

Principais fatores que limitam a produtividade das culturas nos horizontes subsuperficiais dum andossolo insaturado

Dissertação de Mestrado

Vanda Margarida Rocha Lopes

Mestrado em

ENGENHARIA AGRONÓMICA



Principais fatores que limitam a produtividade das culturas nos horizontes subsuperficiais dum andossolo insaturado

Dissertação de Mestrado

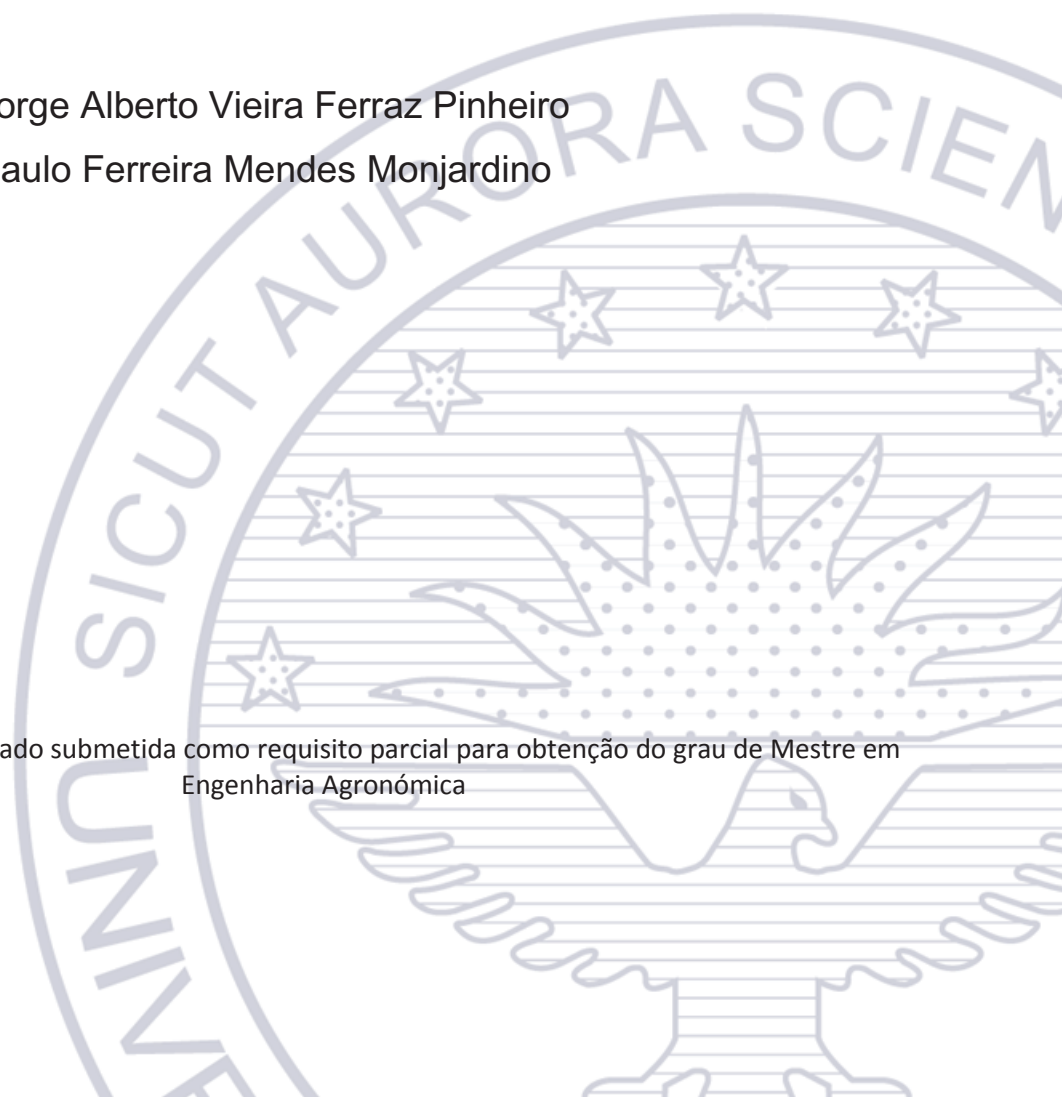
Vanda Margarida Rocha Lopes

Orientadores

Professor Doutor Jorge Alberto Vieira Ferraz Pinheiro

Professor Doutor Paulo Ferreira Mendes Monjardino

Dissertação de Mestrado submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agronómica



