



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

MARCELO GONÇALVES LEAL

**INVENTÁRIO FITOLÍTICO E ENSAIOS SOBRE A RELAÇÃO SOLO X
VEGETAÇÃO NA ILHA DA TRINDADE, ATLÂNTICO SUL**

MINAS GERAIS

BRASIL

2017

MARCELO GONÇALVES LEAL

**INVENTÁRIO FITOLÍTICO E ENSAIOS SOBRE A RELAÇÃO SOLO X
VEGETAÇÃO NA ILHA DA TRINDADE, ATLÂNTICO SUL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do
Departamento de Geografia da Universidade Federal de
Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título
de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental

Linha de pesquisa: Pedologia e Geomorfologia

Orientador: Prof. Dr. Fábio Soares de Oliveira

Co-orientadora: Prof. Dra. Heloisa Helena Gomes Coe

BELO HORIZONTE

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA DA UFMG

JULHO DE 2017

L435i
2017

Leal, Marcelo Gonçalves.

Inventário fitolítico e ensaios sobre a relação solo x vegetação na Ilha da Trindade, Atlântico Sul [manuscrito] / Marcelo Gonçalves Leal. – 2017.
127 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Fábio Soares de Oliveira.

Coorientadora: Heloisa Helena Gomes Coe.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia, 2017.

Área de concentração: Análise Ambiental.

Linha de pesquisa: Pedologia e Geomorfologia.

Bibliografia: f. 96-101.

Inclui anexos.

1. Solos – Espírito Santo (Estado) – Teses. 2. Flora das ilhas – Teses. 3. Paleontologia – Espírito Santo (Estado) – Teses. I. Oliveira, Fábio Soares de. II. Coe, Heloísa Helena Gomes. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Geografia. IV. Título.

CDU: 631.4(815.2)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



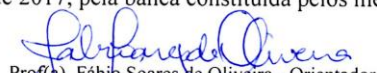
FOLHA DE APROVAÇÃO

Inventário fitolítico e ensaios sobre a relação solo x vegetação na Ilha da Trindade, Atlântico Sul

MARCELO GONÇALVES LEAL

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOGRAFIA, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOGRAFIA, área de concentração ANÁLISE AMBIENTAL.

Aprovada em 25 de julho de 2017, pela banca constituída pelos membros:


Prof(a). Fábio Soares de Oliveira - Orientador
UFMG


Prof(a). ADRIANA MONTEIRO DA COSTA
UFMG


Prof(a). ELIANE DE PAULA CLEMENTE ALMEIDA
EMBRAPA SOLOS

Belo Horizonte, 25 de julho de 2017.

Aos milhares e milhares de anônimos, excluídos e segregados, que não tiveram as mesmas oportunidades que eu, dedico.

Agradecimentos

Minha sincera gratidão:

À minha humilde família, pelos alicerces éticos e morais e pela compreensão e apoio irrestritos;

Ao professor e orientador Fábio Soares, pela oportunidade de trabalhar em uma região tão especial como a Ilha da Trindade. Sou grato também pela liberdade durante a pesquisa, atitude que acredito ter me proporcionado maior emancipação e amadurecimento intelectual;

À professora Heloisa Coe, pelas valiosas e indispensáveis contribuições e pela irrestrita disponibilidade para esclarecer minhas dúvidas;

Ao amigo Cristiano, pelo companheirismo durante os dois árduos meses de atividade de campo;

À amiga Bia (Ubiranan Lucena), pela indispensável contribuição nas fases laboratoriais e pela boa prosa nas horas difíceis;

À amiga Mariana Machado, pela motivação e pelo auxílio nos trabalhos de microscopia;

Ao amigo Fernando, técnico do Laboratório de Geomorfologia da UFMG, pelo auxílio nos procedimentos laboratoriais;

Ao professor Horn, do Departamento de Geologia da UFMG, pela disponibilidade e liberalidade, contribuindo com reagentes químicos raros e oferecendo seu gabinete nas fases de microscopia;

À Sarah Domingues, do Programa de Pós-Graduação em Botânica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, pela valiosa contribuição com os trabalhos de extração dos fitólitos de espécies vegetais;

A toda a equipe da Marinha do Brasil envolvida na *K-Britada* “Que país é esse” de abril a agosto de 2015. Sem a valiosa contribuição desses “homens do mar” esse trabalho jamais seria possível;

Grato também ao felino Cisco por insistir em sapatear no meu teclado e se esfregar nos meus livros, alertando-me da necessidade do descanso.

“Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos.”

Isaac Newton

RESUMO

Com cerca de 10 km², a Ilha da Trindade é uma formação de origem vulcânica localizada no Oceano Atlântico Sul, a cerca de 1200 km a leste de Vitória/ES. Devido ao seu isolamento geográfico, constitui ambiente peculiar com frágil equilíbrio, que foi fortemente impactado pela interferência humana, principalmente pela introdução de animais exóticos. Destaque para os caprinos, que povoaram a ilha por cerca de 300 anos até serem totalmente suprimidos, em 1995, em uma ação conjunta entre pesquisadores, órgãos ambientais e Marinha do Brasil. Apesar dos esforços empreendidos para auxiliar na recuperação da ilha, ainda persiste uma lacuna em relação aos estudos referentes a sua evolução paleogeográfica, tanto em escalas temporais, que remontam a sua colonização vegetal primária, quanto ao processo de degradação da paisagem. Ainda não foi possível, por exemplo, validar o modelo proposto por Alves (1998), de que a ilha fora recoberta por cerca de 85% de vegetação arbórea. É nesse contexto que se insere esta proposta, cujo objetivo central é dar subsídios para a reconstituição da distribuição espacial da vegetação primária da Ilha da Trindade. Para tanto será feito o uso da análise de fitólitos que, de forma genérica, são microfósseis (<60-100 μ m) de constituintes vegetais formados por sílica biogênica. Esses corpúsculos produzidos por grande parte das plantas permanecem nos solos/sedimentos por longos períodos, contendo informações sobre o seu ambiente de origem e sobre as assembleias vegetais que os produziram. Assim, em outros termos, este estudo busca dar subsídios para, por meio da análise fitolítica, se discutir a evolução espaço-temporal da paisagem na Ilha da Trindade, tanto a partir de processos e fenômenos naturais como antropogênicos. Os resultados obtidos, de forma geral, se mostraram promissores para futuras reconstituições paleoambientais, pois os morfotipos encontrados nas Assembleias Modernas e os índices fitolíticos calculados apresentaram-se bastante coerentes com a vegetação atual e com os processos pedológicos e geomorfológicos atuantes na ilha. Os poucos casos destoantes provavelmente estão associados à intensa dinâmica erosiva, à percolação dos corpos silicosos ao longo do perfil de solo, ao transporte pela ação do vento ou à bioturbação. As análises fitolíticas das Assembleias Fósseis não corroboraram com a teoria de que a ilha fora recoberta em sua maioria por espécies arbóreas, pois os morfotipos globulares, típicos de espécies lenhosas, só foram encontrados em algumas regiões mais elevadas, com menor declividade e solos mais espessos e estáveis.

PALAVRAS - CHAVE: Ilha da Trindade, fitólitos, solos, vegetação.

ABSTRACT

The island of Trindade, with an area of approximately 10 km², has volcanic origin and is located about 1,200 Km east of Vitória/ES in the Southern Atlantic Ocean. Because of its geographic isolation, it is a peculiar environment with fragile equilibrium. It has been strongly affected by human interference, mainly by the introduction of exotict animals. One of them was the goats, that lived in the island for about 300 years before 1995, when researchers, environmental agencies and the Brazilian Navy took concerted action to completely abolish them. In spite of the efforts made to assist in the recovery of the island, there is still a gap as regards the studies of its paleogeographic evolution, not just in temporal scales, that goes back to its primary vegetal colonization, but also the process of the degradation of the landscape. It still has not been possible, for example, to validate the model suggested by Alves (1998), who said that the island was covered with 85% of tree vegetation. In this context is this proposal, which has as main objective giving subsidies for the reconstitution of the spacial distribution of its primary vegetation. They will use analysis of phytolith, which in general are microfossils (<60-100 μ m) of vegetal constituents formed by biogenic sílica. Those corpuscles produced by most of the plants remain in the ground/sediments for long periods of time with information of its original environment and information of the vegetal assemblies that produced them. So, in other words, this research gives subsidies, through the phytolith analysis, to discuss the spacial and temporal evolution of the landscape in the island of Trindade, in relation to natural and anthropogenic processes and phenomena. The results gotten, in general, are promising to eventual paleoenvironmental reconstitutions, because the morphotypes found in the Modern Assemblies and the phytolith indexes calculated were very consistent with the current vegetation and the pedological and morphological processes acting in the island. Few cases that are out of order are probably associated with intense erosive dynamics, with percolation of the siliceous bodies along the soil profile, with transport by wind action or with the bioturbation. The phytolith analysis of the Fossil Assemblies did not corroborate with the theory that most of the island was covered with tree species, because the globular morphotypes, typical of woody species, were just found in some higher regions, lower slope and thicker and more stable ground.

KEYWORDS: Trindade Island, phytoliths, soils, vegetation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Projeção azimutal da Ilha da Trindade.	15
Figura 2- Mapa topográfico da Ilha da Trindade.	16
Figura 3- Floresta Nebular de <i>Cyathea delgadii</i> , localizada na vertente voltada para a Praia do Eme.	21
Figura 4 - Troncos de <i>Colubina glandulosa</i> com vestígios de incêndio em uma das vertentes na trilha para o Pico Noroeste.	22
Figura 5 - Placa indicando local de replantio malsucedido de <i>C. glandulosa</i> no Pico Gazina (a); exemplares da mesma espécie replantados em 1992 próximo ao POIT (b).	23
Figura 6 - Exemplares de <i>Myrsine floribunda</i> com epífitas (<i>Usnea laevis</i>) no Pico Desejado.	24
Figura 7 - Comunidade de <i>Cyperus atlanticus</i> em vertente próxima à Praia dos Andradas (a); e de <i>Bulbostylis nesiotes</i> no pico Ponta Verde (b).	25
Figura 8 - Comunidade de <i>Pityrogramma calomelanos</i> em ambientes erodidos nas vertentes voltadas para a Ponta dos Cinco Farrilhões (a) e Praia do Eme (b).	25
Figura 9 - Comunidade de <i>Ipomoea pes-caprae</i> na praia dos Andradas. Destaque para presença de caranguejos (<i>Gecarcinus lagostoma</i>).	26
Figura 10 - Comunidade de amendoeiras (<i>Terminalia catappa</i>) nas imediações do POIT.	27
Figura 11 - Halos de <i>Guilandina bonduc</i> com aureola de <i>Cyperus atlanticus</i> mortos.	27
Figura 12 - Horta cultivada nas proximidades do POIT.	28
Figura 13 - Ciclo do silício e produção de fitólitos.	29
Figura 14 - Etapas da pesquisa.	44
Figura 15 - Secagem e pesagem das amostras.	51
Figura 16 - Agitação mecânica, centrifugação e aferição do pH das amostras.	52
Figura 17 - Branqueamento com Hipoclorito de Sódio.	52
Figura 18 - Oxidação da matéria orgânica na capela de exaustão.	53
Figura 19 - Solubilização dos óxidos de ferro com auxílio de ultrassom.	54
Figura 20 - Dispersão das argilas com Hexametáfosfato de Sódio e Ácido etilenodiamino tetra- acético (EDTA).	54
Figura 21 - Separação granulométrica da fração silte.	55
Figura 22 - Preparo e calibração do <i>heavy liquid</i> com densímetro de massa específica 1,000/2,000 g/mL previamente calibrado para 2,3 g/mL.	55
Figura 23 - Separação densimétrica dos fitólitos com <i>heavy liquid</i>	56
Figura 24 - Lâminas provisórias preparadas com glicerina.	57

