78b	4,62c	20,71bc
PT4	42,27	24,23ab	9,52b	8,28ab	21,07bc
PT5	43,34	26,36a	18,21a	11,36a	24,82a
PT6	42,55	19,76abc	11,23b	7,22abc	20,19bc
PT7	43,45	20,22abc	16,09ab	9,84ab	22,40ab
PT8	42,90	22,91ab	12,10ab	9,79ab	21,92abc
Concentração de Cromo na Matéria Seca da Parte Aérea*					
PT1	3,51	3,12	2,34	1,52	2,62
PT2	3,53	3,32	2,27	1,67	2,70
PT3	3,65	3,33	2,33	1,54	2,71
PT4	3,46	2,92	2,32	1,64	2,58
PT5	3,55	2,91	2,28	1,56	2,57
PT6	3,57	3,02	2,41	1,35	2,58
PT7	3,52	3,06	2,52	1,72	2,08
PT8	3,54	2,91	2,36	1,84	2,66
Concentração de Cromo na Matéria Seca das Raízes*					
PT1	32,77	22,30cd	17,00c	10,12ef	20,55c
PT2	32,28	24,12c	13,60d	13,55cd	20,89c
PT3	32,38	20,32d	11,52e	9,20f	18,35d
PT4	32,23	28,12a	23,12a	15,09bc	24,64ab
PT5	32,55	25,12bc	24,05a	21,32a	25,76a
PT6	32,18	23,49c	19,12bc	12,12de	21,73c
PT7	32,49	27,23ab	20,09b	17,12b	24,23b
PT8	32,19	23,09cd	16,63c	13,31cd	21,30c

*Médias, nas colunas, com letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), ausências de letras correspondem à valores semelhantes.

**Substâncias húmicas.

Tabela XVI – Resultados das variáveis porcentagem de níquel e cromo totais na parte aérea e nas raízes da alface *Maravilha de Verão*.

Porcentagem de Níquel na Parte Aérea*					
SHs**	0 mg	15 mg	30 mg	45 mg	Médias
PT1	25,02	56,85a	62,07a	34,75bc	44,67a
PT2	23,92	36,38bc	50,51b	38,16bc	37,24b
PT3	20,57	29,12c	63,37a	44,68ab	39,44ab
PT4	22,31	39,04bc	47,73b	42,12ab	37,80b
PT5	21,92	29,22c	36,25c	30,06c	29,36c
PT6	21,09	40,37b	46,67bc	42,93ab	37,76b
PT7	22,11	40,56b	42,71bc	49,34a	38,68b
PT8	21,02	36,86bc	45,34bc	39,32abc	35,63b
Porcentagem de Níquel nas Raízes*					
PT1	74,98	43,15c	37,93c	65,25ab	55,33c
PT2	76,08	63,62ab	49,49b	61,84ab	62,76b
PT3	79,43	70,88a	36,63c	55,32bc	60,56bc
PT4	77,69	60,96ab	52,27b	57,88bc	62,20b
PT5	78,08	70,78a	63,75a	69,94a	70,64a
PT6	78,91	59,63b	53,33ab	57,07bc	62,24b
PT7	77,89	59,44b	57,29ab	50,66c	61,32b
PT8	78,98	63,14ab	54,66ab	60,68abc	64,37b
Porcentagem de Cromo na Parte Aérea*					
PT1	14,97	26,88a	25,77bc	22,78a	22,60a
PT2	14,54	20,13ab	26,67b	19,74a	20,27ab
PT3	12,53	20,75ab	38,85a	22,62a	23,68a
PT4	13,32	20,33ab	14,63d	15,05ab	15,83c
PT5	13,50	16,21b	18,03cd	11,28b	14,76c
PT6	12,94	19,62ab	18,58bcd	17,08ab	17,05bc
PT7	14,18	16,12b	19,68bcd	18,29ab	17,07bc
PT8	12,53	20,71ab	19,88bcd	20,56a	18,42bc
Porcentagem de Cromo nas Raízes*					
PT1	85,03	73,12b	74,23b	77,22c	77,40c
PT2	85,46	79,87ab	73,33b	80,26bc	79,73bc
PT3	87,47	79,25ab	61,15c	77,38c	76,31c
PT4	86,68	84,86a	85,37a	84,95ab	85,47a
PT5	86,49	83,79a	81,97a	88,72a	85,24a
PT6	87,06	80,38a	81,42a	82,92abc	82,95ab
PT7	85,82	83,88a	80,32ab	81,71abc	82,93ab
PT8	87,47	79,29ab	80,12ab	79,44bc	81,58b

*Médias, nas colunas, com letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), ausências de letras correspondem à valores semelhantes.

**Substâncias húmicas.

Tabela XVII – Equações de regressão polinomial das variáveis porcentagem do níquel e do cromo totais na parte aérea e nas raízes da alfaca *Maravilha de Verão*.

Porcentagem de Níquel na Parte Aérea			
SHs*	Equações**	Pm***	Dose****
PT1	$Y = 24,725 + 3,1865X - 0,06571**X^2$ ($r^2 = 1$)	63,63	24,25
PT2	$Y = 22,516 + 1,6196X - 0,02757**X^2$ ($r^2 = 0,89$)	46,30	29,37
PT3	$Y = 16,641 + 2,07235X - 0,03026**X^2$ ($r^2 = 0,71$)	52,12	34,24
PT4	$Y = 22 + 1,5706X - 0,02481**X^2$ ($r^2 = 0,99$)	46,86	31,65
PT5	$Y = 21,272 + 0,8841X - 0,01499**X^2$ ($r^2 = 0,92$)	34,31	29,50
PT6	$Y = 21,24 + 1,6294X - 0,02557**X^2$ ($r^2 = 1$)	47,20	31,86
PT7	$Y = 23,146 + 1,1503X - 0,01314**X^2$ ($r^2 = 0,95$)	48,32	43,78
PT8	$Y = 20,667 + 1,5149X - 0,02428**X^2$ ($r^2 = 0,99$)	44,30	31,20
Porcentagem de Níquel nas Raízes			
PT1	$Y = 75,275 - 3,1865X + 0,06571**X^2$ ($r^2 = 1$)	36,64	24,25
PT2	$Y = 77,484 - 1,6196X + 0,02757**X^2$ ($r^2 = 0,89$)	53,70	29,37
PT3	$Y = 83,359 - 2,0723X + 0,03026**X^2$ ($r^2 = 0,71$)	47,88	34,24
PT4	$Y = 78 - 1,5706X + 0,02481**X^2$ ($r^2 = 0,99$)	53,14	31,65
PT5	$Y = 78,728 - 0,8841X + 0,01499**X^2$ ($r^2 = 0,92$)	65,69	29,50
PT6	$Y = 78,76 - 1,6294X + 0,02557**X^2$ ($r^2 = 1$)	52,80	31,86
PT7	$Y = 76,854 - 1,1503X + 0,01314**X^2$ ($r^2 = 0,95$)	51,68	43,78
PT8	$Y = 79,333 - 1,5149X + 0,02428**X^2$ ($r^2 = 0,99$)	55,70	31,20
Porcentagem de Cromo na Parte Aérea			
PT1	$Y = 15,528 + 0,894X - 0,01656**X^2$ ($r^2 = 0,93$)	27,59	26,99
PT2	$Y = 13,816 + 0,7736X - 0,01391**X^2$ ($r^2 = 0,86$)	24,57	27,81
PT3	$Y = 10,316 + 1,5452X - 0,02717**X^2$ ($r^2 = 0,73$)	32,28	28,43
PT4	NS	–	–
PT5	$Y = 13,121 + 0,4404X - 0,01051**X^2$ ($r^2 = 0,89$)	17,74	20,96
PT6	$Y = 13,305 + 0,4844X - 0,00908**X^2$ ($r^2 = 0,89$)	19,77	26,67
PT7	NS	–	–
PT8	$Y = 13,052 + 0,5305X - 0,00834**X^2$ ($r^2 = 0,88$)	21,49	31,80
Porcentagem de Cromo nas Raízes			
PT1	$Y = 84,472 - 0,894X + 0,01656**X^2$ ($r^2 = 0,93$)	72,41	26,99
PT2	$Y = 86,184 - 0,7736X + 0,01391**X^2$ ($r^2 = 0,86$)	75,43	27,81
PT3	$Y = 89,684 - 1,5452X + 0,02717**X^2$ ($r^2 = 0,73$)	67,72	28,43
PT4	NS	–	–
PT5	$Y = 86,879 - 0,4404X + 0,01051**X^2$ ($r^2 = 0,89$)	82,26	20,96
PT6	$Y = 86,695 - 0,4844X + 0,00908**X^2$ ($r^2 = 0,89$)	80,23	26,67
PT7	NS	–	–
PT8	$Y = 86,948 - 0,5305X + 0,00834**X^2$ ($r^2 = 0,88$)	78,51	31,80

*Substâncias húmicas.

**X = dose de substância húmica utilizada (0, 10, 20 e 30 mg.L⁻¹).

***Ponto de máxima ou de mínima.

****Dose calculada para atingir o ponto de máxima ou de mínima.

Tabela XVIII – Resultados da análise de variância das variáveis concentração de cádmio e chumbo na matéria seca da parte aérea e das raízes e porcentagem do cádmio total na parte aérea e nas raízes da alface *Maravilha de Verão*.

