Silva Lusitana ***14****(2): 155 - 167, 2006*
© EFN, Lisboa. Portugal

Factores Edafo-Ambientais Associados ao Declínio de *Quercus suber* em Portugal: Tentativa de Identificação e Dificuldades Encontradas

Afonso Martins*, José Lousada, Isabel Branco*** e Paula Caetano******
*Professor Associado
***Engenheira Florestal
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Departamento de Edafologia, Apartado 1013, 5000-911 VILA REAL
**Investigador Auxiliar
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Departamento Florestal, Laboratório de Tecnologia de Madeiras
****Assistente
Universidade do Algarve. Campus de Gambelas, 8000-117 FARO

Sumário. O declínio de *Quercus suber* é um problema grave que afecta vastas áreas de montado e sobreiral do país, tendo sido objecto de vários estudos no sentido de se procurar identificar quais os factores mais directamente relacionados com esta enfermidade para orientar a aplicação de práticas de gestão que conduzam ao seu controlo. Muitos dos trabalhos desenvolvidos associam a enfermidade a propriedades do solo responsáveis por dificuldades de vegetação das árvores potenciando a agressividade dos patogénicos considerados responsáveis, entre eles os fungos *Phytophthora cambivora e Phytophthora cinnamomi*. No presente trabalho efectuou-se a quantificação de um conjunto de variáveis edafo-ambientais em 10 parcelas seleccionadas no Norte e no Sul do país, com áreas entre 975 e 3150 m² e procuraram-se relações com a severidade da doença, quantificada pelo grau de desfoliação. Seleccionaram-se como variáveis: exposição, declive, altitude, distância à linha de festo, precipitação média anual, temperatura média anual, densidade e porte da vegetação arbustiva, espessura efectiva do solo, compacidade, concentrações em terra fina, lotes granulométricos, MO, N, P, K, bases de troca e acidez de troca. A selecção destas variáveis seguiu um critério que reúne um amplo consenso, ainda que seja reconhecida a dificuldade de quantificar algumas delas. A informação recolhida no terreno e o tratamento dos resultados com recurso à análise de regressão múltipla permitiu salientar as seguintes conclusões: (i) A opinião recolhida a partir das informações de campo, destaca a compacidade do solo e a densidade e porte do coberto arbustivo, como factores muito associados à severidade da doença, no caso das parcelas Sul do país, o que corrobora conclusões de estudos anteriores; (ii) Porém, na análise de regressão múltipla, a explicação conseguida para a severidade da doença, com as 18 variáveis independentes seleccionadas, é sempre muito baixa - 17%, 25% e 21%, respectivamente para o conjunto das parcelas e, em separado, para as parcelas Norte e Sul do país; (iii) O tratamento em conjunto das parcelas Norte e Sul mostra relações entre a variável dependente e as variáveis independentes, que são de difícil explicação, enquanto o tratamento em separado das parcelas

---

1º Autor E-mail: amartins@utad.pt

Norte e Sul do país, mostra algumas relações que fazem sentido, como o caso da altitude para as parcelas Norte e da compacidade do solo nas parcelas Sul, enquanto outras relações são de explicação difícil; (iv) A análise estatística dos resultados não permite pois destacar de forma clara quais os factores mais directamente responsáveis pela severidade da doença e conduziu a resultados pouco explicáveis à luz das relações solo-planta, conclusão a que outros autores haviam também chegado, e que se atribui à interacção entre propriedades e à dificuldade de quantificação de algumas delas.
Palavras-chave: patologia vegetal; qualidade da estação; indicadores da qualidade do solo

Soil and Environmental Variables Associated with the *Quercus suber* Decline in Portugal: Attempt of Identification and Difficulties

Abstract. The *Quercus suber* decline is a serious problem on wide areas of cork oak stands in Portugal, and several studies have been developed in order to identify which factors are closely related to that disease in order to orient the application of adequate management solutions. Many of the studies indicate that soil properties can be related to the disease due to the restrictions they cause to plant development and vegetation, which can enhance pathogen aggressiveness, among them the *Phytophthora cambivora* and *Phytophthora cinnamomi* fungi. In the present study, a quantified set of site variables on ten experimental areas were selected in the northern and southern parts of the country, with a surface between 975 and 3150 m^2 and an attempt was made to look for the site characteristics more closely related to the severity of the disease, quantified through the degree of defoliation. For site characterization, the following variables were selected: aspect, slope, distance to the summit, mean annual rainfall, mean annual temperature, density and height of understory vegetation, soil depth, soil compacity, coarse material, sand, silt and clay contents in the soil, soil organic matter content, soil exchangeable bases, and exchangeable acidity. The selection of those variables was supported by a wide agreement, although it is recognized that it is difficult to quantify some of them. The obtained information in the field and the analysis of results, supported by the multiple regression analysis, allowed the following conclusions: (i) Soil compaction, and density and height of understory vegetation, were shown to be the most responsible variables for the disease severity in the southern area of the country, which corroborates previous studies; (ii) The application of the multiple regression analysis using the 18 variables lead to a very low explanation of the disease severity – 17, 25, and 21 percent, respectively, for all the areas, the northern and southern areas, separately; (iii) The analysis of the obtained results of all the sampled areas showed some relations between the independent and dependent variables which are difficult to explain, while the separated analysis for northern and southern areas showed some relations which make sense and corroborates the field observations, but the difficulties in explaining some of the obtained relations continue; (iv) Thus, the statistical analysis of the results do not allow a clear identification of the variables closely related to the severity of the disease, which is ascribed to the interaction among variables and the difficulty in quantifying some of them.
Key words: plant pathology; site quality; soil quality indicators

