

CAPÍTULO 8 | CHAPTER 8

OS NEMÁTODES (NEMATODA) DOS ARQUIPÉLAGOS DA MADEIRA E DAS SELVAGENS

THE NEMATODES (NEMATODA) OF THE MADEIRA AND SELVAGENS ARCHIPELAGOS

Paulo Vieira¹, Manuel Mota¹, Ludovina Padre² & Helena Adão³

¹ NemaLab/ICAM, Dept. de Biologia, Universidade de Évora, 7002-554 Évora, Portugal; e-mail: pvieira@uevora.pt; mmota@uevora.pt

² Lab. Parasitologia Victor Caeiro, Dept. de Medicina Veterinária, Universidade de Évora, 7002-554 Évora, Portugal; e-mail: lpadre@uevora.pt

³ IMAR – Institute of Marine Research, Dept. de Biologia, Universidade de Évora, 7002-554 Évora, Portugal; e-mail: hadão@uevora.pt

Resumo

1. O filo Nematoda constitui um dos grupos de animais mais disseminados no planeta, tanto em termos de número de indivíduos como de espécies.
2. Uma *checklist* com dados de distribuição das espécies terrestres de nemátodes (*Phylum Nematoda*) dos arquipélagos da Madeira (Madeira, Porto Santo e Desertas) e Selvagens é aqui apresentada.
3. A *checklist* congrega registos de espécies publicadas, bem como de algumas não publicadas, e daqui resultaram 63 espécies que ocorrem no arquipélago. A maioria das espécies são da ilha da Madeira. O padrão espacial resulta da prospecção e da monitorização de espécies de patogénios e pragas de potencial interesse agro-veterinário.
4. Para melhor se compreender o estado actual da diversidade de espécies da nematofauna do arquipélago da Madeira, os registos e distribuição espacial foram examinados e comparados com o conhecimento actual sobre espécies de outros arquipélagos da Macaronésia (Açores e Canárias).
5. É igualmente discutido o risco de introdução de espécies pragas e patogénicas.

1. Introdução

O filo Nematoda constitui um dos grupos animais mais disseminados no planeta, e em termos de número de indivíduos os nemátodes são o grupo animal mais abundante na Terra: quatro em cada cinco animais da Biosfera são nemátodes (Baldwin *et al.* 1999).

Abstract

1. The *Phylum Nematoda* constitutes one of the most widespread groups of animals on Earth, in terms of number of both individuals and species.
2. A checklist with distribution data on the species of terrestrial nematodes (*Phylum Nematoda*) from the Madeira (Madeira, Porto Santo and Desertas) and Selvagens archipelagos is presented.
3. The checklist brings together previously published and some unpublished species-level records, and as a result 63 species are reported to occur in the archipelagos. The majority of the nematode species are reported for Madeira Island. This spatial pattern is a result of the survey and monitoring of potential pathogenic and pest species of agro-veterinarian interest.
4. To better understand the current state of species diversity of the Nematofauna from the Madeira and Selvagens archipelagos, the reports and spatial distribution were examined and compared with the current knowledge of species data from other archipelagos of the Macaronesia region (Azores and Canaries).
5. The risk of introduction of pathogenic species and pests is discussed.

1. Introduction

The *Phylum Nematoda* constitutes one of the most widespread groups of animals on Earth. In terms of the number of individuals, nematodes are the most abundant type of animals on the planet: four out of five animals in the Biosphere are nematodes (Baldwin *et al.* 1999). Although

Apesar de microscópicos, os animais multicelulares que constituem este grupo são capazes de explorar uma grande variedade de habitats, nos mares, nas águas doces, nos solos, em associação, como parasitas de animais ou plantas, ou mesmo em condições extremas, como nos solos secos da Antártida ou em fontes termais. Até à data foram descritas aproximadamente 20.000-25.000 espécies, sendo 3000 fitoparasitas, 6000 zooparasitas e 14.000 de “vida livre” de oceanos, águas doces e solos. No entanto, estima-se que o número de espécies existentes possa atingir valores muito mais elevados, variando entre 80.000-100.000 e um milhão de espécies (Lambshhead 1993; Baldwin *et al.* 1999). Esta diversidade resulta da sua extraordinária capacidade de adaptação, bem como do tamanho reduzido, cutícula resistente e plano corporal simples (Bird & Bird 1998).