Concentração de Cádmio na Matéria Seca da Parte Aérea					
Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
SHs*	7	1,1917499	0,1702500	0,7685	0,61718
Doses	3	88,4981969	29,4993990	133,1584	0,00001
SHs x Doses	21	1,0223652	0,0486841	0,2198	0,99969
Resíduo	64	14,1783173	0,2215362		
Total	95	104,8906293			
Média geral = 2,54 mg.kg ⁻¹ , EPM = 0,048 mg.kg ⁻¹ e CV = 18,55%					
Concentração de Cádmio na Matéria Seca das Raízes					
SHs*	7	34,6229180	4,9461311	21,1241	0,00001
Doses	3	1290,8942312	430,2980771	1837,7289	0,00001
SHs x Doses	21	23,3465526	1,1117406	4,7481	0,00001
Resíduo	64	14,9853861	0,2341467		
Total	95	1363,8490880			
Média geral = 7,14 mg.kg ⁻¹ , EPM = 0,049 mg.kg ⁻¹ e CV = 6,77%					
Concentração de Chumbo na Matéria Seca da Parte Aérea					
SHs*	7	53,8495298	7,6927900	35,7099	0,00001
Doses	3	245,1880212	81,7293404	379,3868	0,00001
SHs x Doses	21	23,6259670	1,1250460	5,2225	0,00001
Resíduo	64	13,7871914	0,2154249		
Total	95	336,4507094			
Média geral = 4,25 mg.kg ⁻¹ , EPM = 0,047 mg.kg ⁻¹ e CV = 10,92%					
Concentração de Chumbo na Matéria Seca das Raízes					
SHs*	7	9,0457885	1,2922555	4,5028	0,00060
Doses	3	368,1835504	122,7278501	427,6358	0,00001
SHs x Doses	21	4,7871824	0,2279611	0,7943	0,71629
Resíduo	64	18,3674579	0,2869915		
Total	95	400,3839792			
Média geral = 5,4 mg.kg ⁻¹ , EPM = 0,055 mg.kg ⁻¹ e CV = 9,92%					
Porcentagem de Cádmio na Parte Aérea					
SHs*	7	953,8747026	136,2678147	4,6030	0,00051
Doses	3	4516,7225355	1505,5741785	50,8571	0,00001
SHs x Doses	21	1327,5792035	63,2180573	2,1355	0,01076
Resíduo	64	1894,6577244	29,6040269		
Total	95	8692,8341660			
Média geral = 41,26%, EPM = 0,56% e CV = 13,19%					
Porcentagem de Cádmio nas Raízes					
SHs*	7	953,8774023	136,2682003	4,6030	0,00051
Doses	3	4516,7255735	1505,5751912	50,8572	0,00001
SHs x Doses	21	1327,5764751	63,2179274	2,1355	0,01076
Resíduo	64	1894,6552003	29,6039875		
Total	95	8692,8346512			
Média geral = 58,74%, EPM = 0,56% e CV = 9,26%					

*Substâncias húmicas.

Tabela XIX – Resultados das variáveis concentração de cádmio e chumbo na matéria seca da parte aérea e das raízes da alfaca *Maravilha de Verão*.

Concentração de Cádmio na Matéria Seca da Parte Aérea*					
SHs**	0 mg	15 mg	30 mg	45 mg	Médias
PT1	4,08	2,61	1,92	1,42	2,51
PT2	4,05	2,43	2,03	1,85	2,59
PT3	4,18	2,53	2,15	1,73	2,65
PT4	4,24	2,71	2,10	1,92	2,74
PT5	4,12	2,34	1,71	1,54	2,43
PT6	4,12	2,40	1,61	1,35	2,37
PT7	3,93	2,71	1,84	1,63	2,53
PT8	4,14	2,37	1,83	1,63	2,49
Concentração de Cádmio na Matéria Seca das Raízes*					
PT1	12,74	6,62d	4,17c	2,43c	6,49d
PT2	12,92	9,38a	7,40a	3,41abc	8,28a
PT3	13,34	7,15cd	4,74bc	2,51c	6,93cd
PT4	13,17	8,92ab	5,45b	3,82ab	7,84ab
PT5	12,47	7,94bc	4,88bc	3,15abc	7,11c
PT6	12,55	7,08cd	4,54bc	2,72bc	6,72cd
PT7	13,12	6,90cd	5,04bc	4,15a	7,30bc
PT8	12,62	6,71cd	4,00c	2,61bc	6,48d
Concentração de Chumbo nas Matéria Seca da Parte Aérea*					
PT1	6,71	3,82b	1,93b	1,52b	3,49c
PT2	6,63	3,32b	2,83b	1,91b	3,67c
PT3	6,77	3,71b	2,40b	1,72b	3,65c
PT4	6,56	5,83a	4,32a	3,42a	5,03ab
PT5	6,72	5,04a	4,05a	2,02b	4,46b
PT6	6,57	2,90b	2,34b	1,52b	3,34c
PT7	6,72	6,09a	4,54a	3,31a	5,16a
PT8	6,71	5,70a	4,80a	3,55a	5,19a
Concentração de Chumbo na Matéria Seca das Raízes*					
PT1	8,33	5,09	3,70	2,82	4,98b
PT2	8,26	5,82	3,90	3,26	5,31ab
PT3	8,35	5,32	3,81	2,92	5,10b
PT4	8,55	6,05	4,36	3,51	5,62ab
PT5	8,79	5,55	3,81	3,15	5,33ab
PT6	8,31	5,49	4,03	2,94	5,19ab
PT7	8,33	6,39	5,02	3,69	5,86a
PT8	8,34	6,45	4,93	3,57	5,82a

*Médias, nas colunas, com letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), ausências de letras correspondem à valores semelhantes.

**Substâncias húmicas.

Tabela XX – Resultados da análise de variância das variáveis porcentagem de chumbo e mercúrio na parte aérea e nas raízes e concentração de mercúrio na matéria seca da parte aérea e das raízes e da alface *Maravilha de Verão*.

Porcentagem de Chumbo na Parte Aérea					
Causas de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
SHs*	7	1316,2757408	188,0393915	8,6741	0,00001
Doses	3	1019,7432744	339,9144248	15,6800	0,00001
SHs x Doses	21	1728,4404636	82,3066887	3,7968	0,00007
Resíduo	64	1387,4034291	21,6781786		
Total	95	5451,8629078			
Média geral = 57,53%, EPM = 0,47% e CV = 8,09%					
Porcentagem de Chumbo nas Raízes					
SHs*	7	1316,2841831	188,0405976	8,6742	0,00001
Doses	3	1019,7516788	339,9172263	15,6803	0,00001
SHs x Doses	21	1728,4317992	82,3062762	3,7968	0,00007
Resíduo	64	1387,3948691	21,6780448		
Total	95	5451,8625303			
Média geral = 42,47%, EPM = 0,47% e CV = 10,96%					
Concentração de Mercúrio na Matéria Seca da Parte Aérea					
SHs*	7	0,0004325	0,0000618	47,1931	0,00001
Doses	3	0,0020737	0,0006912	527,9864	0,00001
SHs x Doses	21	0,0003038	0,0000145	11,0504	0,00001
Resíduo	64	0,0000838	0,0000013		
Total	95	0,0028937			
Média geral = 0,17 mg.kg ⁻¹ , EPM = 0,0001mg.kg ⁻¹ e CV = 6,60%					
Concentração de Mercúrio na Matéria Seca das Raízes					
SHs*	7	0,0012476	0,0001782	19,6945	0,00001
Doses	3	0,0381354	0,0127118	1404,6329	0,00001
SHs x Doses	21	0,0010784	0,0000514	5,6744	0,00001
Resíduo	64	0,0005792	0,0000090		
Total	95	0,0410406			
Média geral = 0,0436 mg.kg ⁻¹ , EPM = 0,0003 mg.kg ⁻¹ e CV = 6,9%					
Porcentagem de Mercúrio na Parte Aérea					
SHs*	7	809,6821002	115,6688715	6,0804	0,00007
Doses	3	5078,0544053	1692,6848018	88,9797	0,00001
SHs x Doses	21	2421,4157318	115,3055110	6,0613	0,00001
Resíduo	64	1217,4892443	19,0232694		
Total	95	9526,6414817			
Média geral = 43,60%, EPM = 0,45% e CV = 10%					
Porcentagem de Mercúrio nas Raízes					
SHs*	7	816,0776016	116,5825145	6,0621	0,00007
Doses	3	5074,0482684	1691,3494228	87,9478	0,00001
SHs x Doses	21	2433,7157555	115,8912265	6,0262	0,00001
Resíduo	64	1230,8026776	19,2312918		
Total	95	9554,6443031			
Média geral = 56,41%, EPM = 0,45% e CV = 7,77%					

*Substâncias húmicas.

Tabela XXI– Resultados das variáveis porcentagem do cádmio e chumbo totais na parte aérea e das raízes da alface *Maravilha de Verão*.