Les Variables du Sol et de l'Environnement Associées au Déclin de *Quercus suber* au Portugal. Tentative d'Identification et Difficultés Rencontrées

Résumé. Le déclin du *Quercus Suber* constitue un grave problème qui affecte plusieurs régions de chênaies et de subéraies du pays. On a déjà réalisé quelques études afin d'identifier les facteurs les plus directement relationés à cette maladie avec pour but l'application de solutions techniques qui en permettraient son contrôle. Quelques travaux déjà réalisés associent la maladie aux qualités du terrain responsable des difficultés de végétation des arbres par l'augmentation de l'agression pathogénique. On compte parmi eux les fongus *Phytophthora*

cambivora et Phytophtyora cinnamomi. Dans ce travail, on a quantifié un ensemble de variables du sol et du local dans 10 parcelles choisies dans le Nord et dans le Sud du pays avec des surfaces entre 975 et 3150 m² et l'on a cherché des rapports avec la sévérité de la maladie quantifiée par le degré de défeuillaison. On a utilisé comme variables: l'exposition, la déclivité, l'altitude, la distance jusqu'à la ligne du sommet, les précipitations, la température moyenne annuelle, la densité, le port (de la végétation arbustive) l'épaisseur réelle du terrain, la compacité, des concentrations de terra fine, des lots granulométriques, MO, N, P, K, des bases d'échange et l'acidité. La sélection de ces variables a suivi un critère qui réunit un grand assentiment quoique la difficulté à en quantifier quelques-unes soit reconnue. L'information obtenue sur le terrain et le traitement des résultats à travers l'analyse de régression multiple a permis d'arriver à ces conclusions: (i).L'opinion obtenue à partir des informations de terrain, démontre que la compacité du sol, sa densité et le port du couvert arbustif sont des facteurs très responsables vu la sévérité de la maladie dans les parcelles du Sud du pays, ce qui confirme les conclusions des études antérieures; (ii) Mais dans le cas de l'analyse de la régression multiple, l'explication obtenue pour la sévérité de la maladie avec les 18 variétés indépendamment choisies, est toujours très basse 17%, 25% et 21% respectivement pour l'ensemble des parcelles et séparément pour les parcelles du Nord et Sud du pays (iii) Le traitement conjoint des parcelles Nord et Sud montre des rapports entre la variable dépendante et les variables indépendante difficilement explicable, alors que le traitement séparé des parcelles Nord et Sud du pays démontre quelques rapports ayant du sens, comme dans le cas de l'altitude pour les parcelles du Nord et de la compacité du terrain dans les parcelles du Sud, mais d'autres rapports sont d'explication difficile; (iv). L'analyse statistique des résultats ne permet pas de détacher clairement les facteurs les plus directement responsables de la sévérité de la maladie et a mené à des résultats peu explicables tenant en compte les rapports sol–plante, conclusion à laquelle d'autres auteurs sont arrivés et qu'on a attribué à l'interaction entre les propriétés et à la difficulté d'en quantifier quelques-unes.
Mots clés: indicateurs de qualité du sol; pathologie végétal; qualité de la station

Introdução

Vários trabalhos têm relacionado o declínio de *Quercus suber* com as condições edafo-climáticas dos locais e com os efeitos da actividade antrópica. Arejamento e drenagem deficientes, compacidade elevada, devido à própria natureza do solo e aos impactes de mobilizações ou do pisoteio por animais, ferimentos e destruição do sistema radical superficial também pelas mobilizações, fraca expansão radical, défice hídrico devido a baixa espessura ou baixa disponibilidade hídrica do solo e concorrência com a vegetação arbustiva do subcoberto e efeitos do descortiçamento, têm sido apontados como factores responsáveis pelo declínio e morte do sobreiro. Por outro lado, vários autores apontam os fungos *Phytophthora cambivora e Phytophthora cinnamomi* como patogénicos muito responsáveis pela enfermidade (CABRAL, 1994; MOREIRA *et al.*, 1999; SANCHEZ *et al.*, 2001 e CAETANO *et al.*, 2001; FERRAZ *et al.*, 2003) e, a este respeito, também para o caso da *Castanea sativa* Mill. foi encontrada uma relação estreita entre a severidade desta doença e as condições edafo-ambientais (MARTINS *et al.*, 1997; PORTELA *et al.*, 1998; MARCELINO *et al.*, 2000). Défice hídrico, existência de camadas compactas, drenagem deficiente, baixa actividade biológica e baixa disponibilidade de nutrientes, são factores do solo que se revelaram muito relacionados com o grau de incidência da

doença, o que se enquadra nas conclusões mencionadas sobre as condições de solo mais propícias ao declínio de *Quercus suber*. Sobre esta matéria, CADIMA *et al.,* 1995, utilizaram 43 variáveis, que incluem a fisiografia, o solo, a estrutura dos povoamentos e a actividade humana no subcoberto e no povoamento e fazem a análise quantitativa dos resultados, com recurso à Análise por Componentes Principais e à Análise Factorial de Correspondências. Concluíram que, embora as variáveis independentes expliquem 40,1% da variância com a primeira análise e 87,8% com a segunda, não lhes foi possível detectar claramente um grupo de variáveis relacionadas com a mortalidade. Destacaram-se porém como variáveis mais relacionadas o descortiçamento, a compactação do solo, a drenagem interna e externa e a intensidade da erosão (em sentido directo) e a acidez do solo, o tipo de vegetação e a intensidade da regeneração (em sentido inverso). Estes resultados confirmam a opinião expressa por Cabral 1994 e outros autores (DINIZ, 1994; FERRAZ e MOREIRA, 1993 e MOREIRA *et al*., 1999; FERRAZ *et al*., 2003), ao afirmarem que o processo de declínio parece surgir como consequência de uma situação de multistress em resultado da actuação dos factores mencionados, na medida em que impedem ou dificultam a recuperação de árvores fisiologicamente debilitadas.