Figura 25 - Mapa de localização dos perfis nos principais Ambientes da Ilha da Trindade	61
Figura 26 - Perfil esquemático da Ilha da Trindade.	62
Figura 27 - Morfotipos de fitólitos encontrados na espécie <i>Cyperus atlanticus</i>	73
Figura 28 - Morfotipos de fitólitos encontrados nas folhas de <i>Bulbostylis nesiotes</i>	74
Figura 29 - Morfotipos de fitólitos encontrados nas folhas de <i>Cyathea delgadii</i>	75
Figura 30 - Morfotipos de fitólitos encontrados nas folhas de <i>Colubrina glandulosa</i> (mudas replantadas no POIT).	76
Figura 31 - Perfil esquemático dos locais selecionados para a análise fitolítica na Ilha da Trindade.	79
Figura 32 - Morfotipos de fitólitos encontrados nas Assembleias Modernas.	85
Figura 33 - Estoque de fitólitos nas AFs selecionadas.	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Principais tipos e características taxonômicas dos fitólitos.	33
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais trabalhos referentes à morfologia e formação de fitólitos em vegetais atuais desenvolvidos no Brasil até 2013.	40
Tabela 2 - Principais trabalhos utilizando fitólitos como indicador <i>proxy</i> na reconstituição paleoambiental no Brasil até 2013 (LUZ <i>et al</i> 2015).	41
Tabela 3 – Descrição geral dos perfis de solo analisados na Ilha da Trindade.	46
Tabela 4 - Características físicas dos solos amostrados na Ilha da Trindade.	64
Tabela 5 - Características químicas dos solos amostrados na ilha da Trindade.	67
Tabela 6 - Morfotipos contados em três transectos horizontais de lâmina permanente com amostra de fitólitos extraídos da espécie <i>Cyperus atlanticus</i> , coletada na Praia dos Cabritos.	71
Tabela 7 - Total de morfotipos contados em três transectos horizontais de lâmina permanente para cada AM.	83
Tabela 8 - Índices fitolíticos aplicados nas AMs.	86
Tabela 9 - Total de morfotipos contados em três transectos horizontais de lâmina permanente para cada AF.	92
Tabela 10 - Índices fitolíticos aplicados nas AFs.	93

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Publicações sobre fitólitos no Brasil (1957 – 2013).....	38
Gráfico 2 - Concentração de fitólitos na superfície dos perfis analisados.	77
Gráfico 3 - Porcentagem de fitólitos classificáveis e inclassificáveis nas AMs.....	81
Gráfico 4 - Porcentagem de fitólitos por morfotipo nas AMs.....	84
Gráfico 5 - Porcentagem de fitólitos classificáveis e inclassificáveis nas AFs.....	90

SUMÁRIO

Resumo.....	7
ABSTRACT	8
1. Introdução	13
2. Área de estudo	15
2.1. Origem e aspectos geológicos.....	17
2.2. Descobrimento e degradação ambiental.....	18
2.3. Características geomorfológicas e solos	19
2.4. Hidrografia.....	20
2.5. Vegetação e ambientes da Ilha	20
3. Referencial teórico	29
3.1. Fitólitos.....	29
3.2. Fitólitos no Brasil.....	37
4. Materiais e métodos	44
4.1. Revisão bibliográfica e elaboração das atividades de campo	44
4.2. Atividades de campo	45
4.3. Preparo das amostras de solos e plantas.....	50
4.4. Análise de solo e extração dos fitólitos.....	50
4.5. Confecção das lâminas	56
4.6. Microscopia ótica e contagem dos fitólitos	57
5. Apresentação e discussão dos resultados.....	59
5.1. Principais ambientes e solos da Ilha da Trindade	59
5.2. Análise fitolítica	70
5.2.1 <i>Coleção de referência de fitólitos de plantas</i>	70
5.2.2 <i>Assembleias Modernas</i>	77
5.2.3 <i>Estoque de fitólitos</i>	77
5.2.4 <i>Classificação dos fitólitos</i>	80
5.2.5 <i>Morfotipos de fitólitos</i>	82
5.2.6 <i>Índices fitolíticos</i>	86
5.2.7 <i>Assembleias Fósseis</i>	87
5.2.8 <i>Classificação e morfotipos de fitólitos</i>	90
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	94

BIBLIOGRAFIA.....	96
ANEXO I - FOTOS E DESCRIÇÃO DOS PERFIS DE SOLO ANALISADOS NA ILHA DA TRINDADE	102
ANEXO II - PROTOCOLO PARA EXTRAÇÃO DE FITÓLITOS DE SOLOS	121
ANEXO III - PROTOCOLO PARA EXTRAÇÃO DE FITÓLITOS DE PLANTAS	127

1. INTRODUÇÃO

Por se tratarem de ambientes isolados, cuja evolução é definida por um quadro geoambiental *sui generis*, ilhas oceânicas apresentam muitas características endêmicas relacionadas à flora, fauna e ao próprio desenvolvimento pedogeomorfológico (MACARTHUR e WILSON, 1967; KOHN e WALSH, 1994). As ilhas oceânicas são, portanto, locais privilegiados, considerados laboratórios a céu aberto, ideais para o estudo e entendimento da dinâmica evolutiva físico-biológica do planeta. Mas, infelizmente, toda a relevância científico-natural não tem sido suficiente para evitar a degradação desses ambientes, uma vez que grande parte deles foi fortemente impactada por processos de ocupação e exploração desastrosos, com danos ambientais e extinção de espécies.

É nesse contexto que se insere a Ilha da Trindade, uma formação de origem vulcânica localizada a cerca de 1200 km a leste de Vitória/ES, que devido ao seu isolamento geográfico atingiu um equilíbrio muito frágil, com o desenvolvimento de espécies únicas em sítios com baixa resiliência (ALVES, 2008). Seu histórico, como o da maioria das ilhas oceânicas, encontra-se permeado por significativos prejuízos ambientais, provocados principalmente pela introdução de espécies exóticas. No caso da Ilha da Trindade, há que se destacar a colonização por caprinos, que causou grande prejuízo à vegetação e aos solos. Segundo Silva e Alves (2011), restam na ilha cerca de 65% da vegetação original e apenas 5% das florestas. É preciso ressaltar, contudo, que esses dados são pautados em relatos de antigos viajantes e em alguns vestígios encontrados na paisagem, pois os dados para se reconstituir o perfil original da paisagem pretérita da ilha são escassos.

Tentativas de recuperação ambiental têm sido empreendidas com a reintrodução de espécies vegetais extintas (*Colubrina glandulosa*), mas é possível constatar por meio de observações de campo que muitos ambientes foram tão severamente comprometidos pela erosão que seus solos parecem não favorecer mais o bom desenvolvimento dessas plantas. A maioria das mudas replantadas simplesmente não sobrevivem e aquelas que permanecem vivas apresentam aspecto subdesenvolvido, não atingindo a maturidade.

A recuperação ambiental desses ambientes necessita de novas pesquisas, pois as ilhas oceânicas brasileiras ainda continuam muito pouco exploradas do ponto de vista científico. Autores como Almeida (1961) e Alves (1998) reiteram a escassez de estudos em ambientes terrestres, já que a maioria das pesquisas ainda estão atreladas à vida marinha, sendo frequentemente realizadas na Ilha de Fernando de Noronha (BATISTELLA, 1993; MARQUES, 2004). Na Ilha da Trindade, em resposta à criação do Programa Pró-Trindade, que assegura a cooperação científica e logística entre a Marinha do Brasil, instituições de fomento, como o CNPq, e universidades brasileiras, as pesquisas têm sido intensificadas nos últimos anos.

Dentre os esforços que têm sido realizados para auxiliar na recuperação ambiental da Ilha da Trindade, sobretudo provendo informações a respeito dos seus solos, geomorfologia e recursos hídricos, existe uma lacuna sobre como ocorreu a evolução paleogeográfica da ilha, isto é, um quadro evolutivo espaço-temporal que remonte sua colonização vegetal primária, a relação dessas coberturas vegetais com os solos e o processo de degradação dessa vegetação e, conseqüentemente, dos solos. Não se sabe, por exemplo, se o modelo hipotético proposto por Alves (1998) de que a ilha fora 85% recoberta por árvores de uma mesma espécie (*Colubrina glandulosa*) pode ser confirmado. Esse modelo foi pautado em relatos de viajantes, bem como em aferições botânicas de campo, como a eventual presença de troncos fósseis na superfície e subsuperfície.

A fim de compreender essas transformações da cobertura vegetal e, conseqüentemente, a relação dessas mudanças com os processos pedogeomorfológicos e a intervenção antrópica é que se insere esta proposta, cujo objetivo central é compor o primeiro inventário fitolítico de solos e plantas da Ilha da Trindade, oferecendo subsídios para uma reconstituição da composição e da distribuição espacial da vegetação da ilha por meio da análise de fitólitos. Em outros termos, este estudo busca dar subsídios para, por meio da cobertura vegetal, se discutir a evolução espaço-temporal da paisagem em Trindade, tanto a partir de processos e fenômenos naturais como antropogênicos.

O estudo dos fitólitos permite inferir a estrutura da fitofisionomia vegetal pretérita, bem como a densidade da cobertura arbórea (ALEXANDRE *et al.*, 1999; BARBONI *et al.*, 1999). De forma genérica, fitólitos são microfósseis (<60-100 μm) de constituintes vegetais formados por sílica ou carbonatos. Esses corpos contêm informações sobre o seu ambiente de origem e sobre as espécies que os produziram. No Brasil, o trabalho com fitólitos vem sendo realizado desde o final da década de 1950 (FONTANA JR. e MUTH, 1957), mas são raros na literatura estudos envolvendo o uso de fitólitos em ilhas oceânicas. Este trabalho pretende, portanto, contribuir para os estudos paleoambientais com indicadores fitolíticos (*proxy*) em ambientes insulares. Além disso, estudos dessa natureza são indispensáveis para auxiliar no planejamento das ações visando à recuperação ambiental da ilha (SCHAEFER *et al.*, 2000).

2. ÁREA DE ESTUDO

Trindade está localizada a cerca de 1200 km a leste de Vitória / ES, constituindo o ponto mais extremo a leste do território brasileiro (Figura 1). Sua superfície, de aproximadamente 13,5 km², deriva do cume emerso de uma extensa cadeia vulcânica submarina de orientação leste-oeste denominada Vitória-Trindade. Sua base assenta-se sobre o assoalho do Atlântico Sul a 5800 m de profundidade, e sua altitude máxima é de 600 m – Pico Desejado (Figura 2).