Porcentagem de Cádmio na Parte Aérea*					
SHs**	0 mg	15 mg	30 mg	45 mg	Médias
PT1	34,61	50,88a	52,94ab	53,46	47,97a
PT2	32,53	31,91b	37,03c	51,97	38,36b
PT3	28,29	35,93b	57,88a	54,60	44,17ab
PT4	31,27	41,67ab	39,68bc	44,38	39,25b
PT5	32,00	32,96b	44,64abc	45,82	38,85b
PT6	30,24	39,08ab	39,07bc	47,95	39,09b
PT7	31,51	40,14ab	42,01bc	46,31	39,99b
PT8	29,72	41,74ab	44,48abc	53,75	42,43ab
Porcentagem de Cádmio nas Raízes*					
PT1	65,39	49,12b	47,06bc	46,55	52,03b
PT2	67,47	68,09a	62,97a	48,03	61,64a
PT3	71,71	64,07a	42,12c	45,40	55,83ab
PT4	68,73	58,33ab	60,32ab	55,62	60,75a
PT5	68,00	67,04a	55,36abc	54,18	61,14a
PT6	69,76	60,92ab	60,93ab	52,04	60,91a
PT7	68,49	59,86ab	57,99ab	53,69	60,01a
PT8	70,27	58,26ab	55,52abc	46,25	57,57ab
Porcentagem de Chumbo na Parte Aérea*					
PT1	57,05	66,54ab	56,58bc	51,19cd	57,84ab
PT2	55,16	50,97de	60,81abc	53,92bcd	55,22bc
PT3	50,63	52,70cde	66,29ab	50,46cd	55,02bc
PT4	52,05	68,66a	62,83abc	61,24abc	61,19a
PT5	52,39	60,05bcde	70,65a	52,16cd	58,81ab
PT6	51,16	49,17e	51,36c	49,08d	50,19c
PT7	55,26	61,91abcd	63,91ab	66,46a	61,88a
PT8	51,24	64,55abc	63,01abc	64,92ab	60,93ab
Porcentagem de Chumbo nas Raízes*					
PT1	42,95	33,46de	43,42ab	48,81ab	42,16bc
PT2	44,84	49,03ab	39,19abc	46,08abc	44,78ab
PT3	49,37	47,30abc	33,71bc	49,64ab	45,01ab
PT4	47,95	31,34e	37,17abc	38,76bcd	38,81c
PT5	47,61	39,95abcd	29,35c	47,84ab	41,19bc
PT6	48,84	50,83a	48,64a	50,92a	49,81a
PT7	44,74	38,09bcde	36,09bc	33,54d	38,12c
PT8	48,76	35,45Bcde	36,99abc	35,08cd	39,07bc

*Médias, nas colunas, com letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), ausências de letras correspondem à valores semelhantes.

**Substâncias húmicas.

Tabela XXII – Equações de regressão polinomial das variáveis porcentagem do cádmio total na parte aérea e nas raízes da alface *Maravilha de Verão*.

Porcentagem de Cádmio na Parte Aérea			
SHs*	Equações**	Pm***	Dose****
PT1	$Y = 39,182 + 0,3908 * X$ ($r^2 = 0,71$)	–	–
PT2	$Y = 32,735 - 0,3548X + 0,01729 * X^2$ ($r^2 = 1$)	30,91	10,26
PT3	$Y = 29,043 + 0,6724 ** X$ ($r^2 = 0,82$)	–	–
PT4	$Y = 33,645 + 0,2489 ** X$ ($r^2 = 0,73$)	–	–
PT5	$Y = 30,884 + 0,3543 ** X$ ($r^2 = 0,86$)	–	–
PT6	$Y = 31,119 + 0,3541 ** X$ ($r^2 = 0,90$)	–	–
PT7	$Y = 33,05 + 0,3085 ** X$ ($r^2 = 0,92$)	–	–
PT8	$Y = 31,202 + 0,4988 ** X$ ($r^2 = 0,95$)	–	–
Porcentagem de Cádmio nas Raízes			
PT1	$Y = 64,756 - 1,1784X + 0,0175 * X^2$ ($r^2 = 0,97$)	44,93	33,64
PT2	$Y = 67,265 + 0,3548X - 0,01729 * X^2$ ($r^2 = 1$)	69,09	10,26
PT3	$Y = 70,956 - 0,6724 ** X$ ($r^2 = 0,82$)	–	–
PT4	$Y = 66,355 - 0,2489 ** X$ ($r^2 = 0,73$)	–	–
PT5	$Y = 69,116 - 0,3543 ** X$ ($r^2 = 0,86$)	–	–
PT6	$Y = 68,881 - 0,3541 ** X$ ($r^2 = 0,90$)	–	–
PT7	$Y = 66,95 - 0,3085 ** X$ ($r^2 = 0,92$)	–	–
PT8	$Y = 68,798 - 0,4988 ** X$ ($r^2 = 0,95$)	–	–

*Substâncias húmicas.

**X = dose de substância húmica utilizada (0, 10, 20 e 30 mg.L⁻¹).

***Ponto de máxima ou de mínima.

****Dose calculada para atingir o ponto de máxima ou de mínima.

Tabela XXIII – Resultados das variáveis concentração de mercúrio na matéria seca da parte aérea e das raízes e porcentagem do mercúrio total na parte aérea e nas raízes da alface *Maravilha de Verão*.

Concentração de Mercúrio na Matéria Seca da Parte Aérea*					
SHs**	0 mg	15 mg	30 mg	45 mg	Médias
PT1	0,0240	0,0182ab	0,0091c	0,0072d	0,0146de
PT2	0,0234	0,0192ab	0,0136b	0,0107bc	0,0167bc
PT3	0,0235	0,0191ab	0,0130b	0,0083cd	0,0160cd
PT4	0,0237	0,0206a	0,0181a	0,0161a	0,0196a
PT5	0,0240	0,0202a	0,0140b	0,0122b	0,0179b
PT6	0,0240	0,0171b	0,0095c	0,0066d	0,0143e
PT7	0,0230	0,0210a	0,0185a	0,0153a	0,0195a
PT8	0,0233	0,0204a	0,0192a	0,0172a	0,0200a
Concentração de Mercúrio na Matéria Seca das Raízes*					
PT1	0,0740	0,0360d	0,0250b	0,0170b	0,0380d
PT2	0,0733	0,0463bc	0,0402a	0,0213ab	0,0453ab
PT3	0,0764	0,0402cd	0,0270b	0,0180ab	0,0404cd
PT4	0,0726	0,0519ab	0,0450a	0,0250a	0,0486a
PT5	0,0759	0,0527ab	0,0401a	0,0214ab	0,0475a
PT6	0,0725	0,0402cd	0,0273b	0,0191ab	0,0398cd
PT7	0,0754	0,0540a	0,0311b	0,0222ab	0,0457ab
PT8	0,0741	0,0501ab	0,0302b	0,0201ab	0,0436bc
Porcentagem de Mercúrio na Parte Aérea*					
PT1	34,87	57,18a	47,80bcd	45,43cd	46,32ab
PT2	32,91	43,27b	42,16cd	49,79bcd	42,03abc
PT3	27,86	43,23b	60,50a	44,72cd	44,08ab
PT4	31,61	48,10ab	40,70d	51,46abc	42,97abc
PT5	32,26	38,50b	44,92bcd	49,65bcd	41,33bc
PT6	30,56	44,58b	38,79d	38,85d	38,19c
PT7	31,97	39,98b	53,88ab	60,50ab	46,58ab
PT8	29,21	45,78b	52,76abc	61,48a	47,31a
Porcentagem de Mercúrio nas Raízes*					
PT1	65,13	42,82b	52,20abc	54,57ab	53,68bc
PT2	67,09	56,73a	57,84ab	50,21abc	57,97abc
PT3	72,14	56,77a	39,50d	55,28ab	55,92bc
PT4	68,39	51,90ab	59,30a	48,54bcd	57,03abc
PT5	67,74	61,96a	55,08abc	50,35abc	58,78ab
PT6	69,44	55,42a	61,21a	61,15a	61,81a
PT7	68,03	60,02a	46,12cd	39,50cd	53,42bc
PT8	70,79	54,22a	47,24bcd	38,52d	52,69c

*Médias, nas colunas, com letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), ausências de letras correspondem à valores semelhantes.

**Substâncias húmicas.

Tabela XXIV – Equações de regressão polinomial das variáveis porcentagem do chumbo e mercúrio na parte aérea e nas raízes da alface *Maravilha de Verão*.