Durante muito tempo, o estudo dos nemátodes centrava-se exclusivamente nas formas parasíticas, devido à enorme importância económica que assumem nas áreas médica, veterinária e agrícola. No entanto, os Nematoda contêm uma variedade de espécies com diferentes tipos de ciclo de vida e alimentação, o que torna este grupo extremamente importante nos ecossistemas (Yeates *et al.* 1993; Gupta & Yeates 1997). Em ecossistemas terrestres, os nemátodes microbívoros – juntamente com a restante microfauna – estabelecem uma forte ligação entre os decompositores primários e a restante fauna da teia alimentar do solo, desempenhando assim um importante papel na decomposição da matéria orgânica e reciclagem de nutrientes em todos os ecossistemas. Outras espécies são parasitas de plantas, vertebrados, invertebrados, ou predadores de pequenos organismos, encontrando-se presentes em toda a teia alimentar, o que os torna especialmente adequados como bioindicadores (Yeates *et al.* 1993; Bongers & Ferris 1999).

2. Metodologia

A actual informação sobre a nematofauna dos arquipélagos da Madeira e das Selvagens encontra-se fraccionada e espalhada em diversas publicações científicas e relatórios produzidos pelos serviços agro-veterinários (Direcção Regional de Agricultura). Presentemente não existe uma ideia clara acerca da biodiversidade e riqueza de espécies deste grupo nos arquipélagos. A fim de se obter uma lista completa de espécies de nemátodes terrestres identificados destas ilhas, compilaram-se todos os dados relevantes de identificação das espécies e respectiva distribuição geográfica. Primeiramente foram apenas listadas as espécies taxonomicamente descritas na *checklist* que se segue a este texto, resumizando toda a informação publicada sobre a taxonomia do grupo. A classificação utilizada para a maioria das espécies segue o critério utilizado para a fauna terrestre da Fauna Europaea (<http://www.faunaeur.org>). Os *taxa* encontram-se ordenados por ordem alfabética ao nível da ordem, família, género e espécie.

Para a distribuição de todas as espécies do arquipélago da Madeira, utilizaram-se as seguintes abreviaturas: M

they are microscopic organisms, this group of multicellular animals is capable of exploiting a wide range of habitats, such as sea, fresh water, soil, as parasites of animals and plants, or even in extreme conditions such as in the dry Antarctic soils and hot springs. At present, approximately 20,000-25,000 species have been described: 3,000 of those are plant parasitic nematodes, 6,000 species are animal parasites and 14,000 species are free-living nematodes in ocean, freshwater and soil habitats. However, the number of estimated extant species may reach a much higher value, varying from 80,000-100,000 to one million species (Lambshhead 1993; Baldwin *et al.* 1999). This diversity results from their ability to adapt, as well as their small size, resistant cuticle, and simple body plan (Bird & Bird 1998).

For a long time the study of nematodes was conducted exclusively on parasitic forms due to their high economic value in the medical, veterinary and agricultural fields. However, the *Phylum* Nematoda contains a variety of species with diverse life cycles and feeding types, making them extremely important in ecosystems' processes (Yeates *et al.* 1993; Gupta & Yeates 1997). In terrestrial ecosystems, microbivorous nematodes – together with other microfauna – form a strong trophic linkage between the primary decomposers and the larger fauna in soil foodwebs, playing an important role in the decomposition of organic matter and nutrient cycling in all ecosystems. Other species are parasites of plants, vertebrates, invertebrates, or predators of small organisms, present along the entire food web, making them extremely suitable as bioindicators (Yeates *et al.* 1993; Bongers & Ferris 1999).

2. Methodology

The current information on the Nematofauna of the Madeira and Selvagens archipelagos is fractional and spread throughout several scientific publications and reports presented by the regional agricultural/veterinary services (“Direcção Regional de Agricultura”). To date, there is no clear idea regarding the biodiversity and richness of this group Madeira and Selvagens archipelagos. In order to provide a complete list of the terrestrial nematode species identified for these islands, all relevant data concerning identification of nematode species and respective geographic distribution were gathered together. As a first step, only taxonomically named species were included in the checklist that follows this text, summarising all the published information on the taxonomy of this group. The classification used for most nematode species mainly follows the most recent list of European terrestrial species, under Fauna Europaea (<http://www.faunaeur.org>). *Taxa* are hierarchically arranged in alphabetical order at the levels of order, family, genus and species.

For the distribution of all species in the Madeira islands we used the following abbreviations: M – Madeira; PS

– Madeira; PS – Porto Santo; D – Desertas; S – Selvagens. Quando ausente a informação sobre a ilha de ocorrência, utilizou-se a designação MA (arquipélago da Madeira).