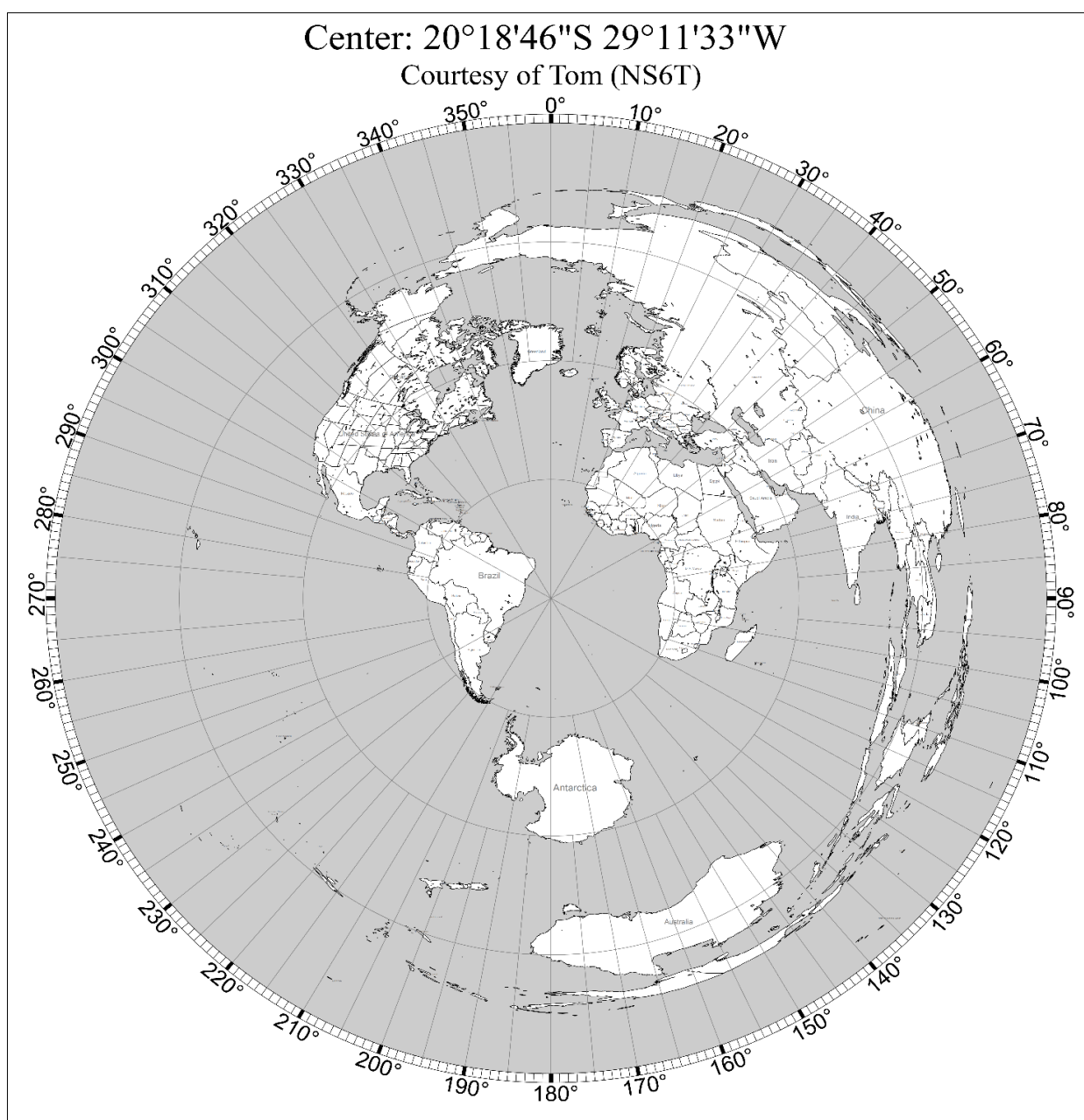


Figura 1- Projeção azimutal da Ilha da Trindade. Fonte: <http://ns6t.net/>

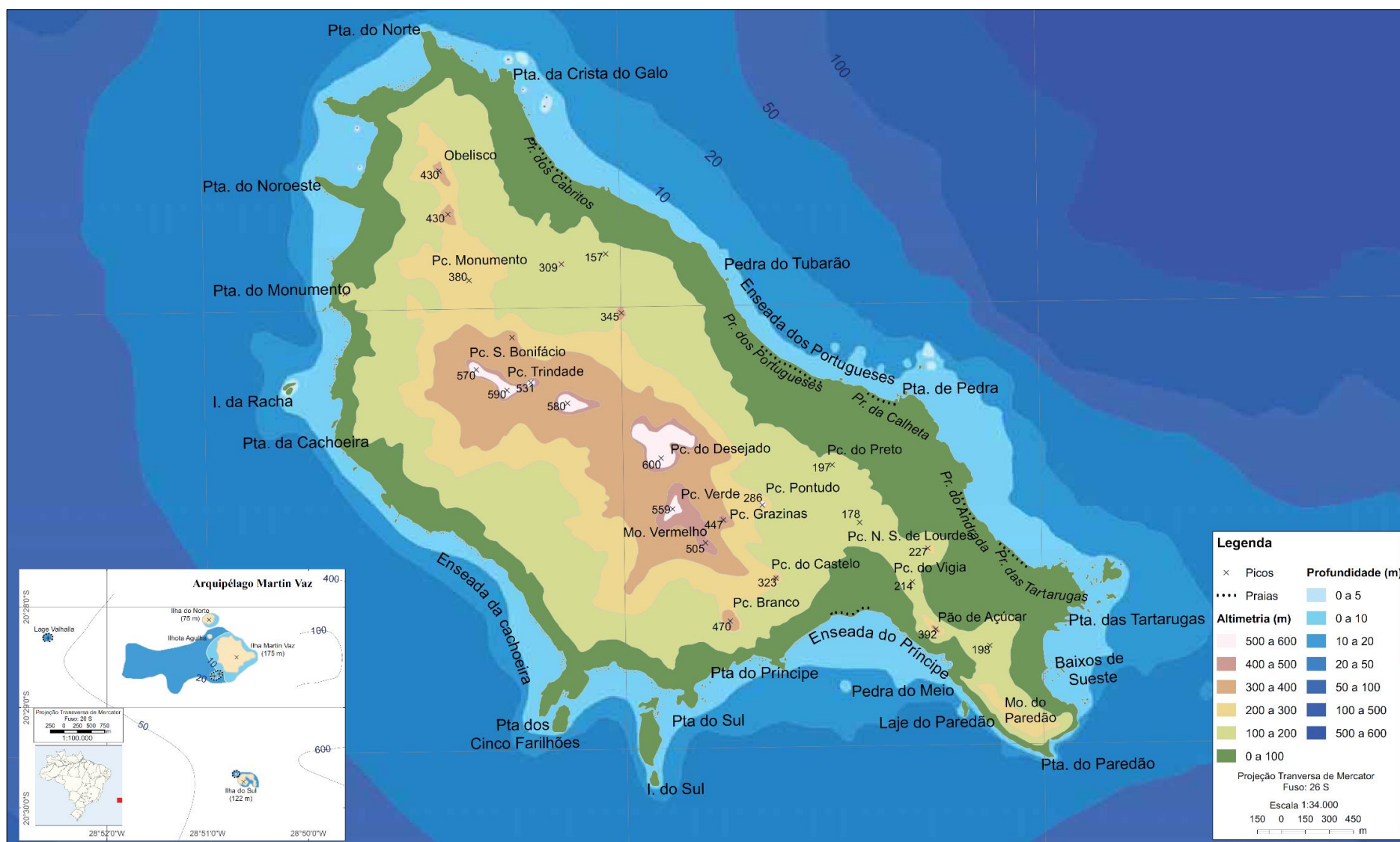


Figura 2- Mapa topográfico da Ilha da Trindade. Fonte: IBGE. Diretoria de Geociências. Coordenação de Geografia.

2.1. Origem e aspectos geológicos

A Ilha da Trindade tem sua gênese no Cenozoico, há aproximados três milhões de anos, e é constituída basicamente de rochas vulcânicas associadas a derrames e intrusões sódico-alcalinas, marcadamente subsaturadas em sílica, além de piroclastos diversos (ALMEIDA, 1961). Há também uma faixa litorânea de constituição mais recente formada por sedimentos marinhos ricos em carbonatos biogênicos.

Segundo Almeida (1961), a geologia da ilha pode ser dividida em pelo menos cinco eventos. O mais antigo deles é representado pelo **Complexo Trindade**, que ocupa a maior parte da ilha, sendo composto por piroclastos formados durante erupções violentas originando rochas de natureza predominantemente alcalina. Representando os eventos vulcânicos mais antigos, 3,6 Ma, segundo Cordani (1970), essa formação sofreu intenso processo erosivo antes de ser recoberta pela Sequência Desejado.

A **Sequência Desejado** representa a topografia mais elevada da ilha, de onde ergueram-se o Pico Desejado, Trindade e São Bonifácio. Também é onde se encontram as principais nascentes e as inúmeras cicatrizes erosivas da ilha. A formação é composta por atividade vulcânica mista, com a extrusão explosiva de lavas fonolíticas mais viscosas entremeadas com a efusão de derrames mais fluidos de grazinito e nefelinito¹. Esses eventos teriam ocorrido entre 1,60 e 2,63 Ma (ALMEIDA, 1961).

O resultado de uma única e continuada manifestação vulcânica explosiva na região central da ilha deu origem à **Formação Morro Vermelho**. Os derrames de lava ankaratrítica fluíram em direção à Praia do Príncipe e à Praia dos Andradas, preenchendo os vales com espessuras de lava que excediam os 200 metros (ALMEIDA, 2000). A Formação Morro Vermelho não seria mais antiga que 170.000 anos, de acordo com Cordani (1970).

Entre as praias dos Cabritos e dos Portugueses, na porção nordeste da ilha, há a **Formação Valado**. Essa formação consiste no cone aluvial do córrego do Valado, formado por piroclastos e derrames de lava tannbuschítica². O centro emissivo aparentemente se processou a partir de uma fenda situada à meia encosta, paralela à costa atual, em sítio onde existem diversos diques de lava de composição básica a ultrabásica (ALMEIDA, 2000).

No extremo oriental, representando as últimas manifestações vulcânicas da ilha e do território brasileiro, encontra-se a formação **Vulcão do Paredão**. Constituída de derrames de lavas, tufo e brechas, de natureza básica, essa formação consiste nas ruínas de um edifício

¹ Rocha formada por compostos vulcânicos com alta fluidez devido ao baixo teor de sílica. É constituída essencialmente de augite e nefelina, com ou sem olivina.

² Variedade de olivina nefelinito constituída por parte considerável de cristais de piroxênio e pequena quantidade de nefelina e olivina.

vulcânico parcialmente arrasado pelo mar. Sua origem, segundo Almeida (2000), remonta ao Pleistoceno superior/holoceno.

O complexo insular Trindade-Martin Vaz é considerado por Almeida (1961) como o resultado das últimas atividades vulcânicas em território brasileiro, sendo possível visualizar no extremo oriente de Trindade, próximo à Ponta do Paredão (Figura 2), a morfologia relativamente conservada do edifício de um vulcão extinto, o Vulcão do Paredão. Estima-se que a cratera original possuía uma circunferência com mais de 200 metros de raio, posteriormente reduzida pela erosão a um pequeno arco em forma de meia lua. A maior parte do edifício vulcânico desabou e suas ruínas criaram uma plataforma de rochas angulosas e pontiagudas que se encontram parcialmente encobertas pelo mar. Trindade é o único ambiente em território brasileiro onde feições vulcânicas nítidas como essas ainda podem ser reconhecidas na paisagem (CORDANI, 1970).

2.2. Descobrimento e degradação ambiental

Cessados os inúmeros eventos vulcânicos, a ilha foi colonizada por espécies vegetais diversas, sendo a superfície recoberta por um bosque tropical, com destaque para a *Colubrina glandulosa*, espécie lenhosa também conhecida como pau tucano, que, segundo Alves (1998), cobrira 85% da superfície. Com o descobrimento da Ilha, em 1512, pelo português João da Nova, foram introduzidos diversos animais exóticos, como cabras, carneiros, porcos, galinhas d'angola, gatos domésticos, camundongos e insetos parasitas diversos (BARTH, 1958; ALVES, 1998). Essas espécies foram responsáveis pelo desequilíbrio das relações ecossistêmicas e pela degradação da paisagem, especialmente da vegetação. A *C. grandulosa*, por exemplo, considerada abundante antes do descobrimento, foi completamente extinta. A extinção da espécie na ilha é atribuída às cabras, que foram introduzidas durante a visita do astrônomo Edmund Halley, em 1700, durante uma expedição científica. Favorecidos pelo clima e pelas condições originais, esses animais se espalharam, povoando e degradando a ilha por cerca de 300 anos (ALVES, 1998; ALVES e SILVA, 2011).

Atualmente as espécies vegetais mais comuns na ilha são as ciperáceas (*Cyperus atlanticus* e *Bulbostylis nesiotes*), que podem ser encontradas desde as praias até as encostas mais íngremes. No passado essas espécies parecem ter exercido papel fundamental na estabilização dos solos, minimizando a erosão tão frequente atualmente.

De acordo com Alves (1998), a vegetação atual da Ilha da Trindade não passa de relictos agonizantes de uma série de comunidades que ocorria no local há aproximadamente três séculos. A *Cyathea delgadii*, uma espécie de samambaia gigante com cerca de 6,5 m de altura, é um desses

relictos e ainda pode ser encontrada nas escarpas mais altas e úmidas localizadas na face Oeste da ilha.

Em 2005, após estudos coordenados pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA – e Ministério do Meio Ambiente – MMA, a Marinha do Brasil foi autorizada a eliminar o último exemplar de cabra da ilha. Com a supressão das cabras da ilha criou-se a expectativa de recuperação da vegetação, mas a elevada degradação dos solos tem dificultado essa recuperação.

2.3. Características geomorfológicas e solos

Em relação às características geomorfológicas, Trindade pode ser enquadrada no quinto estágio do esquema clássico de formação das ilhas oceânicas de origem vulcânica, proposto por Wagner *et al.* (1991), chamado de estágio erosional. Seu relevo é extremamente movimentado, com vertentes declivosas, precipícios, vales profundos e alguns platôs aluviais. Grande parte das superfícies estão parcialmente recobertas por um amontoado de escombros rochosos, revelando uma sucessão temporal de edificações vulcânicas submetidas à intensa desagregação.