Porcentagem de Chumbo na Parte Aérea				
SHs*		Equações**	Pm***	Dose****
PT1		$Y = 58,25 + 0,5604X - 0,01653**X^2$ ($r^2 = 0,76$)	63,00	16,95
PT2	NS		–	–
PT3		$Y = 48,579 + 0,9823X - 0,01989**X^2$ ($r^2 = 0,51$)	60,71	24,69
PT4		$Y = 53,382 + 1,0546X - 0,02021**X^2$ ($r^2 = 0,75$)	67,14	26,09
PT5		$Y = 50,27 + 1,2232X - 0,0252**X^2$ ($r^2 = 0,60$)	65,11	24,27
PT6	NS		–	–
PT7		$Y = 56,544 + 0,2373**X$ ($r^2 = 0,92$)	–	–
PT8		$Y = 52,153 + 0,8334X - 0,01267**X^2$ ($r^2 = 0,87$)	65,86	32,90
Porcentagem do Chumbo nas Raízes				
PT1		$Y = 41,75 - 0,5604X + 0,01653**X^2$ ($r^2 = 0,76$)	37,00	16,95
PT2	NS		–	–
PT3		$Y = 51,421 - 0,9823X + 0,01989**X^2$ ($r^2 = 0,51$)	39,29	24,69
PT4		$Y = 46,618 - 1,0546X + 0,02021**X^2$ ($r^2 = 0,75$)	32,86	26,09
PT5		$Y = 49,73 - 1,2232X + 0,0252**X^2$ ($r^2 = 0,77$)	34,89	24,27
PT6	NS		–	–
PT7		$Y = 43,456 - 0,2373**X$ ($r^2 = 0,92$)	–	–
PT8		$Y = 47,847 - 0,8334X + 0,01267**X^2$ ($r^2 = 0,87$)	34,14	32,90
Porcentagem de Mercúrio na Parte Aérea				
PT1		$Y = 36,809 + 1,3821X - 0,02741**X^2$ ($r^2 = 0,70$)	54,23	25,21
PT2		$Y = 34,603 + 0,3302**X$ ($r^2 = 0,85$)	–	–
PT3		$Y = 26,115 + 2,0093X - 0,0346**X^2$ ($r^2 = 0,89$)	55,29	29,04
PT4		$Y = 35,148 + 0,3475**X$ ($r^2 = 0,58$)	–	–
PT5		$Y = 32,543 + 0,3906**X$ ($r^2 = 1$)	–	–
PT6		$Y = 31,841 + 0,8251X - 0,01551**X^2$ ($r^2 = 0,67$)	42,82	26,61
PT7		$Y = 31,657 + 0,6633**X$ ($r^2 = 0,98$)	–	–
PT8		$Y = 31,739 + 0,6919**X$ ($r^2 = 0,96$)	–	–
Porcentagem de Mercúrio nas Raízes				
PT1		$Y = 63,191 - 1,3821X + 0,02741**X^2$ ($r^2 = 0,70$)	45,77	25,21
PT2		$Y = 65,397 - 0,3302**X$ ($r^2 = 0,85$)	–	–
PT3		$Y = 73,885 - 2,0093X + 0,0346**X^2$ ($r^2 = 0,89$)	44,71	29,04
PT4		$Y = 64,852 - 0,3475**X$ ($r^2 = 0,58$)	–	–
PT5		$Y = 67,641 - 0,3937**X$ ($r^2 = 1$)	–	–
PT6		$Y = 68,159 - 0,8251X + 0,01551**X^2$ ($r^2 = 0,67$)	57,18	26,61
PT7		$Y = 68,343 - 0,6633**X$ ($r^2 = 0,98$)	–	–
PT8		$Y = 68,2611 - 0,6919**X$ ($r^2 = 0,96$)	–	–

*Substâncias húmicas.

**X = dose de substância húmica utilizada (0, 10, 20 e 30 mg.L⁻¹).

***Ponto de máxima ou de mínima.

****Dose calculada para atingir o ponto de máxima ou de mínima.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRIESSE, J. **Nature and Management of Tropical Peat Soils**. FAO, Food and Agricultural organization of the United Nations. Rome: FAO, 1988, 165 p. (Bulletin Soils, 59).

ASO, S.; SAKAI, I. Studies on the physiological effects of humic acid. I. Uptake of humic acid by crop plant and its physiological effects. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 9, p. 1-7, 1963.

AYUSO, M.; HERNANDEZ, T.; GARCIA, C.; PASCUAL, J. A. Stimulation of barley growth and nutrient absorption by humic substances originating from various organic materials. **Bioresources and Technology**, v. 57, n. 3, p. 251-257, 1996a.

AYUSO, M.; HERNANDEZ, T.; GARCIA, C.; PASCUAL, J. A. A comparative study of the effect on barley growth of substances extracted from municipal wastes and from traditional organic materials. **Journal of the Science of the Food and Agriculture**, v. 72, p. 493-500, 1996b.

AYUSO, M.; HERNANDEZ, T.; GARCIA, C.; PASCUAL, J. A. A comparative study of the effect on barley growth of substances extracted from municipal wastes and from traditional organic materials. **Journal of the Science of the Food and Agriculture**, Oxford, v. 72, p. 493-500, 1996c.

AZAN, F.; MALIK, K. A., Effect of humic acid on seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under different conditions, **Pakistan Journal of Botany**, v. 14, p. 47-48, 1982.

BARANCIKOVA, G.; BRECKOVA, V.; DLUGOS, J. Retention of cadmium by soils and humic acids./Retencia kadmia podami a huminovymi kyselinami. **Rostlinna Vyroba**, v. 43, n. 3, p. 107-112, 1997.

BEVERIDGE, A.; PICKERING, W. F. Influence of humate solute interactions on aqueous heavy metal ion level. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 14, p. 171-185, 1980.

BEHRMAN, R. E.; KLIEGMAN, R. M.; NELSON, W. E.; VAUGHAN, V. C. III., **Nelson Textbook of Pediatrics**, 14ed., Philadelphia, Pennsylvania: W. B. Saunders Company, 1992, 1965 p.

BOAS, R. L. V.; BOARETTO, A. N.; VITTI, G. C. Aspectos da Fertirrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS. Piracicaba, SP. 1993, **Anais....** Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, 1994, p. 283-308.

BITTENCOURT, V. C.; BEAUCLAIR, E. G. F. Fertilizantes fluidos. In: DECHEN, A. R., BOARETTO, A. E., VERDADE, F. C., coord., In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, Piracicaba, 1992, **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992, p. 255-273.

BONIFAZI, M.; PANT, B. C.; LANGFORD, C. H. Kinetic study of the speciation of copper (II) bound to humic acid. **Environmental Technology**, v. 17, p. 885-890, 1996.

BOTTOMLEY, W. B. The effect of organic matter on the growth of various plants in culture solutions. **Annals of Botany (London)**, v. 34, p. 353-365, 1920.

BOYD, S. A.; SOMMERS, L. E.; DARREW, N. W. The mechanism of copper(II) binding by humic acid: an electron spin resonance study of a copper(II)-humic acid complex and some adducts with nitrogen donors. **Soil Science Society American Journal**, v. 45, p. 745-749, 1981.

BRASIL, Ministério da Agricultura. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul**, Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Recife, 1973, 431 p. (Boletim Técnico, 30).

BRUN, G. **Pouvoir complexant des matières humiques effets sur l'alimentation minérale des végétaux**. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, Spécialité: Traitement des matières premières végétales, Toulouse, France, 1993, 139 p.

BRUN, G.; EZELIN, K.; KAEMMERER, M.; REVEL, M. Effect of humic matters extracted from compost and from Leonardite on P nutrition of rye-grass. In: J. C.; BERTOLDI, M. DE.; SEQUI, P.; LEMMES, B.; PAPI, T. **The Science of Composting: Part 2**. Glasgow, U.K.: Blackie Academic & Professional. 1996, p. 1091-1093.

BUTLER, G. W.; BAYLEY, R. W., **Chemistry and biochemistry of herbage**. London: Academic Press. 1973, 455 p.

CASENAVE DE SANFILLIPPO, E.; ARGÜELLO, J. A.; ORIOLI, G. A. The effect of humic acids and their different molecular mass fractions on germination in sunflower. **Biologia Plantarum (Praha)**, v. 32, n. 1, p. 42-48, 1990a.

CASENAVE DE SANFILIPPO, E.; ARGÜELLO, J. A.; ABDALA, G.; ORIOLI, G. A. Content of auxin, inhibitor and gibberellin like substances in humic acids. **Biologia Plantarum (Praha)**, v. 32, n. 5, p. 346-352, 1990b.

CASTELLANE, P. D.; ARAÚJO, J. A. C. **Cultivo sem solo: Hidroponia**. Jaboticabal, SP: FUNEP, 1994, 43 p.

CERULLI, J.; GRABE, D. W.; GAUTHIER, I.; MCGOLDRICK, M. D. Chromium picolinate. **Annals of Pharmacotherapy**, v. 32, p. 428-431, 1998.

CHALA, O.; RAMAN, K. V. Organic matter and metal ion complexes-stability studies under different pH and thermal conditions. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, v. 32, p. 230-234, 1984.

CHAMINADE, R. Effet physiologique des constituants de la matière organique des sols, sur le métabolisme des plants, la croissance et le rendement. In: **The Use of Isotopes in Soil Organic Matter Studies**. FAO/IAEA, Oxford: Pergamon Press. 1966, p. 35-47.

CHEN, Y.; CHEFETZ, B.; HADAR, Y.; CHEN, Y. Formation and properties of humic substance originating from composts. In: BERTOLDI, M. D. E.; SEQUI, P.; LEMMES, B.; PAPI, T. Glasgow, U. K.: Blackie Academic & Professional. **The Science of Composting: Part 1**. 1996, p. 382-393.

