

“Estudo paleoclimático e paleobotânico de Angra do Heroísmo a partir dos fósseis incorporados nas cinzas vulcânicas do Monte Brasil”

Dissertação de Mestrado

Pedro Leandro Alves Soares Machado

Mestrado em

Gestão e Conservação da Natureza

UNIVERSIDADE DOS AÇORES
Faculdade de Ciências Agrárias e
do Ambiente

Rua Capitão João d'Ávila
9700-042 Angra do Heroísmo
Açores, Portugal



DM

“Estudo paleoclimático e paleobotânico a partir dos fósseis do M. Brasil”

Pedro Leandro Alves Soares Machado

“Estudo paleoclimático e paleobotânico de Angra do Heroísmo a partir dos fósseis incorporados nas cinzas vulcânicas do Monte Brasil”

Tese de Mestrado

Pedro Leandro Alves Soares Machado

Orientadores

Professor Doutor António Félix Flores Rodrigues

Professor Doutor Eduardo Manuel Ferreira Dias

Tese de Mestrado submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Gestão e Conservação da Natureza



"Se queres prever o futuro, estuda o passado."

Confúcio

Agradecimentos

São algumas as pessoas a quem tenho que agradecer o ter conseguido concretizar esta dissertação. Correndo o risco de me esquecer de alguém, o que a acontecer peço desde já desculpa, aqui vai...

Aos meus orientadores, Professor Doutor António Félix Rodrigues e Eduardo Dias Ferreira, um sentido agradecimento pela sua disponibilidade, acompanhamento, atenção e dedicação ao longo desta dissertação, muitas vezes determinante nas etapas mais difíceis, bem como pela sua sincera amizade;

A todos os meus professores que me acompanharam ao longo da minha formação na Universidade dos Açores;

Ao Presidente da Câmara Municipal de Angra do Heroísmo, Professor Doutor Álvaro Meneses, por conceder a autorização da recolha dos fósseis;

À minha colega de turma, Alejandra Ros-prieto, pela ajuda na recolha dos fósseis;

Ao Mestre Mauro Ponte, por ter disponibilizado a sua colecção de fitofósseis, que se tornaram numa mais-valia para este trabalho;

À minha Família pelo amor e apoio em todas as etapas da minha vida, em especial aos meus pais;

A todos os amigos mais próximos, em especial o Anselmo Falcão e Carina Álvaro, que delicadamente e sem queixume me ouviram falar em trabalhos e testes e me ajudaram a tornar os dias melhores;

A todos os meus colegas de turma, que sempre me acompanharam ao longo desta jornada, pela amizade e disponibilidade em facultar os apontamentos das aulas perdidas, ao longo de todo o curso;

Por fim, o um agradecimento muito especial à minha fantástica esposa Marta, pelo seu amor incondicional. Por todo o apoio e disponibilidade demonstrada, ao longo do meu percurso académico, bem como pelo seu companheirismo e paciência para comigo.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XIII
RESUMO	XIV
ABSTRACT	XV
1. Introdução.....	1
1.1 Breve Introdução à Paleontologia	1
1.2 Tipos de fossilização.....	3
1.3 Fitósseis nos Açores e na Macaronésia.....	5
1.4 Perspetivas paleobotânicas e paleoclimáticas nos Açores	10
1.5 Fitófosséis Identificados nos Açores ou Registos paleobotânicos identificados nos Açores	19
1.6 Paleontologia Importância Turística e Científica	22
2. Objetivos.....	25
3. Caraterização da Área de Estudo	27
3.1 Enquadramento Geográfico e Geodinâmico	27
3.2 Breve caraterização Geológica e Geomorfológica da Ilha Terceira	28
3.3 Variações Temporais da Geomorfologia da Ilha Terceira	36
4. Metodologia	39
4.1 Métodos de recolha de amostras e procedimentos laboratoriais	39
4.2 Métodos de análise florística.....	46
4.3 Dimensões e Métodos Estatísticos	50
4.4 Parâmetros climáticos: Análise de Margem Foliar (LMA – Leaf Margin Analysis) e Temperatura Média Anual (TMA)	51
5. Resultados	53
5.1 Coleções de Referência.....	53
5.1.1 Análise florística dos fósseis da Baía do Fanal.....	60
5.1.2 Análise florística dos fósseis da Baía de Angra do Heroísmo	88
5.1.3 Análise florística dos fósseis de Santa Luzia.....	90
5.2 Segurança da base de referência	97

5.3 Resultados da Análise de Margem Foliar (LMA – Leaf Margin Analysis) e Temperatura Média Anual (TMA).....	101
6. Discussão.....	106
7. Conclusões.....	115
8. Considerações Finais.....	118
9. Bibliografia.....	122
Anexos.....	140

Índice de Figuras

Figura 1: Mapa de distribuição potencial dos tipos de vegetação zonal natural na ilha Terceira	19
Figura 2: Localização de locais de interesse paleobotânico reportados na bibliografia e a partir de observações de campo na Ilha Terceira	20
Figura 3: Mapa de localização geográfica do Arquipélago dos Açores, apresentado com coordenadas geográficas, datum WGS84	27
Figura 4: Principais acidentes tectónicos que interatuam na região dos Açores	28
Figura 5: Localização e aspeto geral da área de estudo da falésia da baía de Angra do Heroísmo, depois das obras de consolidação	31
Figura 6: Localização e aspeto geral da área de estudo da falésia da baía de Angra do Heroísmo, antes das obras de consolidação	31
Figura 7: Localização e aspeto geral da área de estudo da falésia da baía do Fanal, Angra do Heroísmo	32
Figura 8: Local de recolha do material fóssil em Santa Luzia, Angra do Heroísmo	32
Figura 9: Secção estratigráfica da falésia das Baías do Fanal (a) e Angra do Heroísmo (b), na costa sul da ilha Terceira, mostrando os ignimbritos e outras unidades vulcânicas. Abreviaturas: LAI – Lages-Angra Ignimbrito; LMI – Linhares- Matela Ignimbrito; VFI - Vila Nova – Fanal Ignimbrito; CCI - Caldeira-Castelinho Ignimbrito. Coordenadas UTM a): 481267 E / 4278298 N; b): 480213 E / 4278717 N	35
Figura 10: Reconstrução espaço-temporal da área de superfície da Terceira a partir de 20 000 anos até à atualidade (0 anos). Legenda: a) Extensão da Ilha Terceira à 20 000 anos B.P.; b) à 10 000 anos B.P.; c) 0 anos B.P.	37
Figura 11: Formas da Ilha Terceira ao longo do tempo. O contorno vermelho corresponde à superfície da Terceira há 120 000 anos B.P., o contorno laranja há 60 000 anos B.P., o verde-claro há 20 000 anos B.P. e o atual litoral em verde-escuro	38
Figura 12: Tronco de árvore de grande porte que existiu num bloco ignimbrítico na Baía do Fanal	38

Figura 13: processo de silificação artificial recriado em laboratório: a) solução coloidal de sílica-gel obtida; b) recriação do processo de silificação numa amostra de tufo vulcânico do Monte Brasil.....	42
Figura 14: processo artificial de piritização recriado em laboratório: a) precipitado coloidal de coloração branco-acastanhado; b) recriação do processo de piritização numa amostra de tufo vulcânico do Monte Brasil	42
Figura 15: Fóssil BF1: Fragmento de fóssil conforme a espécie <i>Dracaena draco</i> draco e folha atual da mesma	61
Figura 16: Fóssil BF2. Legenda: a) Folha de <i>Laurus azorica</i> ; b) Folha de <i>Ocotea foetens</i> ; c) e e) Folha de <i>Viburnum treleasei</i> ; d) e f) Exemplar fóssil conforme a espécie <i>Viburnum treleasei</i> ; nervação pimária e nervação secundária broquidódroma	62
Figura 17: Fóssil BF3. Legenda: a) Nervura primária, nervuras secundárias e domáceas (ver onde apontam as setas); b) Nervuras terciárias e quaternárias; c) Domáceas da folha de <i>Laurus azorica</i> ; d) Domáceas fóssil de <i>Laurus azorica</i>	64
Figura 18: Fóssil BF3. Legenda: a) e c) Fóssil BF3 numa perpectiva ampliada; b) Perspetiva de folha de <i>Laurus azorica</i> ; d) Ampliação de folha de <i>Laurus azorica</i>	64
Figura 19: Fóssil BF4. Legenda: a) Fragmento de fóssil conforme a espécie <i>Viburnum treleasei</i> (nervuras secundárias broquidódromas; b) nervuras terciárias; c) Folha de <i>Viburnum treleasei</i> (nervuras secundárias e terciárias)	66
Figura 20: Fóssil BF5. Legenda: a) Fóssil BF5 nervuras secundárias broquidódromas; b) nervuras terciárias e quaternárias; c) Ampliação de folha de <i>Laurus azorica</i> (nervuras terciárias e quaternárias)	67
Figura 21: Fóssil BF6. Legenda: a) pecíolo; b) nervuras secundárias broquidódromas; c) nervuras primárias e secundárias	68
Figura 22: Fóssil BF7. Legenda: a) Nervura primária, nervuras secundárias e inter-secundárias; b) nervuras inter-secundárias; c) Nervuras inter-secundárias e terciárias de folha de <i>Laurus azorica</i>	69
Figura 23: Fóssil BF8. Legenda: a) Fragmento fóssil conforme <i>Laurus azorica</i> ; nervura primária e nervuras secundárias; b) nervuras terciárias e quaternárias; c) e d) Nervuras terciárias e quaternárias de folhas de <i>Laurus azorica</i>	70

Figura 24: Fóssil BF9. Legenda: a) e c) Nervura primária e nervuras secundárias; b) Nervuras terciárias e quaternárias; d) Nervuras terciárias e quaternárias de folha de <i>Laurus azorica</i>	71
Figura 25: Fóssil BF10. Legenda: a) Fragmento fóssil conforme <i>Laurus azorica</i> ; nervuras primárias e secundárias; b) nervuras quaternárias; c) nervuras terciárias.....	72
Figura 26: Fóssil BF11. Legenda: a) Fragmento fóssil conforme <i>Laurus azorica</i> ; domáceas (ver onde apontam as setas) e nervação primária e secundárias; b) nervuras secundárias broquidódromas; c) nervura inter-secundária.....	74
Figura 27: Fóssil BF12: nervura primária e nervuras secundárias de <i>Dicotyledoneae indet.</i>	75
Figura 28: Fóssil BF13: nervura primária e nervuras secundárias de <i>Dicotyledoneae indet.</i>	76
Figura 29: Fóssil BF14. Legenda: a) fragmento fóssil conforme <i>Laurus azorica</i> ; nervura primária, nervuras secundárias e terciárias; b) nervuras terciárias e quaternárias; c) Aproximação das nervuras terciárias e quaternárias de folha de <i>Laurus azórica</i>	77
Figura 30: Fóssil BF15. Legenda: a) Framento fóssil conforme <i>Laurus azorica</i> ; nervura primária e nervuras secundárias; b) domáceas (ver para onde apontam as setas).....	78
Figura 31: Fóssil BF16. Legenda: a) Fragmento fóssil conforme <i>Laurus azorica</i> ; nervura primária e nervuras secundárias; b) nervuras terciárias; c) domáceas.	79
Figura 32: Fóssil BF17. Legenda: a) nervura primária e nervuras secundárias; b) nervuras terciárias; c) nervuras quaternárias	81
Figura 33: Fóssil BF18. Legenda: a) Fragmento fóssil conforme <i>Laurus azorica</i> ; nervura primária e nervuras secundárias; b) domáceas (ver para onde apontam as setas).....	82
Figura 34: Fóssil BF19. Legenda: a) folha atual de <i>Picconia azorica</i> (face abaxial); b) Nervura primária e nervuras secundárias de fragmento de fóssil conforme <i>Picconia azorica</i> ; c) foto aproximada das nervuras secundárias broquidódromas do fóssil	83

Figura 35: Fóssil BF20. Legenda: a) nervura primária de fragmento de fóssil conforme <i>Picconia azorica</i> ; b) Folha atual de <i>Picconia azorica</i> (face abaxial)	83
Figura 36: Fóssil BF21: conforme líquen de espécie indeterminada da família Parmeliaceae. Possíveis rizinas de Parmeliaceae	84
Figura 37: Fóssil BF22: conforme Lauracea. Nervura primária, nervuras secundárias e inter-secundárias	86
Figura 38: BF23. Legenda: a) folha de exemplar fóssil conforme <i>Hedera azorica</i> (nervação primária e secundária), observada no Museu Vulcano-espeleológico de Angra do Heroísmo; b) Folha atual de <i>Hedera azorica</i>	87
Figura 39: Fóssil BAH1. Legenda: a) folha atual da espécie <i>Juniperus brevifolia</i> ; b) fóssil conforme a espécie <i>Juniperus brevifolia</i> ; c) ampliação do fóssil BAH1 (folhas de <i>Juniperus brevifolia</i>)	88
Figura 40: Fóssil BH2. Legenda: a) fóssil conforme <i>Viburnum treleasei</i> ; b) folha atual de <i>Viburnum treleasei</i>	90
Figura 41: Fóssil SL1. Legenda: a) fóssil conforme <i>Morella faya</i> ; b) e c) folha atual de <i>Morella faya</i> (face adaxial e abaxial respetivamente)	91
Figura 42: Fóssil SL2. Legenda: a) exemplar fóssil conforme a espécie <i>Viburnum treleasei</i> ; b): folha atual de <i>Viburnum treleasei</i>	92
Figura 43: Fóssil SL2: ampliação das nervuras secundárias bróquidódromas.	93
Figura 44: Fóssil SL3. Legenda: a) Exemplar fóssil conforme a espécie <i>Polystichum setiferum</i> ; b) aproximação das pínulas do mesmo	94
Figura 45: Comparação do morfotipo SL3 com a espécie <i>Polystichum setiferum</i> : a) Pínula de P. setiferum; b) pormenor da pínula; c: Aproximação da pínula do fóssil SL3	94
Figura 46: Fóssil SL4. Legenda: a) exemplar fóssil conforme a espécie <i>Laurus azorica</i> ; b) detalhe das domáceas (ver onde apontam as setas) e nervura secundária broquidódroma (dentro do círculo); c) Folha atual da espécie <i>Laurus azorica</i>	96
Figura 47: Fóssil SL5: Pínulas de exemplar conforme família Dryopteridaceae	97
Figura 48: Folha fossilizada de <i>Laurus azorica</i> , identificada por Góis-Marques & Sequeira, (2015). Plate II, figura 1)	98

Figura 49: Folhas fossilizadas de Lauráceas, identificadas por Góis-Marques et al., (2018). Figura 7c)	100
Figura 50: Percentagem da composição da flora fóssil estudada por afinidade taxonómica	102
Figura 51: Percentagem da composição da flora fóssil estudada por espécie.	104

Índice de Tabelas

Tabela 1: Resumo da análise florística da macroflora fóssil estudada. Legenda: BF: Baía do Fana; BAH: Baía de Angra do Heroísmo; SL: Santa Luzia102

Tabela 2: Equações baseadas na Análise da Margem Foliar utilizadas para a estimação da temperatura média anual (TMA) da flora fóssil de Angra do Heroísmo. Legenda: a = região demográfica onde foram coletadas as amostras; n = número de locais amostrados; r^2 = coeficiente de determinação; EP = erro padrão do modelo; LMP = proporção de espécies com recortes marginais

.....105

Tabela 3: Estimativa da temperatura média anual (TMA) da flora fóssil de Angra do Heroísmo, com base na Análise da Margem Foliar. Legenda: a = proporção de espécies com recortes marginais; c = temperatura media anual
..... 105

Resumo

Esta tese centrou-se na área da paleoclimatologia e paleontologia (mais precisamente a paleobotânica), na tentativa de perceber como o vulcanismo e o clima são capazes de alterar a paisagem e os ecossistemas.

Possui-se neste momento um conjunto muito vasto de fósseis preservados nas cinzas vulcânicas do Monte Brasil, em Angra do Heroísmo, Terceira, Açores, Portugal, que permitiu encetar um estudo paleobotânico e paleoclimático a nível local. O material fóssil estudado foi proveniente das Baías (Falésias) do Fanal e de Angra do Heroísmo, e de um local em Santa Luzia, propriedade da Associação Espeleológica “Os Montanheiros” e de alguns particulares.

Neste estudo, tentou-se verificar se o padrão geométrico de venação de folhas era suscetível de modelação para que, a partir dos modelos encontrados se pudessem identificar fragmentos de fósseis.

Do grande conjunto de fósseis foliares recolhidos foram selecionados apenas 30 exemplares para estudo, sendo que ainda ficou uma significativa quantidade por analisar.

Numa primeira fase, tentou-se a descrição mais completa possível dos espécimes de modo a identificar todo o material fóssil coletado, através da arquitetura foliar dos espécimes. Numa segunda fase, para auxiliar na identificação dos espécimes, optou-se por elencar um conjunto de parâmetros baseados principalmente nas características biométricas (e.g. ângulo das nervuras secundárias, densidade, entre outras) de folhas de espécies atuais que se assemelhassem aos fósseis analisados.

Da análise florística efetuada resultou a identificação de 30 morfotipos, sendo que 21 dos quais foram identificados conforme (cf.) a espécie. Conforme *Laurus azorica* foram identificados 47%; cf. *Viburnum treleasei* (19%); cf. *Picconia azorica* (9%); cf. *Morella faya* (5%); cf. *Juniperus brevifolia* (5%); cf. *Hedera azorica* (5%); cf. *Polystichum setiferum* (5%); cf. *Dracaena draco* (5%). Dos 7 identificados conforme a família, pode-se dizer que foram de Lauraceae; Parmeliaceae; Dryopteridaceae. Os restantes 2 morfotipos foram atribuídos a folhas dicotiledóneas indeterminadas.

A coloração da superfície de alguns dos fósseis recolhidos, pode ser associada a processos de silicificação e piritização que de acordo com testes laboratoriais realizados, permite admitir a existência de uma zona muito húmida ou encharcada localizada entre Santa Luzia e a Baía do Fanal. Tais resultados apontam para um ambiente também muito distinto do que é hoje o de Angra do Heroísmo.

Perante os cenários paleoambientais obtidos e tendo em conta as diferentes associações observadas de vegetação, podemos inferir que no Quaternário, o local de estudo aparentemente possuía um clima mais frio e mais húmido do que o atual, de baixa altitude, com um tipo de vegetação, aparentemente heterogénea, e provavelmente constituída por mosaicos casuais e com diferentes associações vegetais.

Palavras-chave: fitofósseis; paleobotânica; paleoclima; património; Monte Brasil; Angra do Heroísmo, Ilha Terceira; Açores.

Abstract

This thesis was focus on the area of paleoclimatology and paleontology (more precisely paleobotany) in an attempt to understand how volcanism and climate are capable of altering landscape and ecosystems.

At this moment, there is a very vast set of fossils preserved in the volcanic ash of Monte Brasil, Angra do Heroísmo, Terceira, Azores, Portugal, which allows the beginning of a paleobotanical and paleoclimatic study at the local level. The fossil material to be studied comes from Fanal, Angra do Heroísmo Bays (Cliffs) and from a location in Santa Luzia, owned by the Os Montanheiros Speleological Association and some individuals.

In this study, we tried to verify if the geometric pattern of leaf venation was susceptible to modeling so that, from the models found, fragments of fossils could be identified.

From the vast collection of collected leaf fossils, only 30 specimens were selected, and a large amount remain to be analyzed.

In the first stage, the most complete description of the specimens was attempted to identify all the fossil material collected through the leaf architecture of the specimens. In a second phase, to assist in the identification of the specimens, it was decided to list a set of parameters based mainly on the biometric characteristics (e.g. secondary rib angle, density, among others) of leaves of current species resembling the analyzed fossils.

The floristic analysis resulted in the identification of 30 morphotypes, 21 of which were identified according to the species. According to *Laurus azorica*, 47% were identified; cf. *Viburnum treleasei* (19%); cf. *Picconia azorica* (9%); cf. *Morella faya* (5%); cf. *Juniperus brevifolia* (5%); cf. *Hedera azorica* (5%); cf. *Polystichum setiferum* (5%); cf. *Dracaena draco* (5%). Of the 7 identified according to the family, it can be said that they were Lauraceae; Parmeliaceae; Dryopteridaceae. The remaining 2 morphotypes were attributed to indeterminate dicotyledonous leaves.

The coloring of the surface of some of the collected fossils can be associated with silicification and pyritization processes which, according to laboratory tests carried out, allows to admit the existence of a very wet or waterlogged area located between Santa Luzia and Baía do Fanal. These results point to an environment that is also very different from what Angra do Heroísmo is today.

Given the obtained paleoenvironmental scenario and taking into account the different associations of vegetation observed, we could infer that in the Quaternary, the study site apparently had a colder and more humid climate than the current one, of low altitude, with a vegetation type, apparently heterogeneous, and probably constituted by casual mosaics and with different plant associations.

Key-words: phytofossils; paleobotany; paleoclimate; heritage; Monte Brasil; Angra do Heroísmo; Ilha Terceira; Açores.

1. Introdução

1.1 Breve Introdução à Paleontologia

Esta tese centrou-se na área da paleoclimatologia e paleontologia, na tentativa de perceber como o vulcanismo e o clima são capazes de alterar a paisagem e os ecossistemas.

Para perceber e prever o clima do passado, têm sido realizadas medições diretas de fatores climáticos, como a temperatura e a precipitação, mas tais medições foram obtidas apenas nos dois últimos séculos e não são contínuas e distribuídas geograficamente de modo adequado para modelar climas à escala local. Para reconstruir o clima em escalas temporais mais longas, esses fatores climáticos têm sido medidos indiretamente pelo que se designa na bibliografia da área, por “proxies”, ou indicadores, que são sensíveis aos parâmetros climáticos ou ambientais e preservados nos registos geológicos. Os Registos de “proxys” de sedimentos marinhos têm sido os mais usados, estando conservados em camadas de gelo e têm sido eles que nos têm fornecido a grande base de dados para grande parte da nossa compreensão do clima do passado (Petit *et al.*, 1999; Johnsen *et al.*, 2001; Augustin *et al.*, 2004). Estes arquivos naturais de longo prazo e relativamente contínuos são frequentemente usados como referências para comparação com reconstruções paleoambientais terrestres locais (e.g. Heusser & van de Geer, 1994; Tzedakis *et al.*, 1997). Em ambientes muito diferentes do Ártico ou Antártico tem sido a paleontologia a dar grandes contributos para a modelação do clima à escala local.

A Paleontologia é a ciência que estuda os fósseis, ou seja, estuda os animais e vegetais que viveram no passado, através dos mesmos. A Paleontologia ocupa-se da descrição e da classificação dos fósseis, da evolução e da interação dos seres, essencialmente pré-históricos, com seus antigos ambientes, da distribuição e da datação das rochas portadoras de fósseis, entre outros aspetos (Simões, *et al.*, 2015). É uma ciência recheada de conceitos, inferências e interpretações referentes a eventos geológicos, geográficos e evolutivos do mundo vivo (Almeida *et al.*, 2013).

São consideradas grandes subdivisões da Paleontologia: a Paleozoologia (estudo dos animais fósseis), a Paleobotânica (estudo das plantas fósseis) e a Micropaleontologia (estudo dos microfósseis) (Soares, 2015).

O presente estudo centrou-se sobretudo na perspetiva paleoclimática e paleobotânica. A paleobotânica, num sentido amplo, é a ciência que trata do estudo das plantas fósseis. No sentido estrito, é uma ciência multidisciplinar onde a geologia e a botânica têm um papel preponderante na análise e obtenção de informação do registo fóssil vegetal ao longo do tempo geológico (Ward, 1885; Arnold, 1947; Taylor *et al.*, 2009; Góis-Marques, 2013).

Segundo Taylor *et al.*, (2009), os principais objetivos desta ciência são: a reconstrução das plantas fósseis, devido ao facto dos registos fósseis serem geralmente fragmentados ou constituídos por órgãos isolados (e.g. folhas, raízes, caules); compreensão das estratégias evolutivas das plantas fósseis e das suas relações com as plantas atuais; descrição da morfologia e anatomia dos grupos vegetais ao longo do tempo; uso dos fósseis na correlação bioestratigráfica; reconstrução das comunidades vegetais ao longo do tempo contribuindo para os estudos paleoecológicos; e, finalmente, a interpretação do paleoclima, através da análise de características morfológicas e da sua comparação com plantas similares atuais.

Embora pouco frequentes, afloramentos contendo fósseis de *taxa* terrestres em ilhas oceânicas têm um excelente potencial para preservar informações sobre paleobiodiversidade e comunidades paleontológicas da ilha que podem servir como referência para reconstruções paleoclimáticas bem como estimar evolução ou extinção de *taxas* (e.g. Anderson *et al.*, 2009; Fernández-Palacios *et al.*, 2011; Góis-Marques *et al.*, 2018, 2019a,b).

Possui-se neste momento um conjunto muito vasto de fósseis de *taxa* terrestres preservados nas cinzas vulcânicas do Monte Brasil, Angra do Heroísmo, Terceira, Açores, Portugal, que permite encetar um estudo paleobotânico e paleoclimático a nível local. Essa oportunidade surgiu recentemente, aquando de um movimento de vertente ocorrido na Baía do Fanal, em Angra do Heroísmo, no dia 2 de maio de 2018.

Dada a natureza desses fósseis e o tipo de fenómeno que os originou interessa perceber as diferenças que existem entre diversos tipos de fossilização.

1.2 Tipos de fossilização

Os restos dos fósseis vegetais podem ser classificados em dois tipos: macro e microfósseis. De forma geral, pode-se dizer que o primeiro tipo é caracterizado por restos ou vestígios de estruturas vegetais macroscópicas, ou seja, visíveis a olho nu, tais como as folhas, os ramos, os lenhos, as sementes, as flores e os frutos, entre outras. O último conjunto (microfósseis) é caracterizado por estruturas microscópicas como grãos-de-pólen, esporos, cutículas, etc., cuja visualização depende de dispositivos de magnificação ou amplificação como os microscópios e as lupas (Marques-de-Souza, 2015).

Segundo Marques-de-Souza (2015), a preservação de restos vegetais, assim como de outros organismos, depende da sua resistência à decomposição, ao transporte de sedimentos e a fatores físicos e químicos associados à transformação desse organismo num fóssil (fossilização).

Organismos que possuem partes biomineralizadas por carbonatos, fosfatos e silicatos ou constituídos por materiais orgânicos resistentes, como a quitina e a celulose têm mais hipóteses de serem preservados. Embora também possam ocorrer no registo geológico muitas preservações excecionais de partes moles (Cassab, 2004). Numa análise exploratória realizada aos fósseis recolhidos na Baía do Fanal em 2018, e a outros recolhidos na arriba da marginal de Angra do Heroísmo, pelo Professor Félix Rodrigues, aquando da consolidação dessa arriba, em 2002, pode-se afirmar que existem organismos fossilizados em silicatos e quitina conservada, não se tendo observados fósseis em carbonatos e fosfatos.

A fossilização é um processo lento e complexo, em que estão envolvidos fatores físicos, como temperatura e pressão; fatores químicos, como o tipo de elementos químicos presentes nos sedimentos; biológicos com a ação de seres decompositores sobre o organismo; e também vulcânicos, através das erupções que permitem encapsular seres vivos em cinzas vulcânicas (Cassab,

2004). Posto isto, os fósseis podem preservar-se de diferentes modos e serem divididos em restos e vestígios. Os restos equivalem-se aos fósseis corporais, e os vestígios, a estruturas biogénicas associadas à morfologia ou ao comportamento do organismo.

Nos fósseis estão preservadas partes duras de animais, como conchas, dentes, ossos e carapaças, e normalmente, com uma composição rica em carbonatos e fosfatos. Também são preservados pólenes, sementes, caules e troncos, provenientes de vegetais; ou partes moles, como órgãos, pele, músculos, ou até mesmo um animal inteiro (Vega *et al.*, 2015).

De acordo com Schopf, (1975) e Taylor, (2009), os principais modos de fossilização dos restos de vegetais são:

- Permineralização celular: que consiste na infiltração e permeação inicial dos restos vegetais por águas saturadas de minerais, com posterior precipitação intracelular e intercelular de matéria mineral coloidal ou microcristalina;
- Petrificação: que consiste na lixiviação da matéria orgânica sendo totalmente substituída por compostos minerais, permitindo a preservação de detalhes anatómicos dos tecidos vegetais;
- Compressão carbonificada: que ocorre quando os restos vegetais não mineralizados são depositados e soterrados. Neste processo, as suas paredes celulósicas amolecem e os lúmenes celulares colapsam. O resultado é uma fina camada bidimensional “incarbonizada”, onde fica preservado o contorno original do órgão. Deste processo resulta apenas uma impressão sobre a rocha dos detalhes superficiais dos restos vegetais originalmente soterrados, dando origem aos fósseis denominados de impressões. Neste tipo de fósseis poderá ocorrer a preservação da cutícula (situação semelhante à dos fósseis do Monte Brasil);
- Cimentação externa: ocorre quando os restos são sedimentados por compostos de ferro ou carbonatos, preservando em três dimensões a configuração superficial das partes orgânicas e as suas características internas, mas a maioria dos tecidos, são degradados;

- Preservação durapátrica: ocorre após o soterramento, quando algumas porções inorgânicas dos vegetais podem preservar-se devido à sua resistência à oxidação e alterações físico-químicas que ocorrem nos sedimentos ao longo da sua diagénese;
- Mumificações: são fósseis quase sem alterações dos tecidos devido à presença dos envoltórios externos e redução da atividade microbiana local (e.g. em ambientes ácidos);
- Moldes e contramoldes: ocorrem quando um fragmento depois de sepultado, não resiste à decomposição, deixando assim um espaço vazio. Neste caso, à cavidade formada dá-se o nome de molde. Pode acontecer que o molde seja preenchido por sedimentos minerais ou por uma combinação de ambos os processos, formando-se assim um contramolde.

No que concerne aos tipos de fossilização encontrados nos Açores incluem-se somatofósseis (fósseis de restos somáticos), preservados como impressões, compressões, adpressões (associações fossilíferas compostas por dicotiledóneas, fungos, algas e pteridófitas), permineralizações, moldes de árvores em lava e mumificações (Góis-Marques *et al.*, 2018).

Neste trabalho, suspeitou-se da existência de processos de cimentação externa de restos sedimentados por compostos de ferro ou sílica amorfa, pelo que foram realizados testes laboratoriais capazes de fundamentar esta hipótese.

1.3 Fitósseis nos Açores e na Macaronésia

As ilhas oceânicas, dado o seu potencial para a observação e estudo da evolução, ecologia e biogeografia, são consideradas excelentes laboratórios biológicos naturais. Previsivelmente, a evolução das ilhas também promove a interação das componentes geológicas e biológicas, implicando, em última análise, que as biotas oceânicas das ilhas estão expostas a processos tafonómicos (estudo de organismos em decomposição ao longo do tempo) que podem levar à sua preservação como fósseis (Góis-Marques *et al.*, 2018).

Em termos gerais, pode-se afirmar que as floras fósseis das ilhas vulcânicas da Macaronésia são até agora praticamente inexploradas (Anderson *et al.*, 2009). No entanto, tal não se deve à ausência de registos fósseis porque restos de plantas fossilizadas têm sido relatados em várias ilhas da Macaronésia, como de seguida se tentará demonstrar.

Seguem-se alguns exemplos de estudos de fósseis realizados no arquipélago das Canárias, mais precisamente nas ilhas de Tenerife, Fuerteventura e La Palma.

Tenerife dispõe de uma numerosa quantidade de horizontes fósseis de plantas associados a paleossolos do Pleistoceno, desenvolvidos sobre os ignimbritos extracaldeira em Las Cañadas (e.g., Huertas *et al.*, 2002; Brown *et al.*, 2003; Brown & Branney, 2004; Pittari *et al.*, 2006; Edgar *et al.*, 2007; Anderson *et al.*, 2009). Esses fósseis constam de fungos de plantas e fragmentos menos comuns de plantas carbonizadas que ocorrem dentro de depósitos piroclásticos datados isotopicamente no intervalo de tempo entre 1.69 Ma (Huertas *et al.*, 2002; Anderson *et al.*, 2009) e 0,19 Ma (Pittari *et al.*, 2006; Anderson *et al.*, 2009).

Segundo Zarza *et al.*, (2008), os sistemas de dunas do Plioceno, mais predominantemente do Pleistoceno, de muitas ilhas das Canárias, têm evidências de vegetação e fauna anteriores contidas em paleossolos e calcretes (acumulações secundárias de carbonato de cálcio). Em Fuerteventura, um sistema de dunas fossilizadas (com cerca de 2,7 milhões de anos) contém fósseis de pupas de *Hymenoptera* e uma multiplicidade de raízes de plantas (Meco Cabrera *et al.*, 2005; Anderson *et al.*, 2009). Em La Palma, no depósito de delta de El Time, associado à destruição dos flancos do vulcão Bejenado, provisoriamente datado como tendo 0,4-0,37 Ma, encontram-se moldes de árvores sub-horizontais (Roa, 2003; Anderson *et al.*, 2009).

Quanto ao arquipélago da Madeira, são conhecidas várias jazidas de fósseis contendo macrorrestos vegetais, que têm sido descritas desde o séc. XIX até à atualidade. Encontramos fósseis de rizólitos nas dunas da Piedade (Caniçal), na jazida de S. Jorge (Santana), na jazida de Porto da Cruz e na jazida do Paul da Serra. Outras jazidas mencionadas como podendo ser ricas em fósseis

situar-se-iam no Funchal (Pontinha e Praia Formosa), em Câmara de Lobos (sítio do Convento) e Porto Moniz (sítio da Lagoa). Para alguns dos locais acima mencionados são conhecidos alguns estudos paleobotânicos de referência como é o caso dos antigos trabalhos de Heer (1857) e Bunbury (1859).

Relativamente aos fósseis da Madeira, Hoswald Heer demonstra não só existir grande similitude entre os registos fósseis e a flora atual da ilha, mas também uma grande semelhança entre os géneros extintos no continente europeu e os géneros atuais viventes, numa tentativa de provar que as ilhas teriam estado ligadas ao continente e numa alusão clara à mítica lenda da Atlântida. A coleção que deu origem a essa publicação está atualmente depositada no Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, na Suíça (Góis-Marques *et. al.*, 2016).

Tanto na Madeira como nos Açores, nota-se uma preocupação dos investigadores portugueses com a não valorização deste tipo de património natural que pode levar a que este seja completamente delapidado e o seu estudo tenha que ser feito fora do local de origem. Essa preocupação resulta certamente da existência de um número muito reduzido de exemplares contrariamente ao que se encontra noutros locais. Muito facilmente se perdem exemplares. Isso torna-se claro no exemplo que se segue.

Quanto ao trabalho realizado por Charles Bunbury, o autor compara duas coleções de fósseis, a de Heer com a de Lyell.

Bunbury analisa 140 exemplares, encontrando 11 espécies que não estavam presentes na coleção de Heer. Atualmente, a coleção de Lyell encontra-se reduzida a menos de 40 espécimes, estando depositada em duas instituições britânicas: no Natural History Museum (Londres) e no Sedgwick Museum of Earth Sciences (Universidade de Cambridge) (Góis-Marques *et al.*, 2018). Mais uma vez se verifica uma perda de património quer por falta de conhecimento científico ou por falta de legislação. No caso em apreço e dada a época em que os dois estudos que aqui se mencionam ocorreram, essa perda resulta claramente de “ignorância científica”.

Já em pleno século XXI, destacam-se os trabalhos desenvolvidos, também no âmbito da paleobotânica, de Góis-Marques *et al.*, 2014, 2016 e 2018. Tais trabalhos têm por objetivo rever alguns aspetos históricos dos trabalhos paleobotânicos na Madeira e localizar, inventariar e rever as macrofloras de S. Jorge e de Porto da Cruz. Não houve identificação de espécies novas nesses trabalhos, sendo eles muito descritivos.

No que diz respeito ao arquipélago dos Açores, o vulcanismo explosivo que aqui ocorre, e especialmente os produtos das erupções subplinianas, promovem a preservação de um notável, mas ainda não devidamente estudado, registo macrofóssil de plantas.

Os registos paleobotânicos (fitofósseis) do arquipélago dos Açores são pouco conhecidos e compreendidos, mesmo historicamente. A referência mais antiga encontrada para as ilhas dos Açores e Macaronésia, embora ainda pré-científica, é feita por Gaspar Frutuoso (1590a) aludindo a troncos mumificados de *Taxus baccata*, enterrados na ilha do Pico. No entanto relatos sobre a presença de fitofósseis, principalmente de macrofósseis (folhas, troncos, galhos e raízes) e mesofósseis (por exemplo, pequenos frutos, sementes e flores) e mais recentemente, microfósseis (pólenes e esporos), neste arquipélago, são abundantes e continuamente relatados desde o início do século XIX (Góis-Marques & Sequeira, 2015). Segundo Diniz (1962), a primeira referência a fósseis de folhas nas ilhas dos Açores surge na correspondência entre Arruda Furtado e Darwin, também no mesmo século. De acordo com Góis-Marques & Sequeira (2015) outros trabalhos relatam a presença de troncos de gimnospérmicas enterradas em depósitos piroclásticos (e.g. Webster, 1821; Boid, 1835; Drouët, 1857; Hartung, 1860; Guppy, 1917). Foi relatada a presença de macrofósseis de plantas em seis ilhas dos Açores (Faial, Pico, Terceira, S. Miguel, S. Jorge e Santa Maria), correspondendo a vários leitos fósseis datados do Pli-Pleistoceno ou muito mais recentes (Góis-Marques *et al.*, 2016), embora estes nunca tenham sido estudados com grande detalhe, com exceção para os fósseis marinhos de Santa Maria. A maioria deles não tem uma descrição formal, ou são relatados como materiais encontrados aquando de tentativas de datação por ^{14}C (carbono 14) e sem um repositório de coleções apropriado (Góis-Marques *et al.*, 2018).

Sem menção em publicações científicas, uma das peças mais interessantes da colecção de História Natural do Museu Carlos Machado é um galho de cedro-do-mato (identificado como *Juniperus brevifolia*) que foi encontrado durante a escavação do túnel das Sete Cidades, mais precisamente à distância de 133 m da sua abertura Leste (Museu Carlos Machado, 2019).

De acordo com o conteúdo da página oficial deste museu, a construção do túnel das Sete Cidades iniciou-se a 1 de outubro de 1930, cujo projeto foi da responsabilidade do Eng. Francisco Xavier Vaz Pacheco de Castro, e destinava-se a fixar o nível máximo da água da lagoa. Desta forma, procurava-se resolver o problema das cheias que, por diversas vezes, inundaram as Sete Cidades.

A Secção de Geologia e Mineralogia do Museu Carlos Machado, então dirigida pelo Eng. Francisco Pacheco de Castro, enviou o galho de cedro para o Laboratório Geofísico da Mobil, em Dallas, Texas (EUA), a fim de ser datado por Carbono 14. A idade obtida, em 6 de Junho de 1965, foi de 4167 anos, com um erro de 230 anos.

Para comemorar esta interessante descoberta, foi executado um painel de azulejos que representa a Caldeira das Sete Cidades e que conta a história do galho do cedro.

Dito como tendo uma idade semelhante à do cedro do mato das Sete Cidades, o Observatório Vulcanológico e Geotérmico dos Açores diz ter um exemplar de *Laurus azorica* que corresponde a uma bela amostra de impressão foliar, em tufo hialoclastítico, acastanhado, que deu entrada nas coleções expostas no OVGA, após recolha do espeleólogo Fernando Pereira (OVGA, 2019).

Afirma ainda essa instituição que “essas impressões foliares surgiram na abertura dos caboucos de um novo edifício na zona da Rocha e testemunham a flora primitiva da costa sul da Terceira, há cerca de 4 mil anos”. Tem-se dúvidas quanto a essa datação, a erupção do vulcão que originou o Monte Brasil ocorreu há mais de 20.000 anos, com grandes explosões e nuvens ardentes por todos os lados (Rodrigues, 2009).

Rodrigues (2009) refere que o primeiro cientista a mencionar os fósseis vulcânicos do Monte Brasil foi o Tenente-coronel José Agostinho, e que alguns dos exemplares que encontrou fazem parte do espólio d' "Os Montanheiros".

1.4 Perspetivas paleobotânicas e paleoclimáticas nos Açores

De acordo com Góis-Marques & Sequeira (2015), há na generalidade uma falta de estudos, na perspetiva paleobotânica, nos Açores. Além dessa falta de estudos paleobotânicos, a dispersão da bibliografia relevante por campos distintos do conhecimento, como a geologia e botânica, e a barreira linguística, uma vez que esses relatórios são escritos em quatro idiomas distintos (inglês, francês, português e alemão), torna o acesso à bibliografia ou informação difícil (Góis-Marques *et al.*, 2018).

Também no Arquipélago açoriano, Connor *et al.*, (2012) concluíram outro estudo paleoecológico onde usam o pólen como "proxy", em três camadas de sedimentos, da Lagoa do Caveiro, e de um pântano, na ilha do Pico, e de sedimentos da Lagoa Rasa na ilha das Flores, conseguiram fazer uma reconstrução temporal ecológica da vegetação dessas ilhas nos últimos 6000 anos.

Pode-se de facto afirmar que falta de estudos paleobotânicos nos Açores é uma evidência, no entanto os trabalhos sobre o paleoclima, envolvendo fitofósseis são ainda mais escassos.

No que concerne aos estudos paleoclimáticos ou paleoecológicos nos Açores, há que referir o recente estudo de Rull *et al.*, (2017), onde os autores usaram o pólen retido em sedimentos da Lagoa Azul das Sete Cidades como "proxy" climático. Este estudo apresenta o conteúdo palinológico de várias camadas de sedimentos extraídos da Lagoa Azul (Caldeira das Sete Cidades), ilha de São Miguel, registando 700 anos de mudanças ecológicas. Marginalmente, e tendo por base os resultados inesperados da presença de pólen de centeio numa das camadas mais antigas de sedimentos da Lagoa, a que os autores associaram a fungos que se desenvolvem apenas nas fezes de ruminantes, lançam a

hipótese de que São Miguel possa ter sido colonizado 150 anos antes do estabelecimento oficial português.

Há ainda a destacar, mas neste caso, utilizaram-se fósseis de gastrópodes como “proxy” paleoclimático (Ávila *et al.*, 2016), onde os autores relatam a ocorrência de *Persististrombus coronatus* a partir do Plioceno Inferior, na Ilha de Santa Maria, no Arquipélago dos Açores. Com base nesta ocorrência, e no registo fóssil Mio-Plioceno das ilhas oceânicas do Atlântico NE, os autores tecem considerações paleoclimáticas que permitem, pela primeira vez, incluir os Açores e as outras ilhas Macaronésicas num contexto mais vasto das províncias paleobiogeográficas de moluscos do Atlântico NE, ou seja, usam fósseis dos Açores para prever os habitats do passado.

Recentemente, outros autores efetuaram um conjunto de estudos exploratórios que revelaram uma enorme quantidade de afloramentos vulcânicos contendo folhas fósseis bem preservadas e carvão vegetal disponíveis no Faial e na Terceira (Góis-Marques *et al.*, 2019c).

Julga-se ser muito relevante a realização deste tipo de estudos nos Açores, pois poderão ajudar-nos a esclarecer questões importantes relativas ao impacto antropogénico na vegetação nativa das ilhas e agricultura (início, tipo, plantas cultivadas, etc.) e a questões do tipo: Como se efetuou a introdução de novas espécies? Como ocorreu ao longo do tempo a recolha e utilização de plantas silvestres? Quais foram as taxas de desflorestação e a reflorestação, das ilhas? Como avançaram ou regrediram as áreas de pastagens? Essas são algumas questões entre muitas outras que poderiam ser levantadas, num estudo paleoclimático.

Os trabalhos paleoclimáticos e paleoecológicos em ilhas têm-se revelado cada vez mais trabalhos interdisciplinares, permitindo por exemplo reconstruir as paisagens do passado na sua dimensão antropológica, natural, ecológica ou climática.

Um excelente ambiente paleobotânico, capaz de produzir muita informação pertinente acerca da temática que se tem vindo a abordar, é a Baía do Fanal, localizada dentro da cidade de Angra do Heroísmo, na ilha Terceira. O reconhecimento da importância deste local é mesmo destacado, como um

ícone ambiental da cidade, no sítio eletrónico da Câmara Municipal de Angra do Heroísmo (Rodrigues, 2009 e Góis-Marques *et al.*, 2019). Lima *et al.*, (2014) destaca o Monte Brasil, e por conseguinte a Baía do Fanal, como sendo um local de relevância nacional, que incorpora uma conjunto de categorias geomorfológicas e vulcanológicas bastante diversas, tais como falésias, cones de tufo surtseiano, depósitos fossilíferos, entre outros. Os autores classificam-no como um local de grande interesse científico (e.g. paleontológico, geomorfológico), pedagógico (e.g. história e cultura) e geoturístico.

A Baía do Fanal, devido à sua natureza vulcanológica e importância paleontológica, juntamente com o cone do Monte Brasil, é mesmo mapeada como geosítio, tendo mesmo passado a ser incluída no Geoparque dos Açores (Nunes *et al.*, 2011). O Geoparque dos Açores, em 2013, passou a ser incluído nas Redes Europeia e Global de Geoparques, e a partir de 2015, passou a ser parte integrante do Geoparque Global da UNESCO (Lima *et al.*, 2018).

Posto isto, e tal como referido anteriormente, ocorreu recentemente um movimento de vertente na Baía do Fanal. Simultaneamente, nesse mesmo local, estava planeado um projeto de requalificação dessa Baía. O movimento de vertente acelerou esse processo de requalificação pelo perigo que a instabilidade da falésia constituía para os transeuntes e automobilistas que circulavam na Avenida Tenente Coronel José Agostinho. Tal conjugação de fatores abriu uma janela de oportunidade para uma recolha muito rápida de fósseis contidos nos detritos do movimento de vertente que permitiram a elaboração de um estudo paleobotânico e paleoclimático na ilha Terceira.