Agradecimentos

É com especial satisfação que aqui expresso a minha gratidão por todos aqueles que direta ou indiretamente tornaram a realização deste trabalho possível.

Gostaria antes de mais agradecer aos orientadores desta dissertação, Professor Doutor Jorge Pinheiro e Professor Doutor Paulo Monjardino, pelo apoio, incentivo, disponibilidade e compreensão ao longo da realização deste trabalho e que tornaram a sua concretização possível.

Ao Laboratório de Análises de Solos, em especial à Engenheira Lourdes Matos, pela disponibilidade, incentivo e amizade, assim como pelo facto de me ter proporcionado as condições necessárias à realização das análises de solos.

Às minhas colegas e amigas Sónia Narciso, Selma Furnas e Séfora Costa pelo apoio, colaboração e compreensão.

A todos os meus amigos pelo apoio e incentivo incondicional.

Por fim, agradeço aos meus pais e irmã e a toda a minha família pelo apoio incondicional, incentivo, amizade e paciência.

Resumo

É de há muito realçado pelos agricultores açorianos que os horizontes subsuperficiais de solo, quando trazidos para a superfície, são prejudiciais às culturas, mas as razões que a isso levam são desconhecidas.

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de descobrir os principais fatores que limitam a produtividade das culturas nos horizontes subsuperficiais dum andossolo alofânico típico - Typic Hapludand (andossolo insaturado).

Foi realizado um ensaio de vasos em estufa, com amostras provenientes de três horizontes diferentes (A, C₁ e C₂) de um mesmo solo com três níveis de fertilização fosfatada (30, 60 e 90 kg de P/ha) e um controlo (0 kg de P/ha), onde foram cultivadas plantas de milho. No fim do ensaio mediu-se a produção de peso seco total e de grão das plantas e avaliou-se o grau da fertilidade residual do solo com base na sua análise nutritiva.

Neste ensaio verificou-se haver uma resposta positiva da produção aos acréscimos de fertilização fosfatada para todos os horizontes. Porém, no horizonte A obtiveram-se produções de peso seco mais elevadas para os maiores níveis de fertilização fosfatada, do que nos horizontes C₁ e C₂ onde os acréscimos produtivos foram bastante inferiores. O mesmo ocorreu com a produção de grão, sendo que esta foi quase sempre nula para o horizonte C₂. A retenção de fosfato (Blackmore *et al.*, 1981) foi elevada para todos os horizontes, afetando a absorção deste elemento pelas plantas, o que poderá ter sido uma importante condicionante ao seu crescimento nos horizontes subsuperficiais. Não se verificaram variações do pH durante o ensaio, assim como dos teores de matéria orgânica. Os níveis de cálcio no fim do ensaio foram superiores aos iniciais, sendo que foram tanto maiores quanto maior a fertilização fosfatada. O potássio e o magnésio não deverão ter sido a causa pela qual os horizontes subsuperficiais criaram dificuldades ao crescimento das plantas, dado que os níveis que mais baixaram durante o ensaio foram os dos casos em que as plantas mais produziram. De igual modo, os teores de sais solúveis no início e fim do ensaio não foram limitativos para as plantas.

Verificou-se que a fertilização fosfatada melhorou significativamente a produção das plantas de milho no horizonte A, mas que não foi suficiente para superar as limitações nos horizontes subsuperficiais (C₁ e C₂). Demonstrou-se que o fósforo será o principal fator limitante da produção nestes solos, mas que poderá não ser o único.