- CHUKOV, S. N.; TALISHKINA, V. D.; NADPOROZHYZKAYA, M. A. Physiological activity of growth stimulators and of soil humic acids. **Eurasian Soil Science**, v. 28, n. 4, p. 30-39, 1996.
- COOPER, A. **Commercial Applications of NFT**. London: Grower Books, 1982, 238 p.
- COTTON, A. F.; WILKINSON, G. **Advanced Inorganic Chemistry**, 5 ed. New York: John Wiley & Sons, 1988, 356 p.
- DAVID, P. P.; NELSON, P. V.; SANDERS, D. C. A humic acid improves growth of tomato seedling in solution culture. New York, **Journal of Plant Nutrition**, v. 17, n. 1, p. 173-184, 1994.
- DEBSKA, B. Properties of humic acids forming during the decomposition of green manure (oat + vetch) in soil. **Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Szczecinie**, v. 62. p. 107-114, 1996.
- DELL'AGNOLA, G.; FERRARI, G.; NARDI, S., Antidote action of humic substances on atrazine inhibition of sulfate uptake in barley roots. **Pesticide Biochemical Physiology**, v. 15, p. 101-104, 1981.
- DIAS, L. E.; JUCKSCH, I.; RICCI, M. S. F.; ALVAREZ, V. V. H. Comparação de diferentes métodos de determinação de carbono orgânico em amostras de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 157-162, 1991.
- DOUGLAS, J. S. **Hidroponia - Cultura sem terra**. São Paulo: Nobel. São Paulo. 1989, 141 p.
- D'YAKONOVA, K. V. Iron-humus complexes and their role in plant nutrition. **Soviet Soil Science**, v. 7, p. 692-698, 1962.
- ENGBRETSON, R. R.; von VANDRUSZKA, R. Micro-organization of dissolved humic acids. **Environmental Science and Technology**, v. 28, p. 1934-1941, 1994.
- EPSTEIN, E. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. São Paulo: EDUSC, 1975, 238 p.
- ERNST, W. H. O.; KRAAK, M. H. S.; STOOT, L. Growth and mineral nutrition of *Scrophularia nodosa* with various combinations of fulvic and humic acids. **Journal of Plant Physiology**, v. 127, n. 1-2, p. 171-175, 1987.
- FAGBENRO, J. A.; AGDOBOOLA, A. A. Effect of different levels of humic acid on the growth and nutrient uptake of teak seedlings. **Journal of Plant Nutrition**, v. 16, n. 8, p. 1465-1483, 1993.
- FAZIO, F. M. **Los Cultivos Hidroponicos**. Barcelona: De Vecchi, 1979, 155 p.
- FERRI, M. G. **Fisiologia Vegetal 1**. São Paulo: EPU – EDUSP, 1979, 350 p.

FITCH, A.; STEVENSON, F. J. Comparison of models for determining stability constants of metal complexes with humic substances. **Soil Science Society American Journal**, v. 48, p. 1044-1049, 1984.

FORTUN, C.; POLO, A. Efecto de algunos tipos de compostos húmicos sobre el crecimiento de las raíces de *Zea Mays*. **Agrochimica**, v. 26, n. 1, p. 44-54, 1982.

FORTUN, C.; RAPSCH, S.; ASCASO, C. Action of humic acid preparations on leaf development, mineral elements contents and chloroplast ultrastructure of ryegrass plants. **Photosynthetica**, v. 19, n. 3, p. 294-299, 1985.

FORTUN, C.; POLO, A.; MOLINERO, A. Acción de los ácidos húmicos de turbas compostadas sobre el crecimiento y contenido mineral de plantas de rye-grass. **Agrochimica**, v. 30, n. 1-2, p. 83-92, 1986a.

FORTUN, C.; ALMENDROS, G.; POLO, A. Efecto de fracciones de tipo húmico extraídas de paja de trigo compostada sobre el crecimiento y contenido mineral de plantas de rye-grass. **Agrochimica**, v. 30, n. 3, p. 229-240, 1986b.

FORTUN, C.; ORTEGA, B. C.; FORTUN, A. Selectividad de las sustancias húmicas por los elementos Na, K, Ca, Mg, Zn y Fe. **Agrochimica**, v. 30, n. 1-2, p. 93-102, 1986c.

FUCHSMAN, C. H. **“Peat - Industrial Chemistry and Technology”**. New York: Academic Press, 1980. 369 p.

GALVÃO, F. de. A. D. **Propriedades químicas e calibração do método SMP para solos orgânicos do litoral do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Tese de Mestrado em Agronomia, UFPEL, Pelotas, Área de concentração: Solos. 1994, 110 p.

GHOSH, R.; BAENERJEE, D. K. Complexation of trace metals with humic acids from soil, sediment and sewage. **Chemical Speciation and Bioavailability**, v. 9, n. 1, p. 15-19, 1997.

GOODMAN, B. A.; CHESHIRE, M. V. Electron para magnetic resonance evidence that copper is complexed in humic acid by the nitrogen of porphyrin groups. **Nature (London)**, v. 244, p. 158-159, 1973.

GOMEZ, Z. J.; TORRENTE, T. A.; MIRANDA, V. J. C. Production of humic substances in eight vermicomposts./Rendimientos de sustancias húmicas de ocho lombricompostos. **Acta Agronomica**, v. 45, n. 2-4, p. 45-50, 1995.

GOVINDASAMY, R.; CHADRASEKARAN, S. Effect of humic acids on the growth, yield and nutrient content of sugarcane. **The Science of the Total Environment**, v. 117-118, p. 575-581, 1992.

GREGOR, J. E.; POWELL, H. K. J. Effects of extraction procedures on fulvic acid properties. **The Science of the Total Environment**, v. 62, p. 3-12, 1987.

GREWOOD, N. N.; EARNSHAW, A. **Chemistry of the Elements**, 2 ed., Oxford: Butterworth-Heinemann. 1997, p. 1002-1039.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**, Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 9 ed., 1997, p. 815.

HAYES, M. H. B.; SWIFT, R. S. **The Chemistry of Soil Organic Colloids**. In: The chemistry of soil constituents (GREENKLAND, D. J., HAYES, M. H. B., eds.), New York: Wiley Interscience, 1978, p. 179-320.

HAYES, M. H. B.; MACCARTHY, P.; MALCOLM, R. L.; SWIFT, R. S. **Humic Substances II. In Search of Structure**. 1989. West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd. 1989. 733 p.

HERNANDO FERNANDES, V. The action of humic acid of different sources on the development of plants and their effect on increasing concentration of nutrient solution. In: **Study Week on Organic Matter and Soil Fertility**. Wiley Interscience, New York. 1968. p. 805-856.

HUTERWAL, G. O. **Hidroponia: Cultivo de Plantas sin Tierra**. Buenos Aires: Albatroz, 1977, 251 p.

IRINTOTO, B.; TAN, K. H.; SOMMER, H. E. Effect of humic acid on callus culture of slash pine (*Pinus elliottii* Engelm). **Journal of Plant Nutrition**, v. 16, n. 6, p. 1109-1118, 1993.

INSTITUTE OF MEDICINE'S FOOD AND NUTRITION BOARD (IOM). **Dietary Reference Intakes for Vitamin k, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium and Zinc**. Washington: Academic Press, 2001, 650 p.

JAMES, B. R.; BARTLETT, R. J. Behavior of chromium in soils. V. Fate of organically complexed Cr (III) added to soil, **Journal of Environmental Quality**, v. 12, p. 169-172, 1983a.

JAMES, B. R.; BARTLETT, R. J. Behavior of chromium in soils. VI. Interactions between oxidation-reduction and organic complexation, **Journal of Environmental Quality**, v. 12, p. 173-176, 1983b.

KHRISTEVA, L. A. **The participation of humic acids and their practical use in the Ukraine**. In: INTERNATIONAL PEAT CONGRESS, 2, Leningrad, 1953, Edinburgh: R. A. Robertson, 1953, p. 543-558.

KIEHL, E. J. Aproveitamento da turfa na agricultura caracterização e influência nas propriedades do solo. In: SEMINÁRIO SOBRE TURFAS: PROSPECÇÃO, PRODUÇÃO E USOS. São Paulo, **Anais...** São Paulo: CESP, 1985, 219 p.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Organominerais**, 2 ed. Piracicaba: Ceres. Degaspari. 189 p. 1993.

KONONOVA, M. M.; ALEXANDROVA, I. V. The effect of humus substances on the utilization of mineral nitrogen by plants. In: Studies about humus. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM HUMUS ET PLANT, 5. Praga, República Tcheca. **Proceedings...** 1971, p. 497-503.

KUYKENDALL, J. R.; KERGER, B. D.; JARVI, E. J.; CORBETT, G. E.; PAUSTENBACH, D. J. Measurement of DNA–protein cross-links in human leukocytes following acute ingestion of chromium in drinking water. **Carcinogenesis**, v. 17, p. 1971-1977, 1996.

KRUG, E. Chegou o pasto sem solo. **A Granja**, p. 44-53, out. 1987.

LAWSON, G. J.; STEWART, D. Coal Humic Acids, In: **Humic Substances II. In Search of Structure**. 1989. West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd. 1989. p. 641-686.