No entanto, uma parte significativa da área da Baía de Fanal, assim como grande parte dos seus fósseis que se encontravam entre o tufo derrubado, foram perdidos, não só pela urgência de intervenção no local como também pelo risco físico que estava associado à recolha dos mesmos.

É sabido há já algumas décadas, através de um breve levantamento efetuado na falésia da Baía do Fanal (Oeste de Angra do Heroísmo) e na falésia da Baía de Angra do Heroísmo (a Leste), embora este último num período anterior ao primeiro, que existem duas camadas com fósseis foliares na cidade, conforme descreve Zbyszewski *et al.*, (1971). Essas impressões foliares estão

claramente associadas ao tufo do Monte Brasil (Agostinho, 1949; Góis-Marques *et al.*, 2018), quer na forma de compressões foliares como de adições associadas a um tufo de cinza mais antigo. Estes dois níveis de fosseis estão relacionados com os depósitos de ignimbritos descritos por Gertisser *et al.*, (2010) e com a erupção surtseiana mais recente do Monte Brasil (ainda que sem data precisa, mas entre 19 000 a 23 000 anos atrás).

A erupção supramencionada originou um conjunto de explosões violentas e formação de nuvens ardentes (sendo que estas últimas podem ter-se formado numa erupção explosiva em contacto com água), compostas por uma mistura quente de gases e material sólido que se desloca a elevadas velocidades. É frequente, nas erupções vulcânicas mais violentas, a formação de uma mistura de materiais sólidos incandescentes de dimensões variadas (cinzas, bagacina, bombas e blocos), bem como de gases a elevadas temperaturas (cerca de 1000° C) (Rodrigues, 2009).

Este fenómeno, à semelhança de Pompeia, salvo as devidas diferenças, provocou a fossilização da flora então existente nas baías de Angra e do Fanal. Contém provavelmente árvores de *Laurus azorica*, bem como heras endémicas (*Hedera azorica*), inclusivamente plantas herbáceas do Terciário, provavelmente extintas neste momento. Esses fósseis vulcânicos assumem particular importância na medida em que representam a flora de ilhas ainda não ocupadas por mamíferos (Rodrigues, 2009). O estudo destes fósseis permitir-nos-á perceber o real impacto antropogénico, o tipo de clima e o tipo de vegetação existente em ilhas virgens ou espaços ainda não intervencionados (Rodrigues, 2009).

Usando os fósseis recolhidos em Angra do Heroísmo, pode-se encetar um estudo paleobotânico e paleoclimático da cidade, podendo-se também, no caso da identificação inequívoca das espécies, utilizá-las como complemento de outros “proxys” biológicos, como pólenes ou de fósseis de insetos que eventualmente possam estar associados aos fitofósseis. Em paleoecologia, a presença de insetos num dado ambiente pode ser estudada por diversas metodologias. Uma das mais utilizadas consta da observação das interações plantas-insetos presentes em padrões produzidos por insetos em fósseis de plantas (herbivoria). Plantas danificadas por insetos também são uma ótima

forma de interpretar e avaliar o meio ambiente. Os fósseis de plantas são capazes de fornecer informações sobre o ambiente circundante tendo por base o padrão alimentar dos insetos numa determinada planta, através da qual os mesmos podem ser identificados (Labandeira, 2013).

Os insetos geralmente estão adaptados a condições ambientais muito específicas (Triplehorn & Johnson, 2005; Holden *et al.*, 2017), consequentemente, insetos ambientalmente sensíveis podem fornecer informações úteis sobre as condições ecológicas locais (Elias, 1994, 2010; Coope, 2004, 2009; Holden *et al.*, 2017).

Pokorný & Pongrácová (2018) referem que as interações plantas-animais são uma área do conhecimento que está a evoluir muito rapidamente nas ciências paleontológicas. O tipo de conhecimento aí gerado é fundamental para a reconstrução de sistemas paleoecológicos e também dá uma contribuição significativa à biologia evolutiva. No entanto, referem esses autores que é necessária uma abordagem terminológica apropriada para a interpretação correta de dados, ou seja, deve-se evitar uma combinação de diferentes critérios de classificação de modo a impedir correlações que não sejam claras do ponto de vista interpretativo. Para eles, a opção metodológica menos correta para estudar a interação insetos-plantas a partir de fósseis é a estritamente entomológica, pois tais interações resultam de métodos neontológicos. Pretendia-se à partida, neste trabalho, tentar identificar algumas espécies de insetos a partir das suas partes que estão presentes junto aos fósseis, bem como alguns possíveis padrões de herbivoria. Tal revelou-se complexo, porque teríamos que entrar na área da neontologia.

A neontologia é um método biológico que contrariamente à paleontologia, estuda os organismos vivos, focando-se nos organismos do holoceno. Assim sendo, essa área do conhecimento admite que os comportamentos das espécies atuais são idênticos ao das mesmas espécies no passado.

Os fósseis de espécies de insetos existentes, cujas faixas de temperatura estão bem documentadas, podem fornecer restrições quantitativas para as paleotemperaturas de verão e inverno (Elias, 1994, 2010; Coope, 2004, 2009; Holden *et al.*, 2017). O uso de insetos como “proxy” paleoclimático,

contrariamente à neontologia, é uma técnica solidamente estabelecida (Coope, 2004, 2009; Elias, 2010; Brooks & Langdon, 2014; Holden *et al.*, 2017).

A erupção do vulcão do Monte Brasil teve um enorme impacto na alteração da paisagem das duas baías de Angra, mas, não é comparável à ação humana nesse lugar (Connor *et al.*, 2012). Esses autores afirmam que as atividades humanas nos Açores superaram todos fatores naturais, mesmo os que se possam associar as mudanças climáticas ou eventos vulcânicos, como motores da alteração de vegetação no Arquipélago.

A colonização humana dos Açores resultou em mudanças de vegetação rápidas generalizadas e persistentes numa escala sem precedentes, especialmente nos últimos 40 anos, detetáveis através do declínio de árvores dominantes, da propagação de gramíneas e espécies tolerantes ao fogo, à introdução de plantas exóticas (as principais evidências são o pastoreio e o uso do fogo), e mudanças na disponibilidade de solos (Flenley *et al.*, 1991; Kirch, 1996; McGlone & Wilmschurst, 1999; Mann *et al.*, 2008; McWethy *et al.*, 2009; Prebble & Wilmschurst, 2009; Connor, 2012).

Calcula-se que mais do que 95% da vegetação natural açoriana foi devastada ao longo dos 600 anos de colonização (Triantis *et al.*, 2010). Exemplos relatados de extinções locais de plantas nos Açores são escassos mas conhecidos em algumas ilhas (e.g., *Juniperus brevifolia* e *Prunus lusitanica* na Ilha de Santa Maria; *Taxus baccata* em diversas ilhas dos Açores (Connor *et al.*, 2012); *Ophioglossum azoricum* e *Ophioglossum lusitanicum* na ilha do Pico (Connor *et al.*, 2012)).

Segundo Webb (1985), a evidência fóssil é um dos principais critérios para atribuir o estatuto de nativa a uma planta. van Leeuwen *et al.*, (2005), através da existência de evidências paleoecológicas para a *Selaginella kraussiana*, uma planta anteriormente referida como introduzida, demonstrou que a espécie é nativa das ilhas das Flores e Pico. Essa planta é agora considerada nativa em todas as ilhas dos Açores (Schaefer, 2005; Silva *et al.*, 2010; Connor *et al.*, 2012).

Elias *et al.*, (2016) utilizando o conceito de vegetação natural potencial (PNV) de Somodi *et al.*, (2012), produziram mapas de distribuição da vegetação zonal

natural potencial para cada ilha do arquipélago dos Açores. A PNV pode ser usado como um modelo padrão para comparação das coberturas do solo passadas, presentes ou futuras (Rull *et al.*, 2017).

Para o processo de calibração desse modelo os autores amostraram 139 plots dos remanescentes reais de vegetação natural, de modo a poder identificar a vegetação zonal dos Açores e estimar a sua distribuição potencial, utilizando para o efeito Modelos Preditivos de Vegetação (PVM), sob as condições climáticas atuais.

Assumindo que não houve mudanças climáticas significativas desde o povoamento das ilhas até aos dias de hoje, os mapas anteriormente referidos podem ser usados como referência para reconstruir a vegetação pré-humana dos Açores (Rull *et al.*, 2017).

Independentemente disso, os autores anteriores ressaltam que a PNV poder ser diferente da vegetação pré-povoamento dos Açores, isto porque, as mudanças climáticas podem ter ocorrido mesmo em curtos períodos de tempo. De facto, as simulações de modelação e as reconstruções quantitativas dos últimos 6000 anos nos Açores sugerem alguma variabilidade paleoclimática (Elias *et al.*, 2016).

No estudo de Elias *et al.*, (2016) foram identificados 8 tipos de vegetação zonal nos Açores: Bosques Costeiros de *Erica-Morella*, Florestas de terras baixas de *Picconia-Morella*, Florestas de Submontanha de *Laurus*, Florestas de Montanha *Juniperus-Ilex*, Bosques de Montanha de *Juniperus*, Matos Altimontanos de *Calluna-Juniperus*, Matos Subalpinos de *Calluna-Erica* e Matos Alpinos de *Calluna*.

No que respeita aos Bosques Costeiros de *Erica-Morella* estes ocorrem nas áreas mais secas, na maioria dos casos entre os 0 m e 100 m, sendo a vegetação mais abundante a *Erica azorica* e a *Morella faya*. Este tipo de bosques, normalmente, apresentam um clima sub-húmido superior e infratemperado-inferior, com temperaturas situadas entre os 15°C (min.) e os 20°C (máx.), e com uma temperatura média de 17.5°C. Quanto aos níveis de pluviosidade a rondam os 1080 mm.

Em relação às Florestas das terras baixas de *Picconia-Morella* são encontradas nas cinturas húmidas inferiores e infratemperadas superiores, geralmente entre os 100 m e os 300 m de altitude (mas por vezes também perto da costa), com temperaturas entre os 14°C (min.) e 20°C (máx.) e uma temperatura média a rondar os 17°C. Os níveis de pluviosidade estão próximos dos 1620 mm. A vegetação dominante é a *Picconia azorica* e *Morella faya*, sendo que nos limites superiores da sua distribuição, o *Laurus azorica* torna-se mais frequente e abundante. A *Hedera azorica* também está frequentemente presente.

Quanto às Florestas de Submontanha de *Laurus* açorianas, estas ocorrem na maioria das vezes entre os 300 m e os 600 m de altitude e apresentam um clima húmido superior e termotemperado inferior, com temperaturas entre os 12°C (min.) e os 18°C (máx.), sendo que a temperatura média ronda os 15°C. A pluviosidade pode chegar aos 2200 mm. Embora seja dominada por *Laurus azorica*, a maioria das árvores nativas açorianas pode ser encontrada nesta comunidade (e.g. a *Picconia azorica* e *Morella faya*, sendo mais frequentes nos limites altitudinais inferiores; o *Juniperus brevifolia* e o *Ilex perado* subsp. *azorica*, com maior frequência nos limites altitudinais superiores; e o *Dryopteris azorica*, que domina a camada herbácea superior).

As Florestas de Montanha *Juniperus-Ilex* são dominadas por *Juniperus brevifolia* e *Ilex perado* subsp. *azorica*, mas a *Laurus azorica* ainda é muito frequente. Este tipo de florestas montanhosas já se encontram na zona superior termotemperada-hiper-húmida, geralmente entre os 600 m e os 900 m, com temperaturas entre os 9°C (min.) e os 15°C (máx.) e com uma temperatura média de 12.4°C. Apresenta níveis de pluviosidade rondar os 3240 mm.

Os Bosques de Montanha de *Juniperus* são mais frequentemente encontrados entre os 700 m e os 1000 m, embora possam existir exceções, pois a sua excelente adaptação ao meio ecológico dos Açores, torna-a a espécie com a distribuição mais ampla, a montanha até às zonas costeiras (e.g. Ilha das Flores; Dias, 2007). Apresentam um clima ultra-híper-húmido e mesotemperado inferior, com temperaturas entre os 8°C (min.) e os 15°C (máx.), e com uma temperatura média de 11.5°C. Os níveis de pluviosidade chegam aos 4440 mm. A vegetação dominante neste tipo de floresta é o *Juniperus brevifolia*.

Os Matos Altimontanos de *Calluna-Juniperus* são compostos por manchas típicas de arbustos, dominadas por *Calluna vulgaris* e *Juniperus brevifolia*. Ocorrem dos 900 m aos 1100 m em cumes de montanha (ausente das ilhas de altitude inferior), com temperaturas entre os 7.8°C (min.) e os 14°C (máx.), e com uma temperatura média próxima dos 11°C. Os níveis de pluviosidade rondam os 3375 mm. Apresentam um clima mesotemperado superior e ultra-hiperhúmido.

Os Matos Subalpinos de *Calluna-Erica* estão presentes apenas na ilha do Pico, entre 1200 m e os 1700 m de altitude, com uma temperatura média próxima dos 9°C e com níveis de pluviosidade que chegam os 4350 mm. Estão situados nas camadas supratemperadas e ultra-hiperhúmidas. As espécies arbustivas mais frequentes são a *Calluna vulgaris*, *Erica azorica* e a *Daboecia azorica*.

Por fim, os Matos Alpinos de *Calluna* surgem acima dos 1700 m, com uma temperatura média de 6.2°C e com níveis de pluviosidade próximos dos 2790 mm. Estão situados nas camadas orotemperadas e hiperhúmidas. A vegetação é dominada por pequenos arbustos de *Calluna vulgaris*, *Thymus caespititius* e *Daboecia azorica*.

Os resultados da modelação de (Elias *et al.*, 2016) sugerem que as florestas de *Picconia-Morella* e *Laurus* (florestas de Laurissilva) constituem a vegetação potencial dominante nos Açores.

No que respeita à ilha Terceira, podemos observar no mapa de distribuição potencial (ver figura 1) que este tem seis tipos de vegetações distintas: os Bosques Costeiros de *Erica-Morella*, as Florestas de terras baixas de *Picconia-Morella*, as Florestas de Submontanha de *Laurus*, as Florestas de Montanha *Juniperus-Ilex*, os Bosques de Montanha de *Juniperus* e os Matos Altimontanos de *Calluna-Juniperus*.

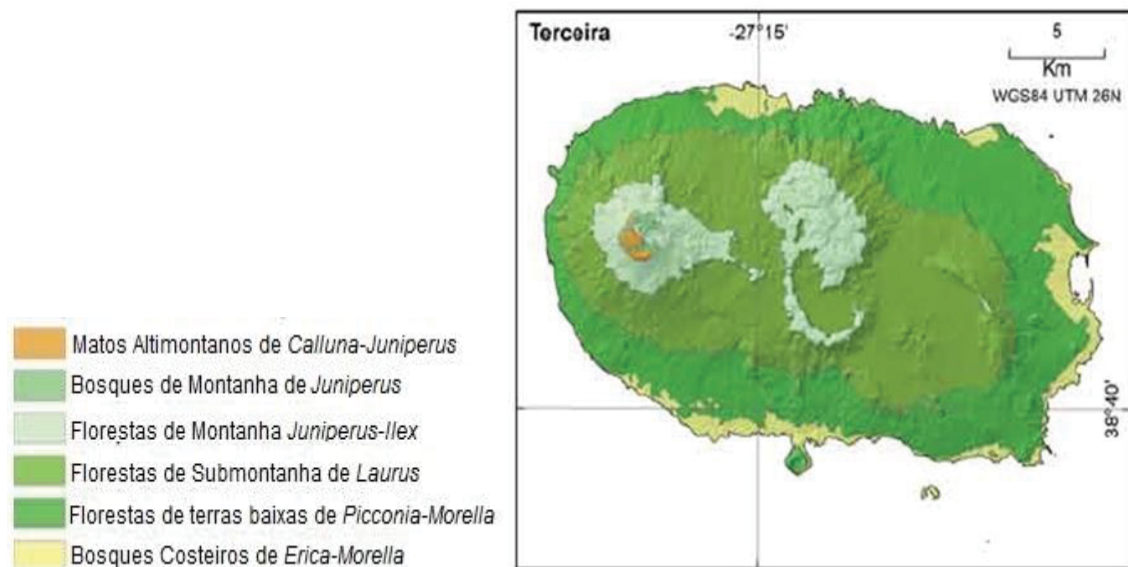


Figura 1: Mapa de distribuição potencial dos tipos de vegetação zonal natural na ilha Terceira (adaptado de Elias *et al.*, 2016).

1.5 Fitófosséis Identificados nos Açores ou Registos paleobotânicos identificados nos Açores

Nas ilhas vulcânicas, a interação entre eventos vulcânicos explosivos e a vegetação cria cenários ideais para as plantas e os solos serem enterrados e preservados. Nas ilhas do Arquipélago dos Açores, o registo paleobotânico está inequivocamente ligado à atividade vulcânica. Na atualidade já existe um conjunto razoável de fitofósseis identificados.

Cada ilha do Arquipélago dos Açores apresenta, nesta área da paleobotânica, uma história de construção do conhecimento diferente, dependente da sua geologia e do número de explorações geológicas e botânicas que aí foram efetuadas. No que diz respeito à ilha Terceira, embora apesar de ainda escassos, podemos assinalar um conjunto de locais de elevado interesse paleobotânico (ver figura 2).

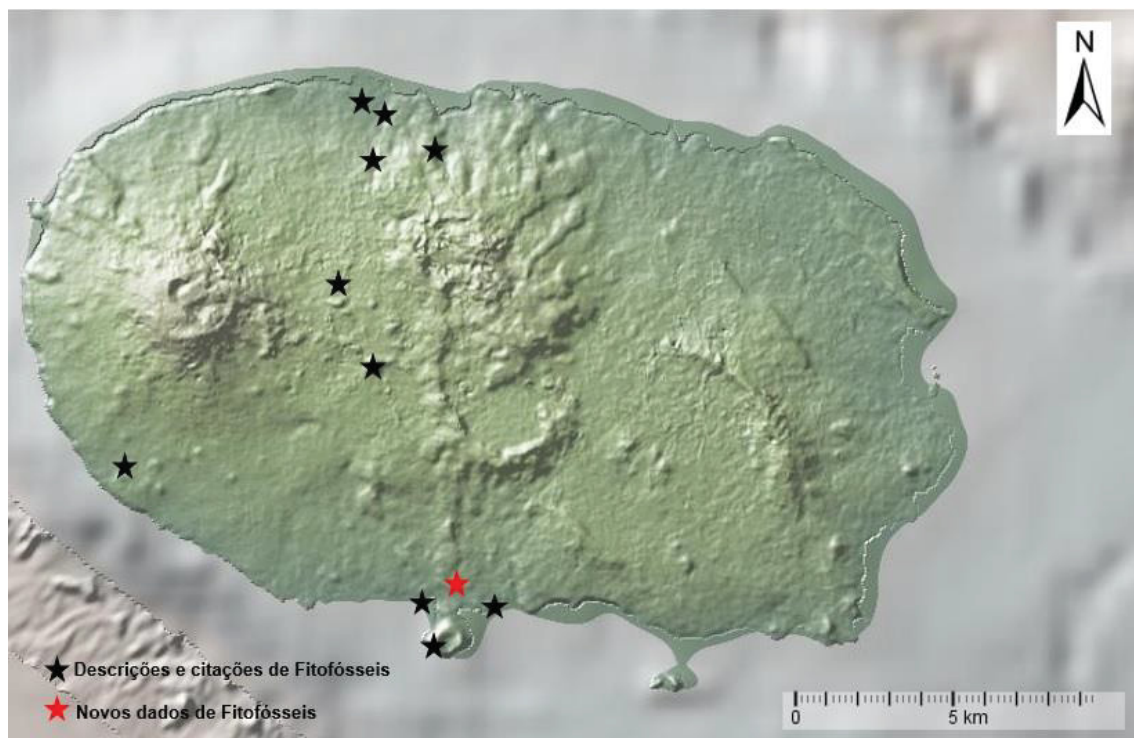


Figura 2: Localização de locais de interesse paleobotânico reportados na bibliografia e a partir de observações de campo na Ilha Terceira (Combinação dos dados de Góis-Marques *et al.*, 2018 com dados recolhidos no âmbito deste trabalho).

Seguidamente resumem-se por ilha os fitofósseis foliares identificados nos Açores, maioritariamente encontrados no trabalho de Góis-Marques *et al.*, (2018), embora aí não exista nenhum estudo paleobotânico para apoiar essas identificações:

São Miguel:

- *Juniperus cedrus* (= *Juniperus brevifolia* (Seub.) Antoine) (Hartung 1860);
- *Juniperus oxycedrus* (= *Juniperus brevifolia* (Seub.) Antoine) (Drouet, 1866);
- *Cupressus glauca* (= *Cupressus lusitanica*) (Goeze, 1867b);
- *Juniperus brevifolia* (Seub.) Antoine (Elwes & Henry, 1910);
- Filicopsida: *Blechnum spicant* (L.) Wither [= *Blechnum spicant* (L.) Roth], *Asplenium marinum* (L., 1753), *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn (esta identificação levanta-nos muitas dúvidas);

- Magnoliopsida: *Smilax excels* L. (provavelmente *Smilax canariensis* Brouss. ex Willd.), *Myrica faya* Ait. [= *Morella faya* (Aiton) Wilbur], *Daphne laureola* L., *Phytolacca americana* L. (temos dúvidas relativamente a esta identificação de uma espécie invasora - Menezes de Sequeira *et al.*, 2012), *Pittosporum undulatum* Vent. (espécie invasora, Silva *et al.*, 2008), provavelmente um erro de interpretação porque se sabe que o *Pittosporum undulatum* Vent. foi introduzido no arquipélago e é originária da Nova Zelândia.

Também foram identificadas as espécies ditas como sendo de *Hedera canariensis* (*Hedera azorica* Carrière), *Laurus azorica* (Seub.) Franco, *Ocotea foetens* (Aiton) Baill (pode provavelmente corresponder a uma má identificação), *Ilex perado* Aiton subsp. *azorica* (Loes.) Tutin, *Notelaea excelsa* Webb [= *Picconia azorica* (Tutin) Knobl], *Vaccinium cylindraceum* Sm., *Lonicera etrusca* Santi, *Viburnum tinus* L. var. *subcordatum* (Trel.) P. Silva (= *Viburnum treleasei* Gand.) (Diniz, 1962);

- *Laurus canariensis* (= *Laurus azorica* (Seub.) Franco) e *Notelaea excelsa* (= *Picconia azorica* (Tutin) Knobl) (Arruda, 2002);

- *Laurus azorica* (Seub.) Franco, *Woodwardia radicans* (L.) Sm (Góis-Marques & Sequeira, 2015).

Terceira:

- *Persea azorica* (= *Laurus azorica* (Seub.) Franco) e *Hedera canariensis* (= *Hedera azorica* Carrière) (Agostinho, 1949);

- *Hedera helix* ssp. *canariensis* (Willd.) P. Cout. (= *Hedera azorica* Carrière), *Laurus azorica* (Seub.) Franco, *Picconia azorica* (Tutin) Knobl., *Pteris serrulata* Forsk (= *Pteris incompleta* Cav.) e *Myrica faya* Ait. [= *Morella faya* (Aiton) Wilbur] (Forjaz *et al.*, 1970).

Pico:

- *Notelaea excelsa* Webb [= *Picconia azorica* (Tutin) Knobl.]; *Laurus azorica* (Seub.) Franco, e *Dryopteris azorica* (Christ) Alston (Forjaz & Monjardino, 1964).

Faial:

- *Hedera canariensis* Willd. (= *Hedera azorica* Carrière), *Myrica faya* Ait. [*Morella faya* (Aiton) Wilbur], *Notelaea excelsa* (Aiton.) Webb & Bert [= *Picconia azorica* (Tutin) Knobl.], *Persea azorica* Seub. [= *Laurus azorica* (Seub.) Franco], *Blechnum spicant* Wither [= *Blechnum spicant* (L.) Roth] (Forjaz, 1960).

- *Juniperus brevifolia* (Seub.) Antoine (Forjaz, 1970).

1.6 Paleontologia e Importância Turística e Científica

A Paleontologia configura-se como um significativo património natural constituído por vestígios de animais, vegetais e registos de seres vivos de períodos históricos anteriores, que ficaram preservados nas rochas, e são por isso denominados fósseis. Estes, segundo Cachão & Silva (2004), configuram um importante testemunho da história da vida da Terra, de enorme importância científica, pois a partir deles é possível reconstituir cenários da vida passada. Entende-se que sem essas evidências preservadas nas rochas, seria muito difícil comprovar e compreender a evolução da vida no planeta.

Esse património tem vindo a atrair um maior interesse, não só de investigadores, mas do público em geral, que procura conhecer e compreender melhor a história da vida passada do planeta.

Parte deste espólio encontra-se protegido e constitui-se uma oferta turística de geoparques, museus de história natural e centros de interpretação, etc., como por exemplo, nos Açores, a Casa e a Rota dos Fósseis na ilha de Santa Maria.

Noutros locais esta realidade ainda é incipiente, pois apesar da sua importância, do ponto de vista da geoconservação muitos desses locais fossilíferos podem ser altamente suscetíveis a impactes naturais (e.g. erosão,

deslizamentos de terra) e antropogénicos (e.g. Page, 2018), pelo que em vez de nos resignarmos com a sua perda, deveríamos encetar mais rapidamente a sua proteção.

Para Licardo (2011), os museus têm uma enorme responsabilidade na preservação de fósseis, pois a informação que passam torna-se um atrativo turístico e a exposição adequada dos mesmos, em museus locais, tem um enorme potencial para a educação, conservação, consciencialização ambiental, lazer, turismo e economia. Uma das mais importantes vias de divulgação e construção do conhecimento científico acerca da natureza é feita através de museus (Manzig & Weinschutz, 2011).

A bibliografia sobre a importância económica dos museus locais de história natural é escassa, mas alguma literatura aponta para que 24% dos turistas que visitam os locais com este tipo de museus possam estar interessados em visitá-los. Isso acontece por exemplo na Bielorrússia (ver Flognfeldt, 2016). Parece-nos claro que uma amostra de dois ou três exemplares de fósseis, presentes numa única sala, sem qualquer contextualização não se constituirá um atrativo turístico, por isso mesmo, a ligação entre museologia e investigação científica é neste exemplo de caso, imprescindível.

No caso dos Açores ainda há muito a fazer, pois há pouca valorização e divulgação do seu potencial paleontológico especialmente como produto turístico da Região.

A paleontologia capta um nicho turístico específico, e poderá ser associada à vivência de experiências singulares, pelo que este produto não tem sido devidamente explorado no Arquipélago. No entanto, para que a paleontologia se configure como atrativo turístico torna-se necessário a criação de conhecimento, o uso de estruturas adequadas e de serviços e equipamentos que permitam o acesso e a permanência do turista. Tais estruturas, além de preservar e expor os fósseis encontrados na região, podem constituir-se novos meios de estímulo à economia local, promovendo o desenvolvimento científico e turístico, atraindo instituições públicas e privadas.

A simbiose entre ciência, ambiente e turismo pode constituir-se numa fórmula de sucesso de um desenvolvimento que se quer sustentável para a região.

Precisamos conhecer os “papéis funcionais” de grupos de espécies se pretendermos criar um ecossistema sustentável e duradouro. Por isso entende-se que a paleobotânica, a paleoecologia e o paleoclima dão contributos para a gestão da natureza que vão muito para além do “manter o que existe na atualidade”.

Quando os ecossistemas mudam rapidamente, como nos contextos de alterações climáticas do passado, e mesmo no presente, por ação exclusiva do homem e sem ter em conta alterações climáticas futuras, os registos paleobiológicos são fundamentais para a reconstrução artificial de ecossistemas saudáveis. Assim, a gestão e conservação da natureza passa também por conhecer as funções de cada espécie e sua associação a outras espécies num determinado local e num determinado instante. Esse conhecimento ainda é mais importante nas regiões insulares e com risco de vulcanismo, pois a simples atividade de um vulcão poderá levar à desertificação humana e biológica de uma ilha ou de parte de uma ilha.

Este é um século de grandes desafios para a conservação da natureza, pois para além de termos que atender às necessidades de uma comunidade global em crescimento populacional prevêm-se dramáticas alterações climáticas. Neste contexto, os registos fósseis fornecem informações únicas sobre o modo como os ecossistemas mudam em função do clima. No caso de ilhas vulcânicas, esses registos também nos dão indicações únicas sobre o modo como os ecossistemas se adaptam a uma catástrofe vulcânica. Pensa-se ser esta perspectiva importante, porque a partir desse tipo de conhecimento poderemos equilibrar diferentes objetivos ambientais, sociais e económicos, entrando na lógica do desenvolvimento de estratégias de conservação que sejam também elas medidas de adaptação dos ecossistemas às alterações climáticas.

2. Objetivos

Uma vez que existem poucos estudos sobre paleobotânica e paleoclima no Arquipélago dos Açores, os objetivos desta tese são modestos no que se refere aos resultados a alcançar porque se entende que os primeiros passos são sempre os mais difíceis, e como tal, inseguros. Apesar disso aposta-se num contributo para o conhecimento paleobotânico dos Açores, a par da tentativa de construção de ferramentas que ajudem a identificar fitofósseis em camadas vulcânicas, especialmente daqueles que hipoteticamente se relacionam com as folhas de plantas da floresta nativa do Arquipélago.

Pretende-se com este estudo identificar espécies de fósseis contidas no tufo vulcânico do Monte Brasil, colhidas na arriba da Baía de Angra do Heroísmo (ilha Terceira, Açores), na arriba da Baía do Fanal, assim como alguns que também foram recolhidos na Freguesia de Santa Luzia, de modo a tentar encontrar proxys do paleoclima desses locais.

Pretende-se verificar se o padrão geométrico de venação de folhas inteiras fossilizadas é suscetível de modelação para que, a partir dos modelos encontrados se possam identificar fragmentos de outros fósseis. Para isso pretende-se utilizar variáveis estatísticas de alguns parâmetros geométricos das folhas de fósseis e de folhas vivas da floresta nativa, especialmente da sua nervação, para que de modo criterioso e objetivo se possa estabelecer um método que permita agrupar espécies idênticas.

Pretende-se modelar os resultados obtidos, de modo a verificar se existem “proxys” climáticos entre os fósseis do Monte Brasil que nos permitam reconstruir alguns aspetos do clima passado e da paisagem de Angra do Heroísmo.

De forma menos veemente, pretende-se contribuir para a valorização científica e patrimonial dos fósseis do Monte Brasil e da Paisagem do Monte Brasil, por se entender que a história natural de Angra do Heroísmo pode ser tão cativante como a sua história humana.

Por fim, pretende-se também testar alguns processos físico-químicos que sejam capazes de explicar não só a acumulação de folhas num determinado local mas também os mecanismos de preservação da sua forma.

3. Caraterização da Área de Estudo

3.1 Enquadramento Geográfico e Geodinâmico

O arquipélago dos Açores, constituído por nove ilhas e muitos ilhéus, situa-se no Atlântico Norte, a aproximadamente 1600 km de Portugal Continental (ver figura 3).

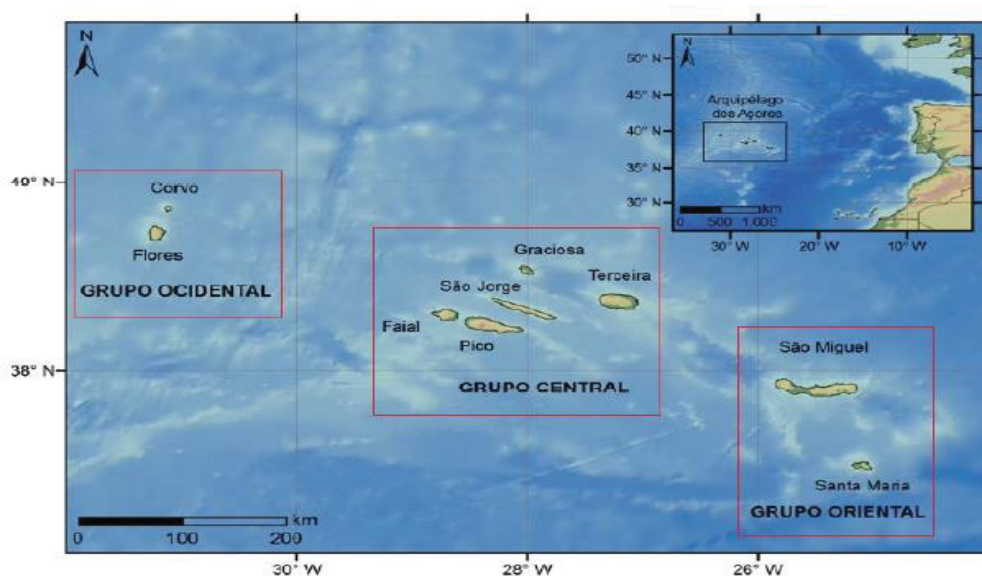


Figura 3: Mapa de localização geográfica do Arquipélago dos Açores, apresentado com coordenadas geográficas, datum WGS84 (adaptado de Miguel, 2016).

Este arquipélago distribui-se entre as latitudes 36° 55'N e 39° 43'N e as longitudes 24° 46'W e 31° 16'W. O arquipélago encontra-se alinhado em diagonal (noroeste-sudeste) ao longo de cerca de 630 km, ocupando sensivelmente 2.352 km² de território terrestre, e subdividindo-se, por motivos de proximidade geográfica entre as respetivas ilhas, em três grupos distintos: (1) grupo ocidental, constituído pelas ilhas Flores e Corvo; (2) grupo central, de que fazem parte as ilhas Faial, Pico, São Jorge, Graciosa e Terceira e (3) grupo oriental, englobando São Miguel, Santa Maria e os ilhéus das Formigas. As diferentes ilhas apresentam-se alinhadas segundo uma faixa de orientação geral NW-SE, com uma extensão de cerca de 600km entre Santa Maria e o Corvo.

Os Açores encontram-se numa zona de convergência de uma série de estruturas tectónicas, cuja dinâmica é responsável pela sismicidade e

vulcanismo atuantes nas ilhas. De entre essas estruturas salientam-se (ver figura 4): a Crista Média-Atlântica (CMA), o Rifte da Terceira (RT), a Zona de Fratura Norte dos Açores (ZFNA), a Zona de Fratura Este dos Açores (ZFEA) e a Zona de Fratura Oeste dos Açores (ZFOA).

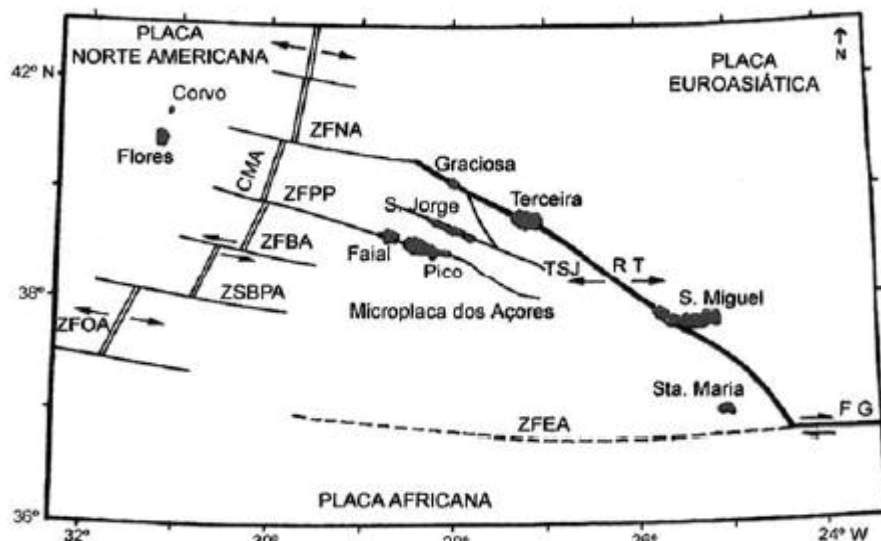


Figura 4: Principais acidentes tectónicos que interatuam na região dos Açores (adaptado de Nunes, 1999).

As ilhas apresentam altitudes bastante variadas, desde 402 metros de altitude máxima na Graciosa até aos 2351 metros na ilha do Pico (Azevedo, 1996), tendo surgido, de acordo com Hildenbrand *et al.*, (2014), todas no período Quaternário, com exceção da extremidade Leste da ilha de Santa Maria.

3.2 Breve caracterização Geológica e Geomorfológica da Ilha Terceira

A Ilha de Nosso Senhor Jesus Cristo das Terceiras, atualmente designada apenas por Terceira é, em termos de área, a terceira maior ilha do arquipélago dos Açores. Mede 28 km de largura por 18 km de norte a sul e abrange 401 km² de área. Com um alongamento geral segundo W-E, atinge o seu ponto mais elevado na Serra de Santa Bárbara, à cota de 1.021 m. A ilha está implantada no designado Rifte (ou Crista) da Terceira, que é uma estrutura tectónica transformante do tipo leaky, com cerca de 600 km de extensão segundo uma direção geral WNW-ESSE (Nunes, 2012).

A Terceira é dominada por quatro estrato-vulcões e por numerosos cones vulcânicos monogenéticos implantados em importantes fraturas. De W para E enumeram-se, sucessivamente, os seguintes aparelhos vulcânicos poligenéticos, truncados por imponentes caldeiras: (1) Serra de Santa Bárbara; (2) Maciço da Serra do Morião e da Caldeira de Guilherme Moniz; (3) Maciço do Pico Alto e (4) complexo desmantelado da Serra do Cume, da Serra da Ribeirinha e da Caldeira dos Cinco Picos (França *et al.*, 2003).

A primeira carta geológica da ilha Terceira foi realizada por Zbyszewski *et al.*, (1971), que para o devido efeito, se basearam fundamentalmente em critérios de natureza petrográfica. O primeiro levantamento geológico da ilha que estabeleceu a relação estratigráfica entre os diferentes depósitos aí existentes deve-se a Self (1973). Este autor, utilizando os ignimbritos das Lages, datados com 20.000 anos, como nível de referência, caracterizou as principais estruturas vulcânicas, e definiu a ocorrência de quatro centros eruptivos distintos: (1) Vulcão de Santa Bárbara; (2) Vulcão do Pico Alto; (3) Zona Fissural e (4) Vulcões não diretamente relacionados com os grupos anteriores.

Mais recentemente, Nunes (2000), com base na reinterpretação dos trabalhos anteriores propõe uma carta vulcanológica para a ilha onde são representados, também por ordem decrescente de idades: (1) o Vulcão dos Cinco Picos; (2) o Vulcão de Guilherme Moniz; (3) o Vulcão de Santa Bárbara; (4) o Vulcão do Pico Alto e (5) a Zona Basáltica Fissural.

A paisagem do arquipélago dos Açores, apesar da pequena dimensão do seu território insular, apresenta um vasto conjunto de formas, rochas e estruturas ímpares, que derivam, entre outros fatores, da natureza dos magmas, do tipo de erupção que as originou, da sua dinâmica e da posterior atuação dos agentes externos da hidrosfera, atmosfera e biosfera (Nunes *et al.*, 2010).

O caso dos ignimbritos, que constituem produtos significativos da atividade de ilhas vulcânicas, estão relacionados com zonas de subducção, mas são comparativamente raros em ilhas vulcânicas, especialmente em ambientes intraplacas e riftes meso-oceânicos (Gertisser, *et al.*, 2010).

A Terceira tem indícios de uma história vulcânica violenta com grandes erupções de fluxos piroclásticos pouco frequentes, que produziram pelo menos

cinco ignimbritos, alternando com erupções explosivas sub-plinianas e estrombolianas mais frequentes e a efusão de lavas de composição basáltica a pantelítica. Os mais recentes ignimbritos, os ignimbritos das Lages e de Angra, têm idades compreendidas entre cerca de 19.000 e 23.000 anos (datações efetuadas através de ^{14}C que originam as idades radiométricas de 18600 ± 650 anos B.P. e 23100 ± 350 ^{14}C anos B.P.) (Calver *et al.*, 2006), cobrem um grande passado da ilha e formam um horizonte estratigráfico conveniente para datações, por se constituírem a base da mais recente formação vulcânica na Terceira chamado Grupo Superior da Terceira (Self, 1973). Além de duas ilhas das Canárias, Gran Canária e Tenerife, a ilha Terceira pode ser aquela que tem uma percentagem de ignimbritos, maior do que qualquer outra ilha do Oceano Atlântico (Self, 1973).

Existem na Terceira pelo menos cinco ignimbritos mais antigos, do que aqueles que anteriormente se referiram, cujas idades não foram identificadas devido à sua natureza amplamente dispersa. Estas formações ignimbríticas são dominadas por depósitos de queda piroclásticos ou fluxos de lava e definem o Grupo Inferior da Terceira (França *et al.*, 2003). No entanto, é concebível que algumas destas formações acompanhassem a formação de caldeiras nos vulcões mais antigos, nomeadamente o de Guilherme Moniz e dos Cinco Picos. Posto isto estima-se que os mesmos tenham entre 50.000 a 800.000 anos, abrangendo quase toda a história subaérea da ilha (França *et al.*, 2003).

De acordo com Self (1973), sabe-se que os ignimbritos ocorrem em seis horizontes estratigráficos distintos, embora não se saiba ainda quantas erupções deram origem aos mesmos durante a história das ilhas. Isto deve-se à falta de estudos com perfis geológicos extensos e à consequente dificuldade de correlação entre os depósitos ignimbríticos e as erupções que os originaram.

Neste estudo, os fósseis estudados encontravam-se acima da camada de ignimbritos (materiais brandos de escoadas piroclásticas desagregadas) de Angra e o solo de natureza orgânica do local, mais propriamente nas cinzas vulcânicas das erupções do Monte Brasil que neste momento se constitui um tufo vulcânico consolidado.

A área de estudo do presente trabalho, situa-se na zona Sul da ilha Terceira, mais precisamente nas falésias da baía de Angra do Heroísmo (ver figuras 5 e 6) e do Fanal (ver figura 7) e de um local na freguesia de Santa Luzia (ver figura 8), na cidade de Angra do Heroísmo.



Figura 5: Localização e aspeto geral da área de estudo da falésia da baía de Angra do Heroísmo, depois das obras de consolidação. Fonte: Hotel da marina, 2019.



Figura 6: Localização e aspeto geral da área de estudo da falésia da baía de Angra do Heroísmo, antes das obras de consolidação. Fonte: Fotografia cedida pelo Professor Félix Rodrigues.



Figura 7: Localização e aspeto geral da área de estudo da falésia da baía do Fanal, Angra do Heroísmo. Fotografia de Paulo Nunes (2018).



Figura 8: Local de recolha do material fóssil em Santa Luzia, Angra do Heroísmo (imagem retirada do Google Earth).

Uma vez que a datação de alguns dos fósseis está intimamente ligada à camada de ignimbritos de Angra do Heroísmo, segue-se uma breve descrição,

extraída de Self, (1973) e Gertisser *et al.*, (2010), que caracteriza estratigraficamente a área de estudo:

- **Os ignimbritos Lajes-Angra:** consistem em depósitos generalizados no mesmo nível estratigráfico que se estendem às partes sul e norte da ilha. É uma camada caracterizada por pedra-pomes traquítica, comendítica grosseiramente porfírica, e pela sua posição estratigráfica, são classificados como ignimbritos superiores. Os clastos juvenis incluem uma faixa de densidade completa, desde a pedra-pomes altamente vesicular até os clastos densos vitrofíricos, variando de cinza claro a preto, respetivamente. A matriz do ignimbrito cinza claro pode ser não-fundida, e, a fundida, é cinza-escuro, quase formando uma vitrícula negra. Os ignimbritos Lajes-Angra variam em espessura entre 25 metros a menos de 1 metro, e são fortemente controlados pela topografia. Recentes datações por carbono 14 atribuem-lhes idades compreendidas entre os 20.110 ± 470 anos B.P. e os 23.150 ± 730 anos B.P. (Gertisser *et al.*, 2010).

- **Os Ignimbritos Linhares-Matela:** encontram-se sob os ignimbritos Lajes-Angra, separado por 10 m de depósitos de queda e um fluxo de lava, sendo caracterizados por um ignimbrito cinza-escuro, não-fundido. Possui clastos de pedra-pomes uniformemente escuros, anortocelulares e plagioclásio com uma espessura até 1 m de diâmetro. Estes ignimbritos, segundo Gertisser *et al.*, (2010) tem uma idade compreendida entre os 34.600 ± 3910 anos B.P. e os 37.320 ± 4960 anos B.P. (datação por ^{14}C) e chegam à parte sul da ilha.

- **Os ignimbritos Vila Nova-Fanal:** segundo Self (1973) podem ser partes da mesma sequência eruptiva, sendo rochas ricas de cor cinza claro, não-fundidas, com pedras-pomes e com espessura máxima de 20 m. São formadas por um grupo de unidades de fluxo piroclástico intimamente relacionadas, com algumas camadas de queda associadas. Todos eles compartilham características físicas e de composição semelhantes entre os dois conjuntos de localidades costeiras. Além disso, os depósitos ocorrem aproximadamente no mesmo nível estratigráfico em ambas as costas, e as determinações de idade por radiocarbono (^{14}C) e Árgon-Árgon ($^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$) na Baía do Fanal e Porto da Vila Nova sugerem idades acima dos 46.700 anos B.P. e 58.000 ± 20.000 anos B.P., respetivamente (Gertisser *et al.*, 2010).