Palavras-chave: Andossolos, horizontes do solo, retenção de fosfato, milho (*Zea mays* L.), produção.

Abstract

The Azorean farmers have known for long that subsoil horizons, when brought to the surface, are harmful to crops, but the reasons for such effect are unknown.

The main objective of this study was to find out the factors that limit the productivity of the cultures in the subsurface horizons of a typical allophanic andisol - Typic Hapludand (unsaturated andisol).

A pot trial was conducted in the greenhouse with soil samples from three different horizons (A, C₁ and C₂) and three levels with different phosphate fertilizations (30, 60 and 90 kg P/ha) and one control (0 kg P/ha), where corn plants were grown. At the end of the trial the total dry weight and grain yield of the plants were measured and soil fertility was measured.

In this trial there was an increase in production with the addition of phosphate fertilization to all horizons. However, in the A horizon the dry weight yields were higher for the levels with additions of phosphate fertilization, but were lower in horizons C₁ and C₂. Grain production at horizon A was also higher than in the other horizons, and at horizon C₂ it was zero for most of the treatments. The retention of phosphorus (Blackmore *et al.*, 1981) was high for all horizons and affected the exportation of this element by plants, which should have been an important limiting factor for its growth in the subsurface horizons. The pH and organic matter values didn't differ significantly during the trial. Soil calcium content increased at the end of the trial, mainly in treatment with higher phosphate fertilization. Potassium and magnesium must not have been the reason why subsoil horizons were limiting plant growth, because the lower levels in the soil at the end of the trial were of those cases in which the plants produced the most. The levels of soluble salts also were not limiting to plant growth.

Phosphate fertilization significantly benefited maize plant production on the A horizon, but this was not sufficient to overcome the limitations in the subsurface horizons (C₁ and C₂). It was concluded that phosphorus was the main limiting factor of production in these soils, but that may not be the only limiting cause to plant growth.

Keywords: Andisols, soil horizons, phosphorus fixation, maize (*Zea mays* L.), yield.

Índice geral

Agradecimentos	I
Resumo	II
Abstract	IV
Índice geral	VI
Índice de figuras	VIII
Índice de tabelas	IX
Índice de anexos	XIII
Lista de abreviaturas	XIV
Introdução	1
1. Revisão bibliográfica	3
1.1. O solo e as suas características essenciais	3
1.2. Procedimentos analíticos para determinação da fertilidade	4
1.3. Andossolos	6
1.4. O fósforo como fator limitante	8
1.5. Acidez do solo e subsolo	11
1.6. Milho (<i>Zea mays</i> L.)	13
2. Material e métodos	17
2.1. Recolha de solo e preparação do ensaio em estufa	17
2.2. Análises de solos	18
2.3. Ensaio em estufa	19
2.4. Fertilização	20
2.5. Análise estatística	22
3. Resultados e discussão	23
3.1. Análises de solos iniciais	23

3.2. Análise do desenvolvimento e da produção do peso seco total e do grão seco das plantas de milho híbrido.....	25
3.3. Análise dos valores de pH	32
3.4. Análise dos teores de fósforo (P)	35
3.5. Análise dos teores de potássio (K).....	43
3.6. Análise dos teores de cálcio (Ca).....	45
3.7. Análise dos teores de magnésio (Mg).....	48
3.8. Análise dos teores de matéria orgânica	51
3.9. Análise do teor de sais solúveis	52
3.10. Análise integrada de todos os parâmetros	55
Conclusões.....	58
Referências bibliográficas	60
Anexos	65