A primeira coluna (D) refere-se ao estatuto de colonização de cada espécie, nos seguintes termos:

END – Espécies endémicas da Madeira, *i.e.*, espécies que ocorrem apenas nos arquipélagos da Madeira e/ou Selvagens devido a processos de especiação (neo-endemismos) ou extinção de populações noutros locais onde também ocorriam (paleo-endemismos);

n – Espécies nativas, *i.e.*, espécies cuja presença nos arquipélagos da Madeira e Selvagens não pode ser associada às actividades humanas (intencional ou accidental), sendo conhecidas de outras regiões;

i – Espécies introduzidas, *i.e.*, espécies que devem ter chegado às ilhas da Madeira e Selvagens como resultado das actividades humanas e que geralmente apresentam uma distribuição mais ou menos cosmopolita.

Ao mesmo tempo, *taxa* que merecem especial atenção em termos de fauna endémica, bem como patogénios e pragas potenciais dos recursos naturais e económicos do arquipélago, são destacados e discutidos mais adiante. Adicionalmente, no Apêndice I deste livro, é fornecida uma lista suplementar com géneros de nemátodes identificados, cuja espécie, por enquanto, se desconhece.

3. Características gerais da nematofauna do arquipélago da Madeira.

Até ao presente, o registo da fauna nematológica do arquipélago da Madeira compreende 63 espécies nominais, distribuídas por 35 géneros e 24 famílias. No entanto, a fiabilidade dos dados obtidos varia de publicação para publicação, dependendo do objectivo e descrição do trabalho original. Adicionalmente, 21 outros géneros pertencendo a 16 famílias foram reportados para o arquipélago, o que totaliza 56 géneros, apesar de não se conhecer a identificação das respectivas espécies (Apêndice I).

A fraca capacidade de dispersão e colonização de organismos do solo, como os nemátodes, pode explicar a falta de interesse por eles quando comparados com os insectos de superfície (Boag & Yeates 1998), e, neste caso específico, comparando com a riqueza de biodiversidade dos artrópodes do arquipélago da Madeira (ver capítulo sobre artrópodes, neste volume), a diferença no número de espécies reportadas entre os dois filos é claramente significativa. Contudo, para o tipo de análise efectuada, o número de espécies de nemátodes descritas é bastante distante da real biodiversidade, o que reflecte um desconhecimento profundo acerca destes organismos no arquipélago.

A maioria das espécies de nemátodes reportadas da Madeira encontra-se associada a animais domésticos (*e.g.* coelhos, ruminantes) e a culturas economicamente importantes (*e.g.* antúrio, banana, batata, vinha), que foram introduzidas desde o início da colonização humana das ilhas (ca. século XV). Todas estas espécies são consideradas parasitas, e distribuídas por fitoparasitas (31 espécies) e

– Porto Santo; D – Desertas; S – Selvagens. When no information concerning island occurrence was available, archipelago occurrence is given (MA).

The first column (D) indicates the colonisation status of each species as follows:

END – Madeiran endemic species, *i.e.*, those that occur only in the archipelagos of Madeira and/or Selvagens as a result of either speciation events (neo-endemics) or extinction of the mainland populations (palaeo-endemics);

n – Native species, *i.e.*, species whose occurrence on the Madeira and Selvagens archipelagos cannot be associated with human activities (intentional or accidental human introduction) and that are also known from other regions;

i – Introduced species are those believed to be in the archipelagos as a result of recent (a few hundred years ago) human activities, some of them with a cosmopolitan distribution.

At the same time, *taxa* that deserve special attention in terms of endemic fauna, as well as potential pathogens to the natural and economic resources of the archipelagos are highlighted and further discussed. Additionally, in Appendix I of this book, a complementary list is given for other identified nematode genera whose species have not been identified yet.

3. General features of the recorded Nematofauna on the Madeira Islands

To date, the recorded nematode Fauna of the Madeira islands comprises 63 nominal species, belonging to 35 genera and 24 families. However, the reliability of the data gathered from each different publication varies, depending on the aim and description of the original work. Additionally, a further 21 genera belonging to 16 families have been reported to occur in the archipelago, bringing the total number to 56 genera, although no additional species have been identified yet (Appendix I).

The poor dispersal and colonisation capabilities of soil organisms such as nematodes may explain their unresponsiveness compared to above-ground insects (Boag & Yeates 1998). Furthermore, in this specific case, there is also a clear difference in the biodiversity of Madeiran arthropods (see the chapter on arthropods in this book) when compared with the biodiversity of nematodes. However, for the type of analysis we have conducted, the number of described species is quite far from the true biodiversity, reflecting a complete lack of knowledge about these organisms within the archipelago.