- **Os Ignimbritos Caldeira-Castelinho:** a formação dos ignimbritos Caldeira-Castelinho é um grupo de depósitos de fluídos piroclásticos intimamente relacionados com os que ocorrem estratigraficamente abaixo dos ignimbritos da Vila Nova-Fanal. Partilham várias características físicas e químicas. Constituem as exposições a oeste da Caldeira e, as arribas agora cobertas (devido a obras de consolidação da arriba), no porto de Angra e nas costas norte e sul, respetivamente. Em ambas as costas, existem apenas pequenas zonas expostas, que devido à erosão raramente excedem 100 m.

No que respeita à costa norte, mais precisamente na Caldeira das Lajes, encontra-se o único ignimbrito da Terceira que contém abundantes xenólitos de sienito até 25 cm de diâmetro. Possui clastos juvenis muito grandes, com diâmetro até 2,5 m, que em alguns lugares consistem em pedra-pomes cinza-escura a preto, bem como clastos vítreos mais densos, e contém abundantes clastos líticos. Na sua base podemos encontrar um depósito de queda de pedra-pomes fino, mas consistentemente exposto (Gertisser *et al.*, 2010).

Na costa sul do Porto de Angra do Heroísmo os ignimbritos são constituídos por um de fluxo de ignimbritos cinza, ricos em pedra-pomes e não-fundidos, sobreposta a um depósito de resíduos que juntamente com a semelhança composicional de clastos juvenis sugere estarem fortemente correlacionados com as sequências da costa norte e sul.

De acordo com Gertisser *et al.*, (2010), estes ignimbritos têm idades compreendidas entre 71000 ± 4000 anos B.P. e 83000 ± 18000 anos B.P. (datação por $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$).

Resumidamente, pode-se afirmar que os depósitos de ignimbritos da ilha Terceira têm idades compreendidas entre os 19.000 anos B.P. até mais de 46.700 anos B.P. (Gertisser *et al.*, 2010).

Posto isto, e de uma forma geral, podemos dizer que a falésia da Baía do Fanal caracteriza-se pelo seguinte perfil estratigráfico: Tufo do Monte Brasil e pelos ignimbritos Vila Nova-Fanal e Caldeira-Castelinho (ordem decrescente de idades; ver figura 9).

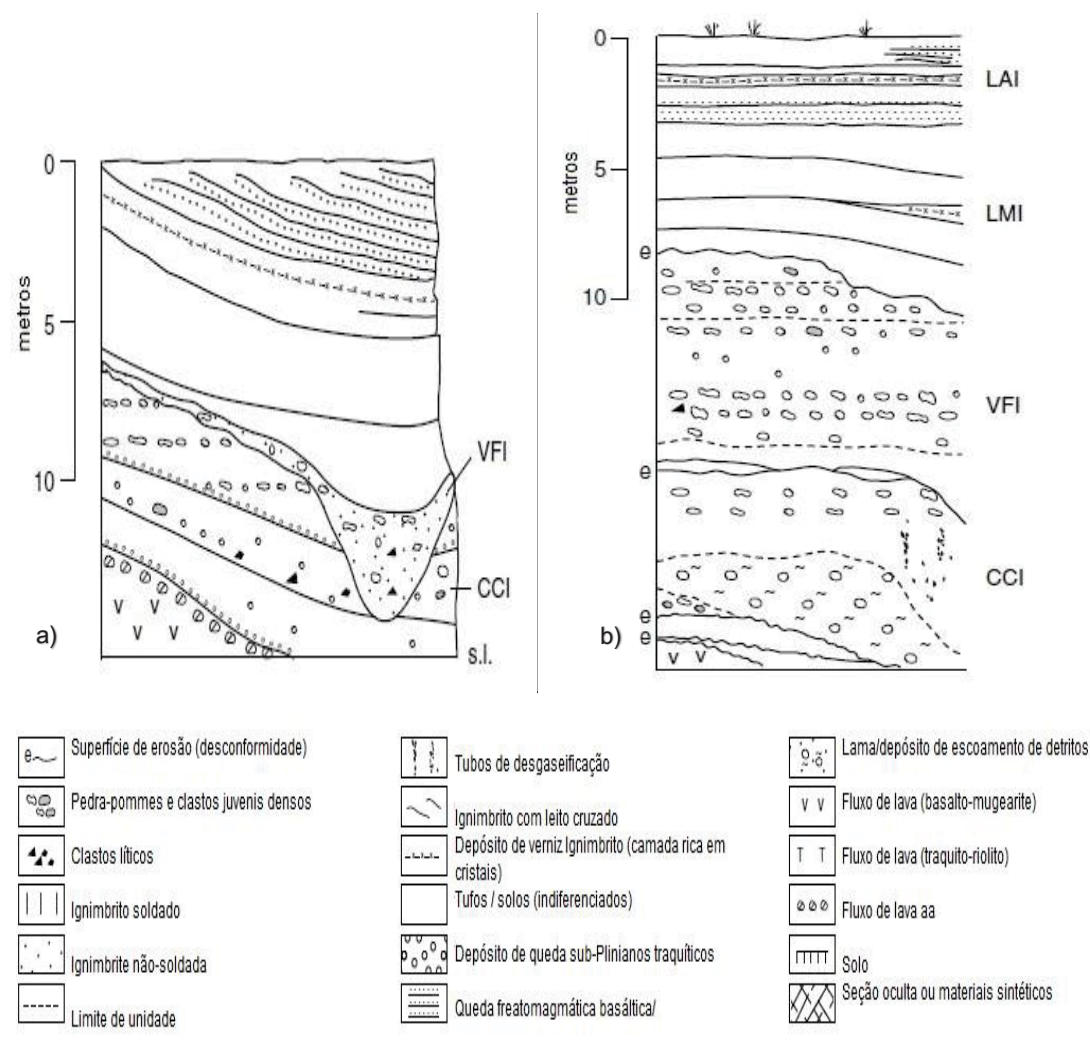


Figura 9: Secção estratigráfica da falésia das Baías do Fanal (a) e Angra do Heroísmo (b), na costa sul da ilha Terceira, mostrando os ignimbritos e outras unidades vulcânicas. Abreviaturas: LAI – Lages-Angra Ignimbrito; LMI – Linhares- Matela Ignimbrito; VFI - Vila Nova – Fanal Ignimbrito; CCI - Caldeira-Castelinho Ignimbrito. Coordenadas UTM a): 481267 E / 4278298 N; b): 480213 E / 4278717 N (adaptado de Gertisser *et al.*, 2010).

Quanto à falésia da Baía de Angra do Heroísmo (agora cimentada), também se pode verificar na figura anterior, que se caracteriza também pela presença de Tufo do Monte Brasil, do Ignimbrito Lajes-Angra, Vila Nova – Fanal e Caldeira-Castelinho.

Os fósseis recolhidos e que originam este trabalho localizavam-se acima das camadas anteriormente referidas.

3.3 Variações Temporais da Geomorfologia da Ilha Terceira

A ilha Terceira, nos Açores, assim como todas as ilhas oceânicas remotas, estão sujeitas a muitas mudanças geomorfológicas ao longo dos tempos. Contribuindo para o crescimento e evolução dessas ilhas estão um conjunto variado de processos geofísicos, tais como a atividade vulcânica, os processos de erosão ou a deposição e de perda de massa. A ontogenia das ilhas vulcânicas começa com a emergência subaerial de um vulcão, que é seguida por períodos de construção de ilhas e períodos de erosão até que a área máxima e a elevação máxima sejam atingidas. Finalmente a erosão levará à submersão das ilhas (Buijs, 2016).

Ao longo dos últimos milénios a atividade vulcânica, assim como a alteração do nível médio das águas do mar durante os últimos 120 000 anos, afetaram a extensão da área da ilha Terceira (Stocchi *et al.*, 2016).

No que respeita à atividade vulcânica a Terceira é uma ilha vulcânica ativa. Conforme mencionado anteriormente, consiste em quatro grandes vulcões sobrepostos ao longo do Rift da Terceira, de leste a oeste: vulcão dos Cinco Picos (CPV), vulcão Guilherme Moniz (GMV), vulcão do Pico Alto (PAV) e vulcão de Santa Bárbara (SBV). A cronologia geral da ilha envelhece de leste para oeste, com os Cinco Picos, o mais antigo, e Santa Bárbara, o vulcão mais jovem. Todos estes vulcões tiveram grande impacto na sua geomorfologia.

Também a oscilação milenar do nível do mar afeta a área das ilhas e a sua morfologia. Algumas ilhas desaparecem, outras crescem duas vezes e outras fundiram-se com outras ilhas. Durante o último ciclo glacial, a partir dos 120 000 anos, o nível do mar oscilou entre + 10m e -120m (Stocchi *et al.*, 2016). É importante referir que o nível do mar atual é anormalmente alto e a média dos últimos 120 000 anos foi de -49,5 m (Stocchi, *et al.*, 2016). Significa isso que, no passado, as ilhas dos Açores eram maiores do que são hoje em dia.

Segundo Buijs (2016), o nível do mar foi mais baixo em torno da data de 20 000 anos B.P. com um mínimo de -102m. Correspondentemente, a área da Terceira atingiu a sua maior extensão no último máximo glacial (UGM) (Figura

10a)). Durante esse período, formaram-se durante uma erupção os ignimbritos Lajes-Angra. Este fluxo piroclástico compreendeu depósitos generalizados que cobriram a maior parte da ilha (como referido anteriormente). O rápido aumento do nível do mar após o UGM causou uma rápida redução da área de superfície da Terceira (Figura 10b) e c)).

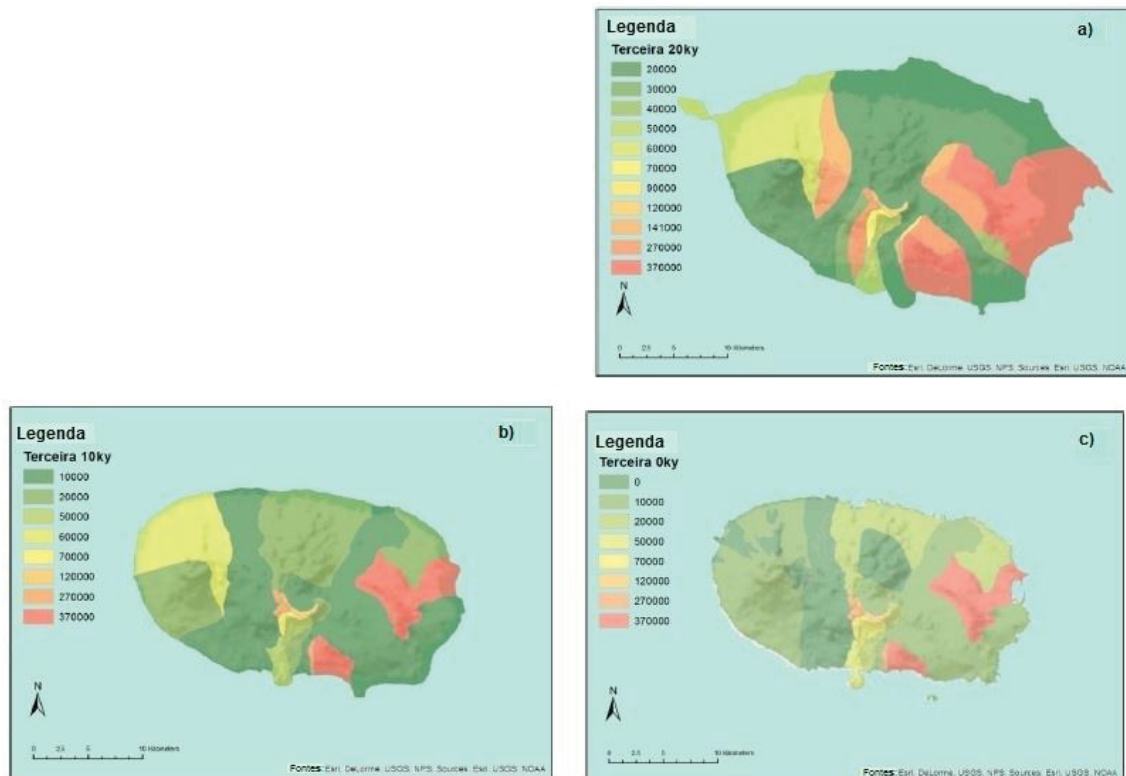


Figura 10: Reconstrução espácio-temporal da área de superfície da Terceira a partir de 20 000 anos B.P. até à atualidade (0 anos). Legenda: a) Extensão da Ilha Terceira à 20 000 anos B.P.; b) à 10 000 anos B.P.; c) 0 anos B.P. (adaptado de Buijs, 2016).

Na figura 11, podemos observar a diferente extensão da ilha Terceira ao longo do tempo (através dos diferentes contornos). A linha vermelha representa a forma da ilha há 120 000 anos B.P (o contorno atual está a verde escuro). A linha laranja, corresponde à forma da ilha há 60 000 anos B.P.. Foi há cerca de 20 000 anos B.P. (linha verde clara) que a ilha teve a sua maior extensão (Buijs, 2016).

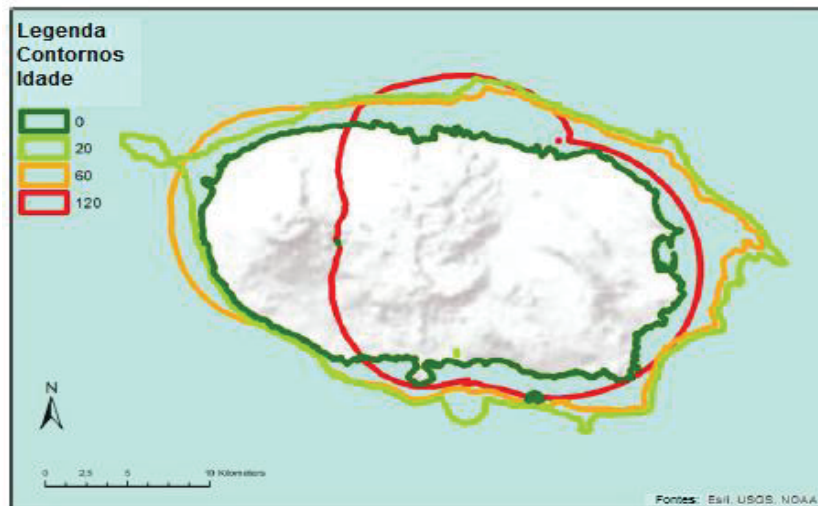


Figura 11: Formas da Ilha Terceira ao longo do tempo. O contorno vermelho corresponde à superfície da Terceira há 120 000 anos B.P., o contorno laranja há 60 000 anos B.P., o verde-claro há 20 000 anos B.P. e o atual litoral em verde-escuro (adaptado de Buijs, 2016).

Devido à atividade vulcânica e à alteração do nível do mar, a área da Terceira flutuou entre os 373 km² e os 589 km², de 120 000 anos B.P. até à atualidade. Atualmente a ilha tem uma superfície de 401km² (Buijs, 2016).

Perante o que se expôs, os fósseis recolhidos no que é hoje a costa sul da ilha Terceira, não correspondiam forçosamente a plantas de um habitat costeiro, mas possivelmente a um habitat que poderia corresponder a floresta das terras baixas numa faixa infratemperada-inferior. Podemos com razoável certeza garantir que aí existia floresta com árvores de grande porte, dada a dimensão dos troncos que ficaram petrificados nos ignimbritos do Monte Brasil (ver figura12).



Figura 12: Tronco de árvore de grande porte que existiu num bloco ignimbrítico na Baía do Fanal. Fonte: Paulo Henrique Silva.

4. Metodologia

4.1 Métodos de recolha de amostras e procedimentos laboratoriais

O material fóssil estudado é proveniente das Baías (Falésias) do Fanal e de Angra do Heroísmo, propriedade da Associação Espeleológica “Os Montanheiros” e de particulares, nomeadamente do Professor Félix Rodrigues e do autor desta dissertação, e de um local em Santa Luzia (da coleção do Mauro Ponte, Mestre em Gestão e Conservação da Natureza, pela Universidade dos Açores). Após a conclusão desta dissertação, alguns exemplares serão cedidos, à Universidade dos Açores para que possa iniciar uma coleção científica de fitofósseis que permita a diversos investigadores aprofundar o conhecimento sobre a paleoecologia, paleobotânica e o paleoclima da ilha Terceira e corroborar ou não a informação que aqui se produziu ou referiu.

A recolha de fitofósseis da Baía do Fanal decorreu no mês de junho de 2018, resultado de um movimento de vertente que levou a que houvesse uma intervenção rápida de máquinas no local para estabilizar a arriba. Tal intervenção destruiria os tufo que caíram. Perante esse cenário houve necessidade de agir rapidamente para que se pudesse recolher a maior quantidade possível de fitofósseis, num período que correspondeu a cerca de três tardes, que coincidiam com o fim da jornada de trabalho dos trabalhadores da empresa, a quem a obra tinha sido adjudicada pela Câmara Municipal de Angra do Heroísmo. Solicitou-se a ajuda a vários investigadores e alunos da Universidade dos Açores, mas dado o horário possível de recolha de materiais, só se contou com a colaboração da aluna de Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza, Alejandra Ros Prieto, a quem se agradece desde já a colaboração.

Na recolha desses fósseis foram utilizados, diversos utensílios, tais como, martelo, escopro, martelo de geólogo e diversos recipientes, para transporte e separação dos vários fósseis dos grandes blocos ou pedaços de tufo fraturado, que se encontravam amontoados no cone de queda do movimento de vertente.

Antes de se proceder à recolha do material nesse local para futuro estudo, pediu-se autorização ao Presidente da Câmara Municipal de Angra do

Heroísmo, o Professor Doutor Álamo de Meneses para a efetuar, e este, depois de explicada a importância da recolha dos fitofósseis, concedeu-a. Referiu no entanto que não seria possível parar a obra para a realização de tal tipo de trabalho, uma vez estava em risco a segurança de pessoas e que esta já tinha sido concessionada a um empreiteiro que já se encontrava no local com maquinaria pesada.

Como consequência dessa intervenção de emergência, verificou-se que num só dia, as máquinas destruíam grande parte dos fósseis das rochas desmoronadas. Após uma avaliação autónoma e subjetiva de risco, planeou-se colher os fósseis apenas nalguns pontos do cone de materiais deslocados da barreira, exclusivamente naqueles que garantiriam condições máximas de segurança.

Os exemplares de fitofósseis que também serão utilizados neste estudo foram recolhidos na Baía de Angra do Heroísmo, são propriedade do Professor Félix Rodrigues e foram recolhidos aquando da obra de estabilização da arriba costeira dessa baía, no período de 2001 a 2003: À medida que as intervenções técnicas no local iam produzindo deslocamentos e quedas de pedaços de tufos com fitofósseis esse investigador ia-os recolhendo. Na altura foi solicitado ao Presidente da Câmara Municipal de Angra do Heroísmo, Dr. Sérgio Ávila, apoio para a recolha sistemática desses materiais, mas tal apoio não se concretizou. A coleção que resultou dessa recolha constitui-se em cerca de cinquenta fitofósseis, com algumas espécies que também existem na Baía do Fanal e outras que não têm paralelo.

Quanto aos fitofósseis recolhidos em Santa Luzia e que nos foram cedidos pelo Mestre Mauro Ponte, foram recolhidos aquando das obras de restauro de uma moradia particular que ocorreu por volta de 2016.

Vários fitofósseis colhidos possuem à sua superfície uma coloração branca, e outros, uma coloração castanha-avermelhada, quando a grande maioria é acinzentada, com a mesma coloração do tufo vulcânico. Colocou-se a hipótese de tais colorações resultarem de processos de silicificação e piritização, envolvendo nanopartículas de sílica coloidal e coloides de óxido de ferro e não de mecanismos de lixiviação da matéria orgânica que pressupõe que esta

tenha sido totalmente substituída por compostos minerais, permitindo a preservação de detalhes anatômicos dos tecidos vegetais.

A silicificação é o processo no qual a matéria orgânica fica saturada com sílica. Uma das fontes mais comuns de sílica são os materiais vulcânicos, e o tufo, é claramente um deles.

A silicificação ocorre mais frequentemente em dois ambientes – quando o espécime é enterrado em sedimentos de deltas e planícies de inundação ou os organismos estão enterrados em cinzas vulcânicas (Sigleo, 1978). A água deve estar presente para que a silicificação ocorra e mantenha a forma do organismo através do transporte e a deposição de sílica. Esse processo dá-nos informações acerca do encharcamento dos solos, como tal pode-se constituir um “proxy” climático. Para testar este mecanismo tentou-se produzir nanopartículas de sílica em laboratório a partir do tufo vulcânico onde se encontravam fósseis.

Para que a silicificação ocorra, o pH do meio deve ser neutro a ligeiramente ácido (Sigleo, 1978) com temperaturas e pressões semelhantes a ambientes sedimentares de pouca profundidade (Sigleo, 1978). O que se tentou obter em laboratório foi uma silificação artificial.

Em laboratório, digeriu-se uma amostra de tufo vulcânico do Monte Brasil em ácido sulfúrico, tendo-se neutralizado o sobrenadante com hidróxido de sódio. Nesse processo obteve-se uma solução coloidal de sílica-gel (ver figura 13). Depois da solução repousar, o sobrenadante foi retirado e adicionada água abundante ao depósito coloidal, para garantir que a solução possuía um pH neutro a ligeiramente ácido (equivalente ao pH da água da chuva).

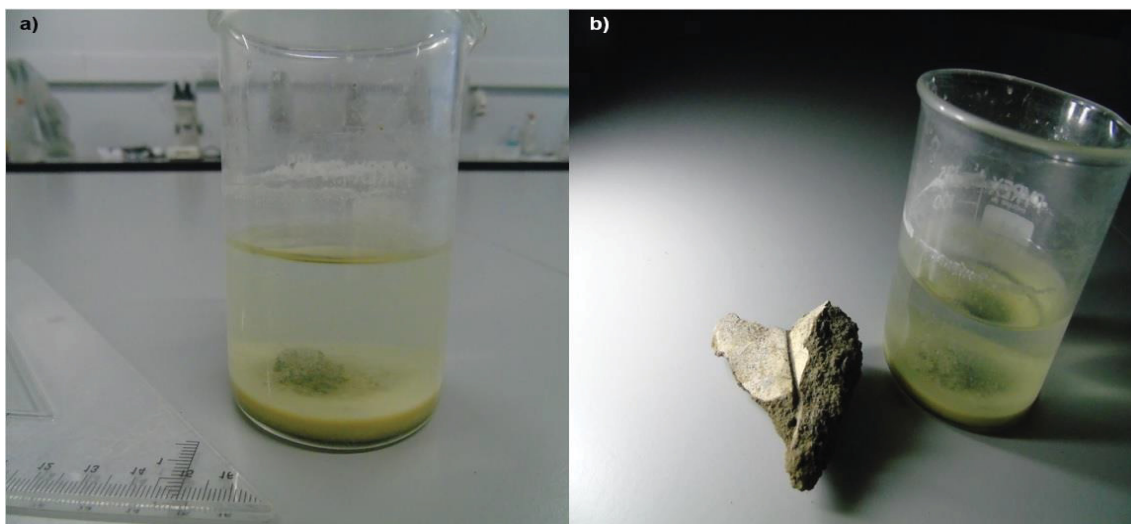


Figura 13: processo de silicificação artificial recriado em laboratório: a) solução coloidal de sílica-gel obtida; b) recriação do processo de silificação numa amostra de tufo vulcânico do Monte Brasil.

Com outra amostra de tufo vulcânico, que aparentava conter óxido de ferro, procedeu-se do mesmo modo, tendo-se obtido um precipitado coloidal de coloração branco-acastanhado. Essa solução coloidal separa-se ficando uma camada esbranquiçada na parte de baixo do recipiente e uma camada acastanhada na parte superior (ver figura 14).

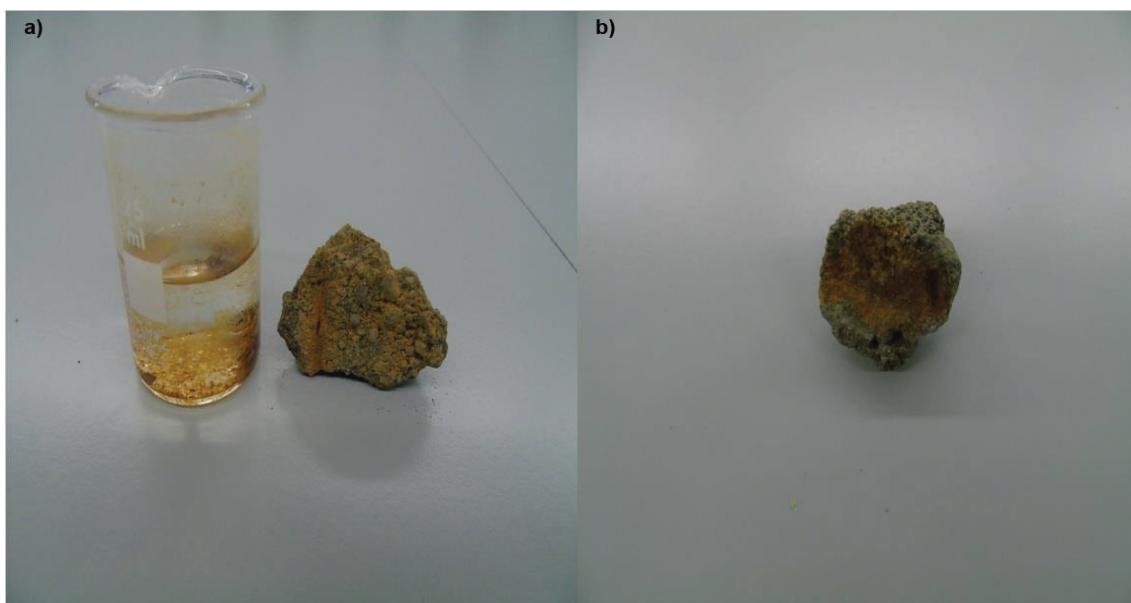


Figura 14: processo artificial de piritização recriado em laboratório: a) precipitado coloidal de coloração branco-acastanhado; b) recriação do processo de piritização numa amostra de tufo vulcânico do Monte Brasil.

O procedimento laboratorial pormenorizado foi semelhante aos de Rebelo *et al.*, (2015).

O uso destes dois tipos de nano partículas para replicar as colorações observadas poderá ajudar-nos a entender quando é que em materiais vulcânicos ocorre silicificação ou piritização.

A piritização é um processo semelhante à silicificação, mas envolve a deposição de ferro e enxofre nos poros e cavidades de um organismo (Sigleo, 1978).

De acordo com Mustoe (2007), em ambientes marinhos, a piritização ocorre quando os organismos são enterrados em sedimentos, contendo uma alta concentração de sulfuretos de ferro. Apesar desse fenómeno ocorrer essencialmente em carbonatos, ele também pode ocorrer, em menor grau, em plantas em ambientes de argila contendo enxofre ou compostos de enxofre. Essa informação pode ser pertinente em análises paleoclimáticas.

Ainda em laboratório, organizaram-se os materiais recolhidos de modo a sistematizar a informação. Foram recolhidos no total cerca de 450 exemplares fósseis, dos quais, após serem analisados, foram selecionados os menos fragmentados e os que melhor conservavam as suas características morfológicas (e.g. nervuras, margem, etc.).

Para constriuir coleções de referência de espécies da floresta nativa dos Açores, recolheram-se coleções de folhas de diversas espécies vegetais existentes na ilha, com ênfase para espécies endémicas, que à partida se assemelhavam com os morfotipos recolhidos, para que, através de parâmetros estatísticos (média, máximo, mínimo e distribuição estatística) se pudesse calcular a probabilidade dos morfotipos serem equivalentes a folhas de espécies atuais.

Essa coleção de referência permite a comparação dos morfotipos de fósseis com folhas atuais, o que permitiria perceber se há relação entre as folhas ou plantas dos fósseis e as de plantas atuais existentes na ilha.

O registo gráfico dos espécimes estudados foi realizado de várias formas: através de fotografia ou imagem digital de lupa, bem como através do desenho dos respetivos pedaços e nervações. Compararam-se folhas de material atual, cujas dimensões e nervações, primária e secundária, e nalguns casos terciária

e quaternária, são equiparáveis ou equivalentes aos existentes no registo fóssil. Orientando devidamente o registo fóssil relativamente a uma fonte luminosa, foi possível salientar a arquitetura da nervação, podendo chegar-se ao detalhe dos padrões de venação de ordens superiores à secundária ou outros pormenores morfológicos.

Também foram fotografadas as folhas jovens e folhas adultas das espécies atuais estudadas tendo em conta a face adaxial e abaxial das mesmas, e desta forma tentou-se identificar algumas das suas características morfológicas, para posteriormente compará-las com as folhas fósseis. Para o feito foi usado uma câmara fotográfica Sony Cyber-shot DSC-H400.

Para a obtenção dos dados biométricos da colecção de referência das folhas atuais foram efetuadas medições a um conjunto de parâmetros, mais precisamente o ângulo das nervuras secundárias, o raio de curvatura das nervuras secundárias, a densidade da nervação secundária, os espaçamentos entre as nervuras secundárias e a área foliar, que nos permitissem criar bases de referência para auxiliar na identificação dos fitofósseis recolhidos. Foram efetuadas medições para as seguintes espécies: *Laurus azorica* (n=30); *Ocotea foetens* (n=30); *Viburnum treleasei* (n=50); *Picconia azorica* (n=50) e *Morella faya* (n=50).

O modelo normal ou gaussiano de distribuição estatística de dados tem um papel central na inferência estatística. Muitos dos testes estatísticos foram desenvolvidos partindo do pressuposto que os dados seguem esse modelo. Pelo que se acabe de referir torna-se importante verificar quanto os critérios de caracterização da venação de uma folha fóssil se afasta do conjunto dos mesmos critérios de folhas vivas de espécies nativas ou endémicas ou até mesmo se afasta do modelo gaussiano.

Se conhecermos o tipo e a intensidade da assimetria da distribuição estatística de um conjunto de dados de fósseis, que se julgam pertencerem à mesma espécie, poderemos verificar se esse conjunto de dados tem o mesmo tipo de distribuição estatística de outro conjunto de dados referentes a uma determinada espécie atual, quanto mais não seja do mesmo género. Por exemplo, caso as distribuições tenham uma forte assimetria positiva, sabe-se

que apesar da alta concentração de dados em valores mais baixos da variável estatística, a média da população sofrerá influência da cauda à direita deslocando-se nesse sentido. Nesse caso, haverá mais observações abaixo da média do que acima dela. O inverso acontece caso a assimetria for negativa.

A área foliar de uma folha varia ao longo do tempo, por isso mesmo é importante perceber a sua forma de distribuição estatística pois esta pode encerrar um efeito da idade sobre as curvas de distribuição da variável área foliar.

É a partir dos índices de assimetria e curtose numa e noutra distribuição (área foliar de fósseis e área foliar da mesma espécie viva) que se poderá perceber se é possível admitir que há o mesmo efeito idade numa e noutra distribuição estatística.

O teste de Kolmogorov-Smirnov biamostrais fornece-nos o parâmetro valor de prova (valor-p, p-value ou significância), que pode ser interpretado como a medida do grau de concordância entre os dados e a hipótese nula (H_0), sendo H_0 a hipótese que admite que os dados possuem a mesma distribuição estatística Normal. Quanto menor for o valor-p, menor será a consistência entre os dados e a hipótese nula. Estatisticamente rejeita-se H_0 se $p \leq \alpha$, ou seja, não se pode admitir que o conjunto de dados em questão tenham distribuições Normais.

O teste Kolmogorov-Smirnov biamostrais é um dos métodos não paramétricos mais úteis e utilizados na comparação de duas amostras, já que é sensível a diferenças tanto nos parâmetros de localização das amostras, como nos parâmetros de forma das funções distribuição acumulada empírica de duas amostras.

Nos casos em que se testam as normalidades das distribuições, as amostras são padronizadas e comparadas com uma distribuição normal padrão, assim há necessidade de transformação dos dados. A normalização das amostras é o processo mais usual, especialmente em amostras com distribuição dos dados com assimetrias positivas ou negativas.

Assim o teste Kolmogorov–Smirnov pode ser usado para testar se duas distribuições de probabilidade unidimensionais subjacentes (área foliar de fósseis e área foliar de folhas vivas) diferem entre si.

O teste Kolmogorov–Smirnov biamostrai permite verificar se as duas amostras de dados vêm da mesma distribuição mas não especifica qual é esta distribuição comum, isto é, se é normal ou não normal.

A análise estatística dos parâmetros acima referidos garantem-nos uma elevada probabilidade de classificação botânica do género e nalguns casos da espécie.

Por fim, tendo por base as imagens à escala de fitofósseis dos Açores, Madeira e Canárias, publicada na mais diversa bibliografia, compararam-se alguns parâmetros morfológicos dessas folhas com os morfotipos recolhidos. Foram também aplicadas as bases de referência criadas neste trabalho aos fitofósseis acima referidos, de modo a verificar também se cumpriam todos os critérios das mesmas.

4.2 Métodos de análise florística

A arquitetura foliar dos espécimes será analisada segundo a metodologia proposta pelo “Leaf Architecture Working Group” (1999), e *Peppe et al.*, (2008). Estes autores propõem a análise de floras fósseis através da construção de catálogos de morfotipos. Este processo serve para organizar uma flora fóssil em categorias distintas, que atuam como uma aproximação de uma espécie biológica e, como tal, não requer uma análise taxonómica profunda da flora fóssil. Características morfológicas importantes consideradas neste processo incluem: tamanho da folha, tipo de margem, formato do ápice, forma da base e nervação (*Ellis et al.*, 2009; *Yang et al.*, 2011, 2015; *Gushulak et al.*, 2016).

Esta abordagem, segundo os autores supracitados, pressupõe uma classificação informal e independente do sistema Lineano de classificação. O resultado desta classificação poderá coincidir com espécies Lineanas, mas não é obrigatório (i.e. a preservação é sempre incompleta, os órgãos são frequentemente separados, os caracteres são muitas vezes enigmáticos e

muitas espécies e géneros extintos não têm nenhum parente moderno para contornar esses problemas) (Leaf Architecture Working Group (1999) e Ellis *et al.*, 2009). Para a organização da descrição da flora fóssil adotar-se-á o formato apresentado por Peppe *et al.*, (2008), mais especificamente:

1 - Número do Morfotipo (BF: Baía do Fanal; BAH: Baía de Angra do Heroísmo; SL: Santa Luzia ou outro, caso de consiga identificar claramente o local da sua proveniência);

2 - Nome taxonómico (Género e espécie prévia aceite / Género prévio aceite ou

espécie inválida / Novo nome proposto);

3 - Afinidade sistemática (Classe, Ordem e Família);

4 - Identificação prévia (caso o nº 2 tenha sido revisto);

5 - Figuras e detalhes

Pretende-se proceder, caso seja possível com as descrições de Ellis *et al.*, (2009), nomeadamente:

Descrição do tipo I: Caracteres foliares: inserção da folha (i.e. peciolada ou séssil); filotaxia (e.g. folhas opostas, folhas verticiladas, etc.); organização foliar (e.g. folhas simples, folhas compostas); organização dos folíolos (e.g. alternados, subopostos, etc.); inserção do folíolo (séssil ou peciolulada); características do pecíolo (e.g. com bainha, pulvinado, etc.).

Características da lâmina: inserção do pecíolo na lâmina (e.g. marginal, peltado, etc...); tamanho laminar (leptófilo: $<25 \text{ mm}^2$; nanófilo: $25\text{-}225 \text{ mm}^2$; microfilo $225\text{-}2025 \text{ mm}^2$; notófilo: $2025\text{-}4500 \text{ mm}^2$; Mesófilo: $4500\text{-}18225 \text{ mm}^2$; macrófilo: $18225\text{-}164205 \text{ mm}^2$; megáfilo: $>164205 \text{ mm}^2$); rácio laminar L:W (rácio do comprimento a dividir pela altura da lâmina); forma da lâmina (e.g. elíptica, ovada, obovada, etc.); simetria medial da lâmina (simétrica ou assimétrica); simetria da base (i.e. presença de extensões ou inserções laminares na base); presença de lóbulos (e.g. bilobada, palmada; penatífida etc.); tipo de margem (inteira, crenada, dentada, serrada); características especiais da margem (e.g. margem revoluta, involuta, undulada, etc.); ângulo

do ápice (agudo, obtuso, côncavo); forma do ápice (e.g. reto, convexo, lobado, acuminado, etc.); ângulo da base (e.g. agudo, obtuso; redondo); forma da base (e.g. reta, redonda, cordada, sagitada, etc.); características do ápice terminal (e.g. mucronado, espinhoso, retuso, etc.); Textura (e.g. lisa, papilosa, pubescente etc.); Glândulas superficiais (e.g. marginais, laminares apicais, etc...).

Descrição do tipo II: Nervação: categoria de nervação primária (peninérvea, palmada, flabelada, etc.); presença de nervuras basais nuas (i.e. nervura faz parte da margem; podem ser presentes ou ausentes); número de nervuras basais; nervuras agróficas (i.e. complexo de nervuras em forma de pente, formadas por uma nervura primária ou secundária, das quais ramificam nervuras secundárias exmediais, com o curso para a margem da folha);

Nervação secundária: Categoria da nervação secundária (e.g. semicraspedódroma, broquidódroma; cladódroma; secundárias interiores (i.e. nervuras que se ligam entre nervuras primárias ou entre primárias e secundárias perimarginais); Categoria da nervação secundária menor (i.e. categoria das ramificações das nervuras secundárias, designadas de nervuras secundárias menores); Nervação perimarginal (i.e. nervuras paralelas à margem da folha; e.g. marginais; intramarginais, fimbriais etc.); espaçamento das nervuras principais secundárias (e.g. regular, irregular, decrescente proximal, etc.); variação do ângulo das nervuras secundárias (e.g. uniforme, inconsistente, diminuindo ligeiramente proximalmente, etc.); inserção das secundárias principais (i.e. ligação das nervuras secundárias à primária, sem deflexão visível na axila, deflectida, etc.). Nervuras intersecundárias (i.e. nervuras com percurso similar às secundárias principais, mas geralmente mais curtas na sua extensão exmedial, e com calibre intermédio entre as secundárias principais e as terciárias): percurso proximal (e.g. paralelas às secundárias; perpendiculares às nervuras primárias, etc.); extensão (e.g. >50% ou <50% das secundárias adjacentes); percurso distal (e.g. ramifica, paralelo, perpendicular, etc.); frequência das nervuras (i.e. numero por área intercostal). Nervuras terciárias: textura da nervação intercostal (e.g. percurrente, alternado, misto, etc.); ângulo das terciárias percurrentes (e.g. agudo, obtuso, perpendicular); variação dos ângulos das nervuras terciárias na área intercostal

(e.g. inconsistente, consistente, aumentando exmedialmente); nervuras terciárias epimediais (i.e. nervuras terciárias que intersectam nervuras primárias; e.g. percurrentes, ramificadas, reticuladas); percurso das nervuras epimediais (e.g. paralelas às secundárias subjacentes, perpendiculares à nervura primária etc.); percurso exmedial (e.g. paralelo às intercostais terciárias, basiflectidas, etc.); percurso das terciárias exteriores (ausentes, em loop, variáveis, etc.); Nervação de quarta ordem: textura: percurrente, reticulado, ramificação livre. Recorte marginal: espaçamento dos dentes (regular, irregular); número de ordem de dentes; número de dentes por cm; forma do sinus (angular, redondo); forma do dente (descrição do flanco distal e basal; e.g. CV/ST: dente convexo-reto); Nervura principal (i.e. presença ou ausência de nervação associada ao dente; Terminação da nervura (e.g. submarginal, marginal, etc.); percurso da nervura acessória (e.g. convexo em relação à nervura principal do dente, etc.); características do ápice do dente (e.g. simples, foraminoso, mucronado, etc.).

Desde já se pode afirmar que não foi possível identificar todos os pormenores anteriores referidos para a nervação em muito dos fósseis, pelo que a não observação pode não se equivaler à ausência de nervação de uma determinada ordem.

Como referido anteriormente, para a comparação dos fósseis, foi elaborado um herbário de referência de espécies endémicas dos Açores, e escolhidas folhas, as quais também foram fotografadas. Foram também determinados parâmetros biofísicos destas mesmas folhas de modo a poder compará-las estatisticamente com os moldes de fósseis encontrados.

Foi solicitada a colaboração à Universidade de Coimbra para a identificação de alguns grãos de pólen ou de esporos contidos nas amostras, mas tal colaboração não se realizou em tempo útil.

Contou-se com a colaboração do Professor Richard Pokorný, da Faculdade de Ambiente da Universidade da Univerzita Jana Evangelisty Purkyne, da República Checa, especialista em diferentes formas de herbivoria de insetos em fósseis vulcânicos e também conhecedor da flora vulcânica fóssil de várias ilhas dos Açores.

Foi também solicitada colaboração à Doutora Catarina Melo, especialista em Ecologia de Fungos Micorrízicos, mas acrescenta-se desde já que não foi possível de forma clara e objetiva identificar qualquer associação mutualística deste tipo de simbiose.

Solicitou-se a colaboração dos Professores João Barcelos e João Pedro Barreiros, da Faculdade de Ciências Agrárias e do Ambiente da Universidade dos Açores, numa primeira tentativa de identificação de morfotipos que se assemelhavam a ossos de mamífero. Não foi possível avançar no estudo desses morfotipos pelo que a única conclusão possível que se pode retirar neste momento é que efetivamente os morfotipos tem paralelismos com formas de ossos, mas difíceis de explicar a sua formação por se encontrarem completamente cheios de cinzas vulcânicas em vez de espectáveis orifícios cilíndricos.

Através do cruzamento de dados variados, tentou-se então extrair resultados paleoclimáticos, usando as metodologias propostas por Cain & Castro (1959) e Greenwood (1992); Wing & Greenwood (1993); Traiser *et al.*, (2005) e Peppe *et al.*, (2011) que de seguida se descrevem.

4.3 Dimensões e Métodos Estatísticos

As dimensões lineares e angulares dos fósseis e das folhas atuais foram medidas com um paquímetro e um transferidor sobre o próprio fóssil e folha ou sobre as suas fotos obtida em escala, sob iluminação direta ou indireta. As áreas da superfície foliar foram calculadas de acordo com as propostas de Cain & Castro (1959) e Greenwood (1992).

Foram realizadas análises estatísticas nas duas coletas de dados (fósseis e folhas de espécies atuais com características equivalentes), a fim de determinar se podem ou não representar as mesmas populações foliares. Aplicaram-se os testes estatísticos mais convenientes às distribuições estatísticas dos diversos parâmetros avaliados. A área foliar média foi expressa em cm² para cada morfotipo de folhas de ambas as coleções (fósseis e folhas atuais). Essa

avaliação decorreu da aplicação da expressão 1 de Cain & Castro, (1959) e Greenwood, (1992):

$$\text{Área Foliar} = \text{Comprimento} \times \text{Largura} \times 0.67 \quad \text{Equação 1}$$

4.4 Parâmetros climáticos: Análise de Margem Foliar (LMA – Leaf Margin Analysis) e Temperatura Média Anual (TMA)

A Análise da Margem Foliar é um método univariado para estimar a Temperatura Média Anual (TMA), o qual relaciona a proporção de espécies de dicotiledóneas lenhosas de margem inteira de uma flora com a TMA (Wilf, 1997; Kennedy *et al.*, 2014). Uma forte correlação tem sido repetidamente observada entre a percentagem de espécies de madeira dicotiledóneas com margens dentadas ou não dentadas (ou inteiras) e a temperatura média anual (Wilf, 1997; Greenwood *et al.*, 2004; Peppe *et al.*, 2011). No entanto, devido ao facto que o tipo de margem foliar num conjunto florístico está submetido a restrições filogenéticas e históricas, esta correlação não é globalmente uniforme (Kennedy *et al.*, 2014). Posto isto, é recomendável utilizar uma calibração no contexto de uma história fitogeográfica compartilhada para obter estimativas significativas (Hinojosa *et al.*, 2011). Este método geralmente apresenta um erro de $\pm 5^{\circ}\text{C}$, contudo segundo Royer (2012) o erro é aproximadamente menor caso se utilize uma calibração regional apropriada, diminuindo para cerca de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ (Royer, 2012).

Para realizar a Análise de Margem Foliar (LMA) os morfotipos serão avaliados usando uma escala binomial de não dentados versus dentados consistente com a recomendação de Wilf (1997). A equação LMA (2) de Wing & Greenwood (1993) e LMA (3) de Traiser *et al.*, (2005) serão aplicadas, onde LMP é a percentagem de folhas com recortes marginais numa flora. A equação global de LMA (4) de Peppe *et al.*, (2011) também será aplicada porque representa ambientes com vegetação mais diversificada do que os utilizados para derivar a equação LMA original, mas tem um erro padrão muito maior

(Peppe *et al.*, 2011). A equação (4) destina-se a neutralizar as variâncias regionais que foram observadas entre a TMA e a proporção de folhas com recortes marginais encontradas numa flora (Gregory-Wodzicki 2000; Greenwood *et al.*, 2004; Royer *et al.*, 2012). Seguem-se as equações empíricas que se pretendem utilizar:

$$\text{TMA} = 1.141 + (30.6 \times \text{LMP}) \quad \text{Equação 2}$$

$$\text{TMA} = 0.512 + (31.4 \times \text{LMP}) \quad \text{Equação 3}$$

$$\text{TMA} = 4.60 + (20.4 \times \text{LMP}) \quad \text{Equação 4}$$

5. Resultados

5.1 Coleções de Referência

No que respeita às coleções de referência foram consideradas as seguintes espécies: *Laurus azorica*, *Ocotea foetens*, *Viburnum treleasei*, *Picconia azorica*, *Morella faya*, *Hedera azorica*, *Polystichum setiferum*, *Dryopteris azorica* e *Juniperus brevifolia*. Como referido anteriormente, tendo em conta os dados biométricos das folhas reais destas espécies, nomeadamente a média dos ângulos das nervuras secundárias, o raio de curvatura das nervuras secundárias, a média dos espaçamentos entre as nervuras secundárias, a tendência da área foliar e a densidade das nervuras foi possível considerar bases de referência que, através dos quais, tentou-se a identificação dos fósseis estudados. Importa referir, que para cada espécie este método foi validado em diferentes amostras das mesmas, de forma a verificar se o mesmo se aplicava a diferentes amostras. Assim, quando se verificava que não havia coincidência em todos os parâmetros biofísicos apresentados na base de referência, alterava-se a mesma de modo a garantir maior variabilidade morfológica. Deve-se salientar que foram apenas estabelecidas bases de referência para as primeiras cinco espécies supramencionadas.