Tais condições geomorfológicas, favoráveis à erosão, foram potencializadas pela degradação da cobertura vegetal, intensificando os processos denudacionais e desencadeando um quadro erosivo generalizado por toda a ilha, esculpindo formas ravinadas profundas nas principais vertentes e provocando frequentes movimentos de massa. Nesse panorama há perda acentuada de solos, de nutrientes, e principalmente de matéria orgânica, dificultando assim a fixação e o restabelecimento da vegetação nativa remanescente.

Clemente *et al.* (2011) afirmam que os solos fortemente impactados pela erosão são relativamente jovens, apresentando teores apreciáveis de minerais primários e argilominerais 2:1, assim como fases intermediárias desses minerais. Mas, apesar da ocorrência de solos muito intemperizados do ponto de vista químico, como Cambissolos Alíticos e Cambissolos Distróficos, não há Latossolos na ilha, mesmo nas porções medianas mais estáveis da paisagem. Além de outras condicionantes, a formação de Latossolos necessitaria uma atividade de faunopedoturbação ao longo de milhares de anos, e essa atividade é considerada ainda incipiente na ilha.

Por representar ambientes *sui generis* do planeta, restritos a pequenas áreas, os solos de Trindade apresentaram dificuldades para serem enquadrados corretamente no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, o que confirma a necessidade de estudá-los mais detalhadamente (SÁ, 2009). Suas características são pouco frequentes nos solos do Brasil continental e, em alguns casos, as dificuldades de enquadramento são atribuídas à ausência de atributos diagnósticos ou

definições mais apropriadas, como no caso dos solos ornitogênicos ou com propriedades ândicas (SCHAEFER, 2001).

2.4. Hidrografia

Trindade é a única ilha oceânica brasileira com nascentes e uma rede de drenagem perene, propiciando ao local a autossuficiência em água doce. Com estrutura geológica bastante semelhante à de Trindade e o dobro de sua área, nem mesmo Fernando de Noronha apresenta elementos fluviais tão desenvolvidos. Os canais de drenagem de Fernando de Noronha, diferentemente de Trindade, estão condicionados à ocorrência de eventos pluviométricos de grande magnitude (MONTENEGRO *et al.*, 2009).

Apesar das peculiaridades e relevância estratégica de seus recursos hídricos, a Ilha da Trindade ainda carece de estudos dedicados a esse assunto. Segundo Almeida (1961), são dos picos centrais (Desejado e Noroeste) que nascem os principais cursos-d'água. O autor considera o sistema de drenagem pouco expressivo e de baixa vazão, mas estudos mais recentes demonstram que a hidrografia da ilha possui certo grau de complexidade e que as vazões são relativamente expressivas.

Marques *et al* (2015), em estudo preliminar, conseguiram mapear 32 nascentes e aferir as vazões dos principais cursos d'água. Em uma dessas medições, realizada no curso d'água onde é feita a captação que abastece a ilha, foi constatado um fluxo de 0,443 L/s. Vazões desse porte e a quantidade de nascentes perenes se tornam relativamente expressivas considerando que a ilha apresenta várias características desfavoráveis à ocorrência desses elementos. Dentre eles podemos citar a pequena abrangência geográfica e os impactos ambientais pelos quais a ilha passou. Os atributos dos solos, em grande parte de natureza detrítica, que geralmente não ultrapassam os 2 metros de profundidade, também devem ser considerados, pois essas características não favorecem a retenção de um grande estoque de água em subsuperfície. Assim, sob o contexto das ilhas oceânicas brasileiras, Trindade emerge como uma situação de destaque no que se refere a hidrografia, merecendo estudos mais detalhados.

2.5. Vegetação e ambientes da Ilha

A topografia extremamente movimentada da Ilha da Trindade, derivada de sua origem vulcânica, propiciou a formação de uma gama de ambientes com geologia, solos, vegetação e microclimas bastante específicos. A relativa homogeneidade de cada um dos componentes (geologia, solos, vegetação e microclima) desse mosaico formador da paisagem foi denominada

geoambientes por Clemente (2006), estando esses diretamente relacionados à posição que essas porções da paisagem ocupam no relevo.

Grande parte dos geoambientes da ilha, responsáveis pela abundância de espécies florestais existentes no passado, encontram-se atualmente degradados, restando apenas alguns relictos da vegetação que havia antes da ocupação antrópica e da introdução de animais exóticos, principalmente caprinos (ALVES, 1998). Exemplo de um desses relictos é a Floresta Nebular de *Cyathea delgadii* (samambaias gigantes), predominante nos ambientes mais úmidos localizados na face sudoeste da ilha (Figura 03).

Essa vegetação é atualmente a mais exuberante e sua ocorrência sugere certa resiliência, pois localiza-se, predominantemente, em região onde o solo (Organossolo fíbrico) apresentou características relativamente desfavoráveis ao bom desenvolvimento da maioria dos vegetais, com os mais baixos valores de fertilidade (V%) e teores expressivos de Al^{3+} em todos os horizontes (Perfil 03 – Tabela 06).

Além da sua resiliência a solos desfavoráveis, a expressividade da *Cyathea delgadii* também pode estar atrelada a um possível favorecimento proporcionado pela sua rejeição na dieta alimentar das cabras. A supressão de outras espécies mais palatáveis talvez tenha dado maiores chances às comunidades de samambaias gigantes de se espalharem e ocuparem ambientes anteriormente colonizados por essas outras espécies.



Figura 3- Floresta Nebular de *Cyathea delgadii*, localizada na vertente voltada para a Praia do Eme.

Atualmente a presença da *Cyathea delgadii* proporciona ambiente favorável à formação de um sub-bosque, com solo recoberto por uma camada de aproximadamente 20 cm de espessura de

material vegetal fibroso, pouco decomposto, onde se desenvolvem outras espécies de samambaias rasteiras, orquídeas, briófitas e líquens diversos.

O acúmulo de material orgânico pouco decomposto é geralmente atribuído à ausência de decompositores, mas apesar dos relatos de baixa atividade biológica nos solos da ilha (BARTH, 1958 e CLEMENTE *et al.*, 2009), foi possível constatar, em diversos ambientes, a presença recorrente de minhocas e formigas, além de grande quantidade de pequenas baratas. A atividade dos caranguejos (*Gecarcinus lagostoma*) também deve ser levada em consideração, pois se alimentam de quase tudo que encontram, além de construírem tocas profundas revolvendo grande quantidade de solo, incorporando seus excrementos a ele.

Uma das espécies concorrentes das samambaias gigantes no passado talvez tenha sido a extinta *Colubrina glandulosa*, também conhecida como pau tucano. Segundo Alves (1998), essa espécie provavelmente teria sido a vegetação arbórea predominante na ilha. Atualmente, entretanto, a única evidência dessa espécie são seus troncos mortos reduzidos ao cerne pela corrosão do tempo.

Esses troncos são encontrados parcialmente soterrados por sedimentos ou entre os detritos rochosos nas principais escarpas. Em alguns deles foi possível constatar, durante as atividades de campo, vestígios de fogo que podem estar relacionados a dois incêndios acidentais relatados por Alves (1998) (Figura 04). Tais incêndios, segundo os relatos, teriam ocorrido respectivamente em 1995 e 1996, abrangendo as proximidades do cemitério e as vertentes acima do Posto Oceanográfico da Ilha da Trindade (POIT).

À época a área ardida teria sofrido grande impacto, ocasionando significativo prejuízo à vegetação, principalmente às comunidades de *Cyperus atlanticus*.



Figura 4 - Troncos de *Colubina glandulosa* com vestígios de incêndio em uma das vertentes na trilha para o Pico Noroeste.

Após a completa supressão das cabras da ilha, foram realizadas várias tentativas de replantio da *C. glandulosa*, principalmente nos platôs medianos e superiores da ilha, nos quais, segundo Sá (2010), ocorrem os solos mais profundos e desenvolvidos (Cambissolos Háplicos). Entretanto, nessas regiões, durante as atividades de campo, não foi possível localizar nenhum dos exemplares replantados vivos. Foram encontradas apenas as placas indicativas dos locais onde possivelmente foram feitos os plantios. Próximo a algumas dessas placas ainda permanecem os vestígios mortos das mudas (Figura 05).



Figura 5 - Placa indicando local de replantio malsucedido de *C. glandulosa* no Pico Gazina (a); exemplares da mesma espécie replantados em 1992 próximo ao POIT (b).

As tentativas de replantio de exemplares de *C. glandulosa* realizadas nas imediações do POIT foram relativamente mais bem-sucedidas que as tentativas de replantio nos platôs e regiões mais elevadas. Entretanto, dentre os poucos exemplares que escaparam ao ataque dos caranguejos (*Gecarcinus lagostoma*) foi possível observar um desenvolvimento bastante lento, fato que talvez se deva à perda das características originais do solo causada pela intensa degradação.

Nas regiões mais elevadas e úmidas, como o Platô do Desejado, onde há a ocorrência do Pirajá (precipitação orográfica que ocorre quase que diariamente, por um curto período) se desenvolvem a *Myrsine floribunda* e a *Dodonaea viscosa*, das quais pendem longas madeixas verde-creme formadas por uma grande variedade de líquens e epífitas (Figura 06).

Essas espécies também são encontradas nas encostas do pico Trindade e nas vertentes de orientação sul, próximas à mata de samambaias gigantes.



Figura 6 - Exemplos de *Myrsine floribunda* com epífitas (*Usnea laevis*) no Pico Desejado.

Os exemplares de *M. floribunda* e *D. viscosa* representam duas das principais espécies lenhosas remanescentes na ilha. Presume-se que no passado, antes das intervenções humanas, essas espécies compunham comunidades bem mais significativas. Há relatos de 1965 que apontam áreas bem maiores ocupadas por elas (ALVES, 1998).

As outras espécies remanescentes são compostas basicamente por gramíneas, comunidades rasteiras e arbustivas. Destaque para as comunidades de *Cyperus atlanticus*, *Bulbostylis nesiotes* e *Pityrogramma calomelanos*, sendo os mais expressivos entre esses o *Cyperus atlânticos* e o *Bulbostylis nesiotes*, espécies de gramíneas que podem ser encontradas por toda a ilha, desde as praias até as regiões mais elevadas (Figura 07).

As comunidades de *Cyperus atlânticus* (Figura 08b), entretanto, parecem se desenvolver melhor nas porções mais baixas do relevo, de microclima mais seco, associadas a solos mais rasos, detríticos e ricos em nutrientes – Cambissolos e Neossolos Regolítico (CLEMENTE, 2006). Já as comunidades de *Bulbostylis nesiotes* apresentam-se mais vigorosas nas porções mais altas da paisagem, com maior umidade e solos mais profundos – Organossolos (Figura 08b). Também se apresentam melhor adaptados aos ventos fustigantes e constantes dessas regiões de maiores altitudes, propiciando mecanismo eficiente de proteção dos solos contra a erosão eólica.



Figura 7 - Comunidade de *Cyperus atlanticus* em vertente próxima à Praia dos Andradas (a); e de *Bulbostylis nesiotis* no pico Ponta Verde (b).

Nas regiões intensamente erodidas, de solos muito rasos e detríticos, e nas vertentes e fundos de vales úmidos de feições erosivas, como cânions e ravinas, é encontrada grande quantidade de *Pityrogramma calomelanos* e *Pityrogramma austroamericana*, o que sugere serem essas espécies pioneiras bem adaptadas a regiões de solos degradados (Figura 08).



Figura 8 - Comunidade de *Pityrogramma calomelanos* em ambientes erodidos nas vertentes voltadas para a Ponta dos Cinco Farrilhões (a) e Praia do Eme (b).

Ocupando áreas mais baixas e de pequena extensão da ilha, próximo às praias, nas dunas calcáreas e nas regiões mais arenosas, onde predominam os Neossolos Regolíticos, desenvolvem-se as comunidades de *Ipomoea pes-caprae*, gênero largamente encontrado nas restingas do Brasil continental (Figura 09).



Figura 9 - Comunidade de *Ipomoea pes-caprae* na praia dos Andradas. Destaque para presença de caranguejos (*Gecarcinus lagostoma*).