Assim, tendo em conta que persiste uma lacuna de conhecimento quanto às variáveis de solo e do local mais directamente associadas ao declínio de *Quercus suber*, foi elaborado o presente trabalho em que se utiliza um universo de casos desde o Norte ao Sul de Portugal Continental, representando a generalidade das condições de vegetação da espécie no país e procuram-se as relações entre a intensidade de mortalidade, manifestada pelo grau de desfoliação e variáveis de solo e do local associadas a cada árvore.

Sobre a selecção do conjunto de propriedades indicadoras da qualidade do solo, embora estas possam variar com os sistemas de produção, elegeu-se uma lista de propriedades mais directamente susceptíveis aos impactes antrópicos e condicionantes da produtividade florestal. Esta lista inclui o teor em matéria orgânica, a capacidade de fornecimento de nutrientes, a acidez, a densidade aparente, a porosidade, e o volume de água utilizável (BURGER and KELTING, 1999; SCHOENHOLTZ *et al.*, 2000). Porém, se a selecção das variáveis do solo e do local mais directamente responsáveis pela sua qualidade como suporte das plantas reúne um amplo consenso, a quantificação de algumas delas levanta problemas às vezes difíceis de ultrapassar ou envolve alguma subjectividade, o que se traduz em dificuldades de análise e de identificação de relações estatísticas entre elas e entre a variável dependente (GALE *et al.,* 1991; GÖMÖRYOVÁ e GÖMÖRY, 1995; ASCHE, 2000; RYAN *et al*., 2000; FISHER e RYAN, 2000; FISHER e BINKLEY, 2000).

Globalmente pode afirmar-se que a relação solo-planta é muito dependente de três condições, por sua vez condicionadas ou resultado da interacção de um conjunto de propriedades do solo e do local: (i) disponibilidade de água; (ii) disponibilidade de nutrientes; (iii) possibilidade de enraizamento e de trocas gasosas com a atmosfera exterior. Assim, tendo em conta esta informação, seleccionaram-se as propriedades com maiores implicações na satisfação das condições anteriores e procuraram-se

relações entre essas propriedades e a variável dependente, severidade da doença, avaliada através do grau de desfoliação, na tentativa de se identificarem os factores do local e do solo que mais directamente influenciam o declínio do *Quercus suber*.

Material e métodos

Foram seleccionadas 10 parcelas experimentais, 6 no Sul do País (S. Brás de Alportel, Silves, Grândola e Alcácer do sal) e 4 no NE transmontano (Romeu, Mirandela), em diferentes situações de clima, litologia, altitude, exposição e manejo do solo, conforme localização na Figura 1 e dados de caracterização no Quadro 1.

Em cada uma das parcelas foram abertas trincheiras ao longo de transectos no sentido do maior declive, espaçadas entre 10 a 20 metros, e aí observadas as características dos locais, a morfologia dos perfis de solos e colhidas amostras para processamento analítico. Foram observados e descritos 83 perfis e colhidas e analisadas 277 amostras de solo. Para parâmetros de solo e do local seguiu-se basicamente a metodologia utilizada por diferentes autores em trabalhos recentes (ASCHE, 2000; RYAN *et al.*, 2000; FISHER e RYAN, 2000; SCHOENHOLTZ *et al.*, 2000), com algumas alterações: exposição, declive, altitude, distância à linha de festo (DLF), precipitação média anual (PMA), temperatura média anual (TMA), densidade e porte da vegetação arbustiva, espessura efectiva do solo, compacidade, concentrações em terra fina, lotes granulométricos, MO, N, P, K, bases de troca e acidez de troca. No tocante às árvores avaliou-se a severidade da doença pelo grau de esfoliação (GD). Para caracterização destes parâmetros seguiu-se a seguinte metodologia:

(a) Parâmetros climáticos: precipitação média anual (PMA) e temperatura média anual (TMA) – retirado de DAVEAU (1977) e INMG (1970 e 1991) e corrigida no caso de TMA, de acordo com a diferença de altitudes entre a área de estudo e a estação climatológica mais próxima;

(b) Condições de relevo: altitude, exposição (em graus) declive (em %) e distância do local de amostragem à linha de festo (DLF) (em m) – por medições no terreno;