No que respeita à espécie *Laurus azorica* as distribuições estatísticas das variáveis espaçamento entre nervuras principais, densidade de nervação secundária e ângulo de ligação entre nervuras secundárias e primárias são normais e praticamente simétricas. Por sua vez, a variável área foliar apresenta uma assimetria positiva (ver anexo I).

Quanto à espécie *Viburnum treleasei* as distribuições estatísticas das variáveis espaçamento entre nervuras principais e raio de curvatura das nervuras secundárias são normais e simétricas, a variável densidade de nervação secundária apresenta uma assimetria positiva e a área foliar, por sua vez, apresenta uma distribuição gaussiana com uma ligeira assimetria positiva (ver Anexo II).

Em relação à espécie *Morella faya* as distribuições estatísticas das variáveis espaçamento entre nervuras principais e ângulo de ligação entre nervuras

secundárias e primárias são normais e praticamente simétricas, por seu turno a variável área foliar e a densidade de nervação secundária apresenta uma assimetria positiva (ver anexo V).

Por fim, no estudo das espécies *Ocotea foetens* e *Picconia azorica* verificou-se que as distribuições estatísticas das variáveis espaçamento entre nervuras secundárias e ângulo de ligação entre nervuras secundárias e primárias são normais e simétricas, as variáveis densidade de nervação secundária e área foliar apresentam uma ligeira simetria positiva (ver Anexo III e IV).

Perante os resultados obtidos, consideraram-se todas as variáveis referidas como importantes para o estabelecimento de uma base de referência de espécies que possam coincidir com os fósseis em estudo, tendo em conta aspetos biométricos das suas folhas. Nalguns casos podem alargar-se criteriosamente o intervalo de variação dos valores das variáveis medidas nos fósseis se foram considerados diferentes intervalos de confiança de modo a garantir com determinada certeza que a folha da espécie em estudo tem determinada probabilidade de coincidir com espécies atuais.

Nos vários casos analisados, a variável área foliar de cada espécie parece estar relacionada com diferentes estádios de desenvolvimento foliar das espécies, por isso dar-lhe ênfase numa avaliação de folhas fossilizadas poderá enviesar alguns resultados. No entanto, o valor máximo de área foliar observado numa coleção de referência permite-nos garantir com 99% de certeza que folhas de fósseis de uma determinada espécie, cuja área foliar ultrapasse este mesmo valor, não pertence a essa espécie.

Tendo em conta os parâmetros anteriormente referidos em cada base de referência que neste trabalho se produziu, pode afirmar-se que uma medida das características das nervações secundárias de um fóssil que caia dentro dos intervalos mencionados tem enorme probabilidade (99%) de pertencer ao mesmo conjunto (porque o f_0 -coeficiente do teste de Kolmogorov–Smirnov bicaudal, foi de 1,5 a um nível de confiança de 0,01), a não ser que existam outras espécies com o mesmo tipo de geometria de nervação secundária. Nesse caso, estaremos perante uma impossibilidade de determinar a espécie em questão tendo em conta apenas parâmetros biofísicos ou morfológicos.

Quanto maior for o número de parâmetros morfológicos avaliados numa folha fossilizada, maior é a probabilidade de nos aproximarmos da identificação correta da espécie alvo.

Para a criação das bases de referência, foram tidos em conta diferentes critérios de acordo com cada espécie alvo.

Quando se suspeitou, pela morfologia das folhas que os fósseis poderiam ser de *Laurus azorica*, foram adotados os seguintes critérios, tendo em conta os parâmetros biofísicos da coleção de referência de folhas atuais:

1 - As características gerais das folhas terão que ser pecioladas (quando for possível perceber a presença do pecíolo), lanceoladas e tomentosas pelo menos na nervura central (quando possível observar a lanugem).

2 - O ângulo mínimo a observar entre as nervuras secundárias e a nervura principal não deve ser inferior a 30°. A média dos ângulos entre as nervuras secundárias e a nervura central nunca deve ser inferior a 42°, quando se avaliam pelo menos quatro nervuras secundárias.

3 - O ângulo máximo a observar entre as nervuras secundárias e a nervura principal não deve ser superior a 73°. A média dos ângulos entre as nervuras secundárias e a nervura central, quando se avaliam pelo menos quatro nervuras secundárias, não deve ultrapassar os 47° e situar-se próxima deste valor.

4 - O espaçamento mínimo entre nervuras secundárias não deve ser inferior a 0,2 cm e o máximo não deve ultrapassar os 3,4 cm. O valor médio mínimo dos espaçamentos entre nervuras secundárias (mínimo de três medidas) não deve ser inferior a 0,5 cm e o valor médio máximo de espaçamento entre nervuras secundárias não deve ultrapassar os 1,8 cm.

5 - A densidade de nervuras secundárias nas folhas deve-se situar entre as 0,21 nervuras por centímetro quadrado, no mínimo, e as 1,35 nervuras por centímetro quadrado, no máximo. Os valores médios da densidade de nervuras devem situar-se em torno das 0,64 nervuras/cm².

6 - As áreas foliares da espécie *Laurus azorica* deve situar-se sempre abaixo dos 69 cm² quando se avalia essa área pela expressão $A=0,67 \times C \times L$.

Os fósseis de folhas que se suspeitam serem de *Laurus azorica* e que se enquadrem dentro dos parâmetros anteriormente referidos para a variabilidade das folhas da espécie atual, têm 99% de certeza de serem no mínimo, conforme a *Laurus azorica* atual.

Quanto à espécie *Viburnum treleasei*, foram considerados os seguintes critérios na proposta de identificação de fósseis semelhantes à espécie atual:

1 - As folhas são pecioladas (quando for possível perceber a presença do pecíolo), ovais e tomentosas pelo menos na nervura central (quando possível observar a lanugem).

2 - O raio de curvatura mínimo das nervuras secundárias a observar não deve ser inferior a 1.70 cm. O valor médio mínimo dos raios de curvatura das nervuras secundárias nunca deve ser inferior a 1.65 cm, quando se avaliam pelo menos duas nervuras secundárias.

3 - O raio de curvatura máximo das nervuras secundárias a observar não deve ser superior a 13.60 cm. O valor médio máximo dos raios de curvatura das nervuras secundárias, quando se avaliam pelo menos duas nervuras secundárias, não deve ultrapassar os 10.90 cm.

4 – O raio de curvatura da nervação da direita deve ser simétrico ao da esquerda ou então muito próximo, sendo que se pode admitir que há simetria, quando em média o valor do raio de curvatura da direita não ultrapassa o da esquerda e vice-versa de 0,6 cm.

5 - As nervuras secundárias devem fechar-se antes do limite da margem, fazendo uma espécie de losango.

6 - O espaçamento mínimo entre nervuras secundárias não deve ser inferior a 0,3 cm e o máximo não deve ultrapassar os 4,3 cm. O valor médio mínimo dos espaçamentos entre nervuras secundárias (mínimo de duas medidas) não deve ser inferior a 0,88 cm e o valor médio máximo de espaçamento entre nervuras secundárias não deve ultrapassar os 2,57 cm.

7 - A densidade de nervuras secundárias nas folhas deve-se situar entre as 0,16 nervuras por centímetro quadrado, no mínimo, e as 1,45 nervuras por

centímetro quadrado, no máximo. Os valores médios da densidade de nervuras devem situar-se em torno das 0,44 nervuras/cm².

8 - As áreas foliares devem situar-se sempre abaixo dos 58 cm² quando se avalia essa área pela expressão $A=0,67 \times C \times L$.

Também aqui, os fósseis de folhas que se suspeitam serem de *Viburnum treleasei* e que se enquadrem dentro dos parâmetros anteriormente referidos para a variabilidade das folhas da espécie atual, têm 99% de certeza de serem no mínimo, conforme a *Viburnum treleasei* atual.

Tendo em conta a coleção de referência de folhas atuais da espécie *Ocotea foetens*, propõe-se para identificação de fósseis semelhantes a esta espécie a seguinte base de referência:

1 – As folhas devem ser pecioladas (quando for possível perceber a presença do pecíolo), lanceoladas e glabras.

2 - O ângulo mínimo a observar entre as nervuras secundárias e a nervura principal não deve ser inferior a 45°. A média dos ângulos entre as nervuras secundárias e a nervura central nunca deve ser inferior a 53°, quando se avaliam pelo menos quatro nervuras secundárias.

3 - O ângulo máximo a observar entre as nervuras secundárias e a nervura principal não deve ser superior a 77°. A média dos ângulos entre as nervuras secundárias e a nervura central, quando se avaliam pelo menos quatro nervuras secundárias, não deve ultrapassar os 66° e situar-se próximo dos 60°.

4 - O espaçamento mínimo entre nervuras secundárias não deve ser inferior a 0,7 cm e o máximo não deve ultrapassar os 4,4 cm. O valor médio mínimo dos espaçamentos entre nervuras secundárias (mínimo de três medidas) não deve ser inferior a 1,2 cm e o valor médio máximo de espaçamento entre nervuras secundárias não deve ultrapassar os 3,5 cm.

5 - A densidade de nervuras secundárias nas folhas deve-se situar entre as 0,1 nervuras por centímetro quadrado, no mínimo, e as 0,61 nervuras por centímetro quadrado, no máximo. Os valores médios da densidade de nervuras devem situar-se em torno das 0,30 nervuras/cm².

6 - As áreas foliares da espécie *Ocotea foetens* deve situar-se sempre abaixo dos 75cm² quando se avalia essa área pela expressão $A=0,67 \times C \times L$.

Os fósseis de folhas que se suspeitam serem de *Ocotea foetens* e que se enquadrem dentro dos parâmetros anteriormente referidos para a variabilidade das folhas da espécie atual, têm 99% de certeza de serem no mínimo, conforme a *Ocotea foetens* atual.

À semelhança das espécies anteriores e considerando a coleção de referência de folhas atuais da espécie *Morella faya*, propõe-se para identificação de fósseis semelhantes a esta espécie a seguinte base de referência:

1 - As características gerais das folhas que são pecioladas (quando for possível perceber a presença do pecíolo), oblanceoladas, pinada, de margem inteira a crenada (com recortes marginais arredondados) e um ápice pouco aguçado.

2 - O ângulo mínimo a observar entre as nervuras secundárias e a nervura principal não deve ser inferior a 45°. A média dos ângulos entre as nervuras secundárias e a nervura central nunca deve ser inferior a 46°, quando se avaliam pelo menos quatro nervuras secundárias.

3 - O ângulo máximo a observar entre as nervuras secundárias e a nervura principal não deve ser superior a 90°. A média dos ângulos entre as nervuras secundárias e a nervura central, quando se avaliam pelo menos quatro nervuras secundárias, não deve ultrapassar os 72° e situar-se próxima deste valor (ver gráfico seguinte).

4 - O espaçamento mínimo entre nervuras secundárias não deve ser inferior a 0,2 cm e o máximo não deve ultrapassar os 1,5 cm. O valor médio mínimo dos espaçamentos entre nervuras secundárias (mínimo de três medidas) não deve ser inferior a 0,39 cm e o valor médio máximo de espaçamento entre nervuras secundárias não deve ultrapassar os 0,95 cm (ver gráfico seguinte).

5 - A densidade de nervuras secundárias nas folhas deve-se situar entre as 0,5 nervuras por centímetro quadrado, no mínimo, e as 3,9 nervuras por centímetro quadrado, no máximo. Os valores médios da densidade de nervuras devem situar-se em torno das 1,49 nervuras/cm² (ver gráfico da distribuição dos valores médios da densidade de nervuras secundárias por unidade de área).

6 - As áreas foliares da espécie *Morella faya* deve situar-se sempre abaixo dos 28.89 cm² quando se avalia essa área pela expressão $A=0,67 \times C \times L$.

Por fim, foram considerados os seguintes critérios na proposta de identificação de fósseis semelhantes à espécie *Picconia azorica* atual:

1 - As características gerais das folhas que são pecioladas (quando for possível perceber a presença do pecíolo), lanceoladas ou obovadas e glabras.

2 - O ângulo mínimo a observar entre as nervuras secundárias e a nervura principal não deve ser inferior a 45°. A média dos ângulos entre as nervuras secundárias e a nervura central nunca deve ser inferior a 49°, quando se avaliam pelo menos quatro nervuras secundárias.

3 - O ângulo máximo a observar entre as nervuras secundárias e a nervura principal não deve ser superior a 84°. A média dos ângulos entre as nervuras secundárias e a nervura central, quando se avaliam pelo menos quatro nervuras secundárias, não deve ultrapassar os 66° e situar-se próxima deste valor (ver gráfico seguinte).

4 - O espaçamento mínimo entre nervuras secundárias não deve ser inferior a 0,2 cm e o máximo não deve ultrapassar os 1,8 cm. O valor médio mínimo dos espaçamentos entre nervuras secundárias (mínimo de três medidas) não deve ser inferior a 0,4 cm e o valor médio máximo de espaçamento entre nervuras secundárias não deve ultrapassar os 0,92 cm (ver gráfico seguinte).

5 - A densidade de nervuras secundárias nas folhas deve-se situar entre as 0,65 nervuras por centímetro quadrado, no mínimo, e as 2,04 nervuras por centímetro quadrado, no máximo. Os valores médios da densidade de nervuras devem situar-se em torno das 1,20 nervuras/cm² (ver gráfico da distribuição dos valores médios da densidade de nervuras secundárias por unidade de área).

6 - As áreas foliares da espécie *Picconia azorica* deve situar-se sempre abaixo dos 27 cm² quando se avalia essa área pela expressão $A=0,67 \times C \times L$.

À semelhança das bases de referência anteriores, os fósseis de folhas que se suspeitam serem de *Morella faya* ou de *Picconia azorica* e que se enquadrem dentro dos parâmetros anteriormente referidos para a variabilidade das folhas

das espécies atuais, têm 99% de certeza de serem no mínimo, conforme as espécies atuais supracitadas.

Tendo em conta as bases de referência acima referidas, assim como algumas das características morfológicas identificadas nos morfotipos passíveis de comparação com as espécies atuais, procedeu-se à identificação dos mesmos da forma mais rigorosa e completa possível.

A macroflora fóssil estudada é constituída por impressões e compressões de elementos foliares. Estes fitofósseis são de difícil interpretação, pois os caracteres mais delicados e frágeis, tais como a nervação de 3ª ordem ou ordens superiores encontram-se com uma preservação muito ténue ou não se encontram preservadas, sendo por isso de difícil interpretação. São raras as folhas completas, isto é, as folhas fósseis com ápice e base preservados, e mais de metade da lâmina presente (Leaf Architecture Working Group, 1999), dificultando ainda mais a sua revisão.

5.1.1 Análise florística dos fósseis da Baía do Fanal

Na Baía do Fanal, foi discriminada a presença de 23 morfotipos, sendo que muitos dos quais são baseados em fragmentos ou material mal preservado. No total foram contabilizados nove morfotipos conforme (cf.) a espécie *Laurus azorica* (numerados de BF3, BF5, BF8, BF10, BF11, BF14, BF15, BF16 e BF18); dois morfotipos conforme a espécie *Viburnum treleasei* (BF2 e BF4); dois morfotipos conforme a espécie *Picconia azorica* (BF19 e BF20); um morfotipo conforme a espécie *Dracaena Draco* (BF1); cinco morfotipos conforme a família Lauraceae (BF6, BF7, BF9, BF17 e BF22); dois morfotipos conforme folhas dicotiledóneas indeterminadas (BF12 e BF13); um morfotipo conforme líquen provavelmente da família Parmeliaceae (BF21) e por fim um morfotipo conforme a espécie *Hedera azorica* (BF23). Em seguida é apresentada uma descrição dos morfotipos identificados nesta análise florística.

BF1

Conforme *Dracaena draco* (L.) L. subsp. draco

Afinidade sistemática: Classe Liliopsida; Ordem Asparagales; Família Asparagaceae

Figura: 15

Folha simples; fragmento de tamanho micrófilo; margem inteira; ângulo da base obtuso; textura lisa. Nervação primária paralelinérvea (ou paralelódroma), sem nervura central distinta.



Figura 15: Fóssil BF1: Fragmento de fóssil conforme a espécie *Dracaena draco draco* e folha atual da mesma.

Neste morfotipo, pode-se observar, além das características morfológicas acima descritas, a presença de uma base conspicuamente dilatada (pseudo-bainha; Denk *et al.*, 2014), muito característica das folhas atuais desta espécie.

BF2

Conforme *Viburnum treleasei* Gand.

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Dipscales; Família

Adoxaceae;

Figuras: 16d) e 16f)

Inserção da folha peciolada; folha simples; tamanho laminar notófilo; forma da lâmina elíptica ou ovada, com simetria medial; margem inteira; ângulo do ápice obtuso e forma do ápice convexa; ângulo da base obtuso; forma da base arredondada. Nervação primária penínervia; nervuras agróficas simples; nervação secundária broquidódroma simples; espaçamento entre nervuras secundárias irregular; a variação do ângulo aumenta suavemente em direção à base; nervação inter-secundária, terciária e superior não preservada no fóssil analisado.

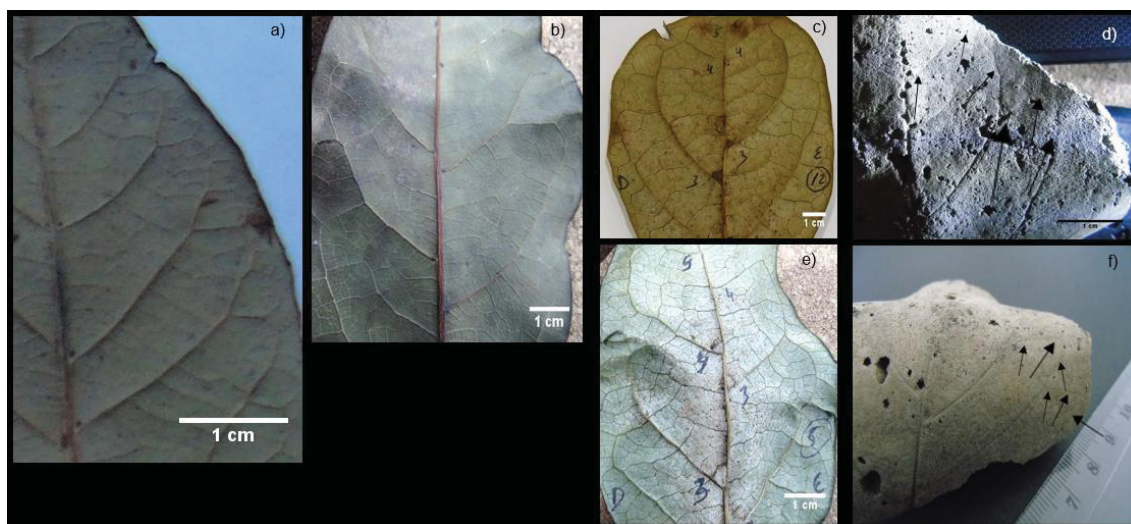


Figura 16: Fóssil BF2. Legenda: a) Folha de *Laurus azorica*; b) Folha de *Ocotea foetens*; c) e e) Folha de *Viburnum treleasei*; d) e f) Exemplar fóssil conforme a espécie *Viburnum treleasei*; nervação pimária e nervação secundária brochidódroma.

Este morfotipo cumpre todos os critérios da base de referência referida anteriormente para a espécie *Viburnum treleasei*. No que respeita às caraterísticas morfológicas (observáveis), mais precisamente o tipo de nervuras

secundárias, podemos observar com certeza que se trata de uma nervação secundária broquidódroma (ver onde apontam as setas nas figuras 16d e 16f), característica presente nas folhas actuais da espécie. Apesar de existirem algumas semelhanças com as folhas das espécies de *Laurus azorica* ou *Ocotea foetens*, as características biométricas do morfotipo são claramente distintas.

BF3

Conforme *Laurus azorica* (Seub.) Franco

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Laurales; Família Lauraceae;

Figuras: 17a) e b) e 18 a) e c)

Folha simples; tamanho laminar micrófilo; com simetria medial; margem inteira. Nervação primária peninérvea; nervação secundária broquidódroma simples; espaçamento entre nervuras secundárias irregular; variação do ângulo diminuindo suavemente em direção à base; nervação inter-secundária com percurso proximal; nervação terciária percurrente oblíqua; percurso das nervuras epimediais perpendicular à nervura central; nervação quaternária reticulada.

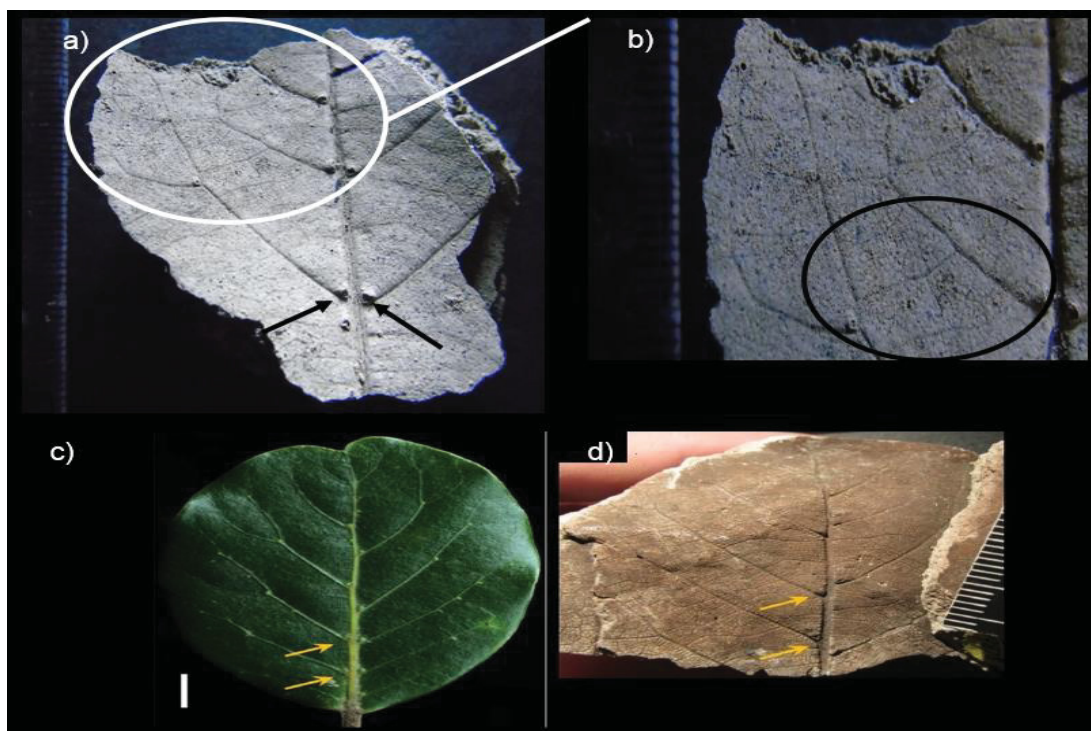


Figura 17: Fóssil BF3. Legenda: a) Nervura primária, nervuras secundárias e domáceas (ver onde apontam as setas); b) Nervuras terciárias e quaternárias; c) Domáceas da folha de *Laurus azorica* (adaptado de Góis-Marques e Sequeira, 2015); d) Domáceas fóssil de *Laurus azorica* (adaptado de Góis-Marques e Sequeira, 2015).

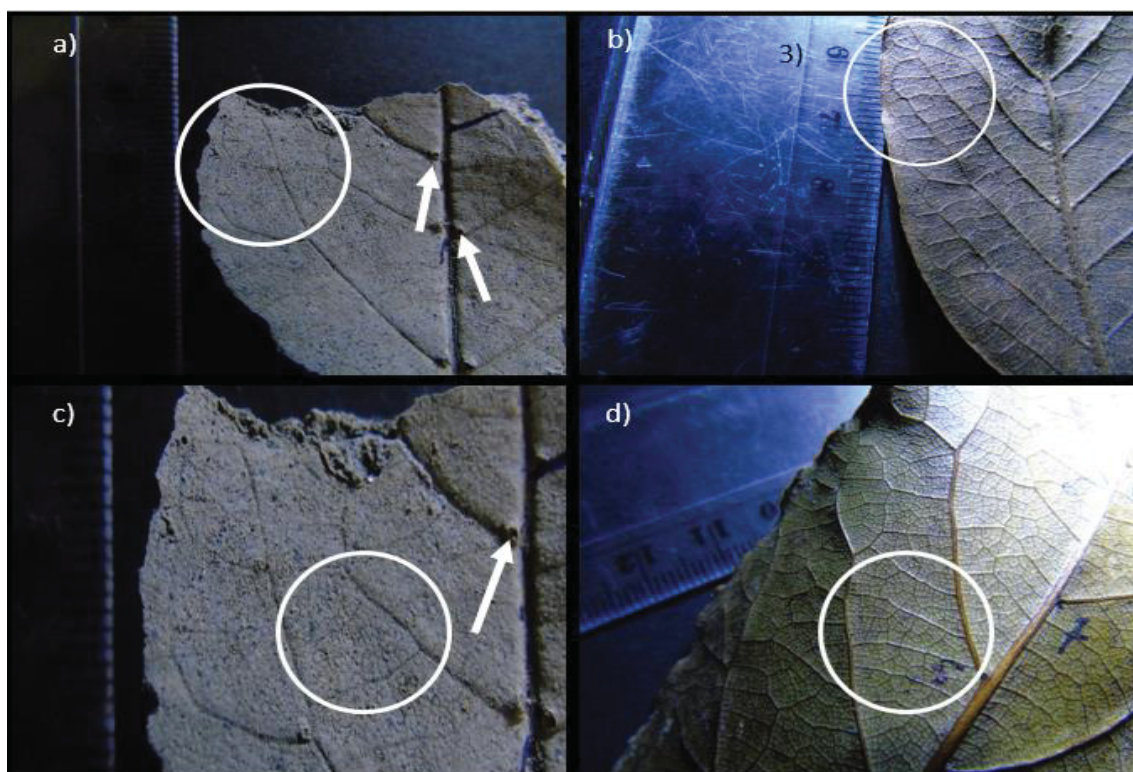


Figura 18: Fóssil BF3. Legenda: a) e c) Fóssil BF3 numa perspectiva ampliada; b) Perspetiva de folha de *Laurus azorica*; d) Ampliação de folha de *Laurus azorica*.

Este morfotipo cumpre praticamente todos os critérios da base de referência elaborada para a espécie *Laurus azorica*, à exceção do critério do valor médio dos ângulos (52.5° - que na base de referência refere valores próximos dos 47°). No que respeita às características morfológicas observáveis, mais precisamente ao tipo de nervuras secundárias, podemos observar que se trata de uma nervação secundária broquidódroma. Em relação às nervuras intersecundárias, terciárias e quaternárias, a espécie que mais se assemelha ao fóssil é a *Laurus azorica*. Podemos observar ainda a presença de domáceas (ver para onde apontam as setas da figura anterior) características da espécie *Laurus azorica*.

BF4

Conforme *Viburnum treleasei* Gand.

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Dipscales; Família

Adoxaceae;

Figuras: 19a) e b)

Folha simples; tamanho laminar micrófilo; forma da lâmina ovada ou lanceolada, com simetria medial e basal; margem inteira; ângulo da base obtuso; forma da base aguda. Nervação primária penínérvea; nervuras agróficas simples; nervação secundária broquidódroma simples; espaçamento entre nervuras secundárias irregular; variação do ângulo que aumenta suavemente em direção à base; nervação intersecundária não preservada; nervação terciária percurrente oblíqua; percurso das nervuras epimediais perpendicular à nervura central. Nervação superior não está preservada no fóssil analisado.

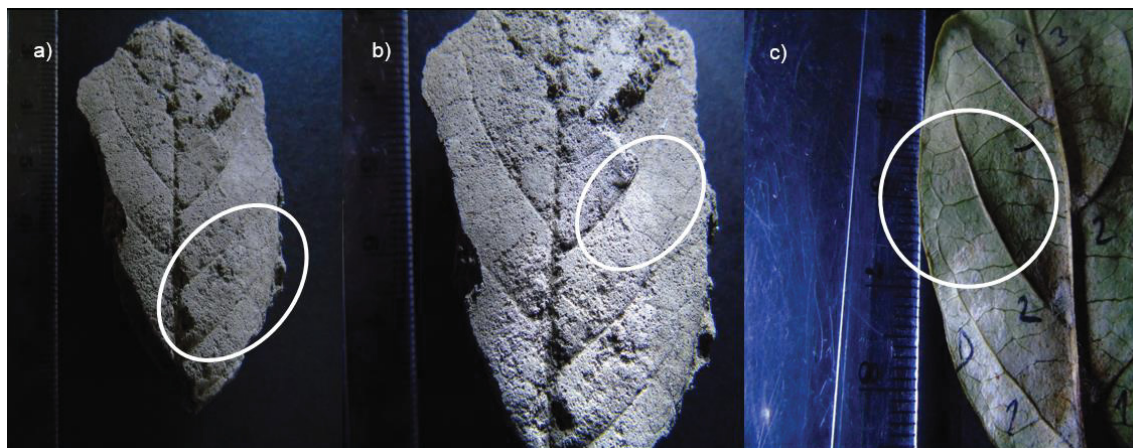


Figura 19: Fóssil BF4. Legenda: a) Fragmento de fóssil conforme a espécie *Viburnum treleasei* (nervuras secundárias broquidódromas; b) nervuras terciárias; c) Folha de *Viburnum treleasei* (nervuras secundárias e terciárias).

Este morfotipo cumpre todos os critérios da base de referência elaborada para a espécie *Viburnum treleasei*. No que respeita às características morfológicas (observáveis), mais precisamente ao tipo de nervuras secundárias, podemos observar que se trata de uma nervação secundária broquidódroma, característica presente nas folhas reais desta espécie. Em relação às nervuras terciárias, a espécie que mais se assemelha ao fóssil é a *Viburnum treleasei*.

BF5

Conforme *Laurus azorica* (Seub.) Franco

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Laurales; Família Lauraceae;

Figuras: 20a) e b)

Em tudo equivalente à descrição efetuada para o morfotipo BF3. A nervação inter-secundária não está preservada no fóssil analisado.

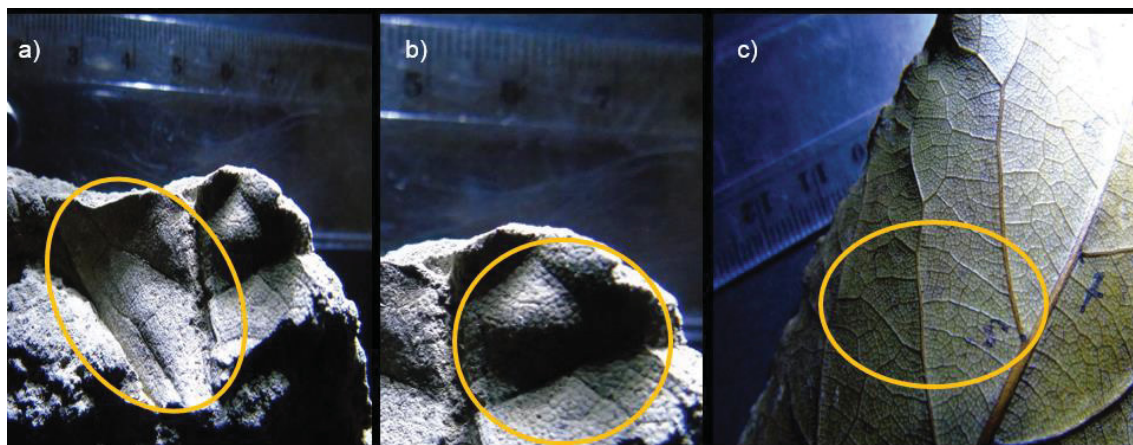


Figura 20: Fóssil BF5. Legenda: a) Fóssil BF5 nervuras secundárias broquidódromas; b) nervuras terciárias e quaternárias; c) Ampliação de folha de *Laurus azorica* (nervuras terciárias e quaternárias).

Este morfotipo cumpre praticamente todos os critérios da base de referência elaborada para a espécie *Laurus azorica*, à exceção do critério do valor médio dos ângulos (58.42° - base de referência aponta valores próximos dos 47°). No que respeita às características morfológicas, mais precisamente ao tipo de nervuras, podemos observar que as nervuras secundárias são da categoria brochidódroma, aproximando-se morfologicamente das folhas atuais de *Laurus azorica*, mas também de *Viburnum treleasei*. Em relação às nervuras terciárias e quaternárias, a espécie que mais se assemelha ao fóssil é a *Laurus azorica*.

BF6

Lauracea

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Laurales; Família Lauraceae;

Figuras: 21a) - c

Inserção da folha peciolada; folha simples; inserção pecíolo na lâmina marginal; tamanho laminar notófilo; forma da lâmina elíptica, com simetria basal; margem inteira. Nervação primária peninérvea; nervuras agróficas simples; nervação secundária brochidódroma simples; espaçamento entre

nervuras secundárias irregular; variação do ângulo inconsistente; nervação inter-secundária, terciária e superior não preservada no fóssil analisado.

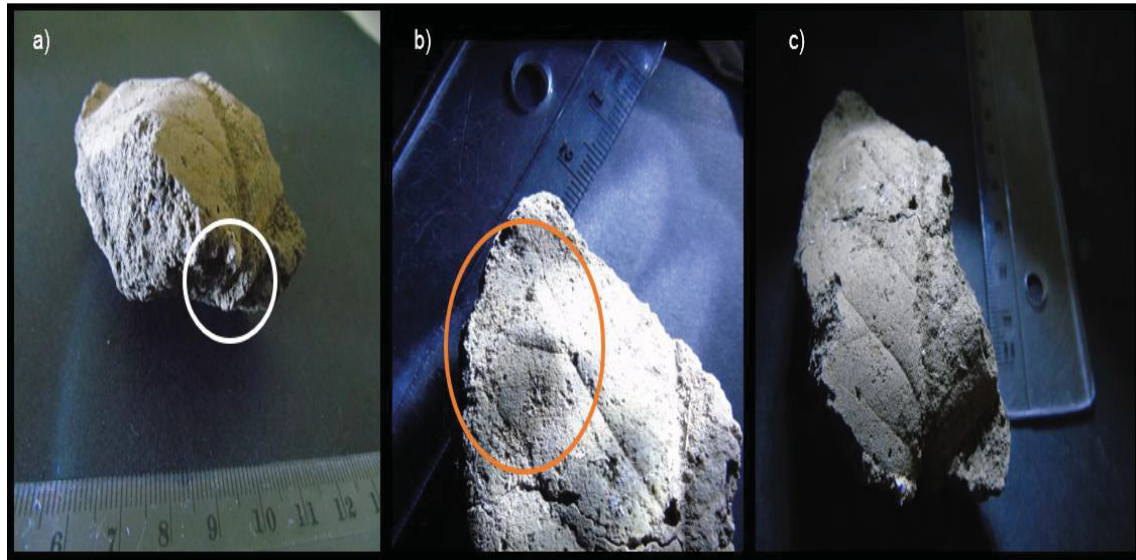


Figura 21: Fóssil BF6. Legenda: a) pecíolo; b) nervuras secundárias broquidódromas; c) nervuras primárias e secundárias.

Este morfotipo cumpre praticamente todos os critérios da base de referência elaborada para a espécie *Laurus azorica*, à exceção do critério do valor médio dos ângulos (48.03° - base de referência aponta a valores próximos dos 47°). No que respeita ao tipo de nervuras secundárias, podemos observar que se trata de uma nervação secundária broquidódroma. Aproximando-se morfologicamente das folhas atuais de *Laurus azorica* e de *Viburnum treleasei*, pelo que se conclui que é da família lauracea.

BF7

Lauracea

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Laurales; Família Lauraceae

Figuras: 22a) - c

Folha simples; tamanho laminar notófilo; forma da lâmina aparentemente elíptica ou ovada; margem inteira. Nervação primária peninérvea; espaçamento

entre nervuras secundárias irregular; variação do ângulo inconsistente; nervação inter-secundária perpendicular à primária; nervação terciária percurrente oblíqua; percurso das nervuras epimediais perpendicular à nervura central; nervação quaternária não presente no fóssil estudado.

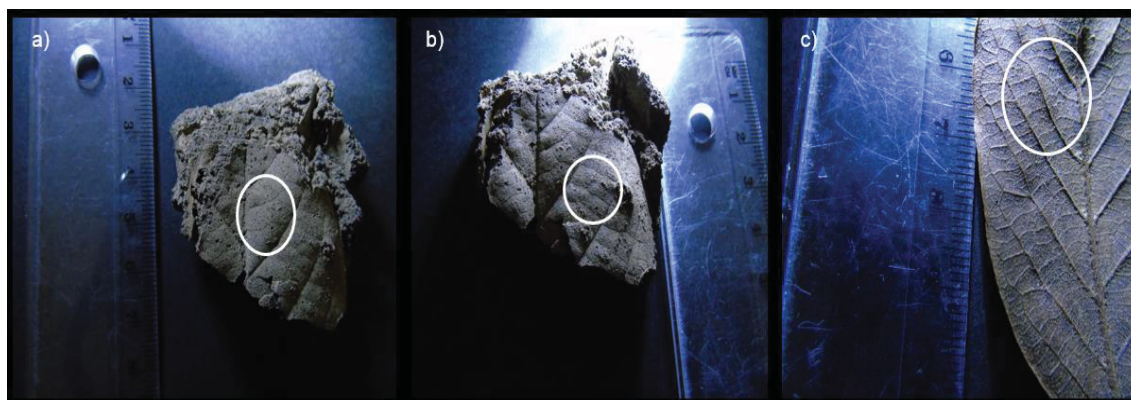


Figura 22: Fóssil BF7. Legenda: a) Nervura primária, nervuras secundárias e inter-secundárias; b) nervuras inter-secundárias; c) Nervuras inter-secundárias e terciárias de folha de *Laurus azorica*.

À semelhança do fóssil anterior este morfotipo cumpre também praticamente todos os critérios da base de referência elaborada para a espécie *Laurus azorica*, à exceção do critério do valor médio dos ângulos (47.58° - base de referência apresenta valores próximos dos 47°), sendo que apresenta um valor muito aproximado. Em relação às nervuras inter-secundárias e terciárias, a espécie que mais se assemelha ao fóssil é a *Laurus azorica*.

BF8

Conforme *Laurus azorica* (Seub.) Franco

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Laurales; Família Lauraceae

Figuras: 23a) e b)

Folha simples; inserção do pecíolo marginal; tamanho laminar micrófilo; forma da lâmina provavelmente elíptica; margem inteira. Nervação primária peninérvea; espaçamento entre nervuras secundárias irregular; variação do

ângulo inconsistente; nervação inter-secundária não preservada no fóssil analisado; nervação terciária percurrente oblíqua; percurso das nervuras epimediais perpendicular à nervura central; nervação quaternária reticulada.

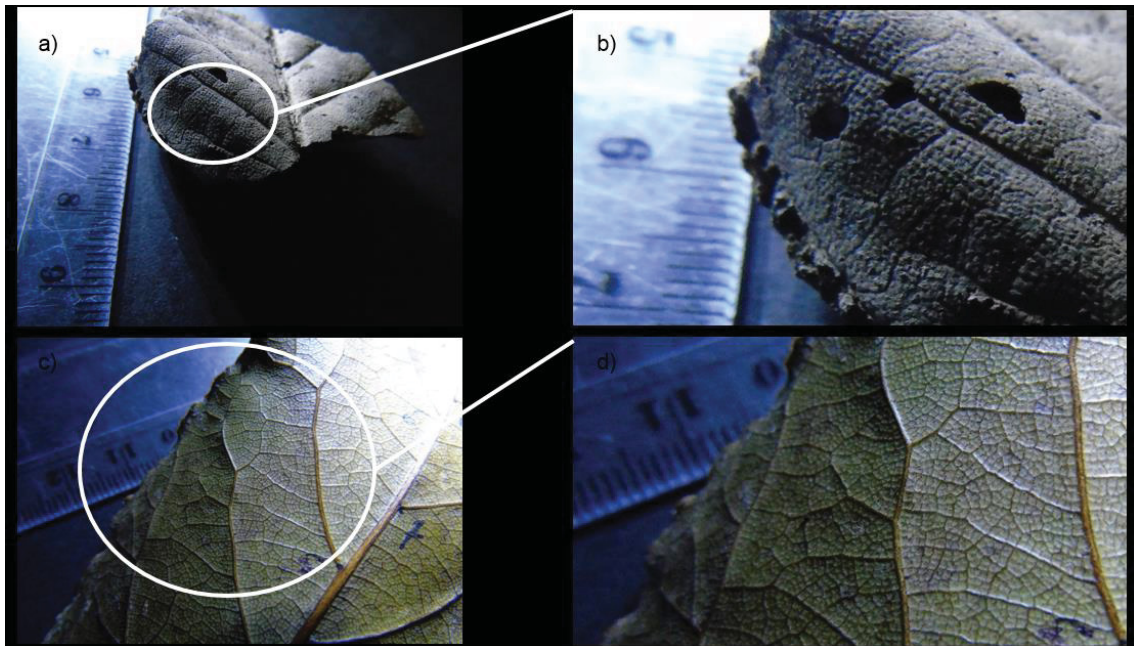


Figura 23: Fóssil BF8. Legenda: a) Fragmento fóssil conforme *Laurus azorica*; nervura primária e nervuras secundárias; b) nervuras terciárias e quaternárias; c) e d) Nervuras terciárias e quaternárias de folhas de *Laurus azorica*.

Este morfotipo cumpre todos os critérios da base de referência elaborada para a espécie *Laurus azorica*. No que respeita às características morfológicas, mais precisamente ao tipo de nervuras, podemos observar que em relação às nervuras terciárias e quaternárias, a espécie que mais se assemelha ao fóssil é a *Laurus azorica*.

BF9

Lauracea

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Laurales; Família Lauraceae

Figuras: 24a) – c)

Folha peciolada e de organização simples; inserção do pecíolo marginal; tamanho laminar micrófilo; simetria medial da lâmina simétrica; forma da lâmina provavelmente elíptica; margem inteira; ângulo da base agudo; forma da base convexa; Nervação primária peninérvea; espaçamento entre nervuras secundárias irregular; variação do ângulo inconsistente; nervação intersecundária paralela à secundária; nervação terciária percurrente oblíqua; percurso das nervuras epimediais perpendicular à nervura central; nervação quaternária reticulada.

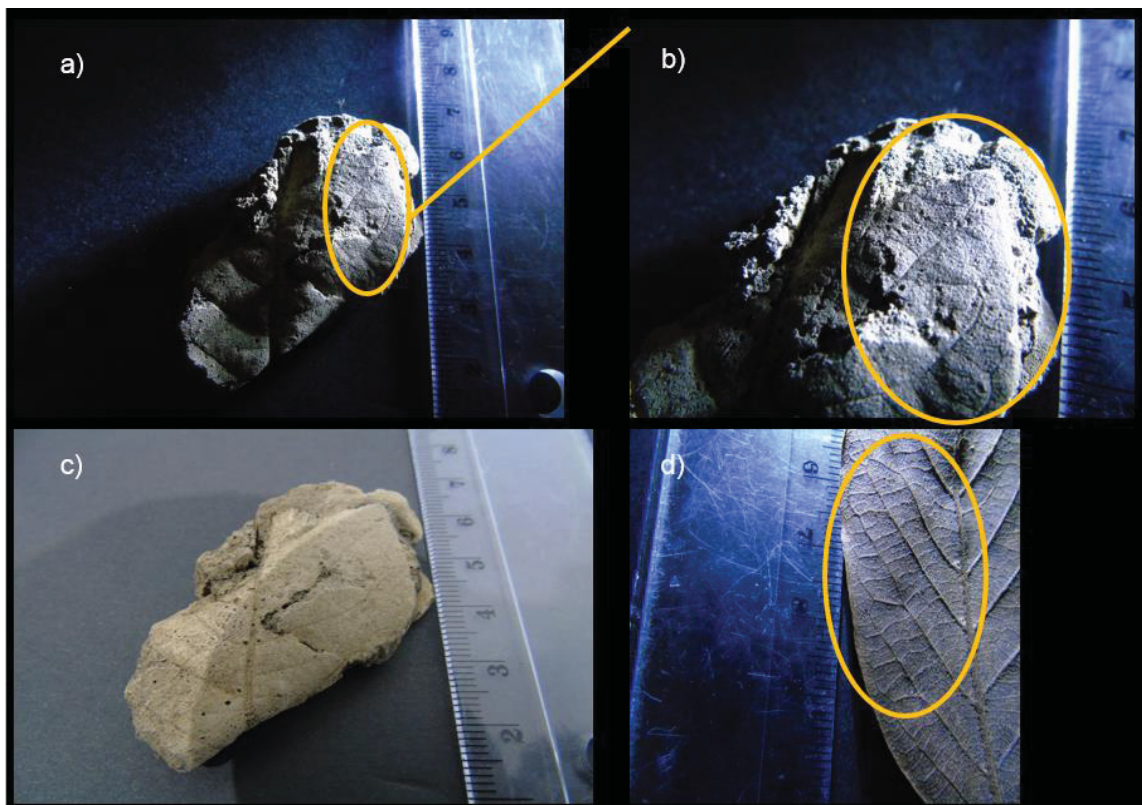


Figura 24: Fóssil BF9. Legenda: a) e c) Nervura primária e nervuras secundárias; b) Nervuras terciárias e quaternárias; d) Nervuras terciárias e quaternárias de folha de *Laurus azorica*.