The majority of the reported nematode species for the Madeira islands are associated with domestic animals (*e.g.* wild rabbits, ruminants) and with crops of economic importance and ornamental plants (*e.g.* anthurium, banana, potato, vineyards), introduced since the beginning of human colonisation of these islands (ca. XVth century). All of these nematode species are considered parasitic forms, distributed between plant parasitic nematodes (31 species) and vertebrate animal

parasitas de vertebrados (30 espécies), sendo os nemátodes de vida livre *Caenorhabditis elegans* e *Stenonchulus troglodytes* as exceções.

Comparativamente, muito poucos estudos têm sido conduzidos em outros ecotipos ou com outros grupos de nemátodes; no entanto, a identificação ao nível da espécie não foi efectuada (e.g. Macara 1988, 1994) ou então apenas foram consideradas espécies parasitas (e.g. Sturhan 1973). Com base na informação original, apenas um reduzido número destas espécies tem sido considerada como nativa para o arquipélago da Madeira. A associação entre espécies de nemátodes e hospedeiro introduzido, no caso dos vertebrados, levar-nos-ia à conclusão que praticamente todas as espécies reportadas terão sido introduzidas juntamente com o respectivo animal, durante a colonização.

No caso dos parasitas de plantas, muitas das espécies poderão ser consideradas introduções devido à íntima associação com o hospedeiro; no entanto, o conhecimento incompleto acerca da nematofauna das ilhas tem impedido a determinação correcta do estatuto dessas espécies e, como tal, não foi atribuído um estatuto definitivo.

De particular interesse é a espécie *Spinicauda dugesii*, a única espécie considerada endémica para o arquipélago, que foi isolada do intestino do lagarto endémico, *Lacerta dugesii* (cf. Gumiel *et al.* 1991), uma das 2 espécies de vertebrados não voadores endémicas da Madeira e Selvagens. A relação próxima das espécies de *Spinicauda* como parasitas de répteis e de anfíbios, poderá sugerir a ocorrência potencial de outras espécies na Madeira ou em outras ilhas da Macaronésia; no entanto, nenhuma das outras espécies foram encontradas nas Canárias ou na costa africana, os territórios mais próximos do arquipélago da Madeira. Relativamente à distribuição de espécies e de géneros, todas ocorrem na ilha da Madeira, à excepção de *Paratrichodorus allius*, reportada do Ilhéu Chão (Ilhas Desertas).

4. Padrões biogeográficos

O padrão histórico das espécies de Nematoda reportadas da Madeira ao longo do tempo, bem como a correspondente distribuição espacial dos hospedeiros e habitats, está longe de ser casuístico, *i.e.*, todas as prospeccões têm sido conduzidas especificamente para determinados grupos particulares de espécies de nemátodes que possam causar impactos económicos críticos para os recursos animais e vegetais do arquipélago.

Das 183 espécies reportadas até hoje da Madeira, dos Açores e das Canárias, muito poucas foram identificadas como endémicas para estas regiões: apenas uma espécie da Madeira, duas dos Açores (Vieira & Mota não-publicado) e sete das Canárias (baseado nos dados disponíveis na "Fauna Europaea" e Valladares & Pou 2004). Uma visão global do número de espécies distribuídas por diferentes famílias, e para os três arquipélagos da Macaronésia (Fig.1), mostra que qualquer tentativa de comparação da fauna nematológica é irrealista, por ora.

parasitic nematodes (30 species), the only exceptions being *Caenorhabditis elegans* and *Stenonchulus troglodytes*, which are considered free-living nematode species.

Comparatively few studies have been conducted regarding other ecotypes or groups of nematodes; nevertheless, the identification to species level has not been achieved (e.g. Macara 1988, 1994), and in other cases only plant parasitic nematodes were considered (e.g. Sturhan 1973).

Based on the original data, only a small number of species have been assumed to be potentially native to Madeira. The close association, in the case of the animal vertebrates, between the nematode species and the introduced host could lead us to conclude that almost all reported species have been introduced together with the specific animal host during the colonisation process. In the case of plant parasitic species, most of them could be considered introductions due to the close association with introduced plant hosts; however, insufficient knowledge about the nematode Fauna in the whole archipelago has hampered the correct determination of the status of these species, and therefore no definitive status have been attributed.