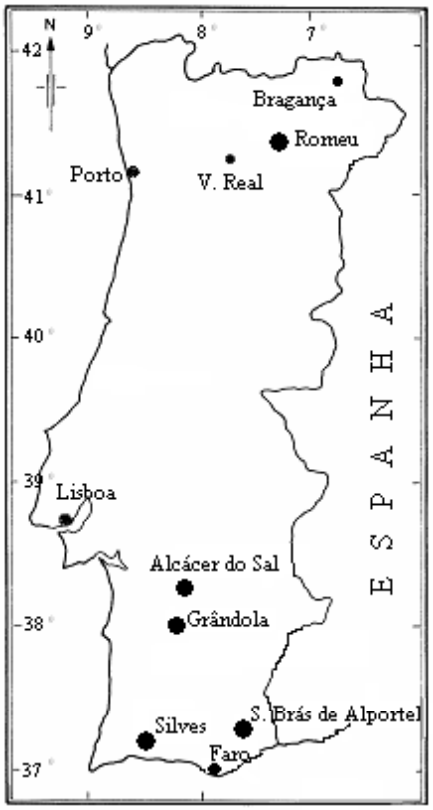

Figura 1 – Localização das parcelas experimentais estudadas

Quadro 1 – Dados de localização e características das parcelas experimentais

Parcela Exposição	Localização	Litologia	Declive Médio (%)	Nº de Árvores	Área (m^2)	Altitude (m)	PMA (lm^{-2})	TMA (ºC)
I N	Barranco do Velho S. Brás Alportel	xistos	25	31	2175	495	1000	13,9
I S	Barranco do Velho S. Brás Alportel	xistos	35	14	1065	480	1000	14,0
II N	Herdade da Parra Silves	xistos	25	12	1200	280	700	16,1
II S	Herdade da Parra Silves	xistos	40	24	1995	130	700	16,8
III	Sª do Loureiro Alcácer do Sal	sedimentos	5	46	2595	100	600	15,8
IV	Tanganhal Grândola	xistos	10	24	3150	240	700	15,1
VII N	Vilaverdinho Romeu	granitos	35	36	975	370	600	13,6
VII S	Jerusalém do Romeu Romeu	granitos	30	30	1425	400	600	13,5
VIII N	Açoreira Romeu	xistos	20	21	1650	530	600	12,8
VIII S	Açoreira Romeu	xistos	30	24	1800	515	600	12,9

(c) Vegetação do subcoberto: densidade (em %) e porte (em cm), por observação e medição no terreno;

(d) Caracterização do solo, através da observação, medição e amostragem nos perfis de solos e análises laboratoriais, de que se discrimina por propriedade: (e_1) espessura efectiva, em cm, considerada como a profundidade até onde foi possível observar raízes, dentro dos limites de observação nas trincheiras (100 a 120 cm, de acordo com a dureza das camadas de alteração do solo); (e_2) compacidade, avaliada em graus, através da resistência à penetração na parede do perfil - mínima, pequena, média grande e muito grande, correspondentes respectivamente aos valores 1, 3, 5, 7 e 9; Posteriormente foi calculada a média ponderada para toda a espessura efectiva, de acordo com os graus obtidos e as profundidades das respectivas camadas; (e_3) terra fina, em %, por crivagem; (e_4) limo e argila, em %, por análise mecânica em 98 amostras representativas do universo de amostras abrangidas pelo estudo e por avaliação manual nas restantes amostras e posterior atribuição dos valores médios de cada lote às correspondentes classes de textura; (e_5) matéria orgânica (%), P_2O_5, K_2O (mg kg^{-1}), soma das bases de troca (SBT) e acidez de troca (AT) (cmol kg^{-1}), por metodologia padrão em uso no laboratório de solos da UTAD. Os valores dos parâmetros referidos em e_3, e_4 e e_5, foram ponderados para a espessura de maior densidade radical, tendo em conta as concentrações e profundidades de cada camada naquela espessura.

(e) Grau de desfoliação (GD) - por observação das árvores no terreno, considerando-se 6 graus, com a seguinte correspondência em proporção de área de copa desfoliada: 0 - 0 a 10%, 5% o valor adoptado como média; 1 - 11 a 25%, 19% o valor médio; 2 - 26 a 50%, 38% o valor médio; 3 - 51 a 75%, 63% o

valor médio; 4 - 76 a 90%, 83% o valor médio; e 5, com mais de 90%, sendo 95% o valor médio.

No tratamento estatístico dos resultados, cada árvore, com o respectivo grau de desfoliação, foi considerada como uma repetição e associada ao perfil de solo que lhe está mais próximo, caracterizado pelos parâmetros já mencionados. Nesse tratamento recorreu-se à análise de regressão múltipla para se procurar a ordem de importância das diferentes variáveis independentes na variação da variável dependente (GD). Nesta análise, numa primeira fase entram todas as variáveis independentes seguindo-se a sua recalculação por eliminação regressiva passo-a-passo, pela ordem da menos significativa de todas as variáveis com coeficientes não significativos. Igualmente foram calculados os coeficientes parciais estandardizados (Betas) os quais dão uma medida relativa do peso de cada variável independente na determinação da dependente. Neste processo, numa primeira etapa utilizaram-se todas as parcelas e, posteriormente fez-se o tratamento em separado das parcelas Norte e das parcelas Sul do país.