Ainda nas regiões mais baixas, mais especificamente na praia dos Portugueses, dos Cabritos e Ponta Norte, encontram-se os arrecifes de algas calcárias, sendo as areias constituídas de grãos calcários, subarredondados e pouco trabalhados, provenientes de fragmentos de conchas de moluscos, crustáceos, corais, foraminíferos e algas carbonáticas. Segundo Clemente (2006), esses ambientes são exclusivos da Ilha da Trindade, do arquipélago de Fernando de Noronha, não ocorrendo em nenhuma das praias e cordões arenosos do continente.

Nas proximidades do Posto Oceanográfico da Ilha da Trindade (POIT) há o predomínio de vegetação exótica, com destaque para as amendoeiras (*Terminalia catappa*), considerada invasora na porção costeira do Brasil continental (Figura 10). Na Ilha da Trindade suas sementes são bastante apreciadas pelos caranguejos que as transportam por longas distâncias até suas tocas. Essa disseminação favorecida pela atividade dos crustáceos pode constituir problemas no futuro, uma vez que a espécie parece ter se adaptado bem à ilha, podendo se espalhar, concorrendo assim com as espécies locais. Segundo Gunn *et al.* (1997), as sementes também podem se dispersar pelo mar, pois suportam longos períodos de imersão em águas salgadas, onde permanecem boiando até serem jogadas na praia.



Figura 10 - Comunidade de amendoieiras (*Terminalia catappa*) nas imediações do POIT.

Estudos sugerem que *T. catappa* compete com a vegetação nativa no processo de sucessão natural e pode prejudicar o desenvolvimento da regeneração natural em função do sombreamento causado pela sua copa e por alelopatia (BARATELLI, 2006).

Após a supressão das cabras, em 2005, um novo fenômeno, que também ameaça a vegetação da ilha, passou a ser observado. Consiste na proliferação da *Guilandina bonduc*, espécie de Leguminosae que está competindo e reduzindo a vegetação herbácea endêmica, principalmente o *Cyperus atlanticus*.

Até o momento, a *G. bonduc* está sendo considerada como invasora e se desenvolve formando grandes halos pela paisagem, na borda dos quais é possível observar uma espécie de aureola formada por *C. atlanticus* mortos (Figura 11).

Para Alves (1998), a população de *G. bonduc* foi mantida sob controle durante a permanência das cabras porque estava atrelada ao comportamento de pastoreio desses animais. Após a eliminação do agente de controle, no entanto, a *G. bonduc* está se espalhando por toda a ilha.



Figura 11 - Halos de *Guilandina bonduc* com aureola de *Cyperus atlanticus* mortos.

Espécies exóticas invasoras como a *G. bonduc* são atualmente consideradas uma das principais causas de perda de biodiversidade no mundo, e em ambientes insulares como a Ilha da Trindade a biodiversidade é ainda mais vulnerável em decorrência da grande quantidade de espécies endêmicas e aos seus habitats restritos (SERAFINI *et al.* 2010).

Apesar dos problemas causados pela *G. bonduc*, ainda não há um consenso em relação à necessidade de remoção da espécie, pois os impactos de sua supressão na paisagem ainda são desconhecidos. Além disso, é difícil comprovar que a espécie foi realmente introduzida na ilha de forma artificial, pois ela pode ter chegado por mecanismos próprios de dispersão pelo mar ou no trato intestinal das aves que nidificam no local.

A maioria das espécies introduzidas na ilha encontra-se nas proximidades do POIT. São mamoeiros, bananeiras e palmeiras ornamentais. Há também a tentativa de manutenção de uma horta, com hortaliças, tomates, pimenta etc., mas as características do solo, o ataque dos caranguejos e o *spray* salino têm dificultado bastante o desenvolvimento efetivo das espécies cultivadas (Figura 12).



Figura 12 - Horta cultivada nas proximidades do POIT. Foto: Sto. Alberto.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Fitólitos

O vocábulo “fitólito”, por vezes denominado silicofitólitos ou opala biogênica, deriva do grego, significando literalmente “pedra de planta” (PIPERNO, 1991). Por definição, os fitólitos são corpos micrométricos ($<60\text{-}100\ \mu\text{m}$) de opala silicosa que se precipitam no interior ou entre as células dos tecidos das plantas durante seu ciclo de vida (PIPERNO, 1988). São, portanto, partículas microscópicas de sílica com dimensões semelhantes às da fração areia muito fina ($0,10 - 0,05\ \text{mm}$) e silte ($0,05 - 0,002\ \text{mm}$) que se formam como resultado da absorção pelas raízes das plantas de ácido monossilícico (H_4SiO_4) da solução do solo e/ou da água subterrânea, precipitando-se, principalmente, pela transpiração do vegetal no interior ou entre suas células, em pequenas partículas semelhantes ao vidro produzido industrialmente.

Segundo Sendulsky e Labouriau (1966), a concentração de fitólitos presentes no solo pode alcançar até 3% do peso total do solo, dependendo da vegetação. As gramíneas são as maiores produtoras, com uma média anual de 35 a 65 kg de fitólitos por hectare. Para as outras espécies vegetais, estima-se de 9 a 30 kg por hectare ao ano. Essa produção é diretamente influenciada pelo padrão fotossintético de cada espécie, sendo classificada nos grandes grupos C_3 e C_4 , gramíneas e arbóreas, respectivamente. Há também o grande grupo CAM, que compreende aproximadamente 10% das espécies de plantas do planeta, abrangendo as Cactaceae, Euphorbiaceae e Bromeliaceae (Figura 13).

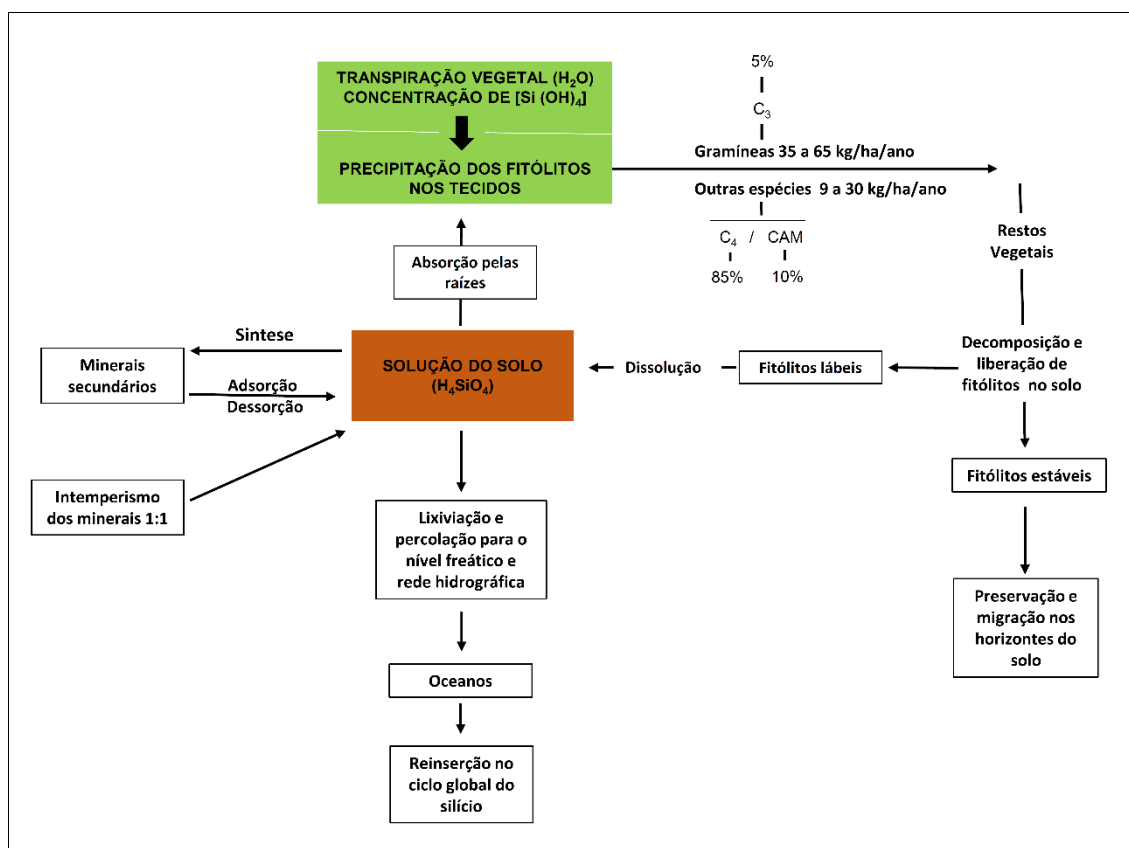


Figura 13 - Ciclo do silício e produção de fitólitos. Fonte: Adaptado de Lepsch, 2016.

Algumas plantas são classificadas como não produtoras, mesmo havendo altos níveis de silício no meio edáfico. Tais plantas, segundo Madella (2007), são dotadas de um mecanismo de exclusão do Si. Há também as plantas que produzem fitólitos a partir do cálcio (calcifitólitos), contudo, sua importância nos estudos arqueológicos e paleoambientais é restrito, uma vez que são muito solúveis no solo além de possuir morfologia pouco variada.

Além das plantas, algas – especialmente as diatomáceas – e esponjas também produzem corpos silicosos que são denominados frústulas e espículas, respectivamente. As diatomáceas são as principais produtoras de sílica biogênica, tanto em quantidade de material sintetizado quanto na variedade de morfotipos. Suas paredes celulares, denominadas frústulas, são compostas de opala (HILDEBRAND, 2003). Já as esponjas são de dois tipos: calcárias e silicosas. As de base siliciosa absorvem o Si como componente de seu esqueleto, que é formado por espículas, as quais servem para fixá-las no leito oceânico, fluvial ou lacustre (CORADIN *et al.*, 2004).

Como são muitas as ornamentações e também os produtores de corpos silicosos, neste trabalho será utilizada a denominação fitólitos para designar apenas as partículas formadas por sílica biogênica amorfa (biomineralizações) produzidas por vegetais. Essas partículas são importantes microrrestos – ou microfóssil, se a espécie formadora não existir mais no ambiente de deposição – apresentando configurações típicas da vegetação de origem, já que a forma de um fitólito recorda como um “molde” a célula vegetal em que esse foi formado (COE *et al.*, 2012).

Os fitólitos são considerados um dos fósseis de plantas terrestres mais duráveis e resistentes do planeta (PIPERNO, 2006). Isso se deve ao fato de serem constituídos por substâncias inorgânicas, que mesmo ao fim do ciclo biológico do vegetal e de sua completa decomposição permanecem nos solos e sedimentos, preservando-se por longos períodos. Devido à sua durabilidade, e por conter característica intrínsecas ao vegetal e ao seu ambiente de origem, a análise dos fitólitos vem sendo cada vez mais empregada como importante instrumento nos estudos de reconstituição paleoambiental.

A acumulação de sílica sólida, com consequente produção de fitólitos em vegetais, é explicada pelo menos por dois mecanismos: o primeiro, considerado ativo, é controlado pela planta por mecanismos genéticos e fisiológicos. Já o segundo é passivo e está atrelado às condições climáticas locais e ao ambiente de crescimento da planta. Porém, na maioria das espécies os dois mecanismos são atuantes, gerando uma grande diversidade de fitólitos, com formas, tamanhos e ornamentação variada de acordo com o tecido em que se formaram na planta (PIPERNO, 2006).

As razões para a produção dos fitólitos pelos vegetais ainda são pouco conhecidas. Sobre essa questão Madella (2005) aponta algumas possíveis finalidades, tais como: proteger a planta do ataque de herbívoros e parasitas; dar suporte aos seus órgãos e estruturas; oferecer suporte mecânico às células, além de neutralizar ânions e cátions nocivos ao seu desenvolvimento.

Segundo Piperno (2006), a produção dos fitólitos tem como característica a multiplicidade e a redundância, ou seja, uma mesma planta pode produzir diferentes morfotipos (multiplicidade) e um mesmo morfotipo pode ser produzido em diferentes tecidos da planta e por diferentes plantas (redundância), que podem ou não ter uma relação taxonômica. Devido a essa multiplicidade e redundância na produção de fitólitos pelas plantas, às vezes é difícil atribuir valor taxonômico a um único fitólito. Entretanto, é possível identificar grupos de tipologias com valor taxonômico ao nível de tipo de vegetação. Esses grupos são chamados assembleias fitolíticas.