Of particular interest is *Spinicauda dugesii*, the only species recognised as endemic to the archipelago, isolated from the intestine of the endemic lizard, *Lacerta dugesii* (see Gumiel *et al.* 1991), one of the two flightless vertebrates endemic to the Madeira and Selvagens Islands. The close relationship of the *Spinicauda* species as parasites of reptiles and amphibians could suggest the potential occurrence of other species in Madeira or in the other Macaronesian islands; however, no further species have been found for the Canary Islands or African regions, the nearest territories to the Madeira archipelago.

In what concerns the species and genera distribution, all have been recorded from Madeira Island, the only exception being *Paratrichodorus allius*, which was reported for Ilhéu Chão (Desertas).

4. Biogeographical patterns

The historical pattern of the species of Nematoda reported over time in Madeira, as well as the corresponding spatial distribution of the surveyed hosts or habitats, is far from being a random sample, *i.e.*, all surveys have been specifically directed to a particular group of nematode species that might cause critical economic impacts to the animal and plant resources of the archipelago.

From the 183 species reported to date for the Madeira, Azores and Canary archipelagos, very few species have been identified as being endemic to these regions: one species for Madeira, two species for Azores (Vieira & Mota unpublished data) and seven species for the Canary Islands (based on the available data in Fauna Europaea and Valladares & Pou 2004). A global overview of the number of species distributed among the different families, for these three Macaronesian archipelagos (Fig. 1), shows that any attempt at comparison among the nematode Fauna is unrealistic at this time.

A riqueza em número de espécies das Canárias e dos Açores segue a mesma tendência da que foi observada na Madeira, não reflectindo a biodiversidade potencial deste grupo, devido aos limitados estudos sobre o filo nestas regiões. No caso particular da Madeira, a maioria das espécies denota uma grande distribuição geográfica dentro do espaço europeu, o que, aparentemente, revela a sua potencial origem, ou seja foram dispersadas com base em acções antropogénicas (como a agricultura) durante o processo de colonização destas ilhas.

The richness in number of species in the Canary and Azores archipelagos follows the same trend found in Madeira, by not reflecting the potential biodiversity of this group, due to the limited studies regarding this *Phylum* in these regions. In the particular case of Madeira, the majority of species shows a wide geographical distribution within the European continent, which appears to reveal their potential origin of dispersal by anthropogenic actions (such as agriculture) during the process of colonisation of these islands.