Resultados e discussão

Observações no terreno

A percepção das relações obtidas durante as observações no terreno deverá ser tomada com cautela, dado que pode ser excessivamente influenciada por situações que mais sobressaem mas nem por isso representativas do conjunto. Porém e embora tendo em conta essa premissa, observou-se claramente, no caso das parcelas do Sul um agravamento da doença com a densidade e porte da vegetação arbustiva do subcoberto, caso das parcelas de Barranco do Velho, S. Brás de Alportel, com um denso subcoberto de matorral de esteva e, com o aumento da compacidade do solo, observada na Serra do Loureiro, Alcácer do Sal em áreas de sedimentos tipo raña. Explica-se, no primeiro caso, pela competição hídrica e défice associado a que é submetida a espécie arbórea em causa e, no segundo caso, pela dificuldade de expansão radical e deficiente ambiente físico no solo. Idêntica opinião é manifestada por CASTANHEIRA-DINIZ (1994) que encontrou as manchas mais afectadas em áreas invadidas por matorral denso de esteva e em áreas de depósitos sedimentares tipo rañas, onde a compacidade do solo é particularmente elevada. Também CADIMA *et al*. 1995 concluíram que a compacidade do solo se situa no conjunto de variáveis mais explicativo da mortalidade em *Quercus suber*.

Relações obtidas a partir do tratamento estatístico dos resultados

Apresentam-se em anexo os quadros A1 a A3 com os resultados da análise de regressão múltipla, respectivamente para todas as parcelas e separadamente para as parcelas Norte e para as parcelas Sul, a partir dos quais se fazem os seguintes comentários:

1. Da análise em conjunto de todas as parcelas (quadro A1) observa-se que as 18 variáveis independentes seleccionadas apenas explicam 15% da variação da variável dependente e entre aquele conjunto de variáveis, a distância à linha de festo, a compacidade, a matéria orgânica e acidez de troca, são aquelas que se revelaram com maior peso relativo, no sentido negativo a primeira e

positivo as restantes, explicando este grupo 10% da variação do GD.

2. Na análise em separado das parcelas Norte (quadro A2), consideraram-se apenas 16 variáveis independentes, tendo-se eliminado as variáveis PMA e TMA, dado que, para a primeira, as parcelas se situam nas mesmas condições de precipitação e para a segunda os valores são muito próximos. As 16 variáveis seleccionadas explicam agora 17 % da variação de GD, revelando-se como as mais importantes, a espessura efectiva, matéria orgânica, P_2O_5 e exposição, que no conjunto explicam 10%, as duas primeiras em sentido positivo e as duas últimas em sentido negativo.

3. Na análise em separado das parcelas Sul (quadro A3), as 18 variáveis seleccionadas explicam agora 18 % da variação do grau de desfoliação, revelando-se com maior peso as variáveis distância à linha de festo (DLF) compacidade, matéria orgânica (MO) e K_2O, cujo grupo explica 13% da variação de GD, com DLF e K_2O a influenciar em sentido negativo e as duas restantes em sentido positivo.

Os resultados obtidos com a análise estatística sugerem os seguintes comentários:

(a) Destaca-se a influência da compacidade no aumento do grau de desfoliação, tanto no conjunto das parcelas como isoladamente nas parcelas Sul, o que confirma a opinião recolhida no terreno e corrobora conclusões de estudos anteriores;

(b) Destaca-se seguidamente a influência das condições de nutrição do solo, avaliada através da disponibilidade P e K, já que o primeiro revela um peso considerável nas parcelas Norte e o segundo nas parcelas Sul, diminuindo o grau de enfermidade com o aumento de concentração destes nutrientes;

(c) No tocante a factores de local e a outras propriedades do solo, as relações obtidas são pouco claras e mesmo algo contraditórias. Assim, salienta-se: (i) a matéria orgânica está positivamente relacionada com o grau de enfermidade, o que parece um contra-senso, atendendo ao seu papel no enriquecimento da fertilidade do solo e na melhoria das suas condições físicas e biológicas. Poderá estar associada a outros factores com os quais está bem correlacionada e, assim, produzir um efeito covariante favorável à enfermidade; (ii) a espessura efectiva surge nas parcelas Norte positivamente associada à enfermidade, o que pode interpretar-se como relacionada com condições de drenagem desfavoráveis, o que como é sabido, favorece a actividade dos patogénicos tidos como mais responsáveis pela doença; (iii) já no caso das parcelas Sul, a distância à linha de festo surge, dentro das variáveis mais influentes, com elevado peso, e negativamente relacionada com o GD, o que pode explicar-se pelo facto de o aumento de distância à linha de festo estar associado a aumento de espessura, a condições mais favoráveis ao regime hídrico e à fertilidade do solo, o que favorece as relações solo-planta e o vigor das árvores e, como tal, a sua maior resistência aos agentes responsáveis pela enfermidade.

Conclusões

Tendo em conta o objectivo colocado à partida, os resultados obtidos permitem as seguintes conclusões mais relevantes:

Quadro A1 - Resumo da análise de regressão múltipla entre o grau de desfoliação (variável dependente) e as variáveis ambientais e edáficas (variáveis independentes), para o conjunto das parcelas Norte e Sul do País (n=214)