Índice de figuras

Figura 2.1: Aspeto geral do perfil do solo estudado (a) e dos horizontes A (b), C ₁ (c) e C ₂ (d).....	17
Figura 2.2: Densidade de sementeira de quatro sementes por vaso.	20
Figura 3.1: Aspeto geral do ensaio aos 53 (a), 78 (b) e 98 (c) dias após a sementeira.....	26
Figura 3.2: Planta morta no fim do ensaio no nível P0 do horizonte C ₂	27
Figura 3.3: Relação entre os teores de fósforo no fim do ensaio no horizonte A (ppm) e a produção em peso seco total (g).....	38
Figura 3.4: Relação entre os teores de fósforo no fim do ensaio no horizonte C ₁ (ppm) e a produção em peso seco total (g).....	39
Figura 3.5: Relação entre os teores de fósforo no fim do ensaio no horizonte C ₂ (ppm) e a produção em peso seco total (g).....	40
Figura 3.6: Relação entre os teores de potássio no fim do ensaio no horizonte A (ppm) e a produção em peso seco total (g).....	45
Figura 3.7: Relação entre os teores de cálcio no fim do ensaio no horizonte A e a produção em peso seco total (g).....	48
Figura 3.8: Relação entre os teores de magnésio no fim do ensaio no horizonte A e a produção em peso seco total (g).	51

Índice de tabelas

Tabela 2.1: Quantidade de fertilizantes aplicados por vaso, em cada nível de fertilização fosfatada.	21
Tabela 3.1: Resultados das análises de solos iniciais.....	24
Tabela 3.2: Produção das plantas em peso seco total, peso de grão seco e estágio fenológico das plantas na altura da colheita. As médias com índices distintos entre níveis de fertilização fosfatada diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste Tuckey t múltiplo).....	27
Tabela 3.3: Comparação das médias dos níveis da produção de peso seco total de plantas de milho híbrido dos horizontes testados no fim do ensaio. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste LSD).	28
Tabela 3.4: Comparação das médias da produção de peso seco total de plantas de milho híbrido para os níveis de fertilização fosfatada. As médias com índices distintos diferem significativamente (com nível de significância < 0,05 - teste LSD).....	29
Tabela 3.5: Médias dos resultados da produção de peso seco total de plantas de milho híbrido de cada nível de fertilização fosfatada no fim do ensaio, em três horizontes. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste Tuckey t múltiplo).....	30
Tabela 3.6: Comparação das médias dos níveis de produção de grão seco de plantas de milho híbrido nos horizontes testados. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste LSD).....	30
Tabela 3.7: Comparação das médias da produção de grão seco de plantas de milho híbrido para os níveis de fertilização fosfatada. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste LSD)....	31
Tabela 3.8: Médias dos resultados da produção de grão de plantas de milho híbrido de cada nível de fertilização fosfatada no fim do ensaio, em três horizontes. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste Tuckey t múltiplo).....	32

Tabela 3.9: Comparação das médias dos valores de pH dos horizontes testados no fim do ensaio. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste LSD).....	33
Tabela 3.10: Comparação das médias dos valores de pH no solo no fim do ensaio para os níveis de fertilização fosfatada. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste LSD).....	34
Tabela 3.11: Médias dos resultados da determinação dos valores de pH de cada nível de fertilização fosfatada no fim do ensaio, em três horizontes. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste Tuckey t múltiplo).	35
Tabela 3.12: Comparação das médias dos teores de fósforo dos horizontes testados no fim do ensaio. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste LSD).....	36
Tabela 3.13: Comparação das médias dos teores de fósforo no solo no fim do ensaio para os níveis de fertilização fosfatada ensaiadas. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste LSD)....	37
Tabela 3.14: Médias dos resultados da determinação dos teores de fósforo de cada nível de fertilização fosfatada no fim do ensaio, em três horizontes. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste Tuckey t múltiplo)..	37
Tabela 3.15: Valores de exportação de fósforo em g e coeficiente de utilização de fósforo em %.....	42
Tabela 3.16: Comparação das médias dos teores de potássio dos horizontes testados no fim do ensaio. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste LSD).....	43
Tabela 3.17: Comparação das médias dos teores de potássio no solo no fim do ensaio para os níveis de fertilização fosfatada ensaiadas. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste LSD)....	44
Tabela 3.18: Médias dos resultados da determinação dos teores de potássio de cada nível de fertilização fosfatada no fim do ensaio, em três horizontes.....	44