À semelhança dos fósseis BF6 e BF7 apenas não cumpre o critério do valor médio dos ângulos (64.17° - base de referência apresenta valores próximos de 47°). No que respeita ao tipo de nervuras secundárias, podemos observar que se trata de uma nervação secundária broquidódroma. Aproximando-se morfologicamente das folhas atuais de *Laurus azorica* e de *Viburnum treleasei*.

Em relação às nervuras terciárias e quaternárias, a espécie que mais se assemelha ao fóssil é a *Laurus azorica*.

BF10

Conforme *Laurus azorica* (Seub.) Franco

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Laurales; Família Lauraceae

Figuras: 25a) - c)

Folha simples; inserção do pecíolo marginal; tamanho laminar notófilo; forma da lâmina provavelmente elíptica; margem inteira; Nervação primária peninérvea; espaçamento entre nervuras secundárias irregular; variação do ângulo inconsistente; nervação inter-secundária não presente no fóssil analisado; nervação terciária percurrente oblíqua; percurso das nervuras epimediais perpendicular à nervura central; nervação quaternária reticulada.

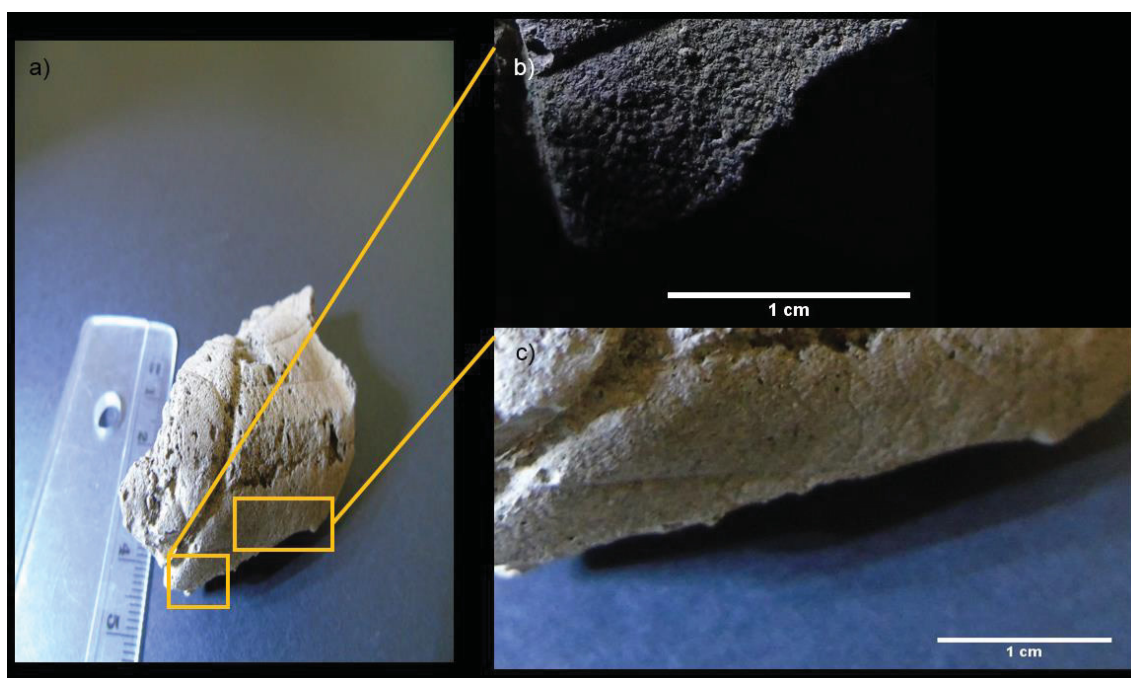


Figura 25: Fóssil BF10. Legenda: a) Fragmento fóssil conforme *Laurus azorica*; nervuras primárias e secundárias; b) nervuras quaternárias; c) nervuras terciárias.

Este morfotipo também não cumpre apenas o critério do valor médio dos ângulos (53.75° - base de referência apresenta valores próximos de 47°) da base de referência elaborada para a espécie *Laurus azorica*. No que respeita ao tipo de nervuras secundárias, podemos observar que se trata de uma nervação secundária Broquidódroma. Aproximando-se morfologicamente das folhas atuais de *Laurus azorica* e de *Viburnum treleasei*. Em relação às nervuras quaternárias, a espécie que mais se assemelha ao fóssil é a *Laurus azorica*.

BF11

Conforme *Laurus azorica* (Seub.) Franco

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Laurales; Família Lauraceae

Figuras: 26a) - c

Folha simples; tamanho laminar micrófilo; simetria medial da lâmina simétrica; forma da lâmina provavelmente elíptica; margem inteira; Nervação primária peninérvea; espaçamento entre nervuras secundárias irregular; variação do ângulo inconsistente; nervação inter-secundária paralela à secundária; nervação superior não presente no fóssil analisado.

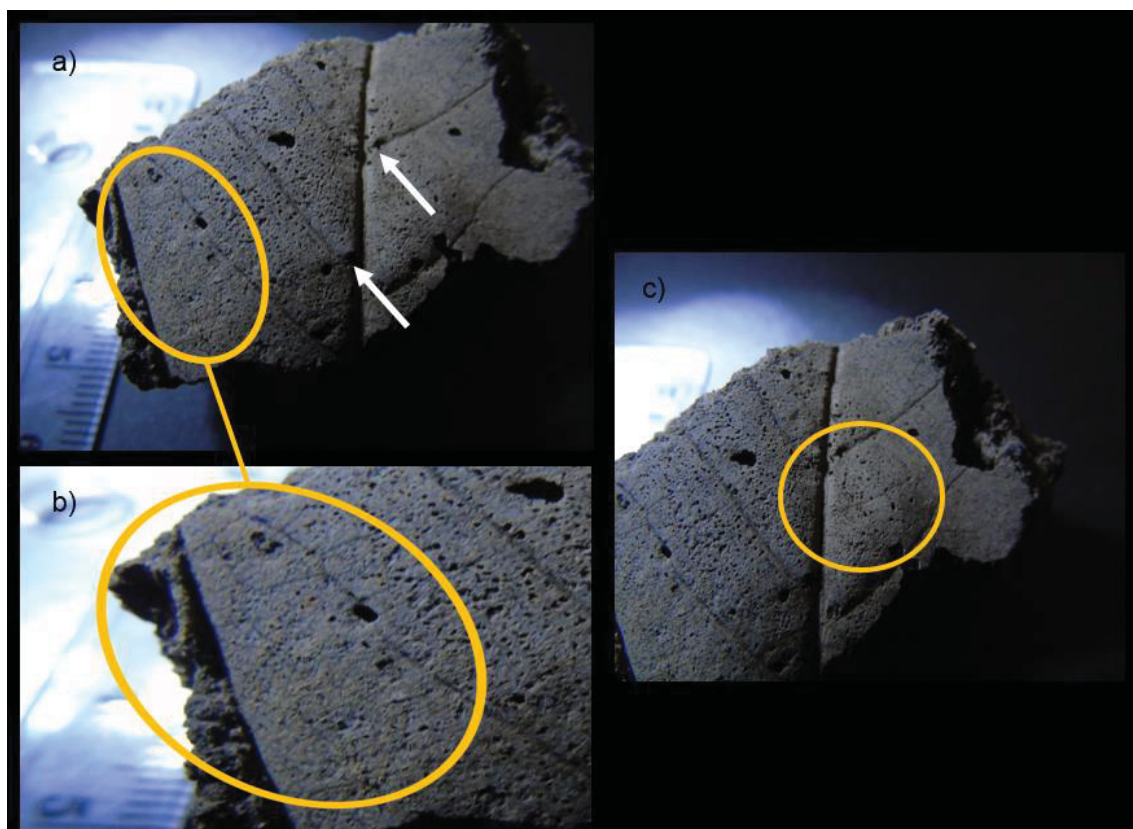


Figura 26: Fóssil BF11. Legenda: a) Fragmento fóssil conforme *Laurus azorica*; domáceas (ver onde apontam as setas) e nervação primária e secundárias; b) nervuras secundárias brochidódromas; c) nervura inter-secundária.

Este morfotipo cumpre praticamente todos os critérios da base de referência elaborada para a espécie *Laurus azorica*, à exceção do critério do valor médio dos ângulos (47.70° - base de referência apresenta valores próximos de 47°), sendo que apresenta valores muito próximos. No que respeita ao tipo de nervuras secundárias, podemos observar que se trata de uma nervação secundária brochidódroma, aproximando-se morfologicamente das folhas de *Laurus azorica* e de *Viburnum treleasei*. Pode-se afirmar o mesmo em relação às nervuras inter-secundárias. Podemos observar ainda a presença de domáceas (ver para onde apontam as setas da figura anterior) característica muito presente na espécie *Laurus azorica*.

BF12

Dicotyledoneae indet.

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem, Família e Género
incertae sedis

Figura: 27

Folha simples; tamanho laminar notófilo; forma da lâmina provavelmente elíptica ou ovada; Nervação primária peninérvea; espaçamento entre nervuras secundárias irregular; variação do ângulo inconsistente; nervação intersecundária e nervação superior não presente no fóssil analisado.

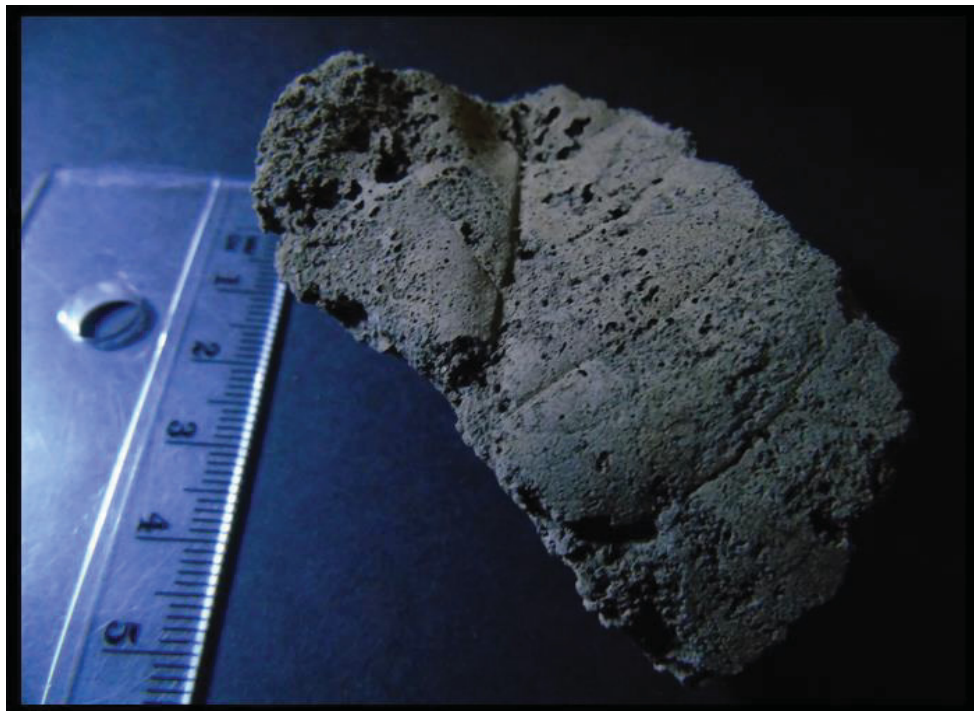


Figura 27: Fóssil BF12: nervura primária e nervuras secundárias de *Dicotyledoneae indet.*

Este morfotipo não cumpre vários dos critérios das bases de referência elaboradas e devido à sua levada erosão não apresenta aspetos morfológicos de relevo que permitam uma melhor identificação.

BF13

Dicotyledoneae indet.

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem, Família e Género *incertae sedis*.

Figura: 28

Em tudo equivalente à descrição efetuada para o morfotipo BF12; nervação inter-secundária perpendicular à nervura central (apenas uma nervura observável); nervação terciária e superior não presente no fóssil analisado.



Figura 28: Fóssil BF13: nervura primária e nervuras secundárias de *Dicotyledoneae indet.*

Em tudo semelhante ao fóssil BF12.

BF14

Conforme *Laurus azorica* (Seub.) Franco

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Laurales; Família Lauraceae.

Figuras: 29a) e b)

Folha simples; tamanho laminar micrófilo; simetria medial da lâmina simétrica; forma da lâmina provavelmente elíptica; Nervação primária penínérvea; espaçamento entre nervuras secundárias irregular; variação do ângulo inconsistente; nervação inter-secundária perpendicular à primária; nervação terciária percurrente oblíqua; percurso das nervuras epimediais perpendicular à nervura central; nervação quaternária reticulada.

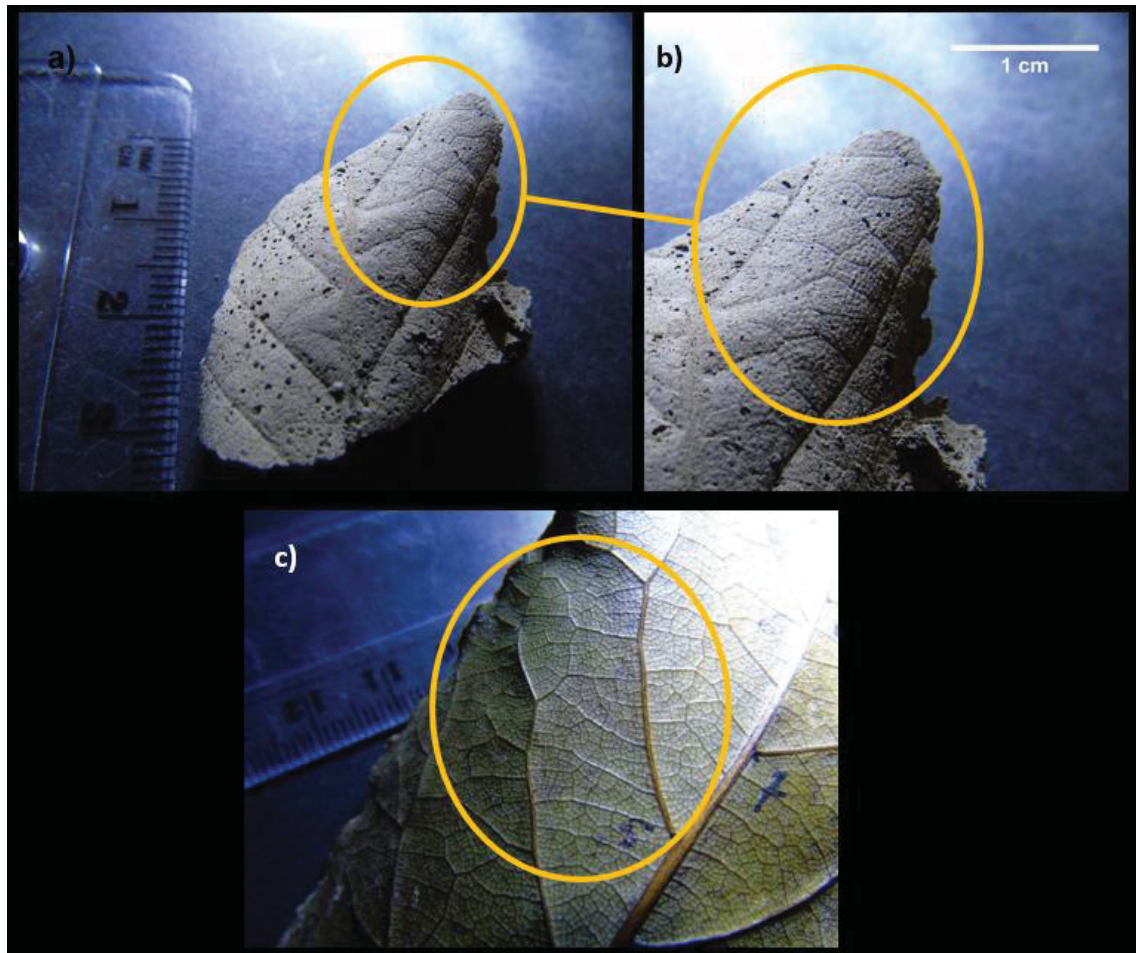


Figura 29: Fóssil BF14. Legenda: a) fragmento fóssil conforme *Laurus azorica*; nervura primária, nervuras secundárias e terciárias; b) nervuras terciárias e quaternárias; c) Aproximação das nervuras terciárias e quaternárias de folha de *Laurus azórica*.

Este morfotipo cumpre todos os critérios da base de referência elaborada para a espécie *Laurus azorica*. No que respeita às características morfológicas, mais precisamente ao tipo de nervuras, podemos observar que em relação às nervuras terciárias e quaternárias, a espécie que mais se assemelha ao fóssil é a *Laurus azorica*.

BF15

Conforme *Laurus azorica* (Seub.) Franco

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Laurales; Família Lauraceae.

Figuras: 30a) e b)

Folha simples; tamanho laminar micrófilo; forma da lâmina provavelmente elíptica ou ovada; margem inteira; ângulo da base obtuso; Nervação primária peninérvea; espaçamento entre nervuras secundárias irregular; variação do ângulo inconsistente; nervação inter-secundária perpendicular à nervura central (apenas uma nervura observável); nervação terciária e superior não presente no fóssil analisado.

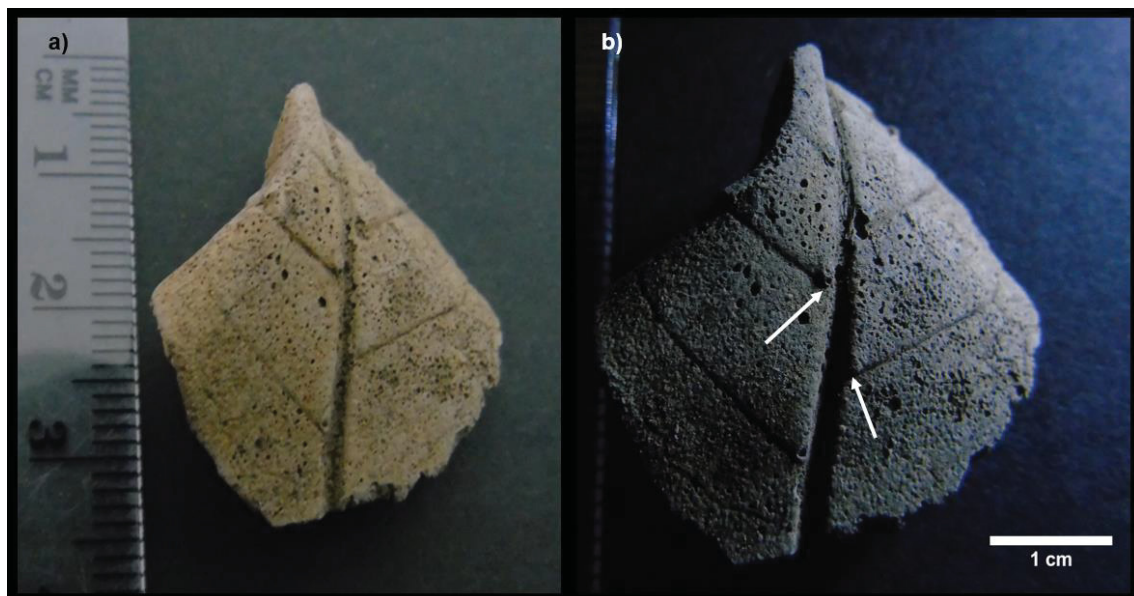


Figura 30: Fóssil BF15. Legenda: a) Fragmento fóssil conforme *Laurus azorica*; nervura primária e nervuras secundárias; b) domáceas (ver para onde apontam as setas).

Este morfotipo cumpre praticamente todos os critérios da base de referência elaborada para a espécie *Laurus azorica*, à exceção do critério do valor médio dos ângulos (50.50° - base de referência apresenta valores próximos de 47°). Morfologicamente podemos observar a presença de domáceas (ver para onde

apontam as setas da figura anterior), característica muito presente na espécie *Laurus azorica*.

BF16

Conforme *Laurus azorica* (Seub.) Franco

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Laurales; Família Lauraceae.

Figuras: 31a) – c)

Folha simples; tamanho laminar micrófilo; forma da lâmina provavelmente elíptica ou ovada; Nervação primária peninérvea; espaçamento entre nervuras secundárias irregular; variação do ângulo inconsistente; nervação intersecundária paralela às nervuras secundárias (apenas uma nervura intersecundária observável); nervação terciária percurrente oblíqua; nervação superior não presente no fóssil analisado.

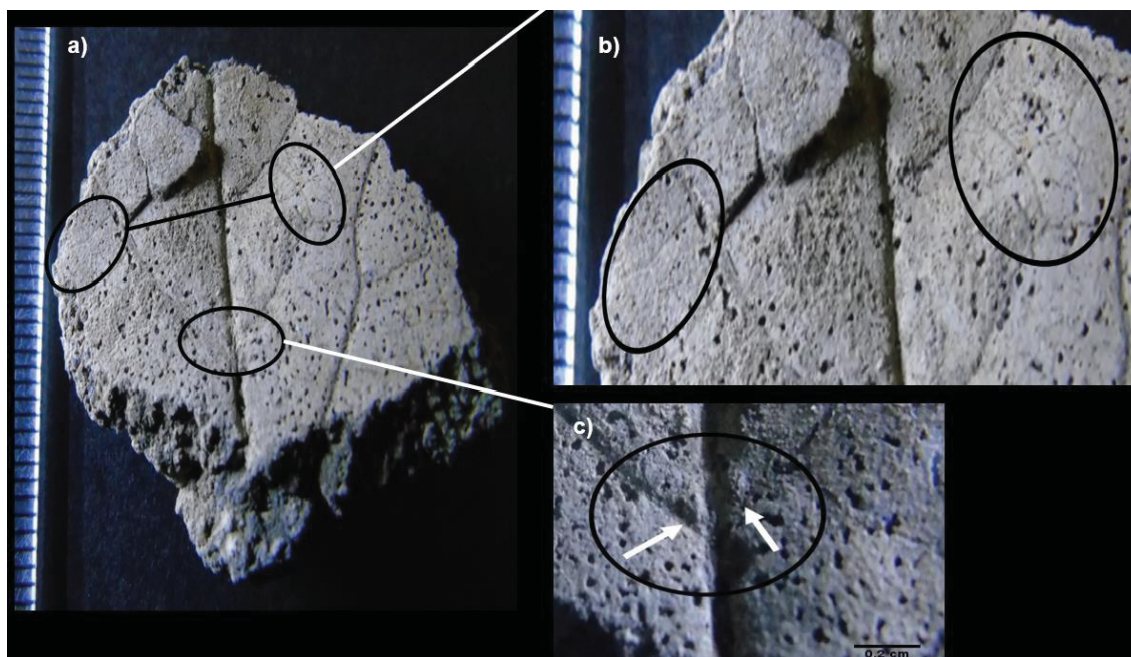


Figura 31: Fóssil BF16. Legenda: a) Fragmento fóssil conforme *Laurus azorica*; nervura primária e nervuras secundárias; b) nervuras terciárias; c) domáceas.

Este morfotipo cumpre praticamente todos os critérios da base de referência elaborada para a espécie *Laurus azorica*, à exceção do critério do valor médio dos ângulos (47.75° - base de referência apresenta valores próximos de 47°), sendo que apresenta um valor bastante próximo. No que respeita ao tipo de nervuras terciárias, podemos observar que se aproxima morfologicamente das folhas de *Laurus azorica* e de *Viburnum treleasei*. Podemos observar também a presença de domáceas (ver para onde apontam as setas da figura anterior), característica muito presente na espécie *Laurus azorica*.

BF17

Lauracea

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Laurales; Família Lauraceae.

Figuras: 32a) – c

Folha simples; tamanho laminar micrófilo; forma da lâmina provavelmente elíptica ou ovada; margem inteira; forma da base obtusa; Nervação primária penínérvea; espaçamento entre nervuras secundárias irregular; variação do ângulo inconsistente; nervação inter-secundária perpendicular à nervura central (apenas uma nervura inter-secundária observável); nervação terciária percurrente oblíqua; nervação quaternária reticulada.

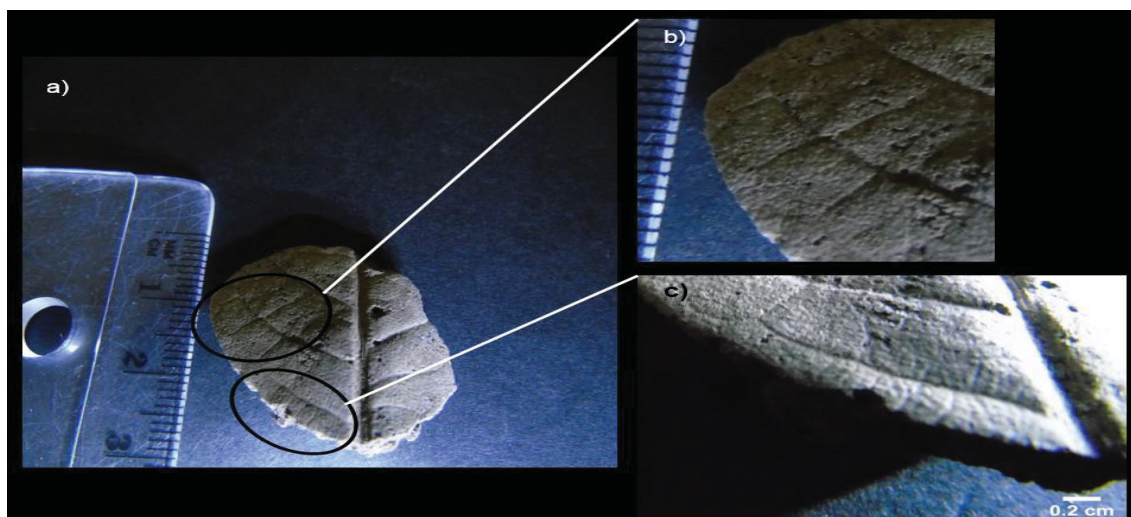


Figura 32: Fóssil BF17. Legenda: a) nervura primária e nervuras secundárias; b) nervuras terciárias; c) nervuras quaternárias.

Este morfotipo cumpre praticamente todos os critérios da base de referência elaborada para a espécie *Laurus azorica*, à excepção do critério do valor médio dos ângulos (58° - base de referência valores aprox. 47°). No que respeita ao tipo de nervuras secundárias, podemos observar que se trata de uma nervação secundária Broquidódroma, aproximando-se morfologicamente das folhas de *Laurus azorica* e de *Viburnum treleasei*. Em relação às nervuras terciárias e quaternárias, a espécie que morfologicamente mais se aproxima é a *Laurus azorica*.

BF18

Conforme *Laurus azorica* (Seub.) Franco

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Laurales; Família Lauraceae

Figuras: 33a) e b)

Inserção da folha peciolada; folha simples; inserção pecíolo na lâmina marginal; tamanho laminar microfilo; forma da lâmina provavelmente elíptica, com simetria basal; margem inteira; ângulo da base obtuso; forma da base convexa. Nervação primária peninérvea; nervuras agróficas simples; espaçamento entre nervuras secundárias irregular; variação do ângulo

inconsistente; nervação inter-secundária, terciária e superior não preservada no fóssil analisado.

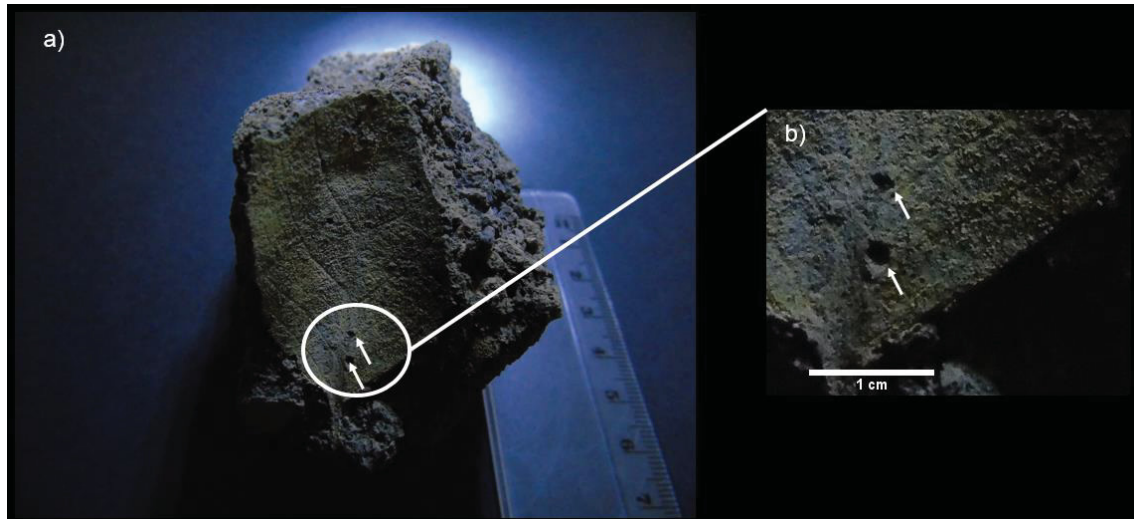


Figura 33: Fóssil BF18. Legenda: a) Fragmento fóssil conforme *Laurus azorica*; nervura primária e nervuras secundárias; b) domáceas (ver para onde apontam as setas).

Este morfotipo cumpre praticamente todos os critérios da base de referência elaborada para a espécie *Laurus azorica*, à exceção do critério do valor médio dos ângulos (47.60° - base de referência apresenta valores próximos de 47°), sendo que apresenta um valor muito próximo. Podemos observar também a presença de domáceas (ver para onde apontam as setas da figura anterior), característica muito presente na espécie *Laurus azorica*.

BF19 e BF20

Conforme *Picconia azorica* (Tutin) Knobl.

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Lamiales; Família Oleaceae;

Figuras: 34b) e c) e 35a)

Inserção da folha peciolada; folha simples; inserção do pecíolo na lâmina marginal; fragmentos de tamanho micrófilo; forma da lâmina aparentemente elíptica a ovada; margem inteira; ângulo da base agudo; Nervação primária peninérvia; nervação secundária broquidódroma; variação do ângulo inconsistente (sendo que apenas foi possível efetuar a medição de dois ângulos).

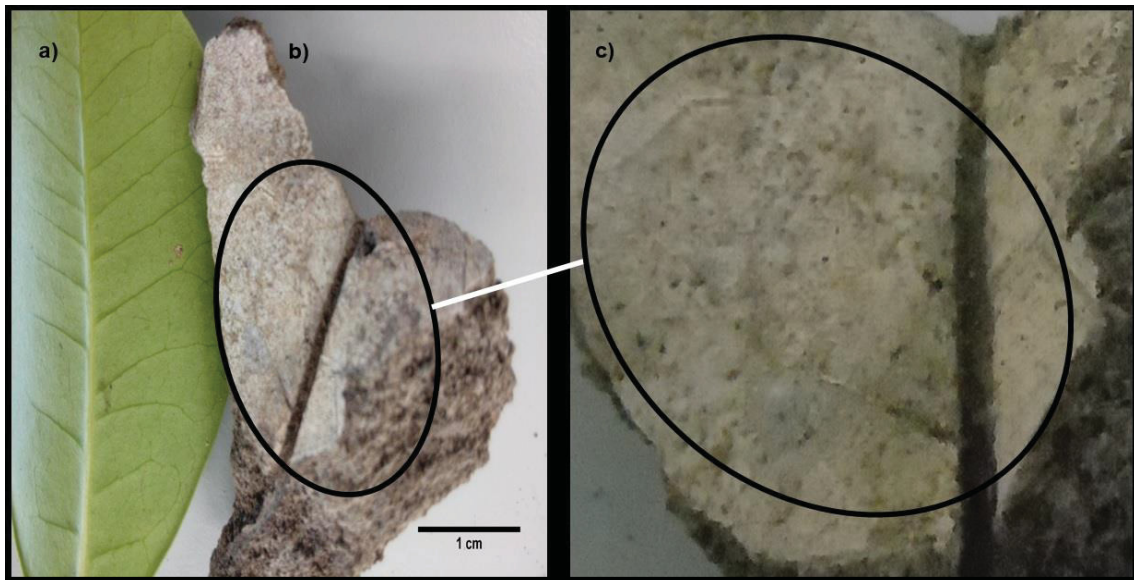


Figura 34: Fóssil BF19. Legenda: a) folha atual de *Picconia azorica* (face abaxial); b) Nervura primária e nervuras secundárias de fragmento de fóssil conforme *Picconia azorica*; c) foto aproximada das nervuras secundárias brochidódromas do fóssil.



Figura 35: Fóssil BF20. Legenda: a) nervura primária de fragmento de fóssil conforme *Picconia azorica*; b) Folha atual de *Picconia azorica* (face abaxial).

Os morfotipos BF19 e BF20 não cumprem todos os critérios da base de referência elaborada para a espécie *Picconia azorica*. No entanto, deve-se salientar, pelo facto dos fósseis estarem muito fragmentados, foi apenas possível analisar 3 dos 6 critérios. Ainda assim, deve-se salientar, que dos critérios possíveis de analisar, o fóssil cumpre todos parâmetros. Não havendo, de acordo com a base de referência utilizada, certeza suficiente para se garantir que se trata de uma folha de *Picconia azorica*. No entanto, e atendendo também às características morfológicas, podemos observar algumas semelhanças, com a espécie referida, tais como a nervura central muito proeminente e as nervuras secundárias broquidódromas muito pouco salientes.

BF21

Conforme Parmeliácea

Afinidade sistemática: Classe Lecanoromycetes; Ordem Lecanorales;
Família Parmeliaceae

Figura: 36



Figura 36: Fóssil BF21: conforme líquen de espécie indeterminada da família Parmeliaceae. Possíveis rizinas de Parmeliaceae.

As Parmelaceas possuem na sua superfície inferior rizinas ramificadas de forma quadrada tal como se observa na figura aqui ampliada, especialmente nas *Peltigera* sp.. Os talos das *Peltigeras* possuem um sistema de veias de tecido espessado semelhantes a nervações mas muito característicos por assumirem essas formas quase quadrangulares (Pawlowski & Bergman, 2007). Quase que somos impelidos a afirmar que os restos de aparentes “nervações” que estão coladas à impressão de uma folha fósseis de espécie indeterminada é conforme o talo de uma *Peltigera* sp..

BF22

Lauracea

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Laurales; Família Lauraceae;

Figura: 37

Folha simples; tamanho laminar notófilo; forma da lâmina provavelmente elíptica, com simetria medial; margem inteira. Nervação primária peninérvea; espaçamento entre nervuras secundárias irregular; variação do ângulo inconsistente; nervação inter-secundária presente (1 nervura), nervação terciária e superior não preservada no fóssil analisado.



Figura 37: Fóssil BF22: conforme Lauracea. Nervura primária, nervuras secundárias e inter-secundárias.

Este morfotipo cumpre todos os critérios da base de referência estabelecida para a espécie *Laurus azorica*. No entanto, o facto de haver apenas três nervuras secundárias mensuráveis, não nos permite aferir com total segurança os critérios estabelecidos na base de referência. No que respeita às características morfológicas, mais precisamente ao tipo de nervuras, podemos apenas observar a nervação primária, secundária e inter-secundária (apenas uma nervura). Pode-se portanto afirmar com elevada certeza que o exemplar é conforme uma Lauracea.

BF23

Conforme *Hedera azorica*

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Apiales; Família Araliaceae;

Figura: 38a)

Inserção da folha peciolada; folha simples; inserção do pecíolo na lâmina marginal; tamanho laminar mesófilo; forma da lâmina cordada; base lobada; simetria medial assimétrica; margem inteira. Nervação primária suprabasal; nervação secundária broquidódroma enfeitada; espaçamento das nervuras secundárias irregular; variação do ângulo das nervuras secundárias aumentado em direção à base; nervação superior à secundária não se encontra preservada no fóssil analisado.

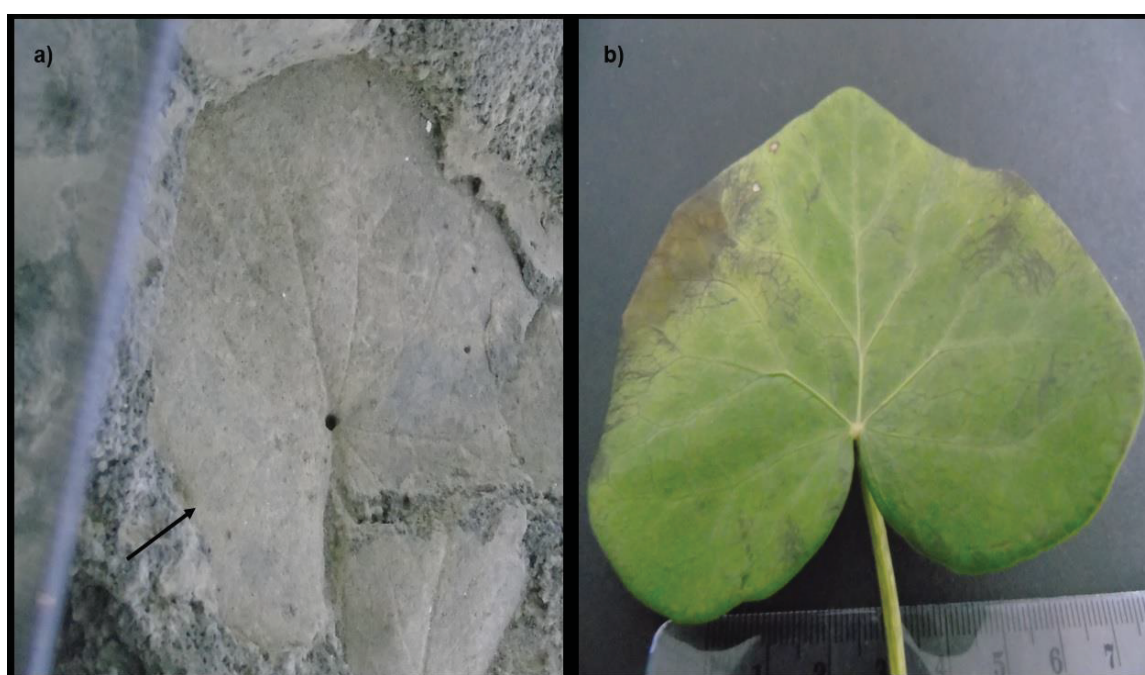


Figura 38: BF23. Legenda: a) folha de exemplar fóssil conforme *Hedera azorica* (nervação primária e secundária), observada no Museu Vulcanoespelológico de Angra do Heroísmo; b) Folha atual de *Hedera azorica*.

Sendo que não foi estabelecida uma base de referência para a espécie *Hedera azorica*, a identificação deste morfotipo baseou-se apenas nas suas características morfológicas preservadas, tendo como ponto de comparação uma folha atual da espécie. O morfotipo analisado é morfológicamente semelhante à espécie atual de *Hedera azorica*, partilhando a mesma forma geral, a inserção do pecíolo, o recorte marginal, o tipo e forma de nervação primária e secundária.

5.1.2 Análise florística dos fósseis da Baía de Angra do Heroísmo

Quanto à Baía de Angra do Heroísmo, foram apenas estudados 2 morfotipos, sendo que, à semelhança dos anteriores, também se encontram incompletos. O morfotipo BH1 foi considerado conforme a espécie *Juniperus brevifolia* e o morfotipo BH2 foi clasificado conforme a espécie *Viburnum treleasei*. Apresentamos de seguida uma descrição dos morfotipos identificados nesta análise florística.

BAH1

Conforme *Juniperus brevifolia* (Seub.) Antoine

Afinidade sistemática: Classe Pinopsida; Ordem Pinales; Família Cupressaceae

Figuras: 39b) e c)

Folhas linear-lanceoladas a ovado-lineares; margem inteira; ângulo do ápice agudo; ápice acuminado a obtuso.

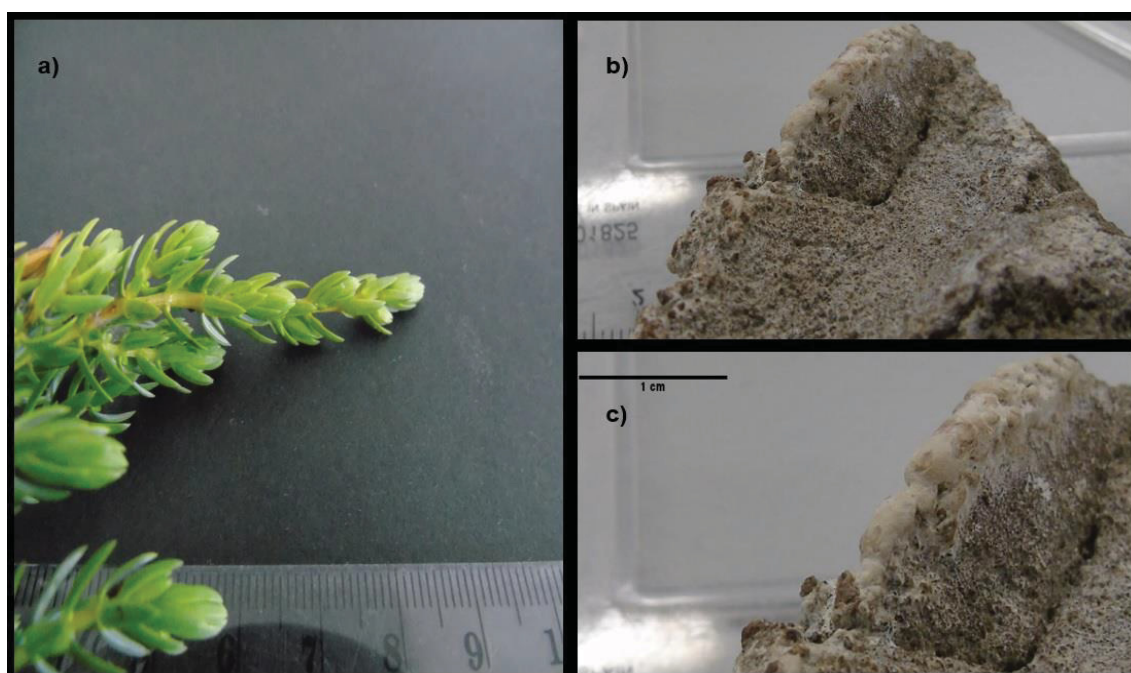


Figura 39: Fóssil BAH1. Legenda: a) folha atual da espécie *Juniperus brevifolia*; b) fóssil conforme a espécie *Juniperus brevifolia*; c) ampliação do fóssil BAH1 (folhas de *Juniperus brevifolia*).

A identificação deste morfotipo baseou-se apenas nas suas características morfológicas preservadas, utilizando como ponto de comparação uma folha atual da espécie *Juniperus brevifolia*. Embora o estado de preservação deste morfotipo não seja o melhor, pode-se observar em algumas das suas folhas fossilizadas características morfológicas muito semelhantes à espécie atual, partilhando a mesma forma tanto nas folhas, como no ápice destas.

BAH2

Conforme *Viburnum treleasei* Gand.

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Dipscales; Família

Adoxaceae

Figura: 40a)

Inserção da folha peciolada; folha simples; inserção do pecíolo marginal; tamanho laminar notófilo; forma da lâmina elíptica a ovada; lâmina simétrica; margem inteira; ângulo da base obtuso a redondo; forma da base redonda. Nervação primária peninérvea; nervação secundária presente, mas impossível de verificar qual a categoria; espaçamento entre nervuras secundárias irregular; a variação do ângulo inconsistente; nervação inter-secundária presente, com percurso praticamente paralelo às secundárias principais; nervação terciária e superior não preservada no fóssil analisado.

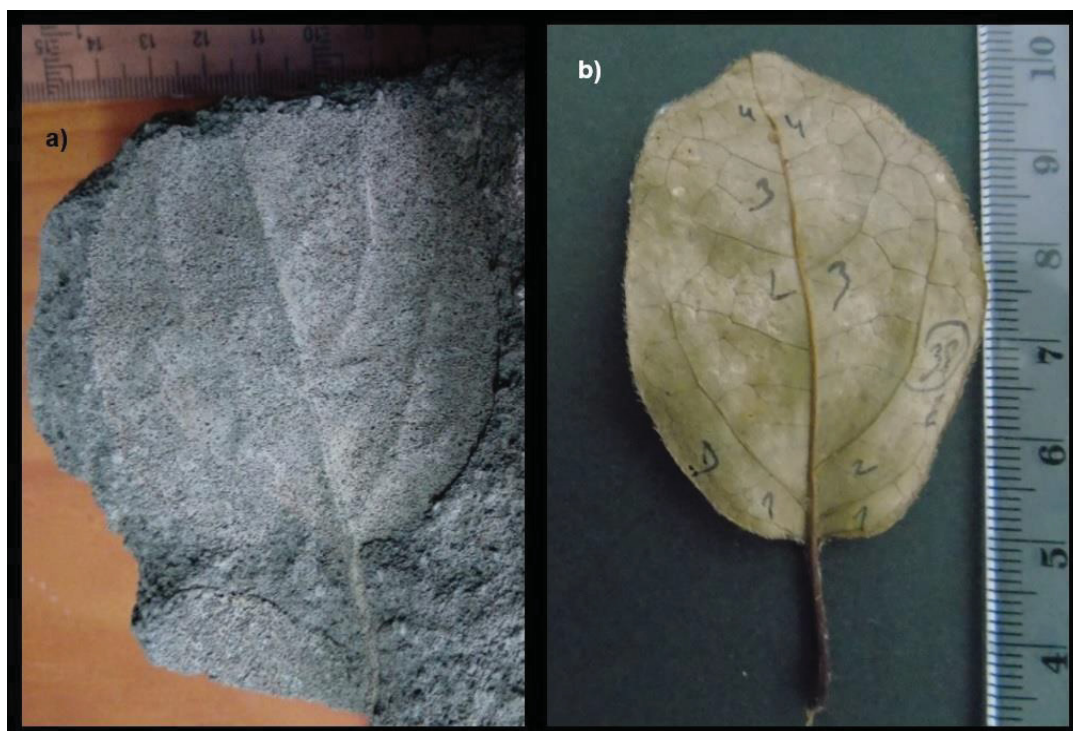


Figura 40: Fóssil BH2. Legenda: a) fóssil conforme *Viburnum treleasei*; b) folha atual de *Viburnum treleasei*.