Exp	Dec	Alt.	PMA	TMA	Cob. Arb.	Alt. Cob. Arb.	Dist. Lin. Festo	E efect.	Comp	TF	Limo+Argila	MO	P_2O_5	K_2O	SBT	AT	R^2
5,5 (-)	4,8 (-)	15,9	2,9	15,9	6,6 (-)	4,5	6,4 (-)	3,8	8,7	1,4	7,0 (-)	4,3	1,3 (-)	3,6 (-)	3,5	4,0	0,149
5,3 (-)	4,9 (-)	16,2	3,5	15,9	6,4 (-)	3,9	6,5 (-)	3,9	9,4	1,5	7,1 (-)	4,5	—	3,6 (-)	3,5	3,9	0,148
5,7 (-)	4,2 (-)	16,4	6,1	14,8	5,2 (-)	—	6,7 (-)	4,4	9,9	1,9	8,2 (-)	4,9	—	4,0 (-)	3,7	3,9	0,147
6,0 (-)	3,5 (-)	13,5	7,2	12,4	6,0 (-)	—	7,9 (-)	4,9	11,1	—	9,1 (-)	5,8	—	3,9 (-)	4,0	4,8	0,146
8,4 (-)	4,0 (-)	3,1	9,6	—	8,0 (-)	—	10,8 (-)	7,0	16,3	—	6,1 (-)	8,9	—	5,8 (-)	5,0	7,2	0,145
8,3 (-)	3,3 (-)	—	11,8	—	6,9 (-)	—	10,4 (-)	6,6	15,8	—	9,0 (-)	9,4	—	5,1 (-)	5,6	7,9	0,144
6,7 (-)	—	—	12,0	—	7,8 (-)	—	11,2 (-)	6,3	16,6	—	10,8 (-)	10,2	—	4,5 (-)	5,3	8,5	0,143
7,2 (-)	—	—	13,0	—	7,5 (-)	—	11,2 (-)	6,3	16,7	—	14,7 (-)	9,4	—	—	4,8	9,3	0,141
6,0 (-)	—	—	12,4	—	8,9 (-)	—	10,3 (-)	6,9	19,1	—	14,1 (-)	12,0	—	—	—	10,2	0,137
—	—	—	15,1	—	9,0 (-)	—	9,2 (-)	8,5	17,4	—	14,9 (-)	14,0	—	—	—	11,9	0,132
—	—	—	14,0	—	—	—	14,9 (-)	8,8	18,9	—	15,6 (-)	14,9	—	—	—	12,9	0,122
—	—	—	14,5	—	—	—	16,2 (-)	—	23,8	—	17,9 (-)	13,4	—	—	—	14,2	0,115
—	—	—	—	—	—	—	19,7 (-)	—	27,8	—	11,7 (-)	21,3	—	—	—	19,5	0,106
—	—	—	—	—	—	—	24,7 (-)	—	30,9	—	—	21,9	—	—	—	22,6	0,100

(a) Os valores colocados por baixo das variáveis independentes são os coeficientes estandardizados (Betas) e representam a proporção com que cada uma das variáveis contribui para a determinação da variação da variável dependente, explicada pela regressão duma forma positiva ou negativa (-).

(b) O símbolo "—" indica que a variável independente se manifestou NS para um nível de probabilidade de p>0,05, pelo que foi eliminada.

Quadro A2 - Resumo da análise de regressão múltipla entre grau de desfoliação (variável dependente) e variáveis ambientais e edáficas (variáveis independentes), para as parcelas Norte do País (n=79)

Exp	Dec	Alt.	% Cob. Arb.	Alt. Cob. Arb.	Dist. Lin. Festo	Eefec.	Comp	% TF	Limo+ Argila	% MO	P_2O_5	K_2O	SBT	AT	R^2
9,8 (-)	6,5 (-)	2,5 (-)	7,1	2,1 (-)	4,7	15,0	10,7 (-)	3,9	1,9 (-)	5,4	8,9 (-)	2,9	11,1	7,5	0,165
11,5 (-)	7,0 (-)	—	6,7	2,1 (-)	4,5	15,4	10,9 (-)	4,4	2,1 (-)	5,6	8,9 (-)	2,7	10,8	7,6	0,164
13,8 (-)	7,5 (-)	—	6,5	1,7 (-)	3,8	15,5	10,7 (-)	4,3	—	5,4	8,9 (-)	3,0	10,8	8,2	0,164
14,3 (-)	7,4 (-)	—	5,0	—	3,5	16,0	11,1 (-)	3,7	—	5,6	9,5 (-)	3,7	11,7	8,4	0,163
17,2 (-)	8,5 (-)	—	5,0	—	—	15,4	9,9 (-)	3,2	—	5,0	9,6 (-)	4,7	13,4	8,2	0,161
18,3 (-)	9,5 (-)	—	4,4	—	—	16,2	10,1 (-)	—	—	7,2	10,3 (-)	3,7	11,8	8,5	0,157
17,1 (-)	11,5 (-)	—	3,2	—	—	17,4	10,6 (-)	—	—	8,7	11,5 (-)	—	11,9	8,0	0,153
16,4 (-)	12,2 (-)	—	—	—	—	18,6	10,3 (-)	—	—	9,2	12,1 (-)	—	12,8	8,4	0,151
21,3 (-)	12,2 (-)	—	—	—	—	22,9	—	—	—	13,7	10,8 (-)	—	9,6	9,4	0,137
21,9 (-)	16,3 (-)	—	—	—	—	23,3	—	—	—	16,2	15,8 (-)	—	—	6,5	0,121
22,0 (-)	18,1 (-)	—	—	—	—	25,6	—	—	—	16,0	18,4 (-)	—	—	—	0,113
9,5 (-)	—	—	—	—	—	41,0	—	—	—	24,0	25,5 (-)	—	—	—	0,096

(a) Os valores colocados por baixo das variáveis independentes são os coeficientes estandardizados (Betas) e representam a proporção com que cada uma das variáveis contribui para a determinação da variação da variável dependente, explicada pela regressão duma forma positiva ou negativa (-).

(b) O símbolo "—" indica que a variável independente se manifestou NS para um nível de probabilidade de p>0,05, pelo que foi eliminada.