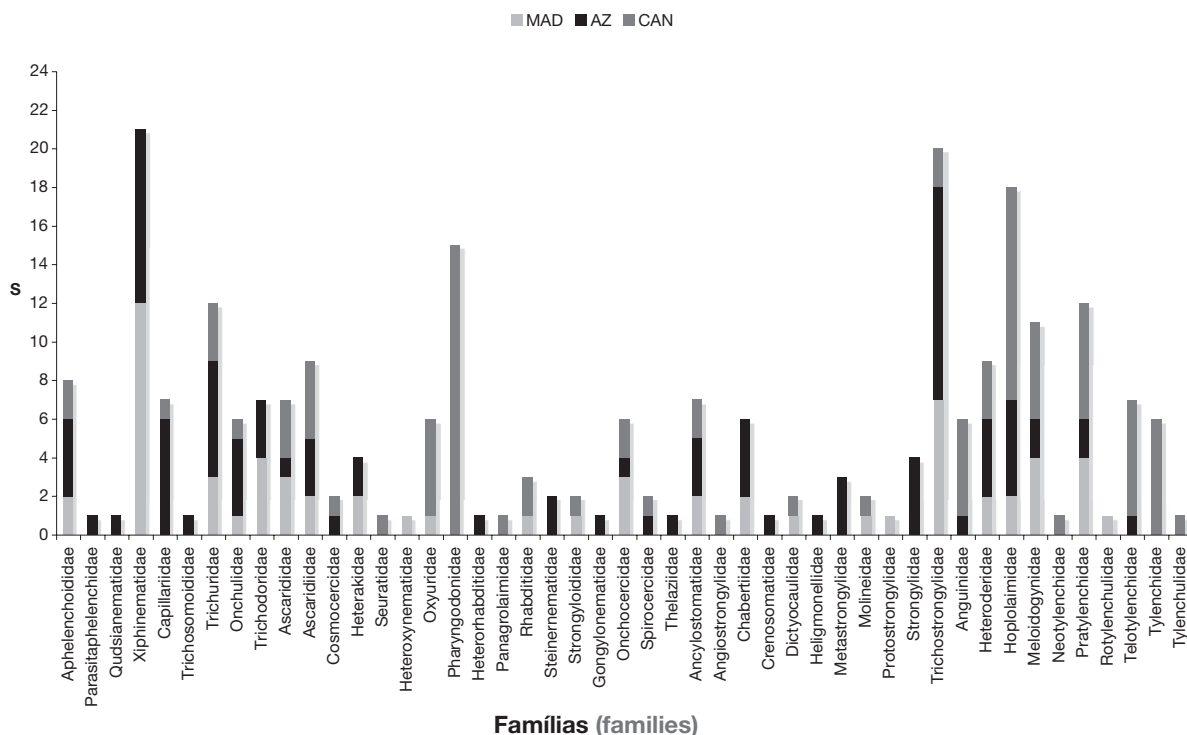


Figura 1. Número de espécies (S) de nemátodos distribuídas dentro de cada família distinta, reportadas dos arquipélagos da Madeira (MAD), Açores (AZ) e Canárias (CAN).

Figure 1. Number of nematode species (S) distributed within each different family, reported for the Madeira (MAD), Azores (AZ) and Canary (CAN) archipelagos.

5. Ameaças potenciais de nemátodes

Muitas espécies de nemátodes constituem, a nível mundial, uma séria ameaça para plantas e animais, ao estabelecer uma relação parasítica e/ou patogénica com os respectivos hospedeiros. A introdução acidental de parasitas de animais constitui uma preocupação para as autoridades veterinárias no tocante ao controlo de qualidade da carne. Os animais domésticos são particularmente atreitos a parasitas internos como a dirofilariose (“heartworm”, *Dirofilaria* sp.), que podem causar a morte do hospedeiro. Em alguns casos como o “gapeworm” das galinhas (*Syngamus trachea*), parasita traqueal, o nemátode pode igualmente actuar como vector de doenças sérias, como a virose aviária conhecida por “doença de Newcastle”.

A recente introdução em Portugal (e na União Europeia) do nemátode da madeira do pinheiro, *Bursaphelenchus xylophilus*, é um exemplo dramático de uma praga poten-

5. Potential threats posed by nematodes

Many nematode species constitute a serious threat to plants and animals around the globe, by establishing a parasitic and/or a pathogenic relationship with their respective hosts. Accidental introductions of animal parasites constitute a major concern for veterinary authorities in regard to the quality control of meat. Home pets are particularly prone to internal nematode parasites such as “heartworm” (*Dirofilaria* sp.) that can result in death of the host. In some cases, nematodes such as the gapeworm of chickens (*Syngamus trachea*), which parasitize the throats of the hosts, may also act as vectors of serious diseases such as “Newcastle disease”, a viral disease in birds.

The recent introduction of the pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* in Portugal and in the EU (Mota *et al.* 1999) is a dramatic example of a potentially catastrophic pest. The nematode seems to have been introduced in the

cialmente catastrófica (Mota *et al.* 1999). O nemátode, julga-se, terá sido introduzido em Portugal continental através do comércio internacional de madeira ou através da circulação dos respectivos produtos, com origem no Extremo Oriente.

As prospeções sistemáticas de nemátodes deverão originar informação que poderá ajudar a protecção de plantas, bem como um diagnóstico atempado, e em fase inicial, de perigosas espécies invasivas. Este problema, por si só bastante sério, agrava-se claramente quando a introdução de um nemátode parasita sucede numa ilha ou arquipélago, onde os ecossistemas locais são mais frágeis e sujeitos a um declínio mais rápido, como é o caso das florestas. Os exemplos catastróficos do Japão (Mamiya 2004), e mais recentemente da Coreia e da China (Suzuki 2002), deveriam constituir lições acerca das situações de elevado risco para os ecossistemas florestais e ser capazes de convencer as autoridades locais a implementar programas sérios de prospeção, tendo como alvo determinadas espécies.

6. Notas finais e perspectivas

Atendendo aos hábitos alimentares e modo de vida dos nemátodes, as variações no padrão de distribuição das espécies são possíveis de prever. Para algumas espécies, a distribuição global encontra-se intimamente associada com a história evolutiva de dispersão pelos continentes. Para outras, as associações foréticas com vectores móveis (tais como insectos ou aves) representam a principal causa de dispersão, e os respectivos mecanismos poderão determinar o padrão geográfico da comunidade nematológica (Baldwin *et al.* 1999).