Este morfotipo cumpre todos os critérios da base de referência estabelecida para a espécie *Viburnum treleasei*. Pode-se portanto afirmar com elevada certeza que o exemplar é conforme a folha de *Viburnum treleasei*. Há razões muito fortes para aceitar que esse exemplar de fóssil seja da espécie acima referida. Entre as características morfológicas (observáveis), destacam-se o tipo de nervuras secundárias próximas, onde podemos observar que se trata de uma nervação secundária ligeiramente curva e longa, característica presente nas folhas atuais da espécie.

5.1.3 Análise florística dos fósseis de Santa Luzia

Por fim, em Santa Luzia, foram descritos a presença de 5 morfotipos, sendo que dois destes se encontravam em estado razoável e praticamente completos. Os restantes encontram-se incompletos e mal preservados. O morfotipo SL1 foi considerado conforme (cf.) a espécie *Morella faya*; o morfotipo SL2 cf. *Viburnum treleasei*; o morfotipo SL3 cf. *Polystichum setiferum*; o morfotipo SL4 cf. *Laurus azorica*; e o morfotipo SL5, não sendo possível identificar a espécie, foi atribuído à família Dryopteridaceae. Seguindo

o critério anterior, apresentamos seguidamente uma descrição dos morfotipos identificados.

SL1

Conforme *Morella faya* (Aiton) Wilbur

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Fagales; Família

Myricaceae

Figura: 41a)

Inserção da folha peciolada; folha com organização foliar simples; pecíolo com inserção marginal; tamanho laminar microfiló; forma obovada; lâmina com simetria medial; margem inteira a crenada; ângulo da base agudo; forma base decurrente; Nervação primária penínervia; a nervação secundária quase tênue e de difícil interpretação; nervação superior não preservada.

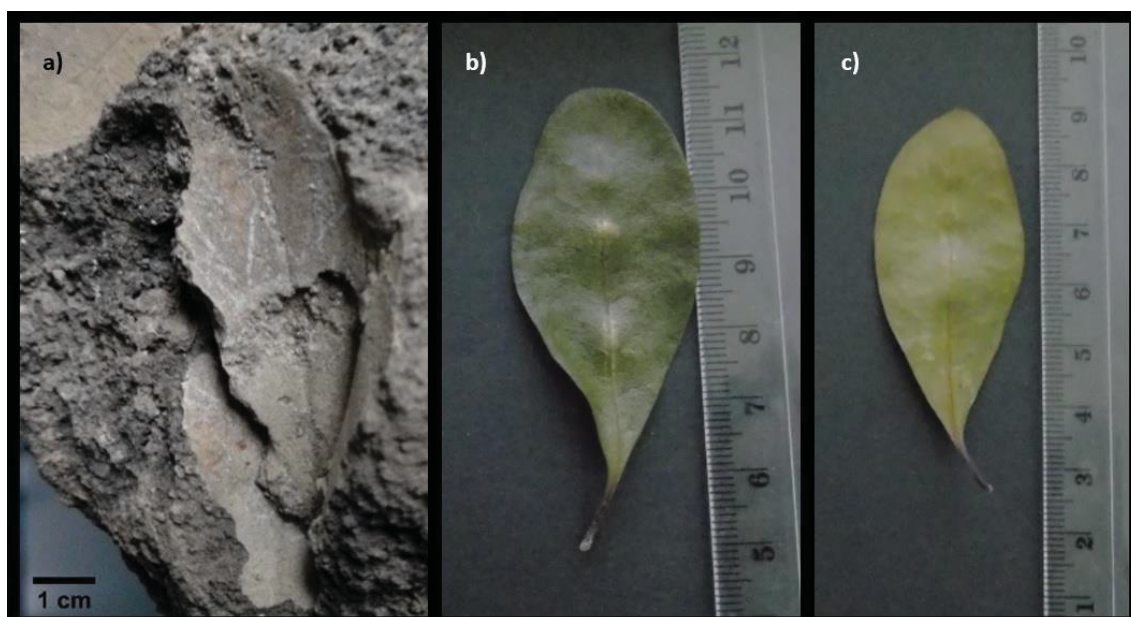


Figura 41: Fóssil SL1. Legenda: a) fóssil conforme *Morella faya*; b) e c) folha atual de *Morella faya* (face adaxial e abaxial respectivamente).

Este morfotipo cumpre todos os critérios da base de referência estabelecida para a espécie *Morella faya*. Pode-se portanto afirmar com elevada certeza que o exemplar é conforme a folha de *Morella faya*. Atendendo também às

caraterísticas morfológicas, podemos observar algumas semelhanças, com a espécie referida, tais como: a nervura central, muito proeminente a partir do pecíolo tornando-se ténue em direção ao ápice e as nervuras secundárias muito pouco salientes. Outra caraterística relevante é a forma da base (decurrente), muito semelhante à folha atual da espécie *Morella faya*.

SL2

Conforme *Viburnum treleasei* Gand.

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Dipscales; Família

Adoxaceae

Figuras: 42a) e 43

Folha simples; tamanho laminar microfilo; forma da lâmina ovada; com simetria medial; margem inteira; Nervação primária penínérvea; nervação secundária broquidódroma; espaçamento entre nervuras secundárias irregular; a variação do ângulo inconsistente; nervação superior não preservada no fóssil analisado.

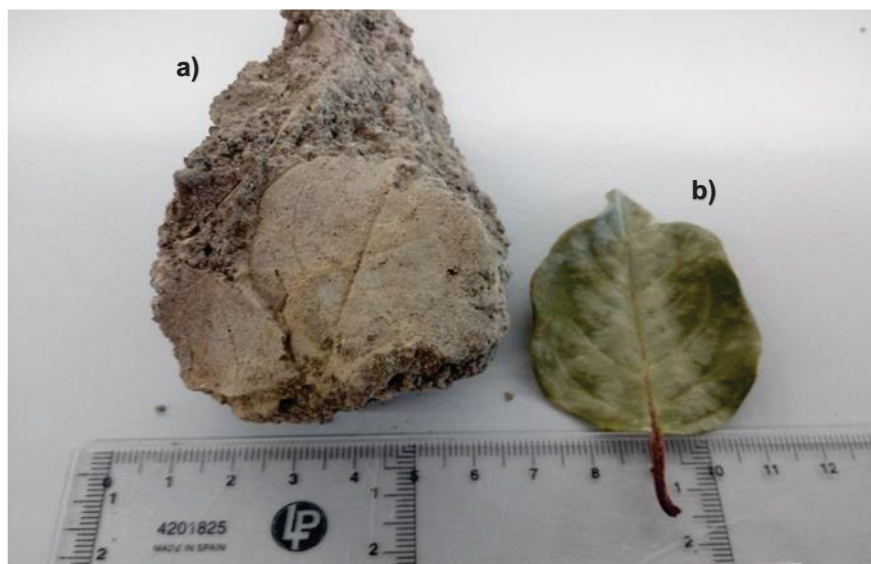


Figura 42: Fóssil SL2. Legenda: a) exemplar fóssil conforme a espécie *Viburnum treleasei*; b): folha atual de *Viburnum treleasei*.

Este morfotipo é em tudo semelhante ao fóssil BH2, quer no que respeita à análise da base de referência (cumprindo todos os critérios da mesma), assim como as características morfológicas. Pode-se portanto afirmar com elevada certeza que o exemplar é conforme a espécie *Viburnum treleasei*.



Figura 43: Fóssil SL2: ampliação das nervuras secundárias bróquidódromas.

SL3

Conforme *Polystichum setiferum* (Forssk.) T. Moore ex Woyn.

Afinidade sistemática: Classe Polypodiopsida; Ordem Polypodiales; Família Dryopteridaceae

Figuras: 44a) e b) e 45c)

Ráquis da fronde presente; organização foliar bipinada; organização das pínulas alternada; inserção das pínulas peciolulada; fragmento de fronde de tamanho microfilo; ráquis com pínulas subopostas apresentando lóbulos acroscópicos; forma da lâmina da pínula ovada a lanceolada; margem serrilhada a regular; ângulo de inserção agudo; costa dos últimos segmentos assimétrica, ramificando com várias ramificações desde a base para o ápice do segmento. Nervação pinada e aparentemente terminal na margem.

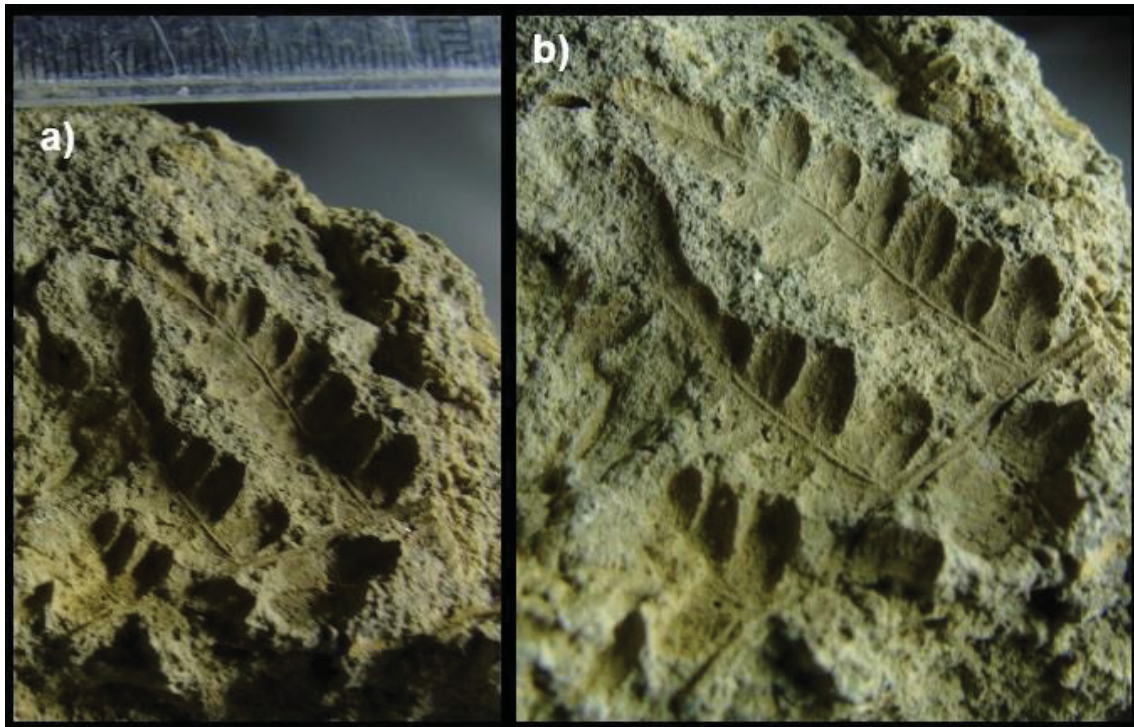


Figura 44: Fóssil SL3. Legenda: a) Exemplar fóssil conforme a espécie *Polystichum setiferum*; b) aproximação das pínulas do mesmo.

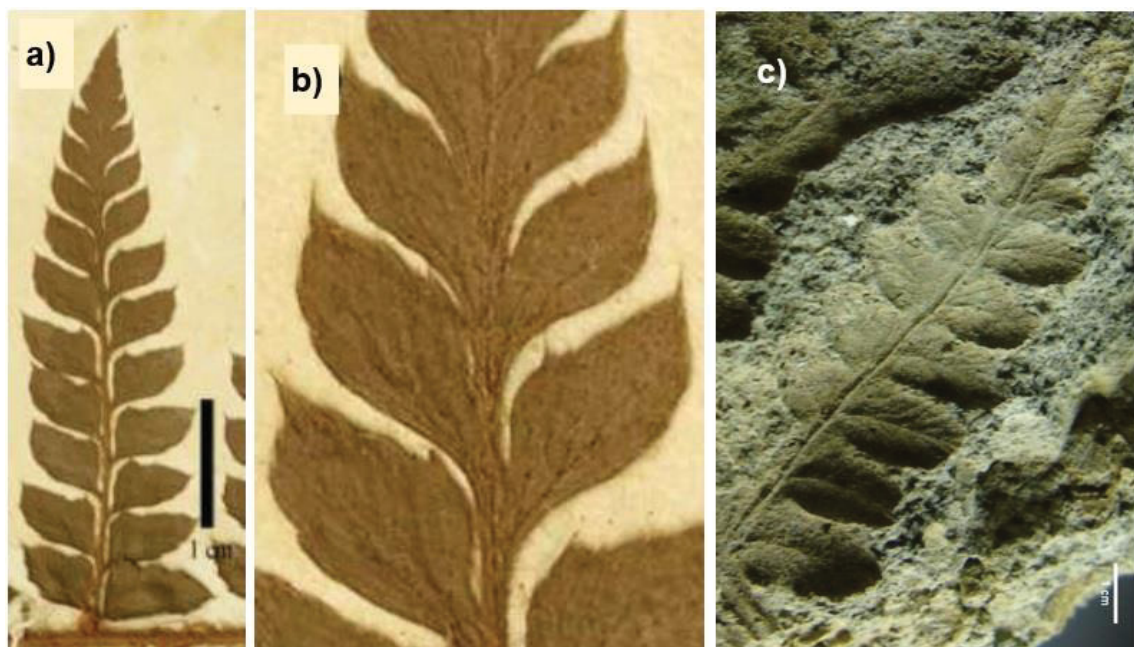


Figura 45: Comparação do morfotipo SL3 com a espécie *Polystichum setiferum*: a) Pínula de *P. setiferum*; b) pormenor da pínula (adaptado de Marques, 2013); c: Aproximação da pínula do fóssil SL3.

Comparando morfológicamente este morfotipo com a espécie atual *P. setiferum* (Forssk.) Woytn. (Fig. 40a) e b) e 41c)), observamos bastantes semelhanças, das quais destacamos: a forma e nervação dos segmentos terminais, a nervação assimétrica, ângulo de inserção das pínulas agudo, e a presença de recorte marginal serrilhado. Apesar das semelhanças, o facto de o morfotipo ser representado por um fragmento, podemos apenas concluir que se trata de um exemplar conforme a espécie *Polystichum setiferum*.

SL4

Conforme *Laurus azorica* (Seub.) Franco

Afinidade sistemática: Classe Magnoliopsida; Ordem Laurales; Família Lauraceae

Figuras: 46a) e b)

Inserção da folha provavelmente peciolada; folha simples; inserção pecíolo na lâmina marginal; tamanho laminar notófilo; forma da lâmina elíptica; simétrica; margem inteira; ângulo do ápice e da base obtuso. Nervação primária peninérvea; nervação secundária broquidódroma simples; espaçamento entre nervuras secundárias irregular; variação do ângulo inconsistente; nervação inter-secundária praticamente paralela às nervuras secundárias; nervação terciária presente com linhas muito ténues e difícil interpretação; nervação superior não preservada no fóssil analisado.

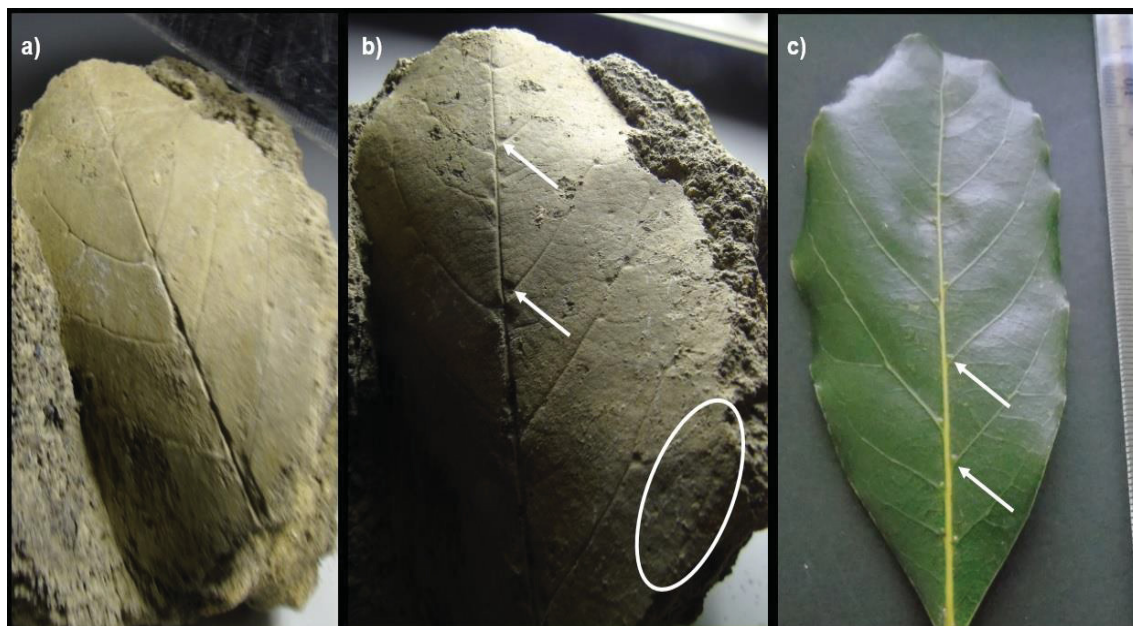


Figura 46: Fóssil SL4. Legenda: a) exemplar fóssil conforme a espécie *Laurus azorica*; b) detalhe das domáceas (ver onde apontam as setas) e nervura secundária broquidódroma (dentro do círculo); c) Folha atual da espécie *Laurus azorica*.

Este morfotipo cumpre todos os critérios da base de referência estabelecida para a espécie *Laurus azorica*. Morfologicamente apresenta características muito idênticas à espécie acima referida, sendo de destacar a presença de domáceas (ver para onde apontam as setas da figura anterior) e o tipo de nervuras secundárias, onde podemos observar que se trata de uma nervação secundária Broquidódroma. Ambas as características são muito presentes na espécie *Laurus azorica*.

SL5

Incertae sedis

Afinidade sistemática: Classe Polypodiopsida; Ordem Polypodiales; Família Dryopteridaceae

Figura: 47

Natureza da fronde desconhecida. Vários fragmentos de pínulas da parte distal aparentemente de organização pinada; margem aparentemente serrilhada; forma do ápice dos últimos segmentos arredondada. Nervação pinada e aparentemente terminal na margem.



Figura 47: Fóssil SL5: Pínulas de exemplar conforme família Dryopteridaceae.

Morfotipo analisado apenas por um fragmento foliar mal preservado, mas aparentemente com alguns caracteres morfológicos semelhantes à família Dryopteridaceae (ver descrição acima). Dada a elevada fragmentação deste exemplar, numa interpretação muito otimista poder-se-ia afirmar tratar-se da espécie *Dryopteris azorica*.

5.2 Segurança da base de referência

Devido à fragmentação de grande parte dos fósseis presentes, não foi possível identificar muitas das espécies apenas através das suas características morfológicas. Assim sendo, e de acordo com o que foi descrito anteriormente, foram estabelecidas bases de referência que permitissem auxiliar na identificação destes morfotipos. De modo a testar a segurança das bases de

referência elaboradas, verificaram-se se as características biométricas estabelecidas na mesma eram aplicáveis à flora fóssil mensurável (i.e. fósseis foliares que apresentam escala, caso contrário não se torna possível aplicar a base de referência) publicada em alguns artigos sobre a paleoflora do Arquipélago dos Açores, onde os autores, considerados especialistas na área, identificam algumas das espécies que estudaram e que são coincidentes com as do presente estudo. Seguem-se alguns exemplos.

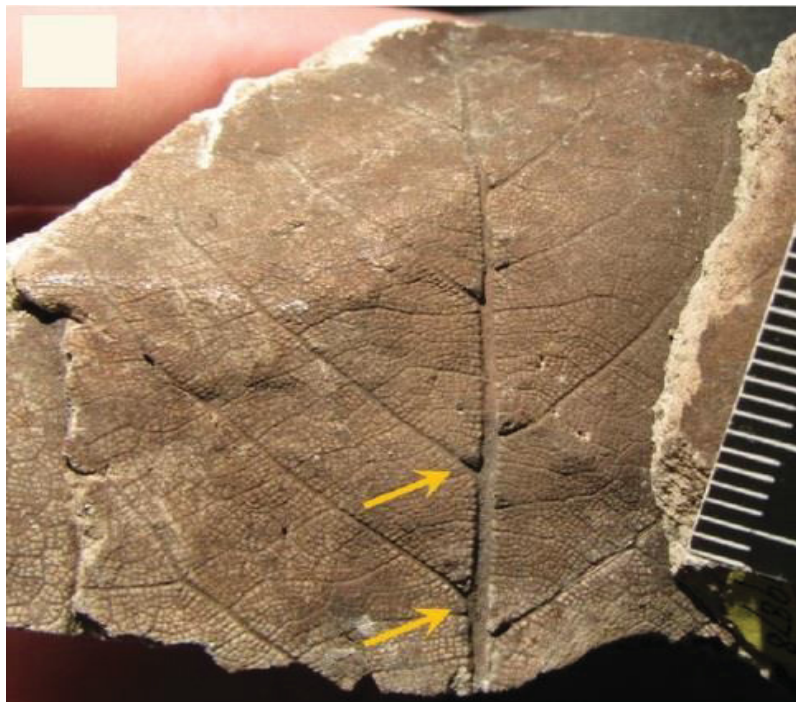


Figura 48: Folha fossilizada de *Laurus azorica*, identificada por Góis-Marques & Sequeira, (2015). Plate II, figura 1).

No que diz respeito à folha fóssil da figura anterior essa parece cumprir com o critério de serem folhas lanceoladas, porque se pode delinear o resto da forma da folha a partir dos seus fragmentos.

Nenhum dos ângulos é inferior a 30° , cumprindo assim com o critério do ângulo mínimo. A média dos ângulos situa-se nos 47° , cumprindo também com o critério do ângulo médio mínimo.

Cumprir com o critério do ângulo máximo para ser uma folha de *Laurus azorica* (valor máximo observado 60°).

A média dos ângulos entre a nervura principal e as nervuras secundárias ultrapassa os 47° (47.14°), pelo que não cumpre com o critério estabelecido para ser uma folha de *Laurus azorica*. Sendo que apresenta um valor muito próximo. Ao longo deste trabalho têm-se verificado ligeiros desvios relativamente às características dos fósseis encontrados quando comparadas com as folhas das espécies atuais. Isso pode dever-se não propriamente à variabilidade de parâmetros biométricos mas em pequenas alterações fisiológicas das espécies ao longo de milhares de anos.

A espécie em apreço cumpre com a regra do espaçamento mínimo e máximo entre as nervuras secundárias para ser *Laurus azorica*, e também com o critério do valor médio do espaçamento entre nervuras (0.91 cm).

A amostra cumpre com o critério da densidade de nervuras (0,88 nervuras/cm²) e também com o critério da área foliar.

Utilizando a base de referência que se propôs anteriormente, o fóssil de Gois-Marques & Sequeira, (2015) identificado como sendo *Laurus azorica*, não seria identificado neste trabalho que aqui se apresenta como tal. Acentue-se no entanto que a o único parâmetro que não é cumprido é a existência de um ângulo entre uma nervura central e uma nervura secundária que ultrapassa os 47° (60°) e como tal também faz com que a média dos ângulos seja superior a 47°. Se esse ângulo fosse excluído da análise seríamos impelidos a classificar esse fóssil como sendo de *Laurus azorica*. Assim, e utilizando a base de referência proposta, só poderíamos classificar o fóssil mencionado por esses autores como sendo de uma laurácea.

Na figura seguinte também se aplica a base de referência anteriormente mencionada a outro exemplar fóssil publicado.



Figura 49: Folhas fossilizadas de Lauráceas, identificadas por Góis-Marques *et al.*, (2018). Figura 7c).

Quanto ao fóssil presente na figura 49a), este parece cumprir com o critério de serem folhas lanceoladas, porque se pode delinear o resto da forma da folha a partir dos seus fragmentos.

Nenhum dos ângulos é inferior a 30° . Cumpre-se assim com o critério do ângulo mínimo. A média dos ângulos situa-se nos $46,25^\circ$, cumprindo também com o critério do ângulo médio mínimo.

O espécime cumpre também com o critério do ângulo máximo para ser uma folha de *Laurus azorica* (valor máximo observado 50°). A média dos ângulos entre a nervura principal e as nervuras secundárias situa-se próxima dos 47° , pelo que cumpre com o critério estabelecido para ser uma folha de *Laurus azorica*.

A espécie cumpre com a regra do espaçamento mínimo e máximo entre as nervuras secundárias para ser *Laurus azorica*, e também com o critério do valor médio ($1,53 \text{ cm} < 1,8 \text{ cm}$).

A amostra cumpre com o critério da densidade de nervuras ($0,45 \text{ nervuras/cm}^2$), assim como com o critério da área foliar.

Neste caso, de acordo com a base de referência utilizada, existe certeza suficiente para se garantir que se trata de uma folha de *Laurus azorica*. Deste

modo concorda-se com os autores quando classificam essa folha como sendo de uma laurácea.

Em relação à figura 49b), também parece cumprir com o critério de serem folhas lanceoladas, porque se pode delinear o resto da forma da folha a partir dos seus fragmentos.

Nenhum dos ângulos é inferior a 30°, havendo no entanto um com esse valor. Cumpre assim com o critério do ângulo mínimo. A média dos ângulos situa-se nos 45°, cumprindo o critério do ângulo médio mínimo.

Cumprir com o critério do ângulo máximo para ser uma folha de *Laurus azorica* (valor máximo observado 60°).

A média dos ângulos entre a nervura principal e as nervuras secundárias não ultrapassa os 47°, pelo que cumpre com o critério estabelecido para ser uma folha de *Laurus azorica*.

Cumprir com a regra do espaçamento mínimo e máximo entre as nervuras secundárias para ser *Laurus azorica*, e também com o critério do valor médio do espaçamento entre nervuras (1.37cm).

A amostra cumpre com o critério da densidade de nervuras (0,45 nervuras/cm²) e com o critério da área foliar.

À semelhança do espécime anterior há, de acordo com a base de referência utilizada, certeza suficiente para se garantir que se trata de uma folha de *Laurus azorica*, concordando com os autores quando classificam essa folha como sendo de uma laurácea.

5.3 Resultados da Análise de Margem Foliar (LMA – Leaf Margin Analysis) e Temperatura Média Anual (TMA)

No total, foram contabilizados vinte e cinco morfotipos atribuídos a folhas de dicotiledóneas, dos quais, vinte e quatro são de margem inteira e um de margem presumivelmente recortada; um morfotipo atribuído a monocotiledónia, de margem inteira; dois morfotipos atribuídos a fetos; um morfotipo atribuído a Líquen e por fim um morfotipo atribuído a conífera (ver figura 50 e tabela 1).

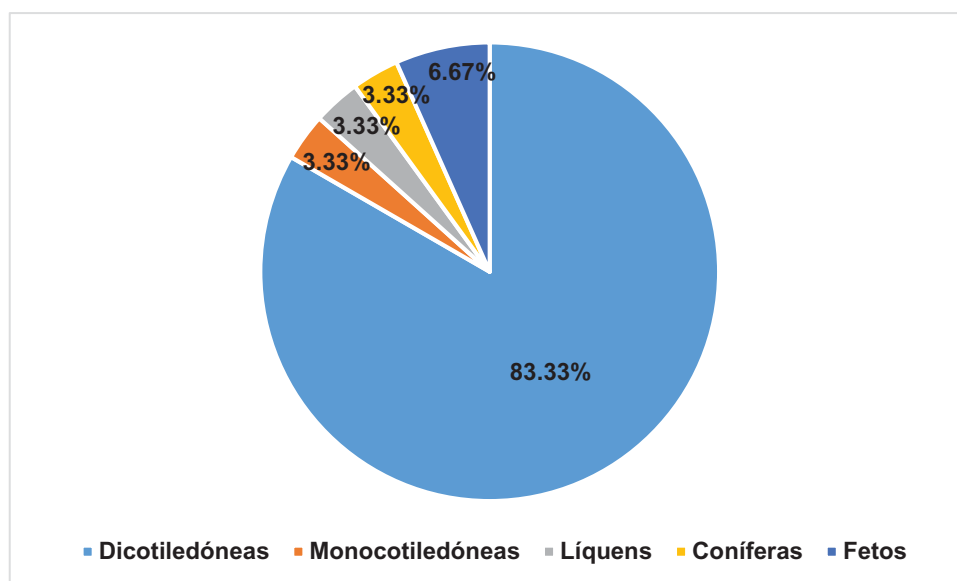


Figura 50: Percentagem da composição da flora fóssil estudada por afinidade taxonómica (n=30).

A tabela abaixo apresenta um resumo da análise florística por local de recolha, indicando algumas particularidades das espécies analisadas.

Tabela 1: Resumo da análise florística da macroflora fóssil estudada. Legenda: BF: Baía do Fanal; BAH: Baía de Angra do Heroísmo; SL: Santa Luzia.

Morfotipo	Família	Espécie	Afinidade	Tipo de Margem
BF1	Asparagaceae	<i>Dracaena draco</i>	Monocotiledónea	Inteira
BF2	Adoxaceae	<i>Viburnum treleasei</i>	Dicotiledónea	Inteira
BF3	Lauraceae	<i>Laurus azorica</i>	Dicotiledónea	Inteira
BF4	Adoxaceae	<i>Viburnum treleasei</i>	Dicotiledónea	Inteira
BF5	Lauraceae	<i>Laurus azorica</i>	Dicotiledónea	Inteira
BF6	Lauraceae	Indeterminada	Dicotiledónea	Inteira
BF7	Lauraceae	Indeterminada	Dicotiledónea	Inteira
BF8	Lauraceae	<i>Laurus azorica</i>	Dicotiledónea	Inteira
BF9	Lauraceae	Indeterminada	Dicotiledónea	Inteira
BF10	Lauraceae	<i>Laurus azorica</i>	Dicotiledónea	Inteira
BF11	Lauraceae	<i>Laurus azorica</i>	Dicotiledónea	Inteira
BF12	Indeterminada	<i>Dicotiledónea Indet.</i>	Dicotiledónea	Inteira
BF13	Indeterminada	<i>Dicotiledónea Indet.</i>	Dicotiledónea	Inteira

BF14	Lauraceae	<i>Laurus azorica</i>	Dicotiledónea	Inteira
BF15	Lauraceae	<i>Laurus azorica</i>	Dicotiledónea	Inteira
BF16	Lauraceae	<i>Laurus azorica</i>	Dicotiledónea	Inteira
BF17	Lauraceae	Indeterminada	Dicotiledónea	Inteira
BF18	Lauraceae	<i>Laurus azorica</i>	Dicotiledónea	Inteira
BF19	Oleaceae	<i>Picconia azorica</i>	Dicotiledónea	Inteira
BF20	Oleaceae	<i>Picconia azorica</i>	Dicotiledónea	Inteira
BF21	Parmeliaceae	Indeterminada	Líquen	-
BF22	Lauraceae	Indeterminada	Dicotiledónea	Inteira
BF23	Araliaceae	<i>Hedera azorica</i>	Dicotiledónea	Inteira
BAH1	Cupressaceae	<i>Juniperus brevifolia</i>	Conífera	-
BAH2	Adoxaceae	<i>Viburnum treleasei</i>	Dicotiledónea	Inteira
SL1	Myricaceae	<i>Morella faya</i>	Dicotiledónea	Recortada
SL2	Adoxaceae	<i>Viburnum treleasei</i>	Dicotiledónea	Inteira
SL3	Dryopteridaceae	<i>Polystichum setiferum</i>	Feto	-
SL4	Lauraceae	<i>Laurus azorica</i>	Dicotiledónea	Inteira
SL5	Dryopteridaceae	Indeterminada	Feto	-

Concluídas as análises florísticas, foram contabilizados no total dez morfotipos conforme a espécie *Laurus azorica* (numerados de BF3, BF5, BF8, BF10, BF11, BF14, BF15, BF16, BF18 e SL4); quatro morfotipos conforme a espécie *Viburnum treleasei* (BF2, BF4, BAH2 e SL2); dois morfotipos conforme a espécie *Picconia azorica* (BF19 e BF20); um morfotipo conforme a espécie *Dracaena Draco* (BF1); um morfotipo conforme a espécie *Juniperus brevifolia* (BAH1); um morfotipo conforme a espécie *Morella faya* (SL1); um morfotipo conforme a espécie *Polystichum setiferum* (SL3); um morfotipo conforme a espécie *Hedera azorica* (BF23); cinco morfotipos conforme a família Lauraceae (BF6, BF7, BF9, BF17 e BF22); dois morfotipos conforme folhas dicotiledóneas indeterminadas (BF12 e BF13); um morfotipo conforme líquen provavelmente da família Parmeliaceae (BF21) e por fim um morfotipo conforme a família Dryopteridaceae (SL5).

Em termos percentuais podemos observar (ver figura 51) que os exemplares mais representativos são os espécimes conforme a espécie *Laurus azorica* e

Viburnum treleasei, com uma percentagem de 47% e 19% respetivamente, representando em conjunto 66% do total. Os restantes espécimes, à exceção dos morfotipos conforme *Picconia azorica* (9%), encontram-se pouco representados e com percentagens iguais de 5 %.

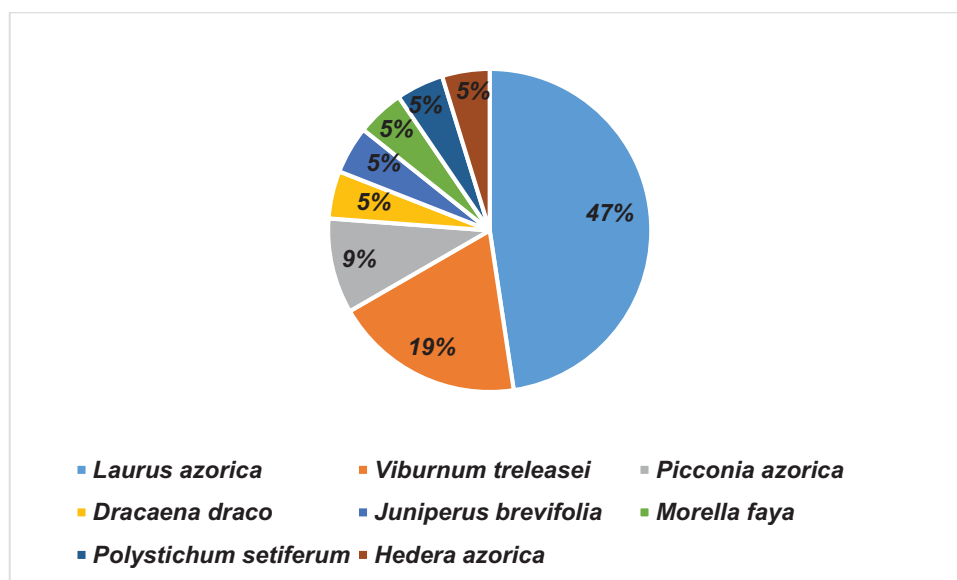


Figura 51: Percentagem da composição da flora fóssil estudada por espécie (n=21).

Da análise dos 24 fitófosseis da flora fóssil estudada, com afinidade a plantas dicotiledóneas lenhosas, observou-se um total de quatro espécies, sendo que três delas apresentam margem inteira (ou sem recortes marginais) e uma apresenta, provavelmente, margem com recortes marginais, o que é equivalente a termos 25 % dessas últimas folhas (ou seja 1/4) do total. Esse valor permitiu-nos estimar a TMA a partir de várias equações de regressão (ver tabela 3). Para estimar esse TMA foram utilizadas três equações que se considerou aproximarem-se o mais possível da variabilidade de habitats que podem ser encontrados nas ilhas, assumindo desde já que um ambiente continental não tem as mesmas restrições ecológicas e ambientais do que um ambiente insular de ilhas de pequenas dimensões como é o caso dos Açores (ver tabela 2). Todavia, sendo os resultados produzidos em habitats com características semelhantes, muito próximos, é de assumir que a variabilidade possa ser pequena. A primeira equação (2) deriva de um conjunto de dados do Este da Ásia (Wing e Greenwood, 1993), segunda equação (3) deriva de um conjunto de dados do continente europeu (Traiser *et al.*, 2005) e por fim, a

terceira equação (4) deriva de um conjunto de dados do continente americano, do Japão e Oceania (Peppe *et al.*, 2011).

Tabela 2: Equações baseadas na Análise da Margem Foliar utilizadas para a estimação da temperatura média anual (TMA) da flora fóssil de Angra do Heroísmo. Legenda: a = região demográfica onde foram coletadas as amostras; n = número de locais amostrados; r^2 = coeficiente de determinação; EP = erro padrão do modelo; LMP = proporção de espécies com recortes marginais.

Equação	n	r^2	EP	Região^a	Fonte
(Eq. 2) $TMA = 1.41 + (30.6LMP)$	34	0.98	0.80	Este da Asia	Wing e Greenwood (1993)
(Eq. 3) $TMA = 0.512 + (31.4LMP)$	1835	0.60	1.70	Europa	Traiser <i>et al.</i> , (2005)
(Eq. 4) $TMA = 4.60 + (20.4LMP)$	92	0.58	4.80	América do Norte e do Sul, Japão e Oceania	Peppe <i>et al.</i> , (2011)

Utilizando o valor da LMP conseguimos extrair valores de TMA que variam nas três equações entre os 8.4°C e os 9.7°C (ver tabela 3), o que indicia tratar-se de um clima bastante mais frio que a atualidade, cujo valor de temperatura média anual é de 17.5°C (Dias, 1996).

Tabela 3: Estimativa da temperatura média anual (TMA) da flora fóssil de Angra do Heroísmo, com base na Análise da Margem Foliar. Legenda: a = proporção de espécies com recortes marginais; c = temperatura media anual (Dias, 1996).

Análise da Margem foliar	
n = 0.25^a	
Equação	TMA (°c)
Eq. 2	9.1 ± 0.8
Eq. 3	8.4 ± 1.7
Eq. 4	9.7 ± 4.8
Atual^c	17.5

6. Discussão

Parecendo existir nestes resultados pouca segurança, não porque se tenha que colocar em causas as regressões lineares dos autores anteriormente referidos, pois usam dados robustos, mas sim associada ao pequeno conjunto de dados que se obteve neste trabalho, interessa perceber se as mesmas temperaturas médias anuais obtidas pelas equações anteriores são compatíveis ou não com outras estimativas da bibliografia, também elas produzidas para situações de mesoescala e que podem não dar resposta ao paleoclima de ilhas como as do Arquipélago dos Açores.

No entanto, se considerarmos a zonação da vegetação atual apresentada por Elias *et al.*, (2016) esta ajuda-nos provavelmente a perceber algumas associações do passado e a partir delas tentar estimar algumas variáveis climáticas.

Neste trabalho encontraram-se possíveis associações *Erica-Morella*, apesar de não termos encontrado nenhum fóssil de *Erica*, mas vários autores apontam para a sua existência na Baía do Fanal. Assim sendo, e considerando no passado uma zonação próxima da atual, teríamos desde praticamente a zona de São Mateus até ao que é hoje a baía do Fanal, associações dessa natureza. O mesmo se poderia dizer da área que encheria com tufo vulcânico erodível toda a zona que é hoje a baía de Angra do Heroísmo, desde cotas relativamente baixas até à cota de sensivelmente 100 m.

Verificada a associação de fósseis de *Morella-Viburnum*, poder-se-á admitir que a zona de Santa Luzia se constituiria uma cintura húmida inferior, característica das Florestas das terras baixas. Esses dados são também compatíveis com os que se obtiveram em laboratório e que indiciam que há uma zona que vem desde Santa Luzia até ao Fanal que parece ser muito húmida ou encharcada.

É provavelmente a pluviosidade elevada que explicaria o encharcamento que parece ter existido no local e o aparecimento na zona de Santa Luzia de *Polystichum setiferum* que aparece em locais com invernos amenos e verões húmidos.

Se considerarmos a discrepância de temperaturas (mínima de 9°C e máxima de 15°C), inferidas pelas características de possíveis zonamentos e associação vegetal dos autores anteriormente referidos, deduziríamos que a temperatura média anual, para existir condições ótimas para essas associações vegetais como as que observamos, se situaria em torno dos 12°C, o que nos aproximaria da TMA estimada pelo método LMA. Aqui estamos a admitir que existia seis meses de verão e seis meses de inverno com graduações de temperaturas entre esses dois extremos. No entanto, a existência de *Juniperus* no que é hoje a arriba da Baía de Angra, tanto pode apontar para um ambiente húmido que permitia a instalação de *Juniperus*, *Laurus*, *Viburnum* e *Morella*, como também se poderá tratar de uma subespécie marítima como referem Elias & Dias (2014), e que permite explicar uma possível associação entre *Juniperus* e *Dracaena*.

Considerando agora o modelo conceptual de Pereira, (2012), que resulta da conjugação da ecologia das espécies através do seu óptimo ecológico, e tendo em conta as temperaturas mínimas a que as espécies identificas se poderiam desenvolver, verificamos que estas não poderiam descer abaixo dos 7°C (especialmente a Faia, o cedro e o loureiro), mas o pau branco exigiria uma temperatura mínima mais elevada cerca de 2°C (9°C).

Se o dragoeiro for o grande “proxy” do clima do passado, tal exige que a temperatura fosse mais alta do que a referida anteriormente, para ser compatível com a estimada nos modelos anteriores.

Tendo também em conta as classes de temperaturas mínimas médias anuais de Pereira (2012), são normalmente inferiores aos 17°C para as espécies referidas neste estudo, com exceção do dragoeiro.

Tendo em conta o que se acaba de expor, a temperatura de Angra do Heroísmo no Quaternário parece ser efetivamente inferior à atual.

Estimar-se-ia que tendo em conta os ótimos ecológicos das espécies estudadas por Pereira (2012), que a temperatura média do passado da floresta de Angra se situasse em torno dos 14,5°C, inferior ao valor atual de 17,5°C.

O estudo realizado por Sachs & Lehman (1999) na Região das Bermudas revelou que no holoceno (11 650 anos) houve oscilações acentuadas da temperatura superficial das águas do Atlântico, indicando para essa área

oscilações de temperatura média anual entre 2°C e 5°C relativamente à atualidade. Essas oscilações são da ordem de grandeza daquelas que aqui encontramos, mas para um período bastante superior àquele que está subjacente a este estudo.

De acordo com o trabalho de Goose *et al.* (2010), realizado na Gronelândia, houve oscilações de temperaturas nessa região que variaram entre menos 18°C e menor 5°C relativamente à temperatura média atual entre 20 000 e 30 000 anos atrás. Esta oscilação é muito acentuada, mas a variação de 5°C é compatível com os valores obtidos neste trabalho se os fósseis corresponderem à camada dos cerca de 30 000 anos e não dos 20 000 anos. Tal como se referiu anteriormente, não é possível associar-se uma profundidade, logo uma cronologia aos fósseis colhidos na Baía do Fanal, porque estes resultaram de um movimento de vertente que misturou várias camadas de tufo vulcânico.

Tendo em conta o que se acaba de expor, não parece haver razões suficientemente fortes para se considerar que a estimativa de temperatura média anual aqui realizada enferma de grande erro, no entanto necessita de mais análises para tal previsão se possa fortalecer cientificamente.

Apesar de aqui se apresentar um estudo com uma metodologia que não foi usada no Arquipélago dos Açores, existem outros estudos que têm uma metodologia semelhante à que aqui se utilizou para a identificação das espécies (e.g. Franco-Delgado & Bernardes-De-Oliveira, 2004; Borges *et al.*, 2014). Contudo, o modelo aqui apresentado apenas nos permite inferir se os morfotipos são ou não conforme as espécies atuais, pois apresenta ainda algumas limitações, as quais se enunciarão de seguida.

Com base no foi exposto anteriormente, o modelo utilizado para identificação dos morfotipos revelou-se razoavelmente eficaz, na medida em foram identificados conforme as espécies atuais 21 dos 30 morfotipos analisados. Revelou-se, sobretudo, muito útil na segregação de algumas das espécies.

De forma resumida, este modelo contemplava, numa primeira fase, a descrição mais completa possível dos exemplares fósseis e, numa segunda fase, aplicavam-se-lhes as bases de referência da flora atual, de modo a verificar se cumpriam todos os critérios. No entanto, importa referir que apenas se

efetuaram bases de referência para as espécies de dicotiledóneas lenhosas e que a análise dos restantes morfotipos, que não se enquadraram nesta categoria, foi baseada apenas na comparação das características morfológicas entre estes e as espécies atuais que mais se assemelhavam. Além disso, não foram considerados quaisquer parâmetros climáticos na elaboração das bases de referência e como se sabe estes fatores podem influenciar ligeiramente a morfologia das plantas de modo a adaptarem-se às exigências ecológicas do habitat onde se encontram (Wilf, 1997; Wilf *et al.*, 1998; Traiser *et al.*, 2005, Pereira, 2012). Poderão ser exemplo disso os morfotipos BF3 e BF11, que não se enquadraram dentro de todos os parâmetros referidos na base de referência para a espécie atual de *Laurus azorica* (refira-se no entanto que apenas não cumpriram o critério da média do ângulo médio mas apresentaram valores próximos desta), mas foram considerados neste trabalho conforme a espécie por apresentarem características morfológicas semelhantes.