Quadro A3 - Resumo da análise de regressão múltipla entre grau de desfoliação (variável dependente) e variáveis ambientais e edáficas (variáveis independentes), para as parcelas Sul do País (n=135)

Exp	Dec	Alt.	PMA	TMA	Cob. Arb.	Alt. Cob. Arb.	Dist. Lin. Festo	E efect.	Comp	TF	Limo+Argila	MO	P_2O_5	K_2O	SBT	AT	R^2
1,5 (-)	5,1 (-)	13,9	7,2 (-)	9,4	8,1 (-)	14,1	4,2 (-)	1,6 (-)	9,1	1,1	1,3 (-)	5,8	4,1	6,7 (-)	4,3	2,6	0,179
1,4 (-)	5,4 (-)	13,8	8,7 (-)	8,2	8,1 (-)	14,5	4,0 (-)	1,5 (-)	9,2	1,0	—	5,9	4,3	7,3 (-)	4,4	2,3	0,179
1,0 (-)	5,0 (-)	15,3	11,2 (-)	7,1	7,9 (-)	14,2	3,7 (-)	1,6 (-)	9,2	—	—	5,5	4,3	7,2 (-)	4,7	2,2	0,178
—	4,5 (-)	16,8	12,7 (-)	6,8	7,5 (-)	13,8	3,4 (-)	1,5 (-)	9,0	—	—	5,7	4,6	7,3 (-)	4,7	2,0	0,178
—	3,8 (-)	18,0	12,8 (-)	6,2	8,0 (-)	12,9	4,2 (-)	—	9,1	—	—	6,1	5,0	7,6 (-)	4,6	1,9	0,177
—	3,8 (-)	22,5	14,9 (-)	6,7	6,3 (-)	10,6	3,3 (-)	—	8,2	—	—	4,8	5,2	8,2 (-)	5,3	—	0,176
—	1,1 (-)	21,2	17,8 (-)	—	6,4 (-)	8,5	4,0 (-)	—	10,2	—	—	6,9	6,9	10,4 (-)	6,8	—	0,175
—	—	21,5	18,0 (-)	—	6,6 (-)	8,2	4,5 (-)	—	10,1	—	—	7,0	6,8	10,7 (-)	6,7	—	0,174
—	—	25,5	14,9 (-)	—	4,6 (-)	—	5,0 (-)	—	12,6	—	—	8,5	7,6	13,5 (-)	7,8	—	0,171
—	—	14,8	—	—	6,9 (-)	—	10,2 (-)	—	18,0	—	—	12,7	10,8	17,4 (-)	9,1	—	0,168
—	—	12,8	—	—	—	—	13,5 (-)	—	17,8	—	—	13,3	12,1	19,1 (-)	11,5	—	0,162
—	—	10,4	—	—	—	—	21,8 (-)	—	25,7	—	—	18,3	9,1	14,6 (-)	—	—	0,148
—	—	—	—	—	—	—	22,6 (-)	—	27,1	—	—	26,3	7,9	15,9 (-)	—	—	0,140
—	—	—	—	—	—	—	27,3 (-)	—	30,4	—	—	27,6	—	14,7 (-)	—	—	0,134

(c) Os valores colocados por baixo das variáveis independentes são os coeficientes estandardizados (Betas) e representam a proporção com que cada uma das variáveis contribui para a determinação da variação da variável dependente, explicada pela regressão duma forma positiva ou negativa (-).

(d) O símbolo "—" indica que a variável independente se manifestou NS para um nível de probabilidade de p>0,05, pelo que foi eliminada.

(a) As observações de campo nas parcelas Sul apontam para uma tendência de aumento da severidade do declínio e morte de *Quercus suber* com o aumento da densidade e porte da vegetação arbustiva do subcoberto e com o aumento da compacidade do solo, não sendo visíveis outras relações. Esta tendência corrobora opiniões anteriores retiradas de outros estudos;

(b) Os resultados do tratamento estatístico com recurso à análise de regressão múltipla, confirmam a opinião anterior no tocante à compacidade, observando-se a sua relação positiva com o grau de desfoliação nas parcelas Sul e no conjunto das parcelas;

(c) As condições de nutrição mostraram-se influentes no grau de severidade da enfermidade, tendo-se detectado que a melhores condições de nutrição corresponde um menor grau de severidade;

(d) Os baixos coeficientes de determinação obtidos denunciam porém uma reduzida dependência do grau de desfoliação relativamente às variáveis independentes seleccionadas, na medida em que a máxima determinação obtida foi sempre inferior a 20% (15% para o conjunto das parcelas, 17% para as parcelas Norte e 18% para as parcelas Sul). Estes resultados podem atribuir-se a: (i) dificuldades na quantificação de algumas variáveis, de que são exemplo a própria variável dependente, a espessura efectiva, as variáveis climáticas, a compacidade do solo; (ii) efeito de colinearidade entre variáveis independentes, o que pode esconder variáveis com maior peso na variância global; (iii) ausência de outras variáveis não consideradas, como a idade das árvores, as suas características genéticas, os efeitos do descortiçamento, a actividade antrópica e outras;

(e) Apesar das dificuldades encontradas na identificação mais clara dos factores mais directamente associados ao declínio de *Quercus suber*, as conclusões do presente estudo apontam no mesmo sentido de estudos anteriores, salientando-se a necessidade de uma gestão criteriosa do subcoberto que passa por controlo de matos, para diminuição da competição hídrica, manutenção de níveis adequados de nutrientes e manutenção ou promoção de boas condições de estrutura do solo.