Tabela 3.19: Comparação das médias dos teores de cálcio dos horizontes testados no fim do ensaio. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste LSD).....	46
Tabela 3.20: Comparação das médias dos teores de cálcio no solo no fim do ensaio para os níveis de fertilização fosfatada. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste LSD).....	47
Tabela 3.21: Médias dos resultados da determinação dos teores de cálcio de cada nível de fertilização fosfatada no fim do ensaio, em três horizontes.	47
Tabela 3.22: Comparação das médias dos teores de magnésio dos horizontes testados no fim do ensaio. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste LSD).....	49
Tabela 3.23: Comparação das médias dos teores de magnésio no solo no fim do ensaio para os níveis de fertilização fosfatada. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste LSD).....	49
Tabela 3.24: Médias dos resultados da determinação dos teores de magnésio de cada nível de fertilização fosfatada no fim do ensaio, em três horizontes.....	50
Tabela 3.25: Comparação das médias dos teores de matéria orgânica dos horizontes testados no fim do ensaio. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste LSD).....	51
Tabela 3.26: Comparação das médias dos teores de matéria orgânica no solo no fim do ensaio para os níveis de fertilização fosfatada.....	52
Tabela 3.27: Médias dos resultados da determinação dos teores de matéria orgânica de cada nível de fertilização fosfatada no fim do ensaio, em três horizontes.....	52
Tabela 3.28: Comparação das médias dos teores de sais solúveis dos horizontes testados no fim do ensaio. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste LSD).....	53
Tabela 3.29: Comparação das médias dos teores de sais solúveis no solo no fim do ensaio para os níveis de fertilização fosfatada. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste LSD).....	54

Tabela 3.30: Médias dos resultados da determinação dos teores de sais solúveis de cada nível de fertilização fosfatada no fim do ensaio, em três horizontes. As médias com índices distintos diferem significativamente (nível de significância < 0,05 - teste Tuckey t múltiplo). 54

Índice de anexos

Anexo A: Quadro dos índices de classificação dos valores dos macronutrientes.....	65
Anexo B: Quadro dos índices de classificação dos valores dos micronutrientes	65
Anexo C: Quadro das classes de salinidade e reação das culturas aos sais.....	66
Anexo D: Produção das plantas em peso fresco e seco, peso de grão seco, proporção de matéria seca e estágio fenológico das plantas na altura da colheita, para cada planta.....	67
Anexo E: Tabela da análise de variância do peso seco total.	69
Anexo F: Tabela da análise de variância do peso do grão seco.	69
Anexo G: Tabela da análise de variância do pH.	70
Anexo H: Tabela da análise de variância do fósforo.	70
Anexo I: Tabela da análise de variância do potássio.	71
Anexo J: Tabela da análise de variância do cálcio.....	71
Anexo L: Tabela da análise de variância do magnésio.	72
Anexo M: Tabela da análise de variância da matéria orgânica.	72
Anexo N: Tabela da análise de variância da condutividade elétrica.....	73

Lista de abreviaturas

Al _o	Alumínio com extração em oxalato
C.E.	Condutividade elétrica
Ca	Cálcio
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
CaO	Óxido de cálcio
Cu	Cobre
Fe	Ferro
Fe _o	Ferro com extração em oxalato
ha	Hectare
K	Potássio
KCl	Cloreto de potássio
M.O.	Matéria Orgânica
Mg	Magnésio
MgO	Óxido de magnésio
Mn	Manganês
N	Azoto
Nitro 27 Mg	Adubo azotado
Níveis P	Níveis de fertilização fosfatada
P	Fósforo
p	Probabilidade de cometer o erro tipo α
P0	Sem fertilização fosfatada
P30	Nível de fertilização com 30 kg de P/ha
P60	Nível de fertilização com 60 kg de P/ha
P90	Nível de fertilização com 90 kg de P/ha