As primeiras descrições da vegetação natural dos Açores, na altura do descobrimento, revelam de uma forma geral ilhas cobertas por densas florestas (Elias *et al.* 2016). São feitas referências a diversas espécies, das quais são de destacar: cedros (*Juniperus brevifolia*); louros (*Laurus azorica*); ginjas (*Prunus lusitanica ssp. azorica*); sanguinho (*Frangula azorica*); teixos (*Taxus baccata*); pau branco (*Picconia azorica*); folhado (*Viburnum treleasei*) e faias (*Myrica faya*) (Costa, 1950; Frutuoso 1981). Dias (1996), baseando-se nestas descrições históricas, refere que as formações vegetais dos Açores não teriam uma disposição homogénea, em largas manchas, nem teriam uma disposição zonal, mas sim uma distribuição por mosaicos casuais, com vários tipos de vegetação, como prados, matos, bosques e florestas. No entanto, devido às fortes perturbações ambientais que se verificam com elevada frequência, no espaço e no tempo nos Açores (erupções, ciclones, temporais, desabamentos, etc.), terá levado a que a vegetação adquirisse, como forma de adaptação, mecanismos de alternância de formações, que se terão tornado nos processos de dinâmica dominantes (Dias, 1996).

Como referido anteriormente, num estudo realizado por Elias *et al.*, 2016, foi estabelecida uma potencial vegetação natural zonal para os Açores. Todavia os autores referem que a PNV é diferente da vegetação pré-humana porque

mudanças climáticas podem ocorrer mesmo em curtos períodos de tempo (séculos).

Tendo em conta a análise florística levada a cabo no nosso estudo, podemos inferir que a associação fóssil dos locais estudados contém semelhanças inegáveis com as associações florísticas nativas e atuais da ilha. Apesar de a grande maioria dos fósseis terem sido recolhidos em ambiente costeiro, tal facto, segundo Buijs (2016) não significa que há 20 000 anos (provável datação dos fósseis recolhidos) estes locais correspondessem necessariamente a um habitat costeiro (ver figura 8).

A dominância de Lauráceas, nomeadamente a *Laurus* e outras folhas do tipo lauróide não identificadas (e.g. BF6 e BF7), apontam para a existência de uma floresta de laurisilva de média altitude dominada por louros (surgiram tanto na Baía do Fanal como em Santa Luzia). De referir ainda o facto de que os resultados de modelação do estudo de Elias *et al.*, (2016), sugerirem que as florestas de *Picconia-Morella* e de *Laurus* (florestas de Laurisilva) constituem a vegetação potencialmente dominante nos Açores.

A segunda espécie mais abundante que encontrámos foi o *Viburnum treleasei* (surgindo em todos os locais estudados), que de acordo com as descrições históricas efetuadas por Gaspar Frutuoso (1981), era uma espécie que coabitava com os louros, faias e o pau-branco. Nos dias de hoje também ocorre naturalmente em florestas de *Laurus* (*Laurus azorica*) e *Juniperus* (*Juniperus brevifolia*) entre os quatrocentos metros e os oitocentos metros de altitude (Shaefer, 2005).

Destaca-se também a presença do fóssil da espécie *Juniperus* (BAH1), recolhido na Baía de Angra do Heroísmo, que atualmente é dado como sendo uma espécie que ecologicamente surge em locais mais elevados, ou seja, a partir do tipo de vegetação zonal definido como Florestas de Montanha *Juniperus-Ilex*, que surgem normalmente situadas entre os 600 e os 900 metros de altitude (Elias *et al.*, 2016). Dias (1996), destaca o facto das teorias de uma zonação altitudinal da vegetação, que colocam certas espécies como estritas a certas altitudes, poder não corresponder à realidade e ser resultado da ação antrópica, mais precisamente a forma de uso da terra e de abate destas espécies. O autor, dando mesmo como exemplo o cedro, que foi tido em quase todos os sistemas de classificação de vegetação como característico

de formações de grande altitude, alerta para a presença de povoamentos, desta espécie a nível costeiro, embora com a denominação popular de zimbro. Destacou também o facto, de Gaspar Frutuoso (1978) referir nos seus textos, com bastante frequência, a presença de *Juniperus brevifolia*, a baixa altitude (e.g. Fajã de António Carneiro, nas Flores). No entanto, Elias & Dias (2014) afirmam que é o cedro de costa que faz parte dos bosques de *Erica* e *Morella* e também da vegetação costeira. O cedro-do-mato é a subespécie *brevifolia* que ocorre essencialmente acima dos 500-600 m.

Este será o primeiro exemplar fóssil foliar da espécie *Juniperus* encontrado no Arquipélago dos Açores.

As seguintes espécies identificadas estão representadas por poucos indivíduos, como é o caso da *Morella Faya*, da *Picconia azorica*, *Polystichum setiferum* e *Hedera azorica* todavia pode-se destacar o facto de todas elas já terem sido referenciadas na bibliografia, dando conta da sua existência nas camadas fossilíferas das baías de Angra do Heroísmo e do Fanal (e.g. Agostinho 1949; Forjaz *et al.*, 1970). Quanto às espécies *Morella faya* e *Picconia azorica* estão classificadas como sendo espécies de Florestas de Terras Baixas, apesar de, no caso da faia também possa estar em Bosques costeiros. Porém, não obstante o tipo de vegetação zonal das Florestas de Terras Baixas ser dominado pela *Picconia azorica* e pela *Morella faya*, a *Laurus azorica* torna-se mais frequente e abundante nos limites superiores da sua distribuição (Elias *et al.* 2016).

Em relação à *Hedera azorica*, é uma espécie que tem alguma amplitude ecológica, pois pode surgir desde as florestas de *Picconia-Morella* até às Florestas de Montanha. Aparece com maior frequência nas primeiras.

No que diz respeito à espécie *Polystichum setiferum*, segundo o estudo de Elias *et al.*, (2016), surge com maior frequência nas Florestas de Submontanha de *Laurus*.

Importa referir também a presença, embora não identificada quanto ao género, de um segundo feto da família Dryopteridaceae.

Por fim, o fóssil de *Dracaena draco*, que embora não se enquadre no contexto de uma floresta de Laurissilva, é efetivamente uma espécie nativa dos Açores que também já foi referida por Góis-Marques *et al.*, (2019) como podendo ter

uma possível existência fóssil na Baía do Fanal. Neste trabalho prova-se que de facto aí existe.

O dragoeiro pode ser encontrado ainda nos dias de hoje, entre outros locais pontuais, junto à costa dessa Baía (embora seja resultado de uma replantação recente). Destaca-se o facto de este ser o primeiro fóssil desta espécie a ser relatado no Arquipélago dos Açores.

A diferente coloração de alguns dos fósseis (branca e castanha avermelhada) da Baía do Fanal levou-nos a questionar qual o motivo do aparecimento de tais colorações. Colocou-se a hipótese de resultarem de processos de silificação e piritização, o que se veio a confirmar após os testes realizados em laboratório.

Esse processo permite-nos equacionar um possível encharcamento dos solos nesse local pois como sabemos a água deve estar presente para que a silificação ocorra e mantenha a forma do organismo através do transporte e a deposição de sílica na sua superfície (Sigleo, 1978). No entanto, tal cenário, não se afigura uma tarefa fácil de provar pelas espécies fósseis encontradas neste local, pois, provavelmente, nenhuma delas possui características fisiológicas capazes de se adaptar a este tipo de solos. Todavia pode-se colocar a hipótese desta ter sido uma das causas da extinção destas mesmas espécies neste local, constituindo-se provavelmente um local sujeito a desaguamentos de cursos de água e tendo até inclusive uma nascente relativamente perto (SRA, 2001).

Perante este cenário paleoecológico e tendo em conta as características bioclimáticas da vegetação atual e o tipo de vegetação fóssil obtida permite-nos inferir, embora de uma forma quase empírica, que o clima do Quaternário não diferia muito do atual.

Como se vê pelo que se acaba de explicar há muitas indecisões sobre as condições dos habitats que devem ser consideradas para enquadrar os resultados paleoclimáticos.

A reconstrução paleobotânica e paleoclimática foi efetuada com recurso a uma metodologia idêntica ao “Nearest Living Relatives” (NLR), correspondendo a um dos métodos mais antigos e também dos mais utilizados para a reconstrução de paleoclimas (Wolfe, 1995; Mosbrugger, 1999). Consiste na comparação das floras fósseis e representantes atuais taxonómicamente relacionados. A assembleia fóssil é relacionada com as condições climáticas de

uma área cuja flora contém um grande número de formas viventes afins (Wolfe, 1995). No entanto, apesar de este ser um método com ampla utilização, tem sido criticado, tanto em teoria como na prática, por não ser completamente exato, pois, por vezes, as análises NLR da mesma flora, discordam, amplamente, das estimativas climáticas de outros métodos, sendo que este é único que assume que não houve uma evolução significativa das plantas no período de tempo em questão (e.g. Grimm & Potts, 2016; Grimm *et al.*, 2016). Quando paleobotânicos tentam inferir climas de milhões ou dezenas de milhões de anos, esta suposição não será a mais adequada (Wolfe, 1995) mas aqui não se vê razão para que não possa ser aplicado. De acordo com Wolfe (1995), o método NLR é o mais adequado para identificar tendências mais amplas do clima.

De acordo com Mosbrugger (1999) o uso do NLR fornece um dos melhores métodos para reconstruções paleoclimáticas, especialmente para os períodos geológicos do Quaternário e do Terciário. No entanto, para períodos geológicos anteriores a estes, as relações entre os táxons modernos e os fósseis são mais indefinidas e tornam essa técnica menos eficaz. Por isso, é aplicada principalmente no Quaternário e Neogeno, onde a mudança evolutiva dos requisitos ambientais de cada planta é considerada mínima (e.g., Hickey, 1977; Chaloner & Creber, 1990; Mosbrugger, 1999).

Numa tentativa de complementar a análise paleoclimática aqui realizada, foi utilizado o método da Análise da Margem Foliar (LMA), com o intuito de estimar a temperatura média anual (TMA) da área estudada. Como referido anteriormente as folhas de dicotiledóneas lenhosas têm sido bastante utilizadas em estudos paleobotânicos de modo a obter temperaturas paleoclimáticas de variadas regiões do globo (e.g. Greenwood *et al.*, 2004; Traiser *et al.*, 2005; Peppe *et al.*, 2011; Royer, 2012).

Perante os resultados obtidos, utilizando o método da LMA, através de três equações distintas para o efeito (ver tabela 2), podemos observar, que os valores estimados pelas mesmas são bastante similares, variando ligeiramente entre os 8.4°C e os 9.7°C. Podemos daí deduzir, que as equações, apesar de serem derivadas de diferentes assembleias florísticas, podem fornecer resultados muito semelhantes. Fazendo uma média dos valores obtidos através

das 3 equações, obtemos uma TMA de 9.1°C. Tal resultado indicia que o clima do Quaternário era provavelmente bastante muito mais frio que hoje em dia, pois o valor da TMA atual é de 17.5°C (Dias, 1996).

Esta enorme discrepância, deve-se provavelmente, ao tamanho relativamente pequeno da amostra no que respeita ao número de espécies obtidas. Wilf (1997) recomenda ter um mínimo de 25 a 30 espécies para obter resultados confiáveis. Infelizmente não foi possível obter tal diversidade.

Além disso, deve-se salientar o facto de que as equações já existentes na bibliografia disponível não foram ainda calibradas para o Arquipélago dos Açores. Essas equações foram selecionadas porque apresentavam um conjunto de dados que mais se aproxima-se do que poderia ser o clima dos Açores no passado: Um pouco de Europa, um pouco da Ásia e um pouco da América.

7. Conclusões

Determinar a afinidade taxonómica de fósseis foliares não se afigura tarefa fácil, principalmente quando os espécimes se restringem apenas a material vegetativo e a restos de folhas fragmentadas provenientes apenas de impressões ou compressões. Assim, para auxiliar na identificação dos espécimes, optou-se pela construção de bases de referência baseadas principalmente nas características biométricas (e.g. ângulo das nervuras secundárias, densidade, entre outras) de folhas de espécies atuais que se assemelhassem aos fósseis analisados. Esta metodologia revelou-se muito útil principalmente na segregação das espécies. Embora existam alguns modelos semelhantes, pode dizer-se que este foi um modelo pioneiro e que revelou ser razoavelmente eficaz. Contudo, quando não foi possível a sua aplicação, recorreu-se à comparação morfológica entre os fitofósseis e folhas atuais, de modo a perceber possíveis semelhanças entre ambas.

A assembleia fóssil aqui apresentada demonstra que os fitofósseis são abundantes na Ilha Terceira, e que muitos dos fósseis, apesar de fragmentados, ainda preservam características morfológicas assinaláveis. A coleção estudada resultou na descrição de 30 morfotipos, sendo que por descrever ficaram muitas largas dezenas de morfotipos. Importa destacar, que nesta tese constam as primeiras descrições da arquitetura foliar de morfotipos de folhas fósseis do Arquipélago dos Açores. De referir ainda que se trata da maior coleção de fósseis foliares desta região analisada até agora. Pensa-se que se trata de um espólio de enorme valor científico e patrimonial, através do qual podemos inferir uma série de informações paleoambientais que nos ajudam a conhecer um pouco melhor a história natural de Angra do Heroísmo.

Da análise florística efetuada resultou a identificação de 30 morfotipos, sendo que 21 dos quais foram identificados conforme a espécie. No total, foram identificadas 8 espécies: a cf. *Laurus azorica*; cf. *Viburnum treleasei*; cf. *Picconia azorica*; cf. *Morella faya*; cf. *Juniperus brevifloia*; cf. *Hedera azorica*; cf. *Polystichum setiferum*; cf. *Dracaena draco*). Dos 7 morfotipos identificados conforme a família, pode-se dizer que foram de Lauraceae; Parmeliaceae; Dryopteridaceae. Os restantes 2 morfotipos foram atribuídos a folhas dicotiledóneas indeterminadas.

A flora fóssil analisada é dominada por folhas dicotiledóneas inteiras de nervação broquidódroma característica das lauráceas atuais como é o caso da *Laurus azorica* (47%). Seguem-se outras espécies como o *Viburnum treleaseae* (19%), a *Picconia azorica* (9%), e as restantes espécies acima mencionadas com 5% cada uma. Esta flora fóssil apresenta semelhanças notáveis com a atual associação florística da Laurissilva dos Açores, não existindo evidências, quer de processos de extinção como de introdução de espécies.

No conjunto da flora fóssil identificada destacam-se os espécimes cf. *Juniperus brevifolia* e cf. *Dracaena draco*, sendo pela primeira vez relatados fósseis foliares dos mesmos nos Açores.

Alguns morfotipos assemelhavam-se, à primeira vista, à espécie *Ocotea foetens*, referida várias vezes na bibliografia como estando presente nos Açores em diversos fósseis. Foi elaborada uma base de referência que teve em conta a arquitetura foliar dessa espécie e não foi possível garantir que algum dos morfótipos estudados ou observados coincidissem com ela.

Traçando um cenário paleoecológico e paleoclimático tendo em conta a assembleia florística analisada, onde a presença de elementos florísticos, de diversas tendências ecológicas é notória, as várias associações possíveis de realizar com base na zonação altitudinal estabelecida por Elias *et al.*, (2016), e os resultados da TMA, poderíamos, à semelhança da análise de Dias (1996), estar perante uma vegetação com uma disposição heterogénea, onde poderia não se encontrar uma disposição zonal, mas sim, uma distribuição por mosaicos casuais, com vários tipos de vegetação, matos, bosques e florestas. A média da temperatura média anual estimada pelos modelos de LMA situa-se nos 9.1°C, ficando próxima dos 12°C estimados pela discrepância de temperaturas para um local que permitisse associação das espécies *Juniperus*, *Laurus*, *Viburnum* e *Morella* num local muito próximo. Tais dados apontam para um clima bastante mais frio do que a atualidade, cuja média anual da temperatura é de 17.5°C.

Destaca-se ainda a possível existência de uma zona muito húmida ou encharcada que se situa Santa Luzia e o Fanal, situação que resultou do estudo da coloração apresentada por alguns dos fósseis recolhidos nestes locais. Colocou-se a hipótese de tais colorações resultarem de processos de

silicificação e piritização, o que se veio a confirmar pelos resultados dos testes realizados em laboratório.

No futuro, em trabalhos desta natureza a amostragem deve ser maior em quantidade e área explorada.

Os modelos utilizados necessitam claramente de uma calibração regional, porque estamos em ilhas oceânicas com flora nativa pobre e larga amplitude ecológica. Talvez por isso não se observe na vegetação atual qualquer diferença na percentagem de espécies com recorte/sem recorte entre as zonas mais quentes de baixa altitude e as zonas mais frias de alta altitude.

Em jeito de conclusão, e tendo em conta a associação de resultados obtida, poderíamos inferir que estávamos provavelmente sob a presença de um clima mais frio e mais húmido do que o atual, de baixa altitude, com um tipo de vegetação aparentemente heterogénea constituída por hipotéticos mosaicos casuais e com diferentes associações vegetais. Tanto poderíamos encontrar grandes manchas dominadas por Loureiros, como povoamentos mistos onde se poderia observar uma associação de diferentes espécies (e.g. *Juniperus*, *Laurus*, *Viburnum* e *Morella*, entre outros).

8. Considerações Finais

Estudos paleobotânicos e paleoclimáticos, utilizando fósseis foliares, nos Açores, estão ainda numa fase bastante embrionária, havendo claramente um vazio de conhecimento nesta área.

Neste sentido, esta dissertação tratando-se, precisamente, de um estudo pioneiro no Arquipélago dos Açores, apresenta ainda resultados um pouco comedidos, sem deixar, contudo, de serem interessantes. Todavia, existe ainda uma enorme margem de progressão neste domínio científico.

Enumeram-se de seguida possíveis e futuras linhas de investigação e conservação:

- A Gestão e Conservação da Natureza deve ser considerada de forma holística e deve ter em conta, antes de tudo, a preservação dos valores geológicos e biológicos de uma dada região. A necessidade de preservação da Biodiversidade, uma das componentes do Património Natural, é uma ideia já relativamente bem implantada na sociedade. Porém, a outra componente do Património Natural a sua importância tem sido subvalorizada, como é o caso da Geodiversidade (e.g. fósseis, rochas, minerais, solos). Infelizmente, a Geodiversidade não tem merecido, nas políticas nacionais e internacionais, o mesmo destaque que a Biodiversidade. É mais fácil envolver as pessoas na preservação de uma dada espécie animal ou vegetal do que na conservação de um afloramento rico em fósseis. O carácter inanimado do Património Geológico e a falta de sensibilidade para a Geologia da maioria da população, conduz a este afastamento da sociedade face à necessidade de implementar medidas de Geoconservação.

Esta tese vê também no sentido de ajudar a promover e de alguma forma preservar este espólio magnífico que se encontra debaixo do que é hoje a cidade de Angra do Heroísmo. Sendo um dos objetivos, do Plano Director Municipal de Angra do Heroísmo, garantir a defesa e valorização do património cultural e natural (artigo 2, alínea d), sugere-se, neste sentido, à autarquia local e entidade de gestão do território, em particular, a criação de mecanismos e protocolos direcionados à conservação e manejo do património fóssil de Angra do Heroísmo, que acautele e permita de alguma forma, antes de qualquer

intervenção de requalificação ou construção de edifícios, a preservação, recolha, catalogação, etc., dos exemplares fósseis que parecem estar nas fundações que se reutilizam ou nas fundações que se fazem. A não existência destes mecanismos poderá comprometer irremediavelmente esse Património Natural levando à destruição de elementos patrimoniais únicos. Como se referiu ao longo desta tese, os fósseis têm extrema importância nas mais variadas áreas do património, tais como: a ciência, a educação e ecologia, cultural, entre outras.

Nos objetivos do Plano de Pormenor e Salvaguarda de Angra do Heroísmo pretende-se promover a salvaguarda e valorização do património cultural. Entre as várias facetas do património cultural encontra-se o património geológico que produz atratividade turística e isso entronca claramente no objetivo desse plano que pretende “Criar condições de atratividade e acolhimento turísticos”. São muitos os locais onde as jazidas fósseis são atração turística não só porque há cada vez mais interesse em conhecer a origem da humanidade, mas também dos ambientes e espécies que nos precederam. Aparenta que toda a área classificada da Cidade de Angra do Heroísmo tem sob ela uma camada fossilífera que interessa estudar e valorizar. Propôs-se assim, que na revisão do Plano de Pormenor e Salvaguarda de Angra se considere a necessidade de recolha e identificação das espécies que vão sendo encontradas, bem como se equacione o melhor modo de ilustrar e mostrar o passado natural da cidade.

Se no Plano de Pormenor e Salvaguarda de Angra do Heroísmo se pretende promover a qualidade ambiental e dos espaços públicos e contribuir para o desenvolvimento das atividades culturais e desportivas da cidade, vemos na flora fóssil de Angra do Heroísmo grande potencial para a concretização desse objetivo. Considera-se que os fitofósseis de Angra do Heroísmo tem valor excecional, não só pela sua génese, mas também pela abundância que parecem ter na área ocupada na cidade. Isso entronca claramente nos valores defendidos pela UNESCO que adotou em 1972 a Convenção do Património Mundial, Cultural e Natural, que tem por objetivo proteger os bens patrimoniais dotados de um valor universal excecional.

Sem conhecimento não há proteção, mas pode haver proteção com e apenas alguma sensibilidade. Esta tese poderá contribuir para que se equacionem algumas medidas de restrição e intervenção em alguns espaços de Angra

numa lógica de ordenamento do território que vise proteger este património natural. Pensa-se que os dados espaciais aqui apresentados já permitem estimar zonas de potencial interesse ou de potencial atenção, relacionadas com a presença de materiais fósseis. A par disso, será importante que se comece a pensar na atribuição de competências para a preservação de património dessa natureza. Na atualidade, aparecem-nos como entidades que podem e devem ser envolvidas nessa problemática e estudos a Universidade dos Açores e a Associação Espeleológica “Os Montanheiros”.

Pensa-se também que seria importante que o Museu de Angra do Heroísmo, à semelhança de muitos museus dispersos pelo país e de alguns da Região, como o Museu Machado de Castro, que pudesse ter uma secção ampla relacionada com a história natural da ilha Terceira.

O conhecimento da história natural da ilha permitir-nos-á, não só perceber melhor os impactos das atividades humanas, mas também planear melhor o futuro, especialmente no que se refere à preservação da biodiversidade.

- Realização de uma análise florística mais aprofundada, alargando a mesma a toda coleção fóssil da ilha, incluindo ilustrações científicas detalhadas, dos espécimes, o que provavelmente resultaria em mais espécimes de macrofósseis foliares e novos morfótipos.

- A realização de análises palinológicas, pois o seu estudo permitiria complementar e reforçar as identificações efetuadas pelos macrofósseis e aumentar até o número de taxa presentes. A falta de especialistas na Universidade dos Açores levou-nos a solicitar a colaboração à Universidade de Coimbra para a identificação de alguns grãos de pólen ou de esporos contidos nas amostras, mas tal colaboração não se realizou em tempo útil.

- Existe também a possibilidade da tentativa de identificação de alguns dos insetos fossilizados nos fitofósseis recolhidos, pois, como se sabe, constituem excelentes bioindicadores em estudos paleoclimáticos, paleobiogeográficos, paleoecológicos e paleoambientais. Fez-se uma primeira tentativa, mas esta revelou-se ser um trabalho muito moroso e na amostra selecionada apenas

existiam fósseis de insetos incompletos o que tornaria ainda mais difícil a sua identificação.

- Do ponto de vista da modelação informática, seria interessante efetuar uma modelação da vegetação em 3D para a área de estudo, numa tentativa de dar uma ideia de como seria a vegetação natural nos locais estudados há 20 000 anos atrás. Algo que não foi efetuado devido questões financeiras e temporais.

- Por fim, seria importante proceder à calibração à escala regional, utilizando para o efeito a flora atual do Arquipélago do Açores, de um modelo de estimação da TMA, baseado na LMA.

9. Bibliografia

Agostinho, J. (1949). O monte Brasil: esboço monográfico. Açoreana. *Boletim da Sociedade Afonso Chaves*, 4, 343-355.

Alonso-Zarza, A. M., Geniseb, J. F., Cabrerac, M. C., Mangasc, J., Martín-Pérez, A., Valdeolmillosa, A. & Dorado-Valiñod, M. (2008). Megarhizoliths in Pleistocene aeolian deposits from Gran Canaria (Spain): Ichnological and palaeoenvironmental significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 265(1-2), 39-51.

Anderson, C. L., Channing, A., & Zamuner, A. B. (2009). Life, death and fossilization on Gran Canaria—implications for Macaronesian biogeography and molecular dating. *Journal of Biogeography*, 36(12), 2189-2201.

Arnold, C. A. (1947). An Introduction to Paleobotany. New York: McGraw-Hill Book Company.

Augustin, L., Barbante, C., Barnes, P. R., Barnola, J. M., Bigler, M., Castellano, E., ... & Dreyfus, G. (2004). Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. *Nature*, 429, 623-628.

Ávila, S. P., Cachão, M., Ramalho, R. S., Botelho, A. Z., Madeira, P., Rebelo, A. C., ... & Lipps, J. H. (2016). The palaeontological heritage of Santa Maria Island (Azores: NE Atlantic): a re-evaluation of geosites in GeoPark Azores and their use in geotourism. *Geoheritage*, 8(2), 155-171.

Ávila, S. P., Calado, H., & Cachão, M. (2014). “Paleoparque Santa Maria” (Açores). *Comunicações Geológicas*, 101(3), 1205-1210.

Ávila, S. P., Melo, C., Berning, B., Cordeiro, R., Landau, B., & da Silva, C. M. (2016). *Persististrombus coronatus* (Mollusca: Strombidae) in the lower Pliocene of Santa Maria Island (Azores, NE Atlantic): paleoecology, paleoclimatology and paleobiogeographic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 441, 912-923.

Azevedo, E. (1996) – *Modelação do Clima Insular à Escala Local. Modelo CIELO aplicado à ilha Terceira*. Dissertação de Doutoramento em Ciências Agrárias. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo.

Biagolini, C. H., & Piacitelli, L. P. (2017). Relato de experiência: o uso da argila para produção de modelos de fitofósseis, usados na formação de conhecimento em paleobotânica. *Educação básica revista*, 2(2), 141-150.

Borges, M. S., Pires, E. F., Boelter, C. R., Meneses, M. E., Da Rosa, Á. A., Martello, A. R., & Boelter, R. A. (2014). Impressões foliares pleistocenas de Malvaceae na área de abrangência do Aproveitamento Hidroelétrico Jirau, Rondônia, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 41(3), 243-255.

Brooks, S. J., Langdon, P. G. (2014). Summer temperature gradients in northwest Europe during the Lateglacial to early Holocene transition (15-8 ka BP) inferred from chironomid assemblages. *Quaternary International*, 341, 80-90.

Brown, R. J., Barry, T. L., Branney, M. J., Pringle, M.S. & Bryan, S. E. (2003). The Quaternary pyroclastic succession of southeast Tenerife, Canary Islands: explosive eruptions, related caldera subsidence, and sector collapse. *Geological Magazine*, 140, 265-288.

Brown, R. J. & Branney, M. J., (2004). Event stratigraphy of a caldera forming ignimbrite eruption on Tenerife: the 273 ka Poris Formation. *Bulletin of Volcanology*, 66, 392-416.

Cachão, M. & Silva, C. (2004). Introdução do Patrimônio Paleontológico Português: definições e critérios de Classificação. *Genovas*, 18(1), 13-19.

Cain, S. A., & Castro, G. D. O. (1959). *Manual of Vegetation Analysis*. New York: Harper and Brothers.

Calvert, A. T., Moore, R., McGeehin, J., Rodrigues da Silva, A. (2006). Volcanic history and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and ^{14}C geochronology of Terceira Island, Azores, Portugal. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 156, 103–115.

Cassab, R. C. T. (2004.) Objetivos e Princípios. In Carvalho, I. S. (Eds.), *Paleontologia* (Vol. 1, pp. 3-11). Rio de Janeiro: Interciência.

Chaloner, W. G., & Creber, G. T. (1990). Do fossil plants give a climatic signal? *Journal of the Geological Society*, 147(2), 343-350.

Coope, G. R. (2004). Several million years of stability among insect species because of, or in spite of, Ice Age climatic instability? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 359(1442), 209-214.

Coope, G. R. (2009). Beetles as Quaternary and Late Tertiary climate indicators. In: Gornitz, V. (Eds.), *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments* (pp. 90-91). Dordrecht: Springer.

Connor, S. E., van Leeuwen, J. F., Rittenour, T. M., van der Knaap, W. O., Ammann, B., & Björck, S. (2012). The ecological impact of oceanic island colonization—a palaeoecological perspective from the Azores. *Journal of Biogeography*, 39(6), 1007-1023.

Denk, T., Güner, H. T., & Grimm, G. W. (2014). From mesic to arid: Leaf epidermal features suggest preadaptation in Miocene dragon trees (*Dracaena*). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 200, 211-228.

Dias, E. (1996). *Vegetação natural dos Açores: Ecologia e sintaxonomia das florestas dos Açores*. Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências Agrárias. Angra do Heroísmo.

Dias, E., Araújo, C., Mendes, J. F., Elias, R. B., Mendes, C., & Melo, C. (2007). Espécies florestais das ilhas-Açores. *Árvores e florestas de Portugal*, 6, 199-254.

dos Santos, M. A., de Oliveira, M. E. B., & Sant, L. G. (2007). Evidências Paleoclimáticas e Paleocológicas, segundo dados Paleobotânicos e Mineralógicos, dos Argilitos Neógenos de Jaguariúna (SP), Correlatos à Formação Rio Claro. *Revista Geociências-UNG-Ser*, 6(1), 80-106.

Edgar, C. J., Wolff, J. A., Olin, P. H., Nichols, H. J., Pittari, A., Cas, R. A. F., Reiners, P. W., Spell, T. L. & Martí, J. (2007). The late Quaternary Diego Hernandez Formation, Tenerife: volcanology of a complex cycle of voluminous explosive phonolitic eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 160, 59-85.

Elias, R. B., & Dias, E. (2014). The recognition of infraspecific taxa in *Juniperus brevifolia* (Cupressaceae). *Phytotaxa*, 188(5), 241-250.

Elias, R. B., Gil, A., Silva, L., Fernández-Palacios, J. M., Azevedo, E. B., & Reis, F. (2016). Natural zonal vegetation of the Azores Islands: characterization and potential distribution. *Phytocoenologia*, 46(2), 107-123.

Elias, S. A. (1994). *Quaternary Insects and Their Environments*. Washington DC: Smithsonian Institution Press.

Elias, S. A. (2010). *Advances in Quaternary Entomology*. Amsterdam: Elsevier Science.

Ellis, B., Daly, D. C., Hickey, L. J., Johnson, K. R., Mitchell, J. D., Wilf, P., & Wing, S. L. (2009). *Manual of leaf architecture* (Vol. 190). Ithaca: Cornell University Press.

Fernández-Palacios, J. M., de Nascimento, L., Otto, R., Delgado, J. D., García-del-Rey, E., Arévalo, J. R., & Whittaker, R. J. (2011). A reconstruction of Palaeo-Macaronesia, with particular reference to the long-term biogeography of the Atlantic island laurel forests. *Journal of Biogeography*, 38(2), 226-246.

Flenley, J. R., King, A. S. M., Jackson, J., Chew, C., Teller, J. T. & Prentice, M. E. (1991). The Late Quaternary vegetational and climatic history of Easter Island. *Journal of Quaternary Science*, 6(2), 85-115.

Flognfeldt, T. (2016). The importance of cultural heritage products as reasons for visits to Norway. *Tourism Role in the Regional Economy*, 6, 37-56.

França, Z., Cruz, J. V., Nunes, J.C. & Forjaz, V. H. (2003). Geologia dos Açores: uma perspectiva actual. *Açoreana* 10(1), 11-140.

Franco-Delgado, S. G., & Bernardes-De-Oliveira, M. E. C. (2004). Annonaceae e Lauraceae da Formação Entre-Córregos (Paleógeno) na bacia de Aiuruoca: implicações paleoclimáticas. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 7(2), 117-126.

Gertisser, R., Self, S., Gaspar, J. L., Kelley, S. P., Pimentel, A., Eikenberg, J., ... & Vespa, M. (2010). Ignimbrite stratigraphy and chronology on Terceira Island, Azores. *The Geological Society of America, Special Paper*, 464, 133-154.

Góis-Marques, C. A. (2013). *Paleobotânica da ilha da Madeira: inventário e revisão da macroflora fóssil de São Jorge e Porto da Cruz*. Dissertação de Mestrado em Geologia. Departamento de geologia. Faculdade de Ciências. Universidade de Lisboa.

Góis-Marques, C. A., & de Sequeira, M. M. (2014). Palaeobotany of Madeira Island: historical perspective of the leaf-beds and collections of S. Jorge and Porto da Cruz. *Silva Lusitana*, 22, 115-136.

Góis-Marques, C. A., & de Sequeira, M. M. (2015). Darwin, Hooker and Arruda Furtado and the palaeobotany of Azores: Rediscovering the first collections. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 221, 47-51.

Góis-Marques, C. A., de Nascimento, L., de Sequeira, M. M., Fernández-Palacios, J. M. & Madeira, J. (2016). Reconstructing the palaeovegetation of Madeira and Azores Islands: Overview and future perspectives. In R. Gabriel, R.B. Elias, I.R. Amorim & P.A.V. Borges (Eds.), Conference program and abstracts of the 2nd International Conference on Island Evolution, Ecology and Conservation: Island Biology 2016, 18-22 July 2016 (pp. 218). Angra do Heroísmo, Azores, Portugal. *Arquipelago. Life and Marine Sciences*. Supplement 9.

Góis-Marques, C. A., de Nascimento, L., de Sequeira, M. M., Fernández-Palacios, J. M., & Madeira, J. (2018). The Quaternary plant fossil record from the volcanic Azores Archipelago (Portugal, North Atlantic Ocean): a review. *Historical Biology*, 1-17.

Góis-Marques, C. A., Madeira, J., & de Sequeira, M. M. (2018). Inventory and review of the Mio–Pleistocene São Jorge flora (Madeira Island, Portugal): palaeoecological and biogeographical implications. *Journal of Systematic Palaeontology*, 16(2), 159-177.

Góis-Marques, C. A., Elias, R. B., Steinbauer, M., de Nascimento, L., Fernández-Palacios, J. M., de Sequeira, M. M., & Madeira, J. (2019). The Loss of a Unique Palaeobotanical Site in Terceira Island Within the Azores UNESCO Global Geopark (Portugal). *Geoheritage*, 1-9.

Goosse, H., Barriat, P. Y., Loutrel, M. F., & Zunz, V. (2010). *Introduction to climate dynamics and climate modeling*. Centre de recherche sur la Terre et le climat Georges Lemaître-UCLouvain.

Greenwood, D. R. (1992). Taphonomic constraints on foliar physiognomie interpretations of Late Cretaceous and Tertiary palaeoclimate. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 71(1-4), 149-190.

Greenwood, D. R., Wilf, P., Wing, S. L., & Christophel, D. C. (2004). Paleotemperature estimation using leaf-margin analysis: is Australia different? *Palaos*, 19(2), 129-142.

Gregory-Wodzicki, K. M. (2000). Relationships between leaf morphology and climate, Bolivia: implications for estimating paleoclimate from fossil floras. *Paleobiology*, 26(4), 668–688.

Grimm, G. W., Bouchal, J. M., Denk, T., & Potts, A. (2016). Fables and foibles: a critical analysis of the Palaeoflora database and the Coexistence approach for palaeoclimate reconstruction. *Review of palaeobotany and palynology*, 233, 216-235.

Grimm, G. W., & Potts, A. J. (2016). Fallacies and fantasies: the theoretical underpinnings of the Coexistence Approach for palaeoclimate reconstruction. *Climate of the Past*, 12(3).

Gushulak, C. A., West, C. K., & Greenwood, D. R. (2016). Paleoclimate and precipitation seasonality of the Early Eocene McAbee megaf flora, Kamloops Group, British Columbia. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 53(6), 591-604.

Heusser, L. E., & Van de Geer, G. (1994). Direct correlation of terrestrial and marine paleoclimatic records from four glacial-interglacial cycles—DSDP Site 594 Southwest Pacific. *Quaternary Science Reviews*, 13(3), 273-282.

Hickey, L. J. (1977). *Stratigraphy and paleobotany of the Golden Valley Formation (early Tertiary) of western North Dakota* (Vol. 150). Geological Society of America.

Hildenbrand, A., Weis, D., Madureira, P. & Marques, F. (2014) Recent plate re-organization at the Azores Triple Junction: Evidence from combined geochemical and geochronological data on Faial, S. Jorge and Terceira volcanic islands. *Lithos*, 210/211, 27-39.

Hinojosa, L.F., Pérez, F., Gaxiola, A. & Sandoval, I. (2011). Historical and phylogenetic constraints on the incidence of entire leaf margins: insights from a new South American model. *Global Ecology and Biogeography*, 20:380-390.

Holden, A. R., Southon, J. R., Will, K., Kirby, M. E., Aalbu, R. L., & Markey, M. J. (2017). A 50,000 year insect record from Rancho La Brea, Southern California: Insights into past climate and fossil deposition. *Quaternary Science Reviews*, 168, 123-136.

Huertas, M. J., Arnaud, N. O., Ancochea, E., Cantagrel, J. M. & Fúster, J. M. (2002). $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$ stratigraphy of pyroclastic units from the Cañadas Volcanic Edifice (Tenerife, Canary Islands) and their bearing on the structural evolution. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 115, 351–365.

Johnsen, S. J., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N., Steffensen, J. P., Clausen, H. B., Miller, H., ... & White, J. (2001). Oxygen isotope and palaeotemperature records from six Greenland ice-core stations: Camp Century, Dye-3, GRIP, GISP2, Renland and NorthGRIP. *Journal of Quaternary Science: Published for the Quaternary Research Association*, 16(4), 299-307.

Kennedy, E. M., Arens, N. C., Reichgelt, T., Spicer, R. A., Spicer, T. E., Stranks, L., & Yang, J. (2014). Deriving temperature estimates from Southern Hemisphere leaves. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 412, 80-90.

Kirch, P. V. (1996). Late Holocene human-induced modifications to a central Polynesian island ecosystem. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 93(11), 5296-5300.

Labandeira, C. C. (2013). A paleobiologic perspective on plant–insect interactions. *Current Opinion in Plant Biology*, 16(4), 414-421.

Leaf Architecture Working Group. (1999). *Manual of leaf architecture - morphological description and categorization of dicotyledonous and net-veined monocotyledonous angiosperms*. Washington, DC: Smithsonian Institute.

Licardo, A. (2011). Turismo Paleontológico. In Manzig, P. C. & Weinschutz, L. C. (1eds.), *Museus e fósseis da Região Sul do Brasil* (pp. 216-219). Marechal Cândido Rondon: Germânia.

Lima, E. A., Nunes, J. C., Costa, M. P., & Machado, M. (2014). Basis for the geological heritage management in the Azores Archipelago (Portugal). *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 14(2), 301-319.

Lima, E. A., Machado, M., Guerreiro, M., Nunes, J. C., & Costa, M. P. (2018). Geological heritage management in small islands: the example of the Azores UNESCO Global Geopark (Portugal). *Geoheritage*, 10(4), 659-671.

Machado, A. (2003). About the method for collecting *Laparocerus* Schönherr, 1834 and the recognition of their leaf feeding patterns (Coleoptera, Curculionidae). *Vieraea*, 31, 407-420.

Mann, D., Edwards, J., Chase, J., Beck, W., Reanier, R., Mass, M., Finney, B. & Loret, J. (2008). Drought, vegetation change, and human history on Rapa Nui (Isla de Pascua, Easter Island). *Quaternary Research*, 69(1), 16-28.

Manzig, P. C. & Weinschutz, L. C. (2011). *Museus e fósseis da Região Sul do Brasil*. Marechal Cândido Rondon: Germânia.

Marques-de-Souza, J. (2015). Paleobotânica: o que os fósseis vegetais revelam? *Ciência e Cultura*, 67(4), 27-29.

McGlone, M. S. & Wilmshurst, J. M. (1999). Dating initial Maori environmental impact in New Zealand. *Quaternary International*, 59(1), 5–16.

McWethy, D. B., Whitlock, C., Wilmshurst, J. M., McGlone, M. S., & Li, X. (2009). Rapid deforestation of south island, New Zealand, by early Polynesian fires. *The Holocene*, 19(6), 883-897.

Meco Cabrera, J., Carracedo, J. C., Ballester Santos, J., Betancort Lozano, J. F., Scaillet, S., Guillou, H., Lomoschitz Mora Figueroa, A., Petit Maire, N., Cilleros, A., Medina, P., Soler Onis, E. & Meco, J. M. (2005). *Paleoclimatología del neógeno en las Islas Canarias: Mioceno y Plioceno*. Ministerio de Medio Ambiente, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Miguel, A. T. (2017). *Avaliação da suscetibilidade a movimentos de vertente na zona oeste da ilha Terceira*. Dissertação de doutoramento em Gestão Interdisciplinar da Paisagem. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo.

Mosbrugger, V. (1999). The nearest living relative method. *In*: Jones, T.P., Rowe, N.P., eds. *Fossil plants and spores: modern techniques*. London: Geological Society, 26, 1-266.

Museu Machado de Castro. (2019). Cedro do Mato. <http://museucarlosmachado.azores.gov.pt/cedrodomato>. Data de consulta: Setembro de 2019.

Mustoe, G. E. (2008). Mineralogy and geochemistry of late Eocene silicified wood from Florissant Fossil Beds National Monument, Colorado. *Paleontology of the Upper Eocene Florissant Formation, Colorado*, 435, 127.

Nunes, J. C. (2000). Notas sobre a geologia da Ilha Terceira (Açores). *Açoreana*. 9(2): 205-215.

Nunes, J. C., Lima, E. A., Costa, M. P. & Porteiro, A. (2010). Vulcanismo e paisagens vulcânicas dos Açores: contributo para o geoturismo e o projecto Geoparque Açores. GEOTIC – Sociedade Geológica de Portugal. VIII Congresso Nacional de Geologia. V 18:16.

Nunes, J.C., Lima, E.A., Ponte, D., Costa, M.P., Castro, R. (2011). AzoresGeopark Application. Azores Geopark (available on-line at http://www.azoresgeopark.com/media/docs/candidatura_ga/Application.pdf), Horta.

Nunes, J. C. (2012). *Notas sobre a geologia da Ilha Terceira (Açores)*. V Congresso Ibérico da Ciência do Solo 2012 - Guia de Campo. Departamento de Geociências. Universidade dos Açores. Ponta Delgada.

Nunes, P. (2018). + Central Informação Diária Independente: Grupo municipal do CDS-PP solicita esclarecimentos sobre derrocada na Baía do Fanal. <https://maiscentral.com.pt/grupo-municipal-do-cds-pp-solicita-esclarecimentos-sobre-derrocada-na-baia-do-fanal/>. Data de consulta: Setembro de 2019.

Observatório Vulcanológico e Geotérmico dos Açores (OVGA). (2019) Belo Fóssil do Monte Brasil, no OVGA. <http://ovga.centrosciencia.azores.gov.pt/noticia/not%C3%ADcia-01-03-2017-belo-f%C3%B3ssil-do-monte-brasil-no-ovga>. Data de consulta: Setembro de 2019.

Page, K.N. (2018). Chapter 6 - Fossils, heritage and conservation: managing demands on a precious resource. *In*: Reynard, E., Brilha, J. (eds) *Geoheritage assessment, protection, and management*, *Elsevier*, pp 107–128.

Pawlowski, K., & Bergman, B. (2007). Plant symbioses with frankia and cyanobacteria. *In* *Biology of the Nitrogen Cycle*, *Elsevier*, pp. 165-178.

Peppe, D.J., Hickey, L.J., Miller, I.M. & Green, W.A. (2008). A Morphotype Catalogue, Floristic Analysis and Stratigraphic Description of the Aspen Shale Flora (Cretaceous–Albian) of Southwestern Wyoming. *Bulletin of the Peabody Museum of Natural History*, 49(2), 181-208.

Peppe, D. J., Royer, D. L., Cariglino, B., Oliver, S. Y., Newman, S., Leight, E., ... & Correa, E. (2011). Sensitivity of leaf size and shape to climate: global patterns and paleoclimatic applications. *New Phytologist*, 190(3), 724-739.

Pereira, D. C. (2012). *Modelos ecológicos para implementação de planos de renaturalização: caso da Fajã do Calhau (São Miguel)*. Dissertação de Mestrado. Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo.

Petit, J. R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N. I., Barnola, J. M., Basile, I., ... & Delmotte, M. (1999). Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399(6735), 429.

Pittari, A., Cas, R. A. F., Edgar, C. J., Nichols, H. J., Wolff, J. A. & Martí, J. (2006). The influence of palaeotopography on facies architecture and pyroclastic flow processes of a lithic-rich ignimbrite in a high gradient setting: the Abrigo Ignimbrite, Tenerife, Canary Islands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 152, 273-315.

Pokorný, R., & Pongrácová, J. (2018). Plant-animal interactions from the perspective of ichnology: case study of Jesuitengraben (Oligocene, Czech Republic). Proceedings of the 5th International Paleontological Congress. Paris, 9th-13th July.

Prebble, M., & Wilmshurst, J. M. (2009). Detecting the initial impact of humans and introduced species on island environments in Remote Oceania using palaeoecology. *Biological Invasions*, 11(7), 1529-1556.

Rasche, L., & Kovar-Eder, J. (2009). Woody angiosperm taxa of the Canarian laurel forests: Leaf morphology and cuticular structures. *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde A*, 2, 447-494.