No caso específico da Madeira ocorre uma elevada proporção de espécies endémicas de insectos, exibindo um significativo grau de especiação (ver capítulo sobre artrópodes, neste volume). Um considerável número de insectos endémicos encontrados no arquipélago são potenciais candidatos a vectores de nemátodes, constituindo uma fonte potencial de dispersão de algumas espécies. O isolamento geográfico do arquipélago da Madeira, juntamente com alguns mecanismos de dispersão de nemátodes e outros ligados aos habitats dos organismos endémicos aos quais os nemátodes se encontram intimamente associados, poderão conduzir ao isolamento e especiação da nematofauna da Madeira. No entanto, e como este estudo demonstra, o nosso conhecimento da diversidade nematológica do arquipélago está longe de ser completo. A maioria da informação foi obtida em associação com os importantes recursos económicos das ilhas, ao passo que raramente foram colhidos nemátodes de ecossistemas endémicos e não-perturbados. Para além disso, apenas foi prospectada até hoje uma pequena fracção da área das ilhas. Campanhas futuras certamente irão alterar os números de espécies da região através do registo de novas *taxa*, previamente desconhecidos, ou mesmo reclassificando os espécimes catalogados e disponíveis em colecções.

Como ficou demonstrado pelos dados apresentados neste trabalho, as formas parasíticas de nemátodes re-

Portuguese mainland by way of international wood trade or by circulation of wood products, originating from the Far East.

Systematic nematode surveys should produce data that could help in the protection against and accurate diagnosis of dangerous invasive species at an early stage. The seriousness of this problem is clearly amplified when the introduction of a parasitic nematode happens on an island or archipelago, where the local ecosystems are more fragile and prone to a faster decline, such as is the case of forests. The catastrophic example of Japan (Mamiya 2004), and more recently Korea and China (Suzuki 2002), should constitute lessons of very high risk situations for forest ecosystems and convince island authorities to implement serious survey programs, targeting specific species.

6. Closing remarks and outlook

Due to the lifestyle and feeding habits of the nematodes, it is possible to predict the species variation in their patterns of distribution. For some nematode species the global distribution is strongly associated with the evolutionary history predating the dispersal of continents. For others, the close phoretic associations with mobile vectors (such as insects or birds) represent the main source of dispersion, and such types of dispersal mechanisms could determine the geographic pattern of the nematode community (Baldwin *et al.* 1999).

In the specific case of Madeira a high proportion of endemic insect species occurs, showing a significant level of speciation (see the chapter on arthropods of this book). A considerable number of the endemic insects found in the Madeira archipelago are species suitable to act as nematode vectors, constituting a potential source for the dispersion of some groups of nematode species. The geographic isolation of the Madeira archipelago, together with such mechanisms of nematode dispersion and mechanisms linked to the endemic habitats of organisms with which nematodes are closely associated, could lead to the isolation and speciation of the nematode Fauna in Madeira. However, as this study demonstrates, our current knowledge on the nematode diversity of the Madeira archipelago is far from complete. Most data have been collected in association with economically relevant natural resources on the islands, whereas nematodes from endemic and non-disturbed ecosystems have rarely been collected and studied. Furthermore, only a small fraction of the area of the islands has been surveyed. Future efforts will certainly alter the number of nematode species in the area either by recording new, previously unobserved *taxa* or by reclassifying the available collected specimens.

As shown in the present data, the nematode parasitic forms have the highest number of species reported until now. Based on other specimens identified only to genus

presentam o maior número de espécies reportado até ao presente. Baseados em outros espécimes identificados apenas ao nível do género, é quase certa a presença de um potencialmente abundante grupo de nemátodes de vida livre nas ilhas, e o número de espécies pertencendo a esses grupos irá provavelmente aumentar após uma amostragem correcta e sistemática.

A destruição e substituição de qualquer habitat poderá representar uma drástica mudança para a comunidade nematológica, incluindo a perda de espécies muito localizadas que poderão ser benéficas para a humanidade, em termos de perdas de novos agentes de controlo biológico (espécies entomopatogénicas) ou de compostos naturais únicos (antimicrobianos, anticoagulantes, etc.), ou até mesmo uma “simples” perda em biodiversidade por si só. Apesar de nenhuma espécie de nemátode se encontrar sob qualquer programa de conservação, a falha de conhecimento da nematofauna da Madeira (endémica, nativa ou introduzida) é na realidade uma fraqueza crítica no conhecimento da biodiversidade deste grupo no arquipélago.

7. Agradecimentos

Os autores manifestam o seu reconhecimento às várias pessoas que contribuíram para a colheita de bibliografia relacionada com a nematofauna da Madeira, nomeadamente a Prof. Isabel Abrantes, Dr.^a Lurdes Clemente, Prof. Victor Caeiro, Prof. Maria Teresa Almeida, Eng.^a Maria Antónia Bravo, Eng.^a Délia Cravo e Eng.^a Margarida Pestana.

level, a potentially abundant group of free-living nematodes is certain to be found on the islands, and the number of species belonging to those groups will probably increase with proper systematic sampling.