LEWIS, T. E.; BROADBENT, F. E. Soil organic matter – metal complexes. 3. Exchange reactions of model compounds. **Soil Science**, v. 91, p. 341-348, 1961.

LIA, J.; LI, G. Preliminary study of adsorption of mercury in the aquatic environment. **Chemical Abstracts**, v. 98, p. 8064, 1982

LÓPEZ, A. R.; VELA, A. C.; CERVANTES, R. L. Efecto del ácido fúlvico en la mezcla de la solución nutritiva en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 3, Santa Maria, RS, 24-26 de novembro, **Anais...** Santa Maria: IHSS-UFSM–PPGA Departamento de Solos, 1999, p. 161-163.

MAAS, E. V. Vertical distribution in soil of sprinkler-applied phosphorus. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, p. 971- 980. 1979.

MALAVOLTA, E. A situação da adubação fluida no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS. Piracicaba, SP, 1993. **Anais...** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1994, p. 31-54.

MAGGIONI, A.; VARANINI, Z.; NARDI, S.; PINTON, R. Action of soil humic matter on plant roots: stimulation of ion uptake and effects on $(Mg^{2+} + K^{+})$ ATPase activity. **The Science of the Total Environment**, v. 62, p. 355-363, 1987.

MANUNZA, B.; GESSA, C.; DEIANA, S.; RAUSA, R. A normal distribution model for the titration curves of humic acids. **Journal of Soil Science**, v. 43, p. 127-131, 1992.

MANUNZA, B. ; DEIANA, S.; MADDAU, V.; GESSA, C.; SEEBER, R. Stability constants of metal-humate complexes: titration data analyzed by bimodal Gaussian distribution. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, p. 1570-1574, 1995.

MATO, M. C.; OLMEDO, M. G.; MÉNDEZ, J., Inhibition of indolacetic acid-oxidase by soil humic acids fractionated on sephadex. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 4. p. 475-478, 1972.

MENGEL, K.; KIRKBY, A. **Principles of Plant Nutrition**, 4.ed. International Potash Institute, Switzerland, 1987, 687 p.

MORSELLI, T. B. G. A.; SILVA, R. M. da.; JABLONSKI, A.; GARCIA, S. dos S.; KROTH, P. L. Produção de beterraba cultivada em solução nutritiva completa com adição de substâncias húmicas extraídas de sete carvões minerais do Rio Grande do Sul. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 3, Santa Maria, RS, 24-26 de novembro, **Anais...** Santa Maria: IHSS–UFSM–PPGA–Departamento de Solos, 1999, p. 362-365.

- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, Commission on Life Sciences. **Recommended Dietary Allowances**, 10ed. Washington: Academic Press, 1989, 302 p.
- NAND, R.; RAMAN, K. V. Characterization of metal-humic and fulvic acid complexes. **Pedologie**, v. 33, p. 137-145, 1983.
- NIELSEN, F. H. The importance of diet composition of ultratrace element research. **Journal of Nutrition**, v. 115, p. 1239-1247, 1985.
- NOVOA, S. A. R. **Contaminación de aguas y vegetales por elementos pesados**. In: SIMPOSIO DE CONTAMINACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y SU INCIDENCIA EN EL SECTOR AGROPECUARIO, Santiago, 13-14 Nov. 1980, Santiago, p. 25-31.
- PELLICER, M. C.; RINCON, L.; SAEZ, J. Las soluciones nutritivas. **Horto Información**, v. 3, p. 39-43, 1995.
- PENG, A.; WANG, W. Humic substances and their complex compounds in natural waters. II. Complexation of humic acid with mercury(II) in Jiyun River. **Chemical Abstracts**, v. 97, p. 187843, 1982
- PEREIRA, J. R.; MÉNDEZ, J. Inhibition of peroxidase by algal humic and fulvic acids. **Biologic Plants**, v. 1, p. 171-182, 1976.
- PERRIN, O. D. **Organic Complexing Reagents. Chemical Analysis Series**, v. 8, New York: Interscience, 1964, p. 34-53.
- PETROVIC, P.; VITOROVIC, D.; JABLANOVIC, M. Investigations of biological effects of humic acids. **Acta Biol. Med. Exp.** v. 7. p. 21-25, 1982.
- PETRUZZELLI, G.; SZYMURA, I.; LUBRANO, L.; CERVELLI, S. Retention of Cu and Cd by soil influenced by different adsorbents. **Agrochimica**, v. 32, n. 2-3, p. 240-243, 1988.
- PICCOLO, A.; STEVENSON, F. J. Infrared spectra of Cu^{2+} , Pb^{2+} , and Ca^{2+} complexes of soil humic substances. **Geoderma**, v. 27, n. 3, p. 195-208, 1982.
- PICCOLO, A. Conformational changes of humic substances and consequences in the environment. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 3, Santa Maria, RS, 24-26 de novembro, **Anais...** Santa Maria: IHSS-UFSM-PPGA Departamento de Solos, 1999, p. 146.
- PINTON, R.; VARANINI, Z.; VIZZOTTO, G.; MAGGIONI, A. Soil humic substances affect transport properties of tonoplast vesicles isolated from oat roots. **Plant and Soil**, v. 142, n. 2, p. 203-210, 1992.
- PINTON, R.; CESCO, S.; SANTI, S.; VARANINI, Z. Soil humic substances stimulate proton release by intact oat seedling roots. **Journal of Plant Nutrition**, v. 20, n. 7-8, p. 857-869, 1997.
- POPPI, N. R.; TALAMONI, J. Estudo dos ácidos húmicos e fúlvicos, extraídos de solos, por espectroscopia de infravermelho. **Química Nova**, São Paulo, v. 15, n. 4. p. 281-285, 1992.

PRAKASH, A. Terrigenous organic matter and coastal phytoplankton fertility. In: **Fertility of the Sea**. New York: Gordon e Breach, v. 2, 1971, p. 351-368.

PRASAD, B.; SINHA, M. K. Kinetics of metal-fulvate reactions in alkaline soil. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, v. 29, n. 3, p. 322-326, 1981.

PRASAD, B.; GRACE, D. D.; SINGH, A. P. Cobalt (II), iron (III) and zinc (II) complexation by fulvic acids isolated from north-eastern Himalayan forest and cultivated soils. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, v. 35, n. 1, p. 194-197, 1987.

PRASAD, B.; SARANGTHEM, I.; BHOGAL, N. S. Effect of zinc-chelates and their levels on zinc diffusion in calcareous soil. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, v. 41, n. 2, p. 363-365, 1993.

RAINA, J. N.; GOSWAMI, K. P. Effect of fulvic acid and fulvates on growth and nutrient uptake by maize. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, v. 36 n. 2, p. 264-268, 1988.

RAINVILLE, D. P.; WEBER, J. H., Complexing capacity of soil fulvic acid for Cu^{2+} , Cd^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} and Zn^{2+} measured by dialysis titration: a model based on soil fulvic acid aggregation. **Canadian Journal of Chemistry**, v. 60, n. 1, p. 1-5, 1982.

RASHID, M. A. Role of humic acids of marine origin and their different molecular weight fractions in complexing di- and trivalent metals. **Soil Science**, v. 111, p. 298-306, 1971.

RAUTHAN, B. S.; SCHNITZER, M. Effect of a soil fulvic acid on the growth and nutrient content of cucumber (*Cucumis sativus*) plants. 1981. **Plant and Soil**, v. 63, n. 3, p. 491-495, 1981.

REINTAM, L. Temporal and spatial changes in organic agents in the progress of primary pedogenesis during thirty years. **Eesti Teaduste Akadeemia Toimetised, Okoloogia**, v. 5 n. 3-4, p. 61-138, 1995.

RELAN, P. S.; KHANNA, S. S.; CHAND, T.; KUMARI, R. Stability constants of Cu, Pb, Zn, Mn, Fe and Cd complexes with humic acid from farmyard manure. **Journal of The Indian Society of Soil Science**, v. 34, p. 250-256, 1986.

RESH, H. M. **Cultivos hidropônicos**, Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1992, 369 p.

SAMSON, G.; VISSER, S. A. Surface-active effect of humic acids on potato cell membrane properties. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 21, p. 343-347, 1989.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análises Químicas em Plantas**, Departamento de Química, ESALQ, Piracicaba, São Paulo (Publicação especial), 1974, 56 p.

SASS, B. M.; RAI, D. Solubility of amorphous chromium (III) - iron (III) hydroxide solid solutions. **Inorganic Chemistry**, v. 26, p. 2228-2232, 1987.

SCHENEGG, A.; KIRSHGESSNER, M. Changes in hemoglobin content, erythrocyte count and hematocrit in nickel deficiency. **Annals of Nutrition Metabolism**, v. 19, p. 268-278, 1975.

SCHNITZER, M.; SKINNER, S. I. M. Organo-metallic interactions in soils. 1. Reactions between a number of metal ions and the organic matter of a podzol Bh horizon. **Soil Science**, v. 96, p. 86-93, 1963.

SCHUBERT, M. **Manual Prático de Hidrocultivo**, Barcelona: Omega, 1981, 225 p.