Uma assembleia fitolítica é constituída de um número estatisticamente válido de tipologias fitolíticas e representa a “produção média qualitativa e quantitativa” de fitólitos de uma vegetação em particular. Portanto, um único fitólito não permite caracterizar um táxon, mas uma assembleia fitolítica permite caracterizar uma formação vegetal (BREMOND *et al.*, 2005a). Assim o uso dos fitólitos na reconstituição paleoambiental não busca estabelecer quais espécies compunham um determinado ambiente em determinado período, mas se houve mudanças no tipo de cobertura vegetal.

A produção dos fitólitos varia de acordo com a taxonomia, sabendo-se que há maior regularidade de produção nas monocotiledôneas, dicotiledôneas e pteridófitas (PIPERNO, 2006). Os fatores ambientais, a saber, solo, clima e disponibilidade hídrica, também influenciam diretamente na sua produção. Devido a essas características, intimamente relacionadas ao ambiente de origem, os fitólitos constituem um importante indicador do ambiente de sua formação e dos processos pedogeomorfológicos, bem como um indicador da cobertura vegetal pretérita (OSTERRIETH *et al.* 2007).

O uso dos fitólitos como indicadores de evolução da paisagem está pautado na premissa de que a vegetação, produtora dessas biomineralizações, é dinâmica e acompanha as transformações ambientais. Assim, os estudos fitolíticos permitem avaliar aspectos como competição e interferência de espécies invasoras (com expansão e contração de determinados conjuntos fitofisionômicos), alternâncias climáticas, além da movimentação do regolito na superfície, como, por exemplo, pelo soterramento de espécies.

Os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem após a morte do vegetal são determinantes para a acumulação, conservação e a movimentação dos fitólitos no solo. Sua manutenção depende principalmente das condições climáticas. Segundo Osterrieth *et al.* (2007) a grande intensidade dos processos biogeoquímicos nos ambientes tropicais poderia alterar ou até mesmo destruir os registros pretéritos e/ou fósseis de fitólitos.

A estabilidade e dissolução dos corpos silicosos se assemelha à do quartzo e da sílica vítrea, chegando a um mínimo de velocidade de reação em pH 3,0 (FRAYSSE *et al.*, 2006). Segundo Strömberg (2004), nas condições de pH entre 4,0 e 8,0, os fitólitos podem permanecer no solo

por longos períodos, e essa constatação favorece os estudos fitolíticos, pois é nessa faixa de pH que se encontra a grande maioria dos solos.

O primeiro trabalho desenvolvido com uso dos fitólitos é atribuído a Struve e foi publicado em 1835, consagrando-se como objeto de pesquisa de um numeroso grupo de botânicos alemães nas primeiras décadas do século XX. Porém, devido à incompreensão dos mecanismos de produção dos fitólitos e de sua morfologia, esses estudos permaneceram praticamente desconhecidos para ciência moderna até a década de 1870, quando um grupo de arqueobotânicos começou a explorar as potencialidades da análise fitolítica (TWISS, 1969; ROVNER, 1971). Mas para dar andamento aos estudos foi preciso retomar as pesquisas relativas aos complexos mecanismos de formação, acumulação e identificação dos fitólitos (PIPERNO, 1991).

Segundo Piperno (2006) é possível distinguir pelo menos quatro fases na trajetória dos estudos com fitólitos:

- 1) Fase exploratória (1835-1895) – período compreendido entre a publicação do trabalho de Struve até o desenvolvimento das pesquisas realizadas por Ehrenberg (1854). Este criou o termo “*Phytolitharien*”, que veio a dar origem ao vocábulo fitólito, e organizou o primeiro sistema de classificação;
- 2) Fase botânica (1895-1936) – continuação dos trabalhos de Ehrenberg por botânicos alemães, que desenvolveram estudos sobre a produção, morfologia e taxonomia dos corpos de sílica (Kieselkörper). Essas pesquisas, porém, tiveram que ser interrompidas devido à emergência do regime nazista e à eclosão da II Guerra Mundial;
- 3) Fase ecológica (1955-1975) – aplicação dos fitólitos por ecólogos, pedólogos, agrônomos e botânicos, primeiramente nos Estados Unidos e posteriormente por pesquisadores do Reino Unido, Austrália e Rússia. Após os estudos realizados por Rovner (1971) os paleoecólogos também começaram a fazer uso das análises fitolíticas;
- 4) Aplicação arqueológica e paleoambiental (1975 - dias atuais) – atualmente os arqueólogos e vários outros cientistas utilizam os fitólitos como marcador *proxy* do registro fóssil das plantas, assim como da intervenção antrópica na natureza.

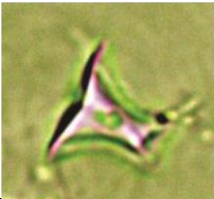
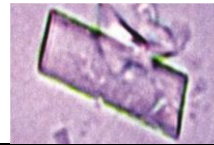
Nas pesquisas paleoecológicas os fitólitos têm servido como poderoso instrumento na reconstituição da vegetação passada, assim como na inferência de paleoclimas e processos pedogeomorfológicos, tais como evolução e degradação do solo, além de auxiliar na compreensão do ciclo biogeoquímico de sílica (dissolução, preservação e transferência). Os fitólitos também são largamente usados nos estudos palinológicos e naqueles envolvendo os isótopos estáveis do C da matéria orgânica do solo (COE *et al.*, 2012).

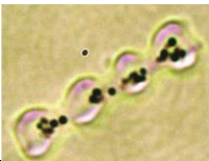
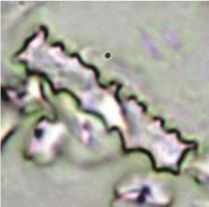
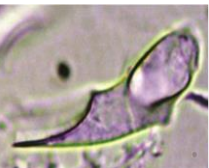
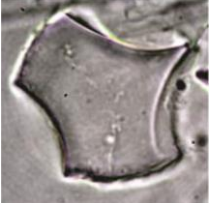
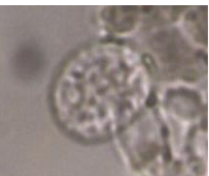
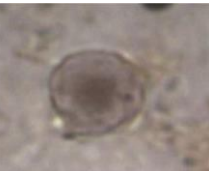
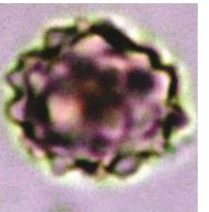
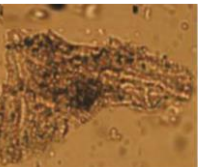
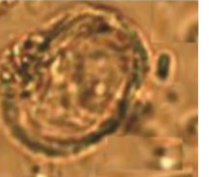
A fim de padronizar e harmonizar a denominação dos fitólitos, facilitando a comparação dos tipos morfológicos e a comunicação entre os pesquisadores, foi criado o *International Code for*

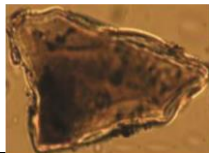
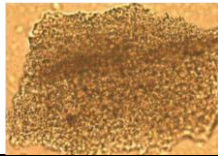
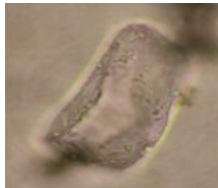
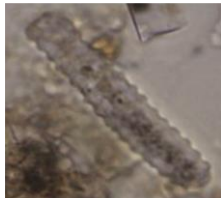
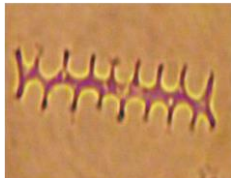
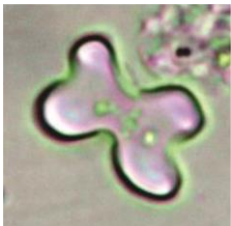
Phytolith Nomenclature (ICPN 1.0), publicado no Brasil por Madella *et al.* (2005). Porém, com o aumento dos trabalhos envolvendo as descrições morfológicas dos fitólitos, sem um sistema único de classificação, começaram a surgir terminologias diferentes para um mesmo morfotipo, prejudicando o avanço das pesquisas.

O ICPN é considerado tipológico-taxonômico, ou seja, classifica baseando-se nas características visuais dos morfotipos relacionando-os a um táxon de planta. A tabela a seguir (Quadro 1) apresenta as características e o valor taxonômico dos principais fitólitos encontrados em solos e sedimentos.

Quadro 1- Principais tipos e características taxonômicas dos fitólitos.

Tipo	Táxon	Ambiente	Fotomicrográfica ALCANTRA (2013); RAITZ (2012); RALBOLD <i>et al</i> (2012).
<i>Bilobate short cell</i> (<i>dumbbell</i>)	POACEAE (Gramíneas) Panicoideae alta C4, Panicoideae C3, Chloridoideae, Arundinoideae e Bambusoideae	Quente e úmido, áreas à sombra, em florestas tropicais	
<i>Saddle</i>	POACEAE (Gramíneas) Chloridoideae baixas C4, Bambusoideae C3, Arundinoideae C3	Regiões secas, baixa latitude e altitude	
<i>Rondel (conical, circular)</i>	POACEAE (Gramíneas) Pooideae C3, Bambusoideae C3	Zonas temperadas, frias e altas elevações intertropicais	
<i>Elongate echinate long cell (elongate spiny)</i>	POACEAE <i>long cells</i> de todas as gramíneas	Diversos	
<i>Elongate psilate (elongate smooth)</i>	POACEAE <i>long cells</i> de todas as gramíneas	Diversos	

<i>Cylindrical polylobate</i>	POACEAE (Gramíneas) Predomino nas Panicoideae (C4 e C3)	Quente e úmido	
<i>Trapeziform short-cell (rectangular)</i>	POACEAE (Gramíneas) Pooideae	Zonas temperadas, frias e altas elevações intertropicais	
<i>Acicular hair cell (point-shaped)</i>	POACEAE (micro-hair ou prickles de todas epidermes); também nas <i>Palmae</i> e sementes de outras plantas	Diversos	
<i>Bulliform cell Cuneiform (fanshaped) Parallelepipedal</i>	POACEAE (células buliformes de todas as epidermes)	Diversos	
<i>Globular granulate (spherical rugose)</i>	DICOTILEDÔNEAS lenhosas (troncos de árvores e arbustos tropicais)	Tropical	
<i>Globular psilate (spherical smooth)</i>	DICOTILEDÔNEAS (epidermes de folhas e parênquima) POACEAE (raízes e sementes)	Diversos	
<i>Globular echinate (Crenate spherical)</i>	ARECACEAE (Troncos e folhas)	Diversos	
<i>Tracheid (Vascular tissue)</i>	ASTERACEAE	Diversos	
<i>Polygonal Cell</i>	ASTERACEAE e LAURACEAE	Diversos	

<i>Trapeziform psilate</i>	LAURACEAE	Diversos	
<i>Tabular polygonal verrugate</i>	ASTERACEAE, APIACEAE e MIRTACEAE	Diversos	
<i>Parallelepipedal pistale larger</i>	CIPERACEAE	Diversos	
<i>Sylindric sulcate tracheid</i>	POACEAE, ARECACEAE e CYPERACEAE	Diversos	
<i>Papillae</i>	CYPERACEAE	Diversos	
<i>Dentritic</i>	POACEAE Panicoidae C4	Diversos	
<i>Cross</i>	POACEAE Panicoidae	Regiões temperadas	

Fonte: Organização do autor

Devido ao avanço nas pesquisas com o uso de fitólitos, foram propostos vários índices para auxiliar na interpretação dos tipos de cobertura vegetal e climas pretéritos. Esses índices são calculados por meio das assembleias fitolíticas e asseguram aos fitólitos o *status* de marcadores paleoambientais confiáveis (BREMONT, 2003).

Torna-se importante salientar que a interpretação dos índices a seguir leva em consideração os tipos de plantas enquadradas nos grandes grupos C3, predominantemente lenhosas (arbóreas e arbustivas); C4, gramíneas e CAM, plantas xerófilas.