The destruction and substitution of any habitat could constitute a critical change to the nematode community, such as the loss of highly localized species that could be beneficial to Humanity, like the loss of new biological control agents (entomopathogenic species) or unique natural compounds (antimicrobials, anticoagulants, etc), or even a “single” loss in terms of biodiversity itself. Although in the nematode world none of the species are included in a conservation program, the gap in our knowledge of the Nematofauna of Madeira (endemic, native or introduced) is thus a critical weakness in the knowledge of the archipelago biodiversity of this group.

7. Acknowledgments

The authors express their thanks to all the persons that have contributed to gather all the relevant literature related with the Madeira Nematofauna, namely Prof. Isabel Abrantes, Dr.^a Lurdes Clemente, Prof. Victor Caeiro, Prof. Maria Teresa Almeida, Eng.^a Maria Antónia Bravo, Eng.^a Délia Cravo and Eng.^a Margarida Pestana.

8. Referências bibliográficas | References

- Baldwin, J.G., Nadler, S.A. & Wall, D.H. (1999) Nematodes: pervading the earth and linking all life. In *Nature and Human Society: The Quest for a Sustainable World* (eds. P.H. Raven & T. Williams), pp. 176-191. National Research Council, Washington D.C.
- Bird, A.F. & Bird, J. (1998) Introduction to functional organization. In *The physiology and biochemistry of free-living and plant-parasitic nematodes* (eds. R.N. Perry & D.J. Wright), pp. 1-24. CAB International, Wallingford, U.K.
- Boag, B. & Yeates, G.W. (1998) Soil nematode biodiversity in terrestrial ecosystems. *Biodiversity and Conservation*, **7**, 617-630.
- Bongers, T. & Ferris, H. (1999) Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Trends in Ecology & Evolution*, **14**, 224-228.
- Gumiel, N.S., Ramos, L.M.Z., Fernandez, C.C. & Santiago, P.M.G. (1991) Description of *Spinicauda dugesii* sp. n. (Nematoda: Heterakidae) of *Podarcis dugesii* (Reptilia: Lacertidae) from Madeira Island. *Folia Parasitologica*, **38**, 183-186.
- Gupta, V.R. & Yeates, G.W. (1997) Soil microfauna as bioindicators of soil health. In *Biological Indicators of Soil Health* (eds. C.E. Pankhurst, B.M. Doube & V.R. Gupta), pp. 201-234. CAB International, Oxon.
- Lambshead, J. (1993) Recent developments in marine benthic biodiversity research. *Oceanis*, **19**, 5-24.
- Macara, A.M. (1988) Nematodos asociados a plantas forestales en Portugal. *Boletín de Sanidad Vegetal – Plagas*, **14**, 185-225.
- Macara, A.M. (1994) Nematofauna associada a plantas florestais em Portugal (no período de 1987-1992). *Revista de Ciências Agrárias*, **17**, 77-126.
- Mamiya, Y. (2004) Pine wilt disease in Japan. In *The pinewood nematode, Bursaphelenchus xylophilus. Nematology Monographs and Perspectives, Volume 1* (eds. M. Mota & P. Vieira), pp. 9-20. E.J. Brill, Leiden, The Netherlands.
- Mota, M.M., Braasch, H., Bravo, M.A., Penas, A.C., Burgermeister, W., Metge, K. & Sousa, E. (1999) First report of *Bursaphelenchus xylophilus* in Portugal and in Europe. *Nematology*, **1**, 727-734.
- Sturhan, D. (1973) Leaf and stem nematodes in the Azores, Madeira and the Canary islands. *Agronomia Lusitanica*, **35**, 21-26.
- Suzuki, K. (2002) Pine wilt disease – a threat to pine forest in Europe. *Dendrobiology*, **48**, 71-74.
- Valladares, B. & Pou, C. (2004) Platyhelminthes, Nematoda. In *Lista de Especies Silvestres de Canarias (hongos, plantas y animales terrestres)*. (eds. I. Izquierdo, J.L. Martín, N. Zurita & M. Arechavaleta), pp. 145-148. Consejería de Política Territorial y Medio Ambiente, Gobierno de Canarias, Santa Cruz de Tenerife.
- Yeates, G.W., Bongers, T., Goede, R.G.M., Freckman, D.W. & Georgieva, S.S. (1993) Feeding habits in soil nematode families and genera – an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology*, **25**, 315-331.