SCHULTEN, H. R.; SCHNITZER, M. Chemical model structures for soil organic matter and soils. **Soil Science**, v. 162, n. 2, p. 115-130, 1997.

SEBASTIÃO, L. F. T. **Adubação NPK aplicada via solo, nas formas sólida e líquida em cafeeiro** (*Coffea arabica* L.). Jaboticabal, (Trabalho de graduação – FCAV/UNESP), 1991, 36 p.

SENESI, N. State of the art in humic substances sciences. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 2. São Carlos, 1997. **Anais...** São Carlos: EMBRAPA-CNPDIA, 1997, p. 19-20.

SGANZERLA, E. **Nova Agricultura: a Fascinante Arte de Cultivar com Plásticos**, 5ed. , Guaíba, RS: Livraria e Editora Agropecuária Ltda., 1995, 342 p.

SILVA, R. M. da.; JABLONSKI. A. Uso de ácidos húmicos e fúlvicos em solução nutritiva na produção de alface. **EGATEA: Revista da Escola de Engenharia**, Porto Alegre, RS, v. 23, n.2, p.71-78, 1995.

SILVA, R. M. da.; JABLONSKI. A.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P. Desenvolvimento do sistema radicular do azevém sob influência de diferentes fontes e doses de substâncias húmicas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35. Botucatu. **Anais...** Botucatu: FMVZ-UNESP-SBZ, 1998a. p. 357-359.

SILVA, R. M. da.; JABLONSKI. A.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P. Desenvolvimento do sistema radicular da aveia sob influência de diferentes fontes e doses de substâncias húmicas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35. Botucatu. **Anais...** Botucatu: FMVZ-UNESP-SBZ, 1998b. p. 412-414.

SILVA, R. M. da.; JABLONSKI. A.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P. Desenvolvimento do sistema radicular do milho sob influência de diferentes fontes e doses de substâncias húmicas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35. Botucatu. **Anais...** Botucatu: FMVZ-UNESP-SBZ, 1998c. p. 684-686.

SILVA, R. M. da.; JABLONSKI. A.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P. Produção de aveia: Efeito de diferentes fontes e doses de substâncias húmicas no cultivo em casa de vegetação. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. Botucatu. **Anais...** Botucatu: FMVZ-UNESP-SBZ, 1998d. p. 67-69.

SILVA, R. M. da.; JABLONSKI. A.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P. Produção de forragem de milho: Efeito de diferentes doses de substâncias húmicas no cultivo em casa de vegetação. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. Botucatu. **Anais...** Botucatu: FMVZ-UNESP-SBZ, 1998e. p. 409-411.

SILVA, R. M. da.; JABLONSKI. A.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P. Produção de azevém: Efeito de diferentes fontes e doses de ácidos húmicos e fúlvicos no cultivo em casa

de vegetação. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. Botucatu. **Anais...** Botucatu: FMVZ-UNESP-SBZ, 1998f. p. 354-356.

SILVA, R. M. da.; JABLONSKI, A.; MORSELLI, T. B. G. A.; GARCIA, S. dos S.; KROTH, P. L. Produção de alfaca cultivado em solução nutritiva completa com adição de substâncias húmicas extraídas de sete carvões minerais. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 3, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: IHSS-UFSM-PPGA-Departamento de Solos, 1999a. p. 343-345.

SILVA, R. M. da.; JABLONSKI, A.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P. Crescimento da parte aérea e do sistema radicular do milho cultivado em solução nutritiva adicionada de substâncias húmicas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, RS, v. 5, n. 2, p. 101-110, 1999b.

SILVA, R. M. da.; JABLONSKI, A.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P.; KROTH, P. L. Quantidades de macro e quantidades de micronutrientes na matéria seca de azevém anual cultivado em solução nutritiva adicionada de substâncias húmicas. In: REUNION LATINOAMERICANA DE PRODUCCION ANIMAL. 2000. Montevideo. **Proceedings...** Montevideo:ALPA-AUPA-Facultad de Agronomía y Facultad de Veterinaria de la Universidad de la República, 2000a. CD-ROM da XVI REUNION LATINOAMERICANA DE PRODUCCION ANIMAL, v. 1.

SILVA, R. M. da.; JABLONSKI, A.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P. Produções de matéria seca e proteína bruta e concentrações de metais pesados do azevém produzido com adição de substâncias húmicas. In: REUNION LATINOAMERICANA DE PRODUCCION ANIMAL. 2000. Montevideo. **Proceedings...** Montevideo: ALPA-AUPA-Facultad de Agronomía y Facultad de Veterinaria de la Universidad de la República, 2000b. CD-Rom de la XVI REUNION LATINOAMERICANA DE PRODUCCION ANIMAL, v. 1.

SILVA, R. M. da.; JABLONSKI, A.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P.; KROTH, P. L. Produção de aveia preta até estágio de grão pastoso cultivada em solução nutritiva com adição de substâncias húmicas. In: REUNION LATINOAMERICANA DE PRODUCCION ANIMAL. 2000. Montevideo. **Proceedings...** Montevideo: ALPA-AUPA-Facultad de Agronomía y Facultad de Veterinaria de la Universidad de la República, 2000c. CD-ROM de la XVI REUNION LATINOAMERICANA DE PRODUCCION ANIMAL, v. 1.

SILVA, R. M. da.; JABLONSKI, A.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P. Produção de forragem de milheto com adição de substâncias húmicas a uma solução nutritiva completa em condições de casa de vegetação. In: REUNION LATINOAMERICANA DE PRODUCCION ANIMAL. 2000. Montevideo. **Proceedings...** Montevideo: ALPA-AUPA-Facultad de Agronomía y Facultad de Veterinaria de la Universidad de la República, 2000d. CD-ROM DA XVI REUNION LATINOAMERICANA DE PRODUCCION ANIMAL, v. 1.

SILVA, R. M. da.; JABLONSKI, A.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P.; KROTH, P. L.; GAY, D. S. F. Concentrações de macro, micronutrientes e de metais pesados na aveia preta em estágio de grão pastoso cultivado com adição de substâncias húmicas. In: XXXVII REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2000, **Anais...** Viçosa, MG:SBZ-UFV, 2000e. CD-ROM da XXXVII REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, v. 1.

SILVA, R. M. da.; JABLONSKI, A.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P.; SANTOS

JÚNIOR, L. F. dos.; KROTH, P. L. Metais pesados, macro e micronutrientes determinados nas raízes do milho (*Pennisetum glaucum*) cultivado com adição de substâncias húmicas. In: XXXVII REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2000, **Anais...** Viçosa, MG:SBZ/UFV, 2000f. CD-ROM DA XXXVII REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, v. 1.

SILVA, R. M. da.; JABLONSKI, A.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P.; SANTOS JÚNIOR, L. F. dos.; GARCIA, S. dos S. Metais pesados, macro e micronutrientes determinados nas raízes do milho cultivado com adição de substâncias húmicas. In: XXXVII REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2000, **Anais...** Viçosa, MG:SBZ/UFV, 2000g. CD-ROM da XXXVII REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, v. 1.

SILVA, R. M. da.; JABLONSKI, A.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P.; GARCIA, S. dos S.; FERREIRA, I. T. Produção de matéria seca, proteína bruta e teores de macronutrientes na forragem da aveia-preta cultivada com adição de substâncias húmicas. In: XXXVII REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2000, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG:SBZ/UFV, 2000h. CD-ROM da XXXVII REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. SBZ/UFV, v. 1.

SILVA, R. M. da.; JABLONSKI, A.; MORSELLI, T. B. G. A.; GARCIA, S. dos S.; KROTH, P. L. Produção de alfaca cultivado em solução nutritiva completa com adição de substâncias húmicas extraídas de sete carvões minerais. **Revista Científica Rural**. Bagé, RS, v. 5, n. 1, p. 13-23. 2000i.

SLADKÝ, Z. Über den Einfluss einiger Humusfraktionen auf den anatomischen Bau der Pflanzen. In: STUDIES ABOUT HUMUS SYMPOSIUM. 1962, Prague. **Proceedings...** Prague: Czechoslovak Academy of Sciences. 1962, p. 259-272.

SLAVEK, J.; WOLD, J.; PICKERING, W. F. Selective extraction of metal ions associated with humic acids. **Talanta**, v. 29, p. 743-749, 1982.

SMITH, B. L. **Codex Alimentarius Texto Abreviado**, Roma: Organizacion de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion – Organizacion Mundial de la Salud, 1992, p. 2.35.

SOLOMONS, N. W.; VITERI, F.; SHULER, T. R., NIELSEN, F. H. Bioavailability of nickel in man: Effects of foods and chemically-defined dietary constituents on the adsorption of inorganic nickel. **Journal of Nutrition**, v. 112, p. 39-50, 1982.

SOUZA, M. L. de P.; ANDREOLI, C. V.; AMARAL, M. B. do.; DOMASZAK, C. S. Levantamento preliminar dos teores de metais pesados em alguns solos do Paraná. **Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, PR, v. 5, n. 5, p. 68-75, 1996.

SPARK, K. M.; WELLS, J. D.; JOHNSON, B. B. The interaction of a humic acid with heavy metals. **Australian Journal of Soil Research**, v. 35, n. 1, p. 89-101, 1997.