Principais índices:

- **Índice D/P (Dicotiledônea/Poaceae)** – Proposto inicialmente por Alexandre *et al.* (1997), esse índice calcula a proporção de fitólitos característicos dos elementos lenhosos em relação à soma dos fitólitos característicos de gramíneas. É utilizado como indicador de densidade de cobertura arbórea.

$$\frac{D}{P} = \frac{\text{Globular granulate}}{(\text{bilobate short cell} + \text{cross} + \text{saddle} + \text{acicular} + \text{bulliform cuneiform e bulliform poliedric})}$$

A título de referência, esse índice é superior a 150 para uma floresta equatorial, de 7 a 10 para uma floresta perene (Alexandre *et al.*, 1997), de 0,33 a 1,16 para uma savana alta, de 0 a 0,1 para savanas baixas e estepes (Bremond *et al.*, 2005).

- **Índice Bi** – Calcula a proporção do morfotipo *bulliform cuneiform* em relação ao total de fitólitos de gramíneas. É utilizado como indicador de estresse hídrico (BREMOND *et al.*, 2005b).

$$\text{Bi \%} = \frac{\text{Bulliform}}{(\text{short cells} + \text{acicular} + \text{bulliform})} \times 100$$

Segundo Coe (2009), as células buliformes são constituintes da epiderme das gramíneas e outras monocotiledôneas e diferem das outras células da epiderme por serem maiores. Ainda segundo a autora, quanto mais a planta transpira e/ou passa por estresse hídrico, mais células buliformes silicificadas ela produz.

- **Índice Iph (Chloridoideae / Chloridoideae + Panicoideae)** – Permite estimar a aridez do ambiente por meio da relação entre as gramíneas C4 baixas e gramíneas C4 altas (BREMOND, 2003).

$$\text{Iph \%} = \frac{\text{Bulliform}}{(\text{short cells} + \text{acicular} + \text{bulliform})} \times 100$$

Segundo Coe (2009), um índice Iph elevado (>20 - 40%) indica condições quentes e secas, e um Iph baixo (<20 - 40%) caracteriza as associações de clima quente-úmido ou com umidade no solo.

- **Índice Ic (proporção de gramíneas em C3 e em C4)** – permite estimar a formação vegetal a uma temperatura mínima e/ou à Pressão Parcial de Dióxido de Carbono (pCO₂), comum em zonas de altitude elevada (TWISS, 1992). Foi definido para estimar a abundância relativa de gramíneas temperadas C3 em relação a gramíneas quentes C4 na América do Norte a partir da relação entre os morfotipos Pooideae sobre Pooideae + Chloridoideae + Panicoideae (Coe, 2009).

$$Ic\% = \frac{(\text{Rondel} + \text{Trapeziform polylobate} + \text{Trapeziform short cell})}{(\text{Rondel} + \text{Trapeziform polylobate short cell} + \text{Trapeziform short cell} + \text{saddle} + \text{Cross} + \text{Bilobate short cell})} \times 100$$

Os altos valores do índice Ic indicam predomínio de Pooideae (C3), sugerindo clima mais temperado, enquanto os valores baixos indicam o domínio das Panicoideae e Chloridoideae (C4) sugerindo climas mais quentes.

- **Índice Pa/P (Palmeiras/Poaceae)** – proposto por Coe (2009), estima a densidade da cobertura de palmeiras em relação à cobertura de gramíneas.

$$\frac{Pa}{P} = \frac{\text{Globular echinate}}{(\text{bilobate short cell} + \text{cross} + \text{saddle} + \text{acicular} + \text{elongate} + \text{bulliform cuneiform e bulliform poliedric})}$$

3.2. Fitólitos no Brasil

No Brasil, o primeiro registro de estudo relacionado a estruturas silicosas em plantas data de 1957 e foi publicado por Fontana Jr. e Muth, então funcionários do Instituto Oswaldo Cruz. O estudo investiga a morfologia de corpos silicosos nas diferentes partes do capim colônia (*Panicum maximum*) denominando-as de sílico-esqueleto, fazendo analogia às estruturas observadas nas algas diatomáceas.

Na década de 1960 os estudos continuam com Sendulsky e Labouriau (1966). Esses pesquisadores trabalharam principalmente com espécies de gramíneas do Cerrado a fim de agregar maiores informações sobre a formação dos fitólitos que pudessem ser utilizadas na

taxonomia e na diferenciação da vegetação de Cerrado em diversos ambientes. Nos anos seguintes a produção científica sobre fitólitos foi bastante esparsa, adquirindo maior regularidade de publicação somente na última década (2000), chegando a totalizar 10 trabalhos no ano de 2012, com maior número de publicações referentes à utilização dos fitólitos como indicador “*proxy*” para reconstituição ambiental. Entre esses trabalhos podemos citar os desenvolvidos por Gomes (2012) na bacia do rio São João – RJ a fim compreender a gênese e evolução dos solos; os desenvolvidos por Chueng (2012) na região do Espinhaço Meridional – MG, inferindo as variações climáticas e da cobertura vegetal; e os trabalhos desenvolvidos por Coe *et al* (2012) nos estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais com intuito de fazer inferências sobre a vegetação e o paleoclima.

As oscilações no número de publicações realizadas no Brasil até o primeiro semestre de 2013 podem ser acompanhadas no gráfico a seguir.

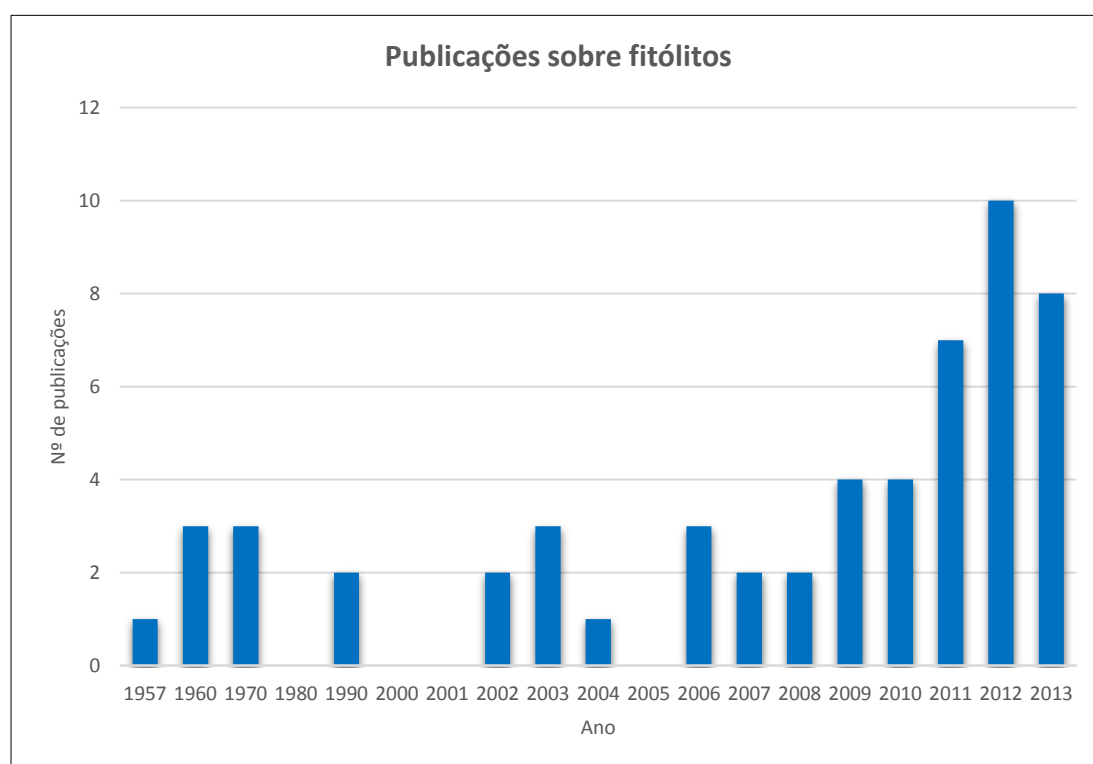


Gráfico 1 - Publicações sobre fitólitos no Brasil (1957 – 2013)

Grande parte dos esforços empreendidos até o momento está relacionada à classificação e à morfologia dos fitólitos, ou seja, reconhecimento de morfotipos extraídos de táxons de plantas atuais a fim de formar coleção de referência de assembleias modernas para embasar futuros trabalhos de reconstituição paleoambiental. Apesar dos avanços e do aumento no número de publicações, ainda são considerados incipientes no país os estudos sobre fitólitos em plantas

atuais. Essa carência de publicações com assembleias fitolíticas de referência dificulta o entendimento das condições paleoambientais e paleoclimáticas, dada a ausência de um referencial mais completo dos morfotipos para a identificações taxonômicas em sedimentos/solos (LUZ *et al.*, 2015). Já os estudos referentes à aplicação dos fitólitos como ferramenta de reconstrução paleoambiental (*proxy*) só se tornam mais expressivos após a década de 2000, principalmente nos anos de 2012 e 2013.

Em relação ao uso de fitólitos para reconstituição paleoambiental em ambientes insulares, não consta nenhuma pesquisa em território brasileiro. O que existe são alguns trabalhos em ambientes costeiros que investigam a variação morfológica dos fitólitos em gramíneas (LIMA e MEDEANIC, 2007) e sua produção e acumulação em regiões de restinga (COE *et al.* 2015). No caso específico da Ilha da Trindade, estudos paleoambientais são indispensáveis para melhor entender a permanência ou não de certos contextos fitogeográficos. A cobertura vegetal assume assim uma dimensão muito maior, revelando seu potencial como indicador das transformações do meio físico e alternativa viável para conter o processo erosivo generalizado instaurado após três séculos de degradação.

As tabelas a seguir trazem os principais trabalhos realizados no Brasil, separados em: trabalhos referentes à morfologia e à formação de fitólitos em vegetais atuais (Tabela 01) e uso de fitólitos como indicador *proxy* na reconstituição paleoambiental (Tabela 02).

Tabela 1 - Principais trabalhos referentes à morfologia e formação de fitólitos em vegetais atuais desenvolvidos no Brasil até 2013.

MORFOLOGIA E FORMAÇÃO EM VEGETAIS ATUAIS	Tema	Autor / Ano	Região	Ambiente	Trabalho
		Fontana Jr. e Muth (1957)	Sudeste	x	Estudo da morfologia e estrutura de corpos silicosos nas diferentes partes do <i>Panicum maximum</i> .
		Sendulsky e Labouriau (1966)	Centro-Oeste	Cerrado	Estudo pioneiro com 55 espécies de gramíneas do Cerrado para agregar informações sobre a formação dos fitólitos que pudessem ser utilizados na taxonomia e diferenciação dos Cerrados.
		Cavalcante (1968)	Norte	Amazônia	Estudo com a subfamília <i>Panicoidea</i> e as famílias <i>Melinideae</i> , <i>Andropogoneae</i> e <i>Tripsaceae</i> pertencentes à flora Amazônica. Objetivo: Descrição dos corpos silicosos das gramíneas amazônicas.
		Campos e Labouriau (1969)	Centro-Oeste	Cerrado	Estudo com fitólitos produzidos por dez espécies de gramíneas de Cerrados. Objetivo: obtenção de informações para investigação das oscilações de fronteiras entre Cerrados e demais vegetações adjacentes.
		Silva e Labouriau (1970)	Centro-Oeste	Cerrado	Extração do resíduo silicoso de amostras provenientes de material herbário. Objetivo: contribuir para a identificação de um local de Cerrado a partir dos fitólitos produzidos por sua flora.
		Söndahl e Labouriau (1970)	Centro-Oeste	Cerrado	Levantamento dos fitólitos de dez espécies do Cerrado. Grandes dificuldades encontradas para a realização da pesquisa na época, como instabilidade das designações taxonômicas das gramíneas dos Cerrados; pobreza das coleções agrostológicas de herbários brasileiros e a lacuna nas informações fitossociológicas.
		Figueiredo e Handro (1971)	Centro-Oeste	Cerrado	Levantamento de espécies de gramíneas dos gêneros <i>Aristida</i> sp., <i>Cenchrus</i> sp., <i>Eleusine</i> sp., <i>Eragrostis</i> sp., <i>Ichnanthus</i> sp., <i>Ohrya</i> , <i>Paspalum</i> sp., <i>Pennisetum</i> sp., <i>Raddiella</i> sp. e <i>Rhynchebrytrum</i> sp.
		Lima e Medeanic (2007)	Sul	Dunas e planície Costeira	Análise de fitólitos nas espécies <i>Spartina ciliata</i> Drong. e <i>Panicum racemosum</i> (P. Beauv.) Spreng, com ampla distribuição nas dunas da planície costeira do RS. Objetivo: identificação e classificação.
		Medeanic <i>et al.</i> (2008)	Sul	Dunas e planície Costeira	Descrição morfológica dos fitólitos de sete espécies de gramíneas atuais nas dunas do extremo sul da planície costeira do RS. Objetivo: confecção de guia de referência de fitólitos de plantas de dunas atuais a fim de aplicá-los em futuros estudos em sedimentos do Quaternário.
		Costa <i>et al.</i> (2010)	x	x	Análise da estabilidade da sílica biogênica no capim Jaraguá (<i>Hyparrhenia rufa</i> (Ness) Stapf) em solução de hidróxido de sódio (NaOH). Existe relação entre a composição química e a estabilidade dos fitólitos.
		Rasbold <i>et al.</i> (2010)	Centro-Oeste	Pantanal Mato-Grossense	Reconhecimento de morfotipos de fitólitos em táxons de plantas atuais na espécie <i>Cyperus giganteus</i> (Cyperaceae).
		Rasbold <i>et al.</i> (2011)	Sul	Cerrado	Estudo da produção de fitólitos pela espécie <i>Butia paraguayensis</i> (Arecaceae), espécie característica da vegetação de Cerrado e ameaçada de extinção no Paraná.
		Calegari <i>et al.</i> (2011)	Sul	Floresta Ombrófila Mista e Campo	Aproximação dos principais morfotipos de fitólitos presentes em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista e Campo no Paraná.
		Monteiro <i>et al.</i> (2012)	Sul	Mata Atlântica	Análise da morfologia de fitólitos das espécies <i>Bactris setosa</i> Mart. e <i>Geonoma schottiana</i> Mart, encontrados no Bioma Mata Atlântica.
		Rasbold <i>et al.</i> (2012)	x	x	Levantamento dos corpos silicosos das espécies, <i>Iris elata</i> Desv. <i>Chloris gayana</i> Kunth e <i>Tripogon spicatus</i> (Ness) Ekman, que se desenvolvem em diversos domínios fitogeográficos brasileiros.