Rebelo, C., Pereira, M. J., Sousa, M. M., Rodrigues, F. (2015). Produção de um material com partículas magnéticas. V Fórum Internacional de Pedagogia-Portugal - À Descoberta da Investigação - 13 a 18 Abril de 2015, Angra do Heroísmo.

Roa, K. (2003). Nature and origin of tephra remnants and volcaniclastics from La Palma, Canary Islands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 125: 191-214.

Rodrigues, F. (2009). Fósseis do Monte Brasil. Ícones Ambientais do Concelho de Angra do Heroísmo. In Silva, P. *Angiosfera*. Câmara Municipal de Angra do Heroísmo. Angra do Heroísmo (formato CD/DVD).

Royer, D. L., Peppe, D. J., Wheeler, E. A., & Niinemets, Ü. (2012). Roles of climate and functional traits in controlling toothed vs. untoothed leaf margins. *American Journal of Botany*, 99(5), 915-922.

Rull, V., Connor, S. E., & Elias, R. B. (2017). Potential natural vegetation and pre-anthropogenic pollen records on the Azores Islands in a Macaronesian context. *Journal of biogeography*, 44(11), 2437-2440.

Rull, V., Lara, A., Rubio-Inglés, M. J., Giral, S., Gonçalves, V., Raposeiro, P., ... & Masqué, P. (2017). Vegetation and landscape dynamics under natural and anthropogenic forcing on the Azores Islands: A 700-year pollen record from the São Miguel Island. *Quaternary Science Reviews*, 159, 155-168.

Sachs, J. P., & Lehman, S. J. (1999). Subtropical North Atlantic temperatures 60,000 to 30,000 years ago. *Science*, 286(5440), 756-759.

Schaefer, H. (2005). *Flora of the Azores: a field guide*, 2nd ed. Weikersheim: Margraf Publishers.

Schopf, J. W. (1975). Model of Fossil Preservation. *Review of Paleobotany and Palynologi*, 20, 27-53.

Secretaria Regional do Ambiente (SRA). (2001). Plano Regional da Água: Recursos Hídricos. http://servicos-sraa.azores.gov.pt/grastore/DRA/PRA/PRA_AnexoCartografico_1TER.pdf.

Data de consulta: Outubro de 2019.

Self, S. (1974). Recent volcanism in Terceira, Azores. A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy. Geology department. Imperial College, London.

Sigleo, A. C. (1978). Organic geochemistry of silicified wood, Petrified Forest National Park, Arizona. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42(9), 1397-1405.

Silva, L., Moura, M., Schaefer, H., Rumsey, F. & Dias, E. F. (2010). Vascular plants (Tracheobionta). A list of the terrestrial and marine biota from the Azores (ed. by P.A.V. Borges, A. Costa, R. Cunha, R. Gabriel, V. Gonçalves, A.F. Martins, I. Melo, M. Parente, P. Raposeiro, P. Rodrigues, R.S. Santos, L. Silva, P. Vieira & V. Vieira), pp. 117-146. Cascais: Princípia.

Soares, M. B. (Org.) (2015). *A paleontologia na sala de aula*. Ribeirão Preto: Imprensa Livre.

Somodi, I., Molnár, Z., & Ewald, J. (2012). Towards a more transparent use of the potential natural vegetation concept—an answer to Chiarucci *et al.* *Journal of Vegetation Science*, 23(3), 590-595.

Taylor, T. N., Taylor, E. L. & Krings, M. (2009) *Paleobotany: The Biology and Evolution of Fossil Plants* (2 eds). Amsterdam: Academic Press.

Traiser, C., Klotz, S., Uhl, D., & Mosbrugger, V. (2005). Environmental signals from leaves—a physiognomic analysis of European vegetation. *New Phytologist*, 166(2), 465-484.

Triantis K. A., Borges P. A. V., Ladle R. J., Hortal J., Cardoso P., Gaspar C., Dinis F., Mendonça E., Silveira L. M. A., Gabriel R., Melo, C., Santos, A. M. C., Amorim, I. R., Ribeiro, S. P., Serrano, A. R. M., Quartau, J. A. & Whittaker, R. J. (2010). Extinction debt on oceanic islands. *Ecography*, 33(2), 285-294.

Triplehorn, C. A., Johnson, N. F. (2005). *Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects* (7 eds). California: Thomson Brooks/Cole.

Tzedakis, P. C., Andrieu, V., De Beaulieu, J. L., Crowhurst, S. D., Follieri, M., Hooghiemstra, H., ... & Wijmstra, T. A. (1997). Comparison of terrestrial and marine records of changing climate of the last 500,000 years. *Earth and Planetary Science Letters*, 150(1-2), 171-176.

van Leeuwen, J. F., Schäfer, H., Van der Knaap, W. O., Rittenour, T., Björck, S., & Ammann, B. (2005). Native or introduced? Fossil pollen and spores may say. An example from the Azores Islands. *Neobiota*, 6, 27-34.

Vega, C. S., Dias, E. V., & Rodrigues, S. C. (2015). Parte I: capítulo 5 - Fósseis e processos de fossilização. In Soares, M. B. (Org.) (2015) (pp- 90-102). *A paleontologia na sala de aula*. Ribeirão Preto: Imprensa Livre.

Ward, L. F. (1885). *Sketch of Paleobotany*. Fifth Annual Report U. S. Geol. Survey. Washington: United States Geological Survey.

Webb, D. A. (1985). What are the criteria for presuming native status? *Watsonia*, 15, 231-236.

Wilf, P. (1997). When are leaves good thermometers? A new case for leaf margin analysis. *Paleobiology*, 23: 373-390.

Wilf, P., Wing, S. L., Greenwood, D. R., and Greenwood, C. L. (1998). Using fossil leaves as paleoprecipitation indicators: an Eocene example. *Geology*, 26(3): 203-206.

Wing, S. L., & Greenwood, D. R. (1993). Fossils and fossil climate: the case for equable continental interiors in the Eocene. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 341(1297), 243-252.

Wolfe, J. A. (1995). Paleoclimatic estimates from Tertiary leaf assemblages. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 23(1), 119-142.

Yang, J., Spicer, R. A., Spicer, T. E., & Li, C. S. (2011). 'CLAMP Online': a new web-based palaeoclimate tool and its application to the terrestrial Paleogene and Neogene of North America. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 91(3), 163.

Yang, J., Spicer, R. A., Spicer, T. E., Arens, N. C., Jacques, F. M., Su, T., ... & Mehrotra, R. C. (2015). Leaf form–climate relationships on the global stage: an ensemble of characters. *Global Ecology and Biogeography*, 24(10), 1113-1125.

Zbyszewski, G., Cândido de Medeiros A., da Veiga F. O., Torre de Assunção C. (1971). *Carta geológica de Portugal na escala de 1/50 000: Notícia explicativa da folha Ilha Terceira*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.



Universidade dos Açores
Faculdade de Ciências Agrárias e Ambiente

Pedro Leandro Alves Soares Machado

**“Estudo paleoclimático e paleobotânico de Angra do
Heroísmo a partir dos fósseis incorporados nas cinzas
vulcânicas do Monte Brasil”**

ANEXOS

Angra do Heroísmo, Outubro de 2019

ANEXO I

Distribuições estatísticas das variáveis tendo em conta os dados biométricos de folhas vivas estudadas da espécie *Laurus azorica* (n=30)

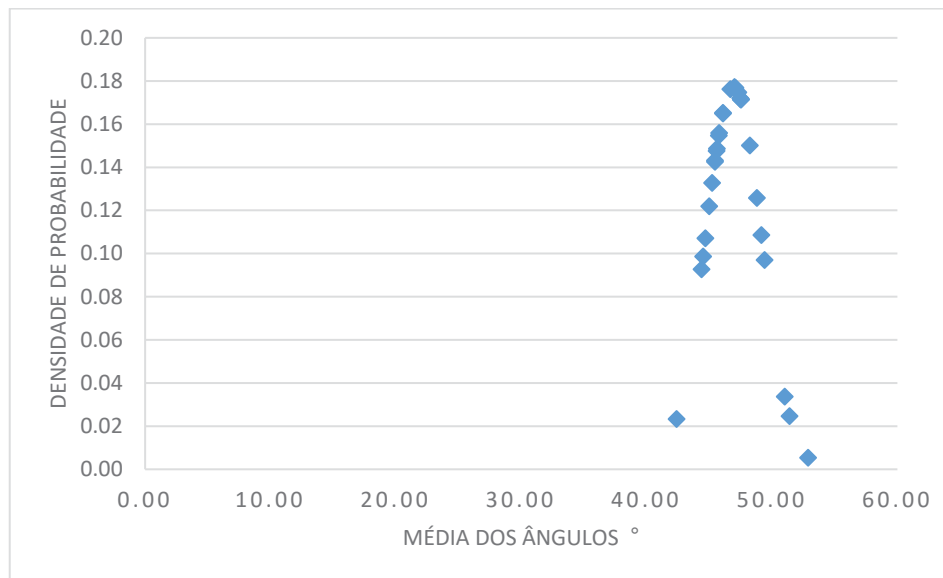


Figura AI-1: Gráfico da Curva da Distribuição Normal da Média dos Ângulos entre a nervura primária e as nervuras secundárias das folhas atuais de *Laurus azorica*.

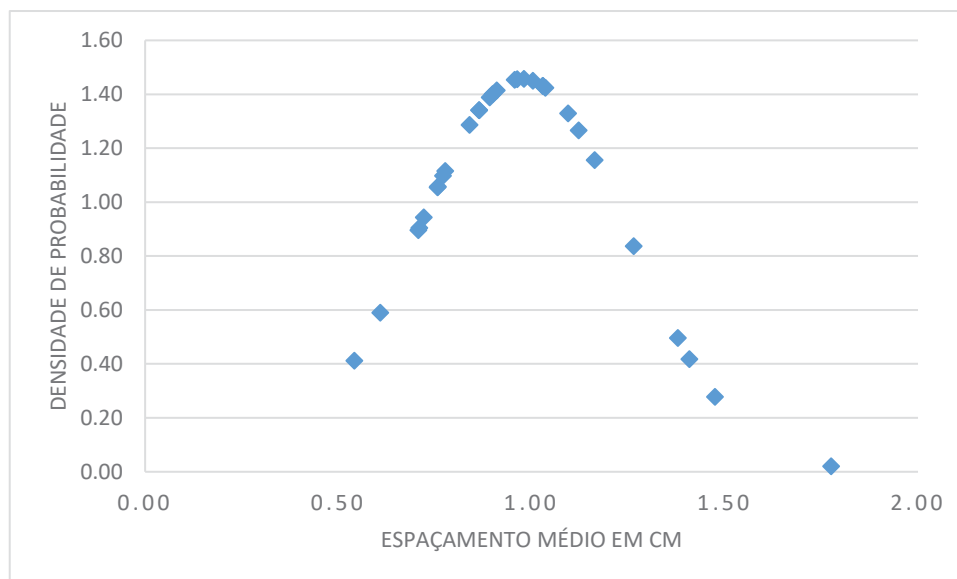


Figura AI-2: Gráfico da Curva da Distribuição Normal do Espaçamento médio entre nervuras secundárias das folhas atuais de *Laurus azorica*.

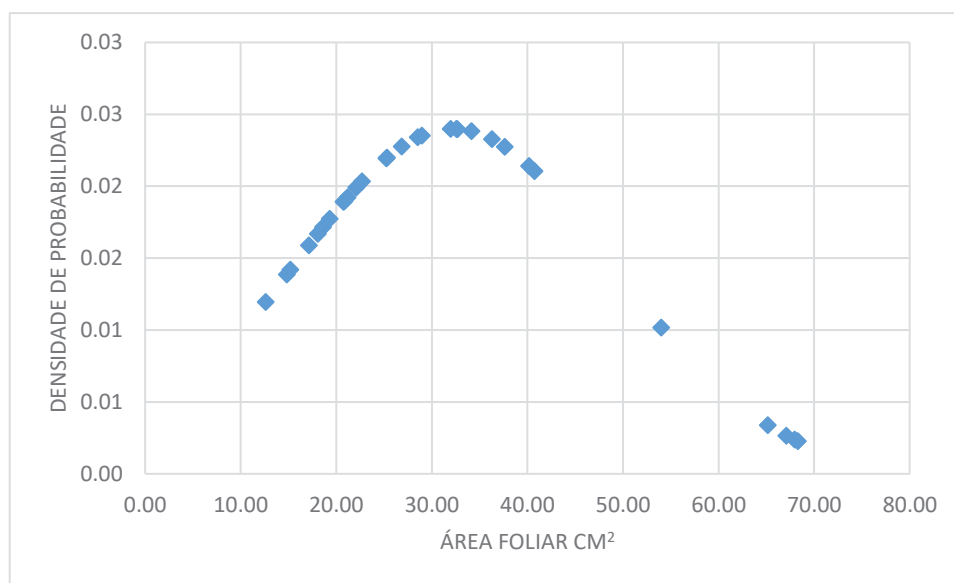


Figura AI-3: Gráfico da Curva da Distribuição Normal da Área Foliar das folhas atuais de *Laurus azorica*.

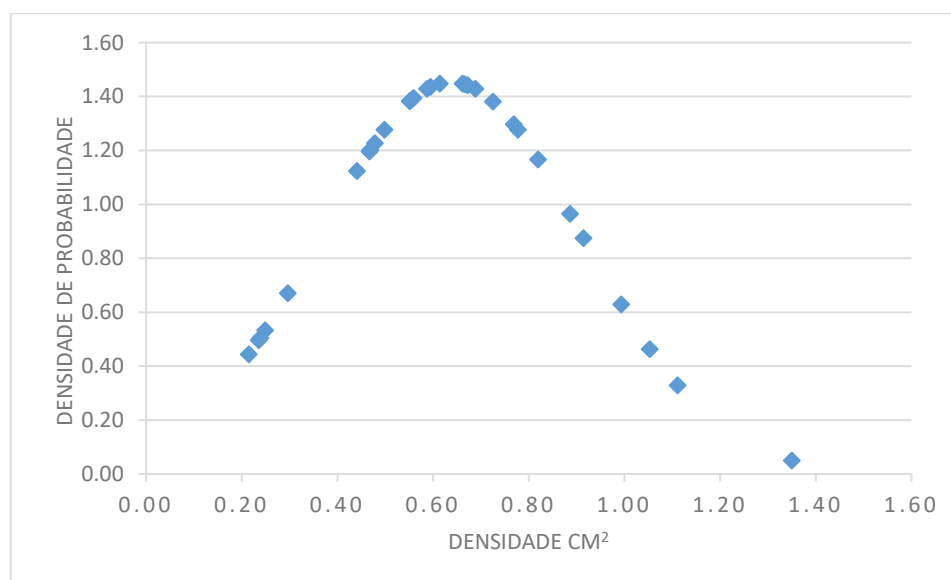


Figura AI-4: Gráfico da Curva da Distribuição Normal da Densidade das nervuras secundárias das folhas atuais de *Laurus azorica*.

ANEXO II

Distribuições estatísticas das variáveis tendo em conta os dados biométricos de folhas vivas estudadas da espécie *Viburnum treleasei* (n=50)

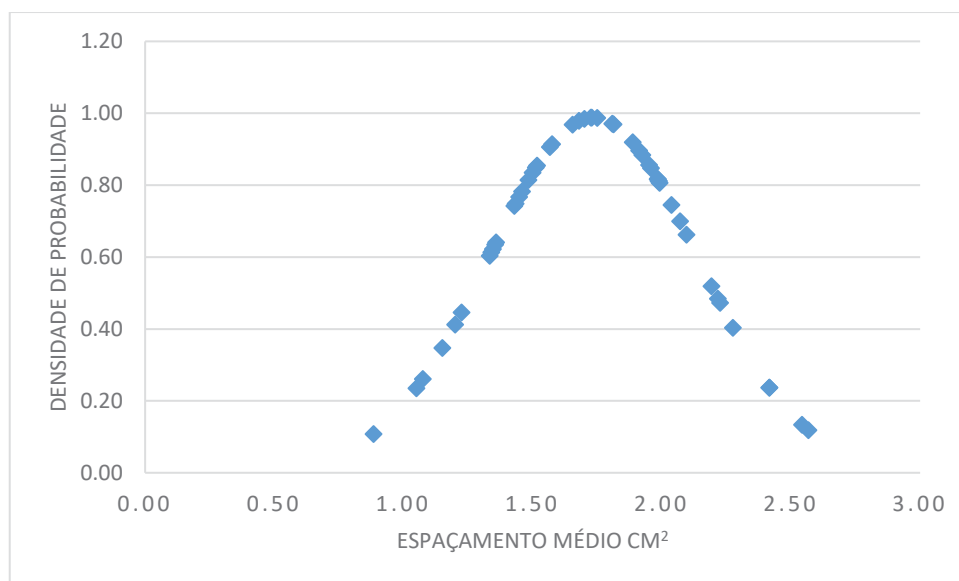


Figura All-1: Gráfico da curva da Distribuição Normal do Espaçamento Médio das Nervuras secundárias das folhas atuais de *Viburnum treleasei*.

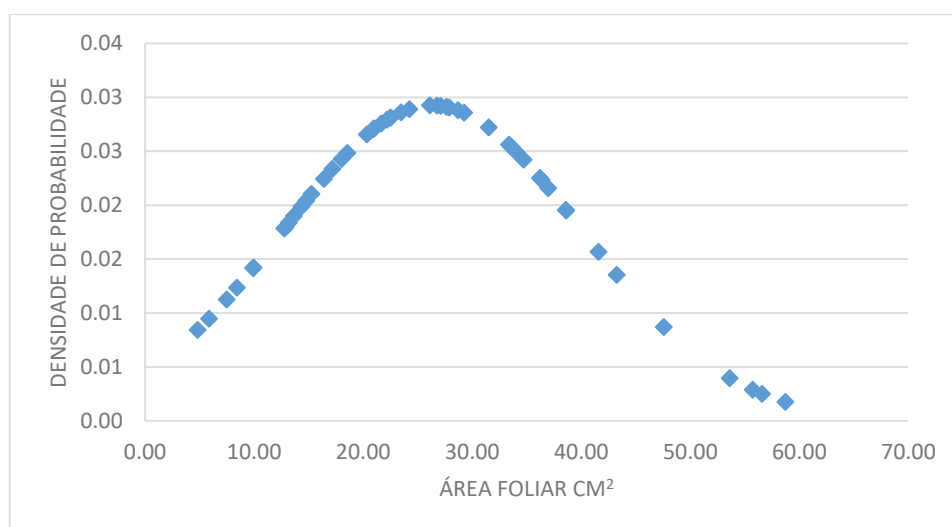


Figura All-2: Gráfico da curva da Distribuição Normal da Área Foliar das folhas atuais de *Viburnum treleasei*.

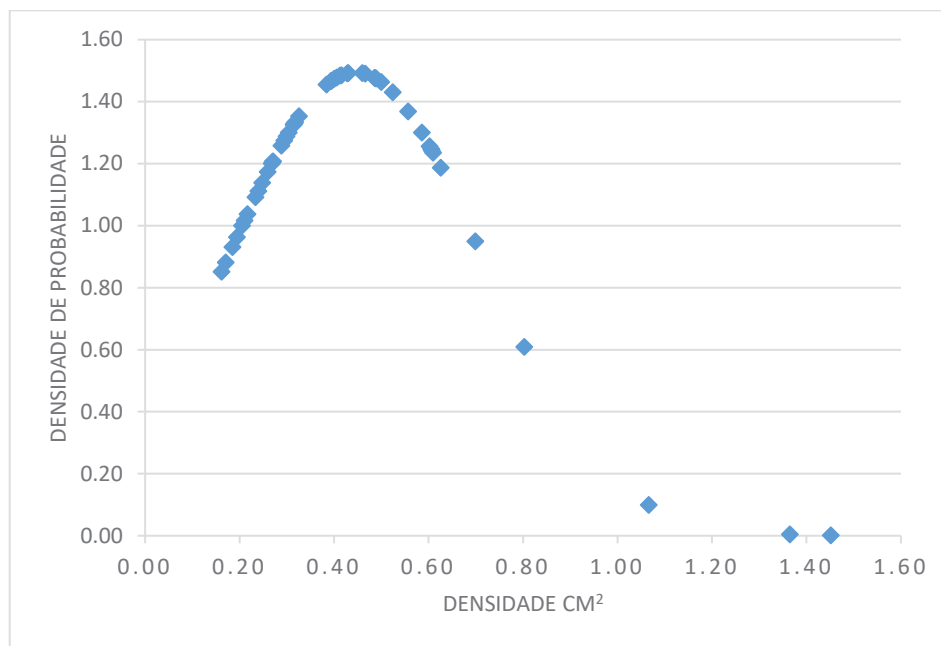


Figura All-3: Gráfico da curva da Distribuição Normal da Densidade das Nervuras secundárias das folhas atuais de *Viburnum treleasei*.

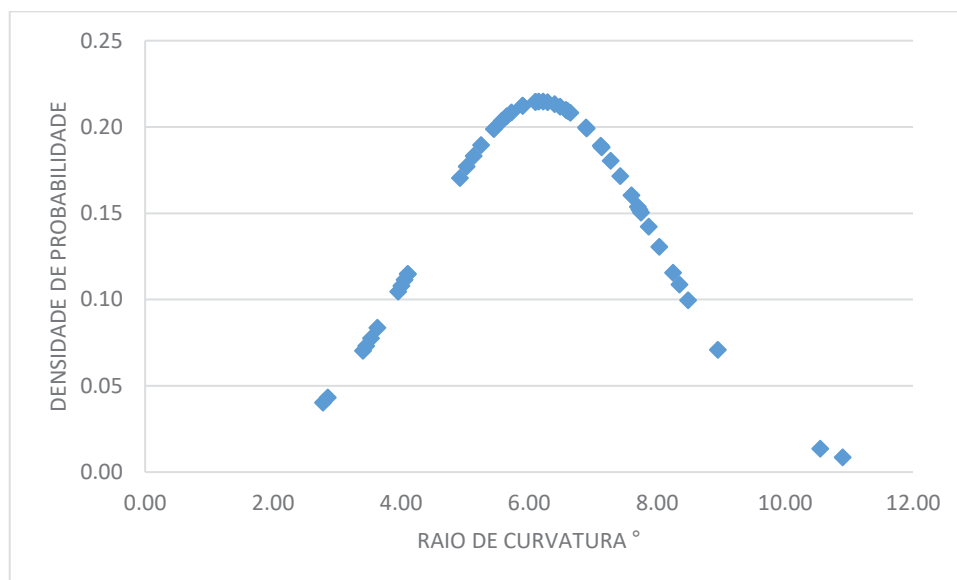


Figura All-4: Gráfico da curva da Distribuição Normal do Raio de Curvatura das Nervuras secundárias das folhas atuais de *Viburnum*.

ANEXO III

Distribuições estatísticas das variáveis tendo em conta os dados biométricos de folhas vivas estudadas da espécie *Ocotea foetens* (n=30)

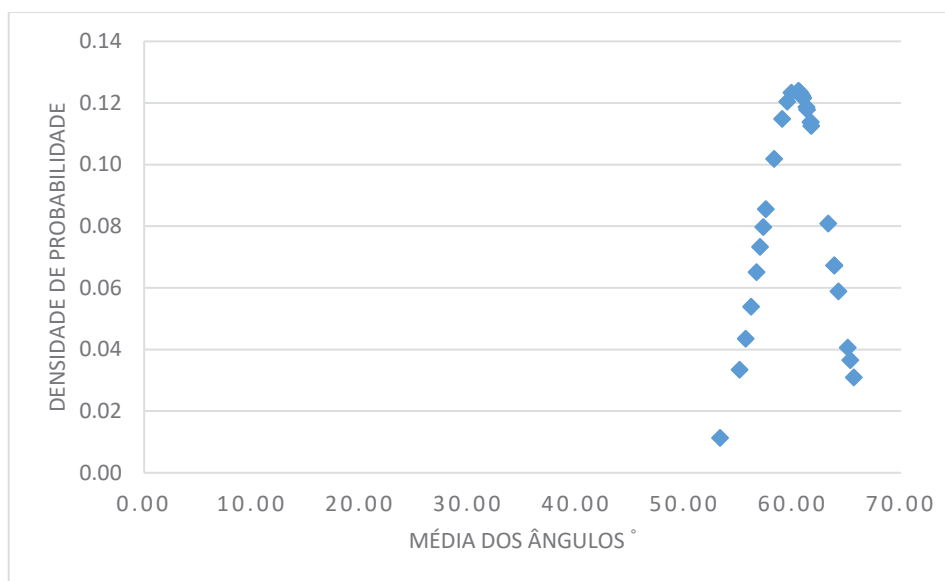


Figura AIII-1: Gráfico da curva da Distribuição Normal da Média dos Ângulos entre a nervura primária e as nervuras secundárias das folhas atuais de *Ocotea foetens*.

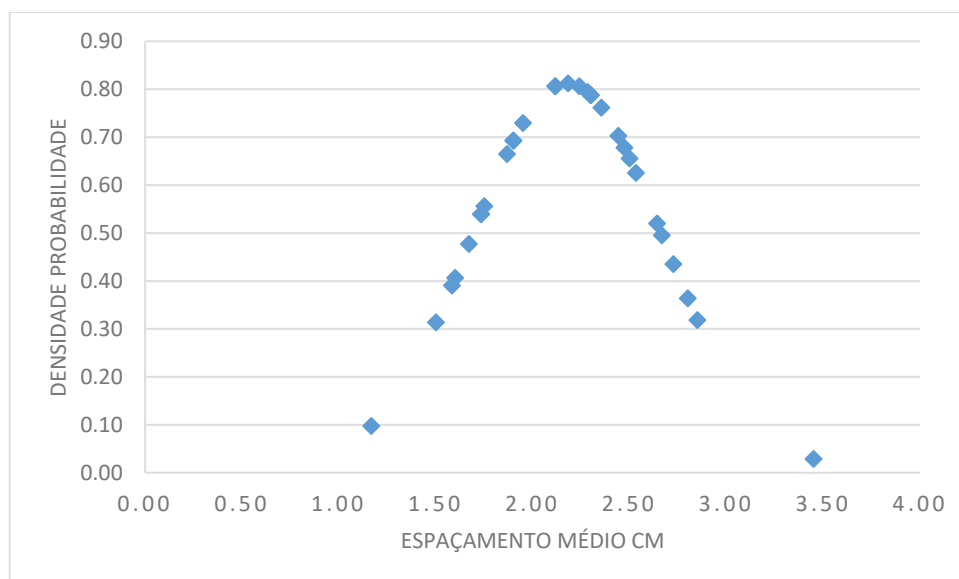


Figura AIII-2: Gráfico da curva da Distribuição Normal da Média do Espaçamento entre as nervuras secundárias das folhas atuais de *Ocotea foetens*.

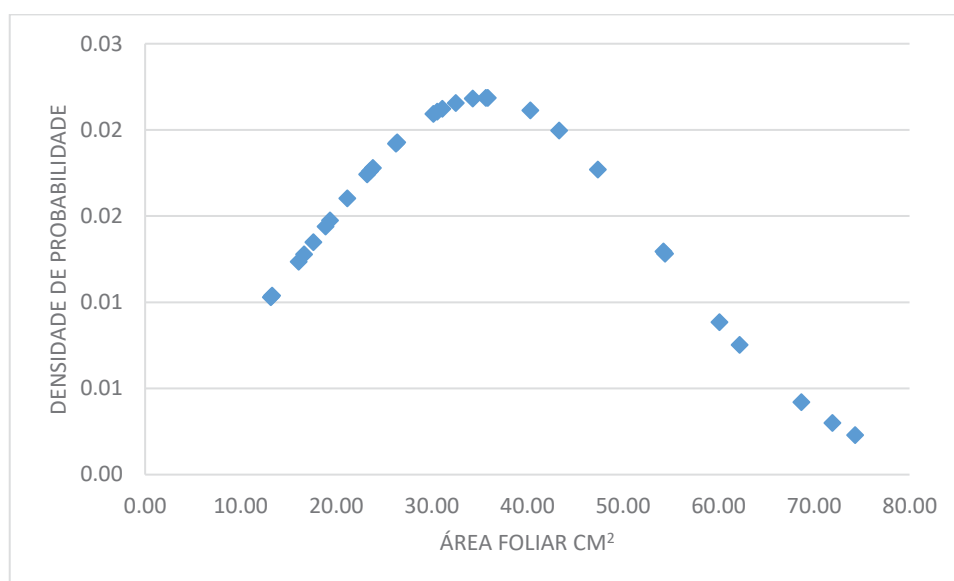


Figura AIII-3: Gráfico da curva da Distribuição Normal da Área foliar das folhas atuais de *Ocotea foetens*.

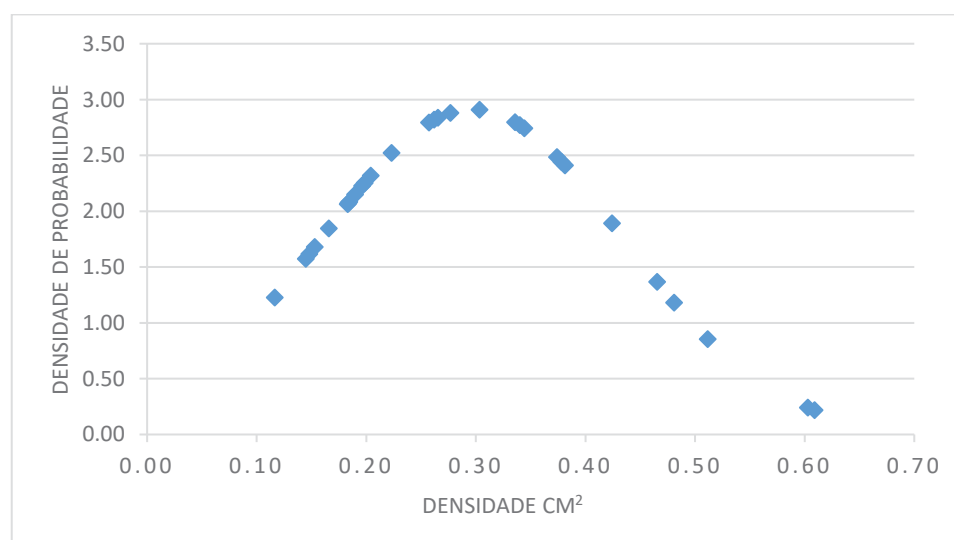


Figura AIII-4: Gráfico da curva da Distribuição Normal da Densidade das nervuras secundárias das folhas atuais de *Ocotea foetens*.

ANEXO IV

Distribuições estatísticas das variáveis tendo em conta os dados biométricos de folhas vivas estudadas da espécie *Picconia azorica* (n=50)

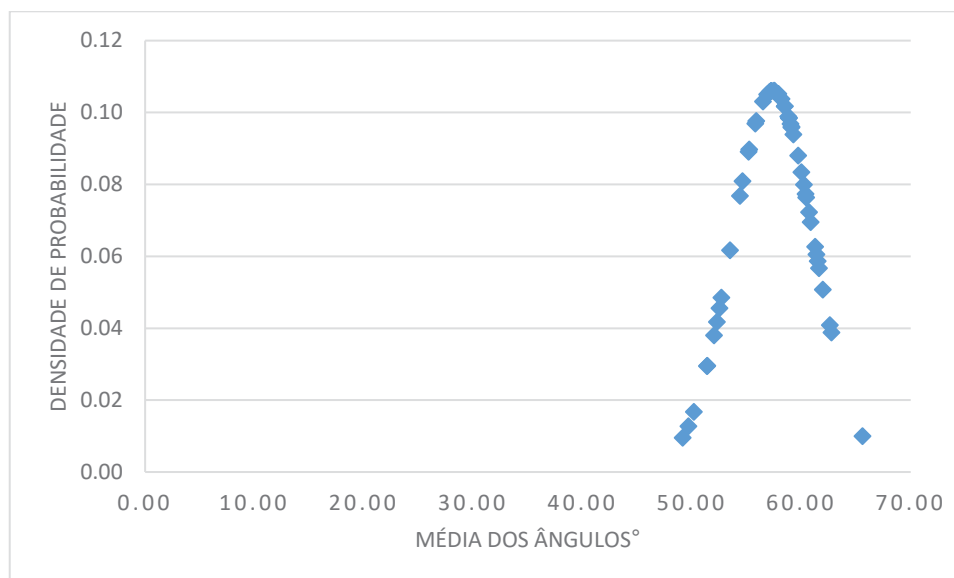


Figura AIV-1: Gráfico da curva da Distribuição Normal da Média dos Ângulos entre a nervura primária e as nervuras secundárias das folhas atuais de *Picconia azorica*.

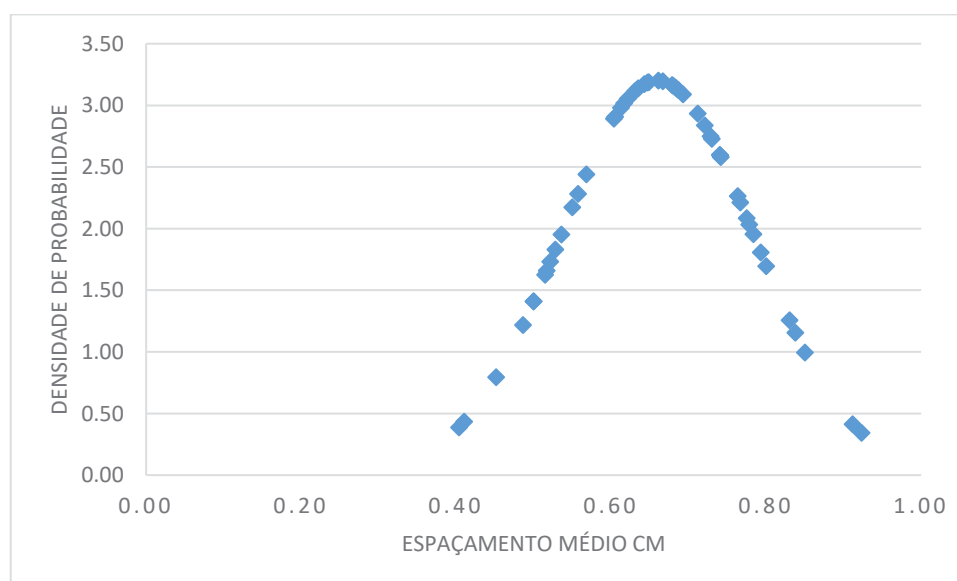


Figura AIV-2: Gráfico da curva da Distribuição Normal da Média do Espaçamento entre as nervuras secundárias das folhas atuais de *Picconia azorica*.

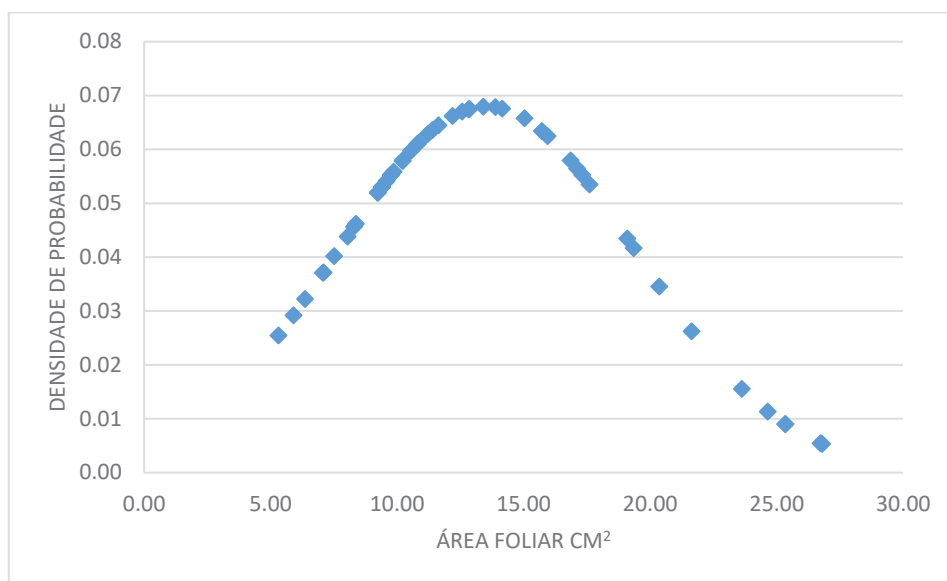


Figura AIV-3: Gráfico da curva da Distribuição Normal da Área foliar das folhas atuais de *Picconia azorica*.

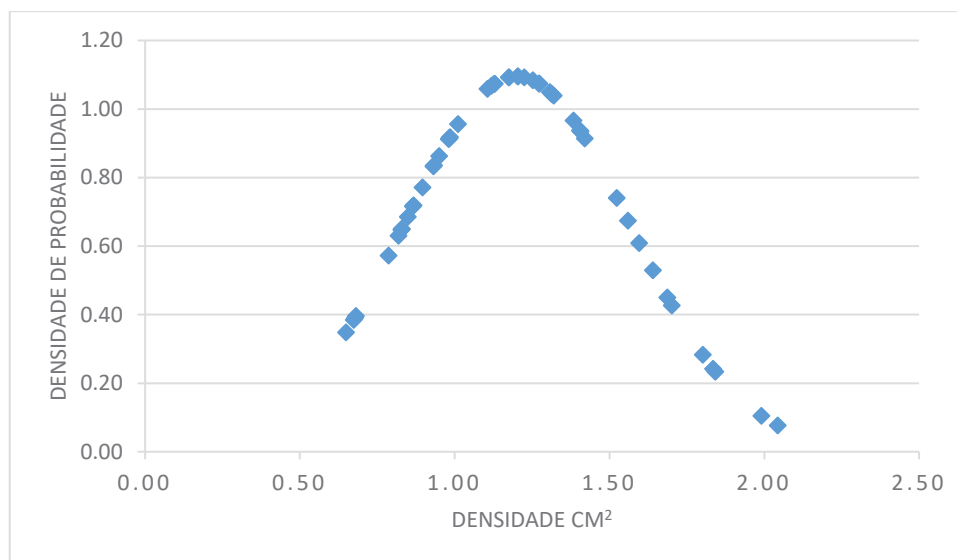


Figura AIV-4: Gráfico da curva da Distribuição Normal da Densidade das nervuras secundárias das folhas atuais de *Picconia azorica*.

ANEXO V

Distribuições estatísticas das variáveis tendo em conta os dados biométricos de folhas vivas estudadas da espécie *Morella faya* (n=50)

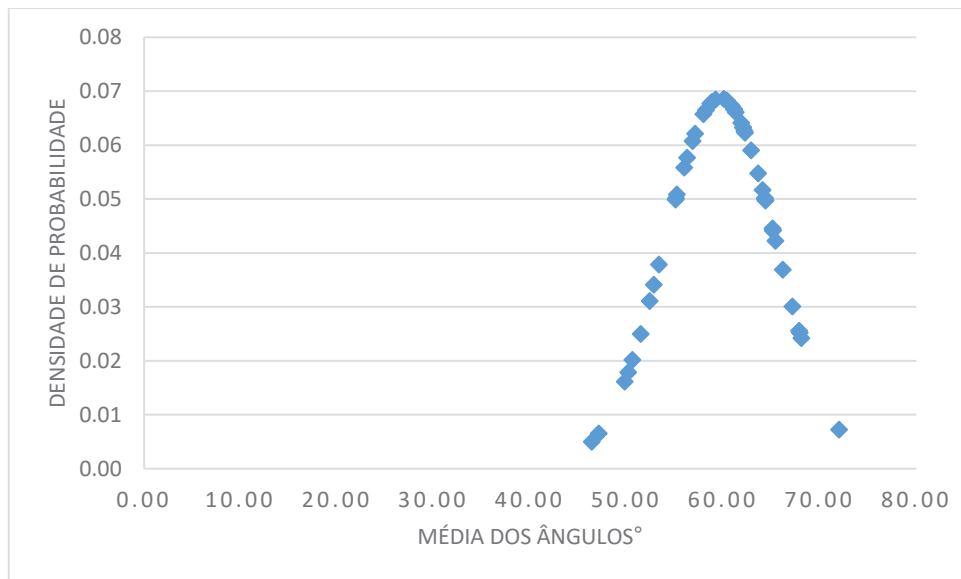


Figura AV-1: Gráfico da curva da Distribuição Normal da Média dos Ângulos entre a nervura primária e as nervuras secundárias das folhas atuais de *Morella faya*.

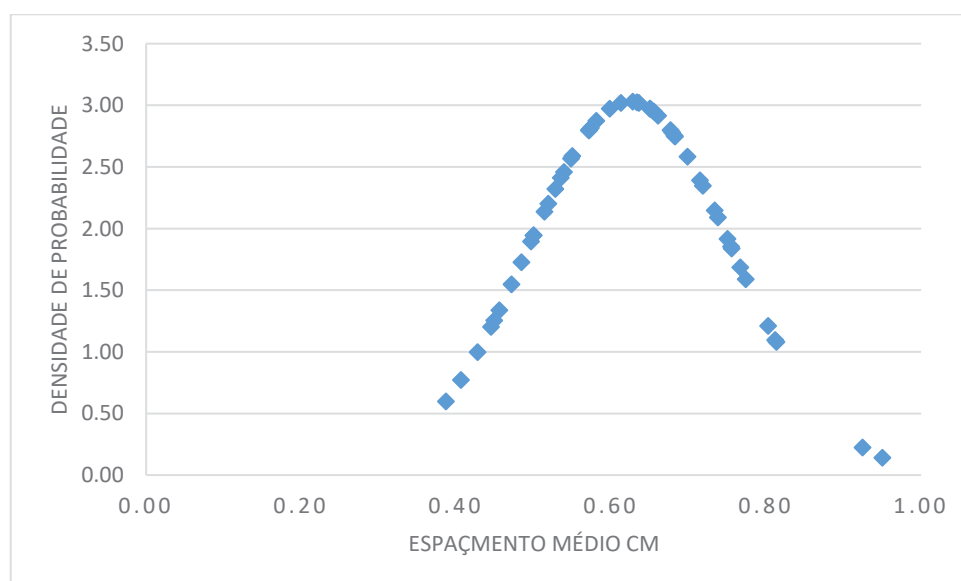


Figura AV-2: Gráfico da curva da Distribuição Normal do Espaçamento Médio entre as nervuras secundárias das folhas atuais de *Morella faya*.

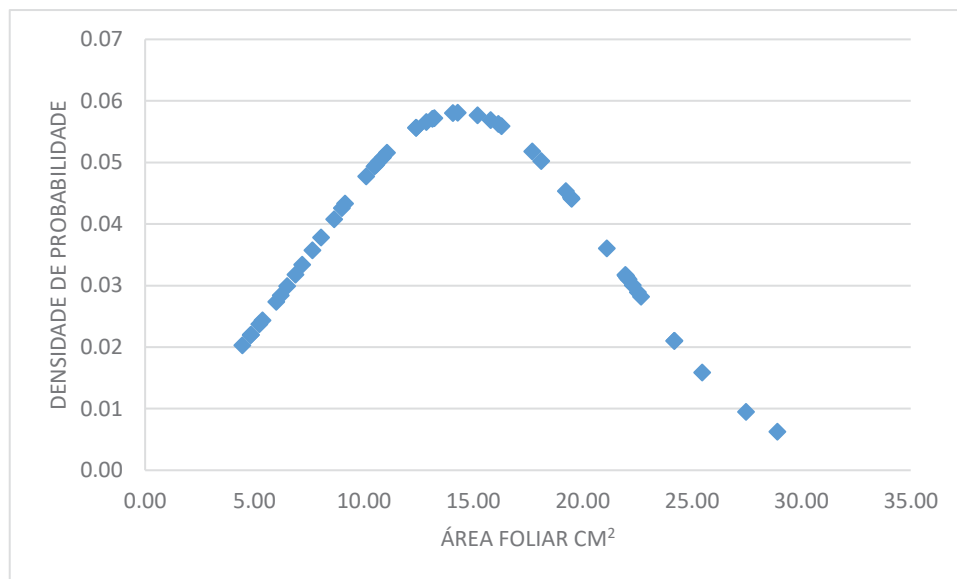


Figura AV-3: Gráfico da curva da Distribuição Normal da Área foliar das folhas atuais de *Morella faya*.

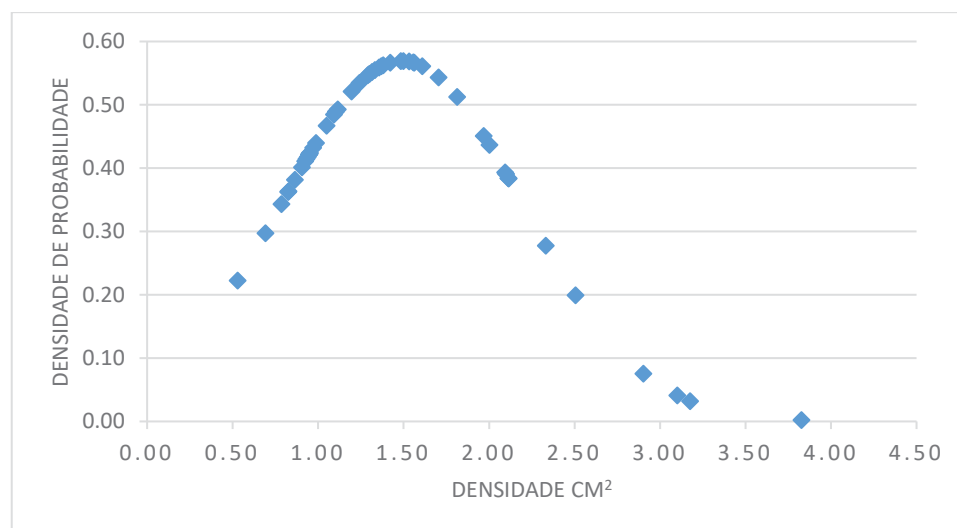


Figura AV-4: Gráfico da curva da Distribuição Normal da Densidade das nervuras secundárias das folhas atuais de *Morella faya*.