STEVENSON, F. J.; ALANAH, F.; BRAR, M. S. Stability constants of Cu(II)-humate complexes comparison of select models. **Soil Science**, v. 155, n. 2, p. 77-91, 1993.

STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry**. Genesis, composition, reactions, 2nd ed. 1994. New York, USA: John Wiley & Sons INC. 1994, 496 p.

STEVENSON, F. J.; CHEN, Y. Stability constants of copper(II)-humate complexes determined by modified potentiometric titration. **Soil Science Society American Journal**, v. 55, p. 1586-1591, 1991.

THANABALASINGAM, P.; PICKERING, W. F. The sorption of mercury(II) by humic acids. **Environmental Pollution (Series B)**, v. 9, p. 267-279, 1985.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, planta e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS. Faculdade de Agronomia. Departamento de Solos, **Boletim Técnico n° 5**, 2^a edição. 1995, 174 p.

TEIXEIRA, N. T. **Hidroponia uma Alternativa para Pequenas Áreas**, Guaíba, RS: Livraria e Editora Agropecuária Ltda., 1996, 86 p.

TEMMINGHOFF, E. J. M.; ZEE, S. VAN-DER.; HAAN, F. A. M. de. Copper mobility in a copper-contaminated sandy soil as affected by pH and solid and dissolved organic matter. **Environmental Science and Technology**, v. 31 n. 4, p. 1109-1115, 1997.

TRIVELIN, P. O.; RODRIGUES, J. C. S.; VICTORIA, R. L. Aproveitamento pela soqueira da cana-de-açúcar do nitrogênio dos adubos incorporados ao solo em área fertilizada com vinhaça. In: SEMINÁRIO SOBRE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1986, v. 2, p. 287-301.

TYLER, L. D.; McBRIDE, M. B. Influence of Ca, pH and humic acid on Cd uptake. **Plant and Soil**, v. 64, n. 2, p. 259-262, 1982.

UTHUS, E. O.; POELLOT, R. Dietary folate affects the response of rats to nickel deprivation. **Biological Trace Element Research**, v. 52, p. 23-35, 1996.

VAN SOEST, P. **Nutritional ecology of the ruminant**, 2. Ed. Cornell University Press. 1994, 476 p.

VAN WEERELT, M.; PFEIFFER, W. C.; FISZMAN, M. Uptake and release of ⁵¹Cr(VI) and ⁵¹Cr(III) by barnacles. **Marine Environment Research**, v. 11, p. 201-211, 1984

VARSHOVI, A.; SARTAIR, J. B. Chemical characteristics and microbial degradation of humate. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 24, n. 17-18, p. 2493-2505, 1993.

VAUGHAN, D.; ORD, B. G. An effect of soil organic matter on invertase activity in soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 12, p. 449-450, 1980.

VAUGHAN, D.; ORD, B. G. Influence of humic acid on iron required for the formation of hydroxyproline in discs of *Beta vulgaris* L. storage tissue. **Plant and Soil**, v. 73, p. 27-34, 1983.

VILLWOCK, J. A. Sugestões para o aproveitamento agroenergético das turfás do Rio Grande do Sul. **Acta Geologica Leopoldenela**, São Leopoldo: Unisinos, v. 7, n. 14, p. 55-64, 1983.

WANG, D. Y.; QING, C. L.; GUO, T. Y.; GUO, Y. J. Effects of humic acid on transport and transformation of mercury in soil-plant systems. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 95, n. 1-4, p. 35-43, 1997.

WILLIAMS, S. R. **Fundamentos de nutrição e dietoterapia**, 6.ed., Porto Alegre: Artes Médicas, 1997, p. 76-88.

WITTBRODT, P. R.; PALMER, C. D. Reduction of Cr(VI) in the presence of excess soil fulvic acid. **Environmental Science and Technology**, v. 29, p. 255-263, 1995.

WITTBRODT, P. R.; PALMER, C. D. Reduction of Cr(VI) by soil humic acids. **European Journal of Soil Science**, v. 48, n. 1, p. 151-162, 1996.

ZACHARA, J. M.; AINSWORTH, C. C.; COWAN, C. E.; RESH, C. T. Adsorption of chromate by subsurface soil horizons. **Soil Science Society of America Journal**, v. 53, p. 418-428, 1989.

ZARA, L. F.; SARGENTINI JÚNIOR, E.; ROSA, H. A.; ROCHA, J. C.; GOMES NETO, J. A. Redução de mercúrio iônico por substâncias húmicas aquáticas. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 3, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: IHSS-UFSM-PPGA Departamento de Solos, 1999, p. 281-282.

ZHU, Y. W.; LU, C. O. Stability constants of zinc-humic acid complexes. **Acta Pedologica Sinica**, v. 19, n. 1, p. 55-61, 1982.

ZONTA, E. P.; MACHADO, A. D., SANEST, **Sistema de Análise Estatística para Microcomputadores**, Pelotas, RS, 1984, 75 p.

ZUNINO, H.; MARTIN, J. P. Metal-binding organic macromolecules in soil: 2. Characterization of the maximum binding ability of the macromolecules. **Soil Science**, v. 123, p. 188-193, 1977

XUDAN, X. The effect of foliar application of fulvic acid on water use, nutrient uptake and yield in wheat. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 37. p. 343-350, 1986.

YAPIJAKIS, C.; HALOULAKOU-CHRISTODOULAKI, D. Effects of heavy metals on a metropolitan area's wastewater treatment and receiving water bodies; a case study. In: Lester, J.N.; Perry, R.; Sterritt, R.M.. **Proceedings...** INTERNATIONAL CONFERENCE ON CHEMICALS IN THE ENVIRONMENT. London: Selper, 1986, p. 423-31.

YAKIMENKO, O. S.; ORLOV, D. S.; AMMOSOVA, Y. A. A. Humic substances of ligno-compost, and its effect on the properties of a medium podzolic soil. **Agrokhimiya**, v. 9, p. 17-24, 1995.

YU, S. Y.; BAILEY, G. W.; XIANCHAM, J. Heavy metals in the environment. Application of a lumped, nonlinear kinetics model to metal sorption on humic substances. **Journal of Environmental Quality**, v. 25, p. 552-561, 1996.

APÊNDICES



Fotografia I – Sementeira utilizada para a implantação do experimento.



Fotografia II – Fotografia do experimento com alface durante o período experimental.



Fotografia III – Fotografia do experimento com alface durante a colheita.



Fotografia IV – Produção de alface no bloco 1 com a adição da substância húmica PT1 = H_3PO_4 , nas quatro diferentes doses (da esquerda para a direita D1 = 0 mg.L^{-1} ; D2 = 15 mg.L^{-1} ; D3 = 30 mg.L^{-1} e D4 = 45 mg.L^{-1}).



Fotografia V – Produção de alface no bloco 1 com a adição da substância húmica PT2 = HCl, nas quatro diferentes doses (da esquerda para a direita D1 = 0 mg.L⁻¹; D2 = 15 mg.L⁻¹; D3 = 30 mg.L⁻¹ e D4 = 45 mg.L⁻¹).



Fotografia VI – Produção de alface no bloco 1 com a adição da substância húmica PT3 = sem tratamento, nas quatro diferentes doses (da esquerda para a direita D1 = 0 mg.L⁻¹; D2 = 15 mg.L⁻¹; D3 = 30 mg.L⁻¹ e D4 = 45 mg.L⁻¹).



Fotografia VII – Produção de alface no bloco 1 com a adição da substância húmica PT4 = HNO_4 , nas quatro diferentes doses (da esquerda para a direita D1 = 0 mg.L^{-1} ; D2 = 15 mg.L^{-1} ; D3 = 30 mg.L^{-1} e D4 = 45 mg.L^{-1}).



Fotografia VIII – Produção de alface no bloco 1 com a adição da substância húmica PT5 = $\text{HCl} + \text{HNO}_3$, nas quatro diferentes doses (da esquerda para a direita D1 = 0 mg.L^{-1} ; D2 = 15 mg.L^{-1} ; D3 = 30 mg.L^{-1} e D4 = 45 mg.L^{-1}).



Fotografia IX – Produção de alface no bloco 1 com a adição da substância húmica PT6 = HCl + H₃PO₄, nas quatro diferentes doses (da esquerda para a direita D1 = 0 mg.L⁻¹; D2 = 15 mg.L⁻¹; D3 = 30 mg.L⁻¹ e D4 = 45 mg.L⁻¹).



Fotografia X – Produção de alface no bloco 1 com a adição da substância húmica PT7 = triplo ácido HCl + HNO₃ + H₃PO₄, nas quatro diferentes doses (da esquerda para a direita D1 = 0 mg.L⁻¹; D2 = 15 mg.L⁻¹; D3 = 30 mg.L⁻¹ e D4 = 45 mg.L⁻¹).



Fotografia XI – Produção de alface no bloco 1 com a adição da substância húmica PT8 = $\text{HNO}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4$, nas quatro diferentes doses (da esquerda para a direita D1 = 0 mg.L^{-1} ; D2 = 15 mg.L^{-1} ; D3 = 30 mg.L^{-1} e D4 = 45 mg.L^{-1}).