R. P	Retenção de fosfato
R1	Estádio reprodutivo (florescimento e polinização)
R2	Estádio reprodutivo (grão leitoso)
R3	Estádio reprodutivo (grão pastoso)
R4	Estádio reprodutivo (grão farináceo)
R5	Estádio reprodutivo (grão farináceo duro)
S	Enxofre
V	Estádio vegetativo
VT	Estádio vegetativo (emergência da panícula)

Introdução

O presente trabalho partiu da curiosidade de saber qual a razão do crescimento deficiente de plantas, em faixas, num campo com a cultura do milho situado na Granja da Universidade dos Açores (Melo, 2011). Nesse estudo veio-se a verificar que, quanto mais próximo os horizontes subsuperficiais se encontravam da superfície do solo, menos as plantas cresciam (Paulo Monjardino, dados não publicados). A produtividade de uma cultura é predominantemente afetada por desequilíbrios hídricos (défices e excessos), pela carência de macronutrientes e micronutrientes, por fenómenos de toxicidade e salinidade, indiretamente pelos baixos teores de matéria orgânica e também por condições físicas desfavoráveis, seja dos horizontes superficiais, como dos horizontes subsuperficiais. Sempre que as raízes das plantas atingem profundidades consideráveis, quando se realizam lavouras demasiado profundas que tragam para a superfície horizontes mais profundos ou em condições de terraplanagens, podem ocorrer problemas que limitam o crescimento das culturas, como efetivamente se veio a verificar no caso referido. As causas desses problemas podem ser muito diversas, sendo a sua investigação a principal motivação da realização deste estudo.

O terreno onde se realizou este estudo localiza-se na Achada, na Caldeira dos Cinco Picos, zona que foi sujeita a várias erupções vulcânicas há vários milhares de anos e onde mais recentemente (1930) a Aviação Militar Portuguesa deu os seus primeiros passos no Arquipélago. Num lugar também referido como Borratous, na base da encosta sudeste da Serra do Morião, entre a Achada e os Cinco Picos, procederam-se a terraplanagens, tendo sido construída uma pista de 600 metros de extensão e 70 metros de largura. Nos terrenos adjacentes, vários agricultores optaram também por fazer nivelamento dos terrenos (testemunho oral de pessoas que presenciaram esta prática na Granja da Universidade dos Açores nos anos 60 do século XX), o que poderá estar relacionado com o crescimento anormal em faixas que se verificou, pelo facto das terraplanagens terem trazido para próximo da superfície horizontes que antes estariam porventura localizados a profundidades maiores.

Foi realizado um estudo preliminar em 2015 que demonstrou haver uma deficiência significativa de fósforo (P) nas plantas de milho que cresciam em vasos com solo proveniente destes horizontes subsuperficiais, por apresentarem coloração verde escura e violeta característica da deficiência de fósforo (Lopes, 2015), provavelmente por acumulação excessiva de antocianinas (sintoma característico de deficiências profundas de fósforo em várias espécies de plantas – Taiz e Zeiger, 2002), com significativas limitações no crescimento. Este trabalho inicial permitiu então comprovar que as plantas cresciam bem no horizonte A, mas de forma deficiente nos horizontes subsuperficiais. Assim, entendeu-se que a maioria das dificuldades de desenvolvimento radicular das plantas terá sido causada pela proximidade dos horizontes subsuperficiais do solo, que no caso em apreço é provavelmente de origem antrópica.

Neste trabalho realizou-se um ensaio com vasos em estufa, utilizando plantas de milho e três horizontes do solo em estudo com três níveis de fertilização fosfatada e um controlo. Foram também realizadas análises de solo antes e no fim do ensaio, assim como foram medidas produções de peso seco total e de grão. Os resultados deste ensaio foram submetidos a análise estatística, a partir da qual se tiraram conclusões relativamente às causas das limitações ao crescimento das plantas impostas pelos horizontes subsuperficiais.