Agradecimentos

Aos Professores José Ferraz e Alfredo Cravador da Universidade do Algarve pela sua iniciativa de apresentação da candidatura à Fundação de Ciência e Tecnologia, programa PRAXIS XXI que através do projecto 3/3.2/FLOR/2112/95 suportou financeiramente o trabalho. Ainda ao Prof. José Ferraz pelo seu entusiasmo sobre o tema em apreço e o dinamismo que tem imprimido no seu estudo. Ao Laboratório de Solos e Plantas da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro pelo processamento analítico das amostras de solos e aos Srs. Jorge Pinheiro e Francisco Aguiar do Departamento de Edafologia da mesma Universidade pelo esforço e empenhamento no trabalho de campo.

Bibliografia

ASCHE, N., 2000. Digital tools for forest site classification. A case study in Northrhine-Westfalia, Germany. *International Symposium on Managing Forest Soils for Sustainable Productivity*, 18-22 Sept 2000, Vila Real, Portugal. Abstracts: pp. 129-130.

BURGER, J.A., KELTING, D.L. 1999. Using soil quality indicators to assess forest stand management. *Forest Ecology and Management* **122** : 155-166.

CABRAL, M.T., 1994. Nota sobre o declínio dos montados de sobro a Sul do Tejo. II Encontro Nacional de Protecção Integrada. *Anais da UTAD* **5**(1) : 45-51.

CADIMA, I.S.P., CAPELO, J., GOMES, A.A., 1995. Relação entre Variáveis Ambientais, Tipos de Condução dos Povoamentos e a Mortalidade do Sobreiro nos Concelhos de Sines, Grândola e Santiago do Cacém. *Silva Lusitana* **3**(1) : 85-100.

CASTANHEIRA-DINIZ, A., 1994. Os solos do Montado e Aptidão Suberícola nos Concelhos de Grândola, Santiago do Cacém e Sines: Correlações com a Morte Prematura do Sobreiro. *Silva Lusitana* **2**(2) : 247-267.

DAVEAU, S., 1977. *Répartition et ritmes des précipitation au Portugal*. Centro de Estudos Geográficos, Lisboa

FERRAZ, J.F.P., MOREIRA, A.C., 1993. O declínio dos sobreiros: Contribuição para o estudo das suas causas. *Floresta e Ambiente* **21** : 59-61.

FERRAZ, J.P.F, CRAVADOR, A., MOREIRA, A.C., CAETANO, P., 2003. Seca, amenaza para la industria del Corcho. *Europa Cork* **8** : 28-30.

FISHER, R., BINKLEY, D., 2000. *Ecology and Management of Forest Soils* (3rd Ed.). John Wiley & Sons, Inc. New York.

GALE, M.R., GRIGAL, D.F., HARDING, R.B., 1991. Soil productivity index: Predictions of site quality for white spruce plantations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **55** : 1701-1708.

GÖMÖRYOVÁ, E., GÖMÖRY, D., 1995. Relationships between environmental factors and height growth and yield of Norway spruce stands: a factor-analytic approach. *Forestry* **68**(2) : 145-152.

INMG, 1970. *O Clima de Portugal. Fascículo XII. Normais Climatológicas do Continente, Açores e Madeira Correspondentes a 1931-60*. Lisboa.

INMG, 1991. *O Clima de Portugal. Fascículo XLIX. Normais Climatológicas da região de Trás-os-Montes e Alto Douro e Beira Interior Correspondentes a 1951-80*. Lisboa.

MARCELINO, V., TORRES, N., PORTELA, E., MARTINS, A., 2000. Soil physical properties and the occurrence of ink disease: a micromorphological study. *Ecologia Mediterranea* **26**(1-2) : 129-135.

MARTINS, L.M., ABREU, C.G., MARQUES, C.P., 1997. Evolução do estado sanitário do Castanheiro numa área limítrofe à Serra da Nogueira (Trás-os-Montes). In: Tricas F.P. & Ribas M. (eds.), Comunicationes ao *I Congreso Florestal Hispano-Luso*, Pamplona, **5** : 265-270.

PORTELA, E., ARANHA, J., MARTINS, A., PIRES, A.L., 1999. Soil factors, farmers practices and chestnut ink disease: some interactions. Proc. 2nd Int. Symp. On Chestnut. Salesses g. (ed). *Acta Horticulture* **494** : 433-441.

PORTELA, E., MARTINS, A., PIRES, A.L., 1998. *Práticas culturais de limitação à doença da tinta do castanheiro*. UTAD, Vila Real, 63 pp.

RYAN, P., HARPER, R., LAFFAN, M., BOOTH, T., McKENZIE, N., 2000. Developments in site evaluation for farm forestry in Australia and the relationship to sustainability and productivity. *International Symposium on Managing Forest Soils for Sustainable Productivity*, 18-22 Sept 2000, Vila Real, Portugal. Abstracts: pp. 157-160.

SÁNCHEZ, M.E., CAETANO, P., FERRAZ, J., TRAPERO, A., 2001. *Phytophthora* disease of *Quercus ilex* in south-western Spain. *Forest Pathology* **31** : 1-14.

SCHOENHOLTZ, S.H., MIEGROET, H. VAN, BURGER, J.A., 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management* **138** : 335-356.

Entregue para publicação em Janeiro de 2005
Aceite para publicação em Outubro de 2005