Raitz (2012)	Sul	Floresta Ombr. Mista e Campo	Elaboração de coleção de referência de fitólitos da flora do Sudoeste do estado do Paraná, como subsídios para estudos paleoambientais. Fitofisionomias (Floresta Ombrófila Mista e Campo).
--------------	-----	------------------------------	---

Tabela 2 - Principais trabalhos utilizando fitólitos como indicador proxy na reconstituição paleoambiental no Brasil até 2013 (LUZ et al 2015).

Tema	Autor / Ano	Região	Ambiente	Trabalho
RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL	Piperno e Becker (1996)	Norte	Amazônia	Análise antracológica em solos no ambiente de “Terra firme” na Amazônia central. Evidências de que a vegetação da área foi instável durante o Holoceno, com presença de incêndios.
	Alexandre <i>et al.</i> (1999)	Sudeste	Cerrado	Análise de assembleias fitolíticas presentes em Latossolo no município de Salitre/MG. Conclusão: uma fase de Cerrado seguida por dois momentos de florestas durante o Holoceno.
	Borba-Roschel <i>et al.</i> (2006)	Sudeste	Cerrado	Comparação entre os fitólitos extraídos de uma turfeira (Uberaba/MG) com assembleias fitolíticas de plantas dominantes (<i>Cyperaceae</i> e <i>Poaceae</i>). Constatação: diminuição dos fitólitos de <i>Cyperaceae</i> conforme a profundidade, fato relacionado às fases de hidratação e desidratação do material.
	Paula e Silva (2006)	Sudeste	Cerrado	Morfologia e quantificação das opalas biogênicas em dois locais de cimeira com Latossolo Vermelho textura média e argilosa sob Cerrado e dois locais em encosta com solos Glei, pouco húmico, sob Cerradões de Uberlândia/MG, comparando-se os dados com a quantidade de sílicio do solo.
	Wesolowski <i>et al.</i> (2007)	Sul	x	Estudo arqueológico com análise de micro-vestígios vegetais retidos em cálculos dentários de grupos de pescadores-coletores do litoral sul do Brasil.
	Calegari (2008)	x	x	Tese de doutorado sobre o horizonte A húmico em Latossolos em várias regiões do Brasil, a fim de analisar as condições paleoambientais dessas regiões.
	Coe (2009)	Sudeste	Veg. xeromórfica (Caatinga)	Tese de doutorado referente à evolução da vegetação xeromórfica na região de Búzios/Cabo Frio – RJ (“enclave fitogeográfico”), a partir dos fitólitos extraídos de amostras coletadas em solos da região.
	Pereira (2010)	Sul	x	Estudo arqueológico com os fitólitos presentes em fragmentos de carvão no sítio Garopaba IV, situado no litoral de Santa Catarina.
	Coe <i>et al.</i> (2011)	Sudeste	x	Análise fitolítica dedicada à gênese de solos e mudanças ambientais na bacia do rio São João/RJ.
	Parolin <i>et al.</i> (2011)	Sul	Campos	Primeiros apontamentos sobre mudanças ambientais em Campo Mourão/PR, utilizando por base a análise das assembleias fitolíticas e análises de $\delta^{13}\text{C}$.
	Monteiro <i>et al.</i> (2011)	Sul	Campos	Primeiros trabalhos sobre as condições paleoambientais durante o Holoceno Tardio na região dos Campos Gerais/PR, a partir da análise de fitólitos presentes em sedimentos turfosos.
	Gomes (2012)	Sudeste	x	Análise de fitólitos para a compreensão da gênese e evolução de solos na bacia do rio São João – RJ.
	Chueng (2012)	Sudeste	x	Estudo na região do Espinhaço Meridional – MG, inferindo variações climáticas e da cobertura vegetal por meio de análises fitolíticas e isotópicas, auxiliando com isso na compreensão dos processos geomorfológicos que levaram à formação da sequência alúvio-colovial na região.

Coe <i>et al.</i> (2012)	Sudeste	x	Exemplo de três casos de utilização dos indicadores fitólitos e isótopos de carbono em estudos de reconstituições da vegetação e inferências de paleoclimas, compreendendo áreas do Estado do RJ e MG. Destaque para a importância dos fitólitos como <i>proxy</i> nas reconstruções paleoambientais.
Monteiro (2012)	Sul	Campos	Fitólitos em sedimentos turfosos (Campos Gerais/PR), para inferir paleoambientes.
Alcantara-Santos (2013)	Sul	x	Reconstituição paleogeográfica e paleoambiental do baixo curso do rio Ivaí/PR, por meio da recuperação, identificação e quantificação de fitólitos.

Apesar das inúmeras possibilidades de uso dos indicadores fitolíticos também nas pesquisas arqueológicas, percebe-se certa escassez das abordagens nesse ramo do conhecimento, pois em um trabalho de pesquisa bibliográfica realizado por Luz e Kalinovski *et al.* (2015) só foram encontradas duas publicações referentes a essa temática, sendo uma sobre fitólitos extraídos de fragmentos de carvão (PIPERNO e BECKER, 1996) e a outra pertinente aos vestígios vegetais em cálculos dentários de grupos sambaquianos (WESOLOWSKI *et al.*, 2007).

Outra característica em relação aos trabalhos desenvolvidos com fitólitos no Brasil é sua má distribuição geográfica, pois há grande concentração das áreas de estudo na região Centro-Sul do país, com maior número de publicações nos estados do Rio de Janeiro, Paraná, Rio Grande do Sul e Minas Gerais. Esses estados em conjunto chegam a abarcar mais de 80% das publicações.

Sobre o uso de fitólitos em ilhas oceânicas brasileiras há uma publicação que buscou identificar a ocorrência de corpos silicosos em horizontes superficiais de solos de diferentes ecossistemas brasileiros. Uma das amostras desse trabalho foi retirada da Ilha da Trindade, mas visou apenas identificar a ocorrência ou não de corpos silicosos na espécie *Cyathea delgadii* (COSTA *et al.*, 2010). Não foi realizada, nesse caso, nenhuma caracterização paleoambiental para a ilha.

Muitas das formações vegetais presentes na Ilha da Trindade atualmente não podem ser explicadas apenas por meio das condições climáticas e edáficas atuais, tornando necessários estudos paleoambientais para melhor entender a permanência ou não de certos contextos fitogeográficos. Esse entendimento não diz respeito apenas à composição florística, mas a todo o conjunto de processos que, especialmente contextualizados, caracterizam a evolução da ilha.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo da diversidade fitolítica na Ilha da Trindade teve como princípio a identificação de assembleias atuais e pretéritas por meio de coletas de solos e vegetais espacialmente contextualizadas na paisagem, pois o posicionamento na paisagem torna-se fundamental para que as composições fitolíticas possam ser associadas à cobertura pedológica das áreas em que foram coletadas, ao caráter eluvial ou coluvial de tais coberturas, a eventuais modificações climáticas que tenham ocorrido e às transformações naturais ou induzidas da vegetação. Partindo desse pressuposto, a pesquisa foi dividida em 4 etapas: I. Revisão bibliográfica e pré-campo; II. Atividades de campo; III. Preparo das amostras de solos e plantas e; IV. Análise de solo, extração dos fitólitos, microscopia e interpretação dos dados. O esquema a seguir apresenta as etapas da pesquisa.

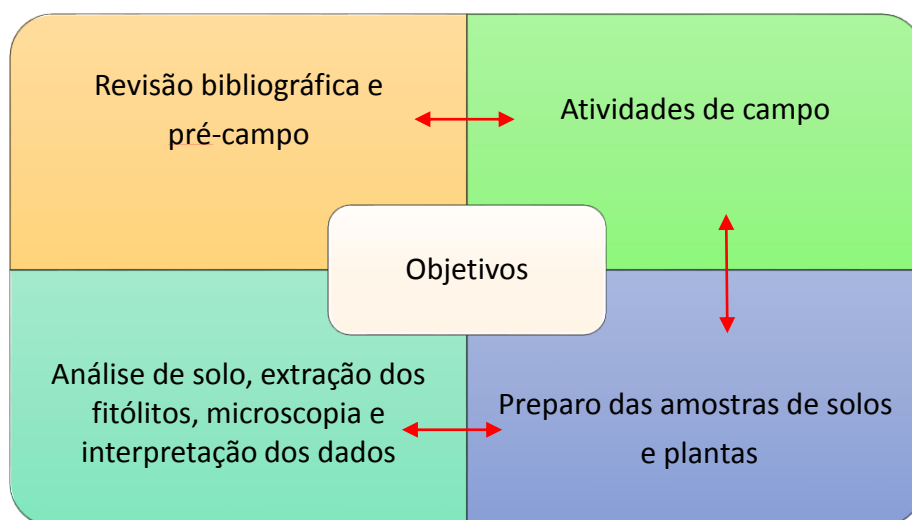


Figura 14 - Etapas da pesquisa

4.1. Revisão bibliográfica e elaboração das atividades de campo

Após estudo da bibliografia referente ao uso dos fitólitos em pesquisas de recomposição paleoambiental, foi realizada a análise da cartografia disponível da Ilha da Trindade. Analisando os mapas, disponíveis principalmente no acervo do IBGE e Marinha do Brasil, foram realizadas várias excursões para o reconhecimento da área e descrição preliminar da paisagem. Esse procedimento auxiliou na seleção dos locais ideais para as amostragens de solo (para a extração dos fitólitos e as análises físicas e químicas) e das plantas (assembleia moderna). Além do auxílio das observações *in situ* foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto, com imagens de satélite de alta resolução. Também foi de grande utilidade nessa etapa a compartimentação geoambiental preliminar apresentada por Clemente (2006), que sistematiza a diversidade de ambientes da ilha, com suas características geomorfológicas, edáficas e vegetacionais.

4.2. Atividades de campo

As atividades de campo foram realizadas em uma única campanha, no período compreendido entre 17 de junho e 14 de agosto de 2015, perfazendo um total de 6 dias embarcado em navio da Marinha do Brasil e 52 dias de permanência na Ilha da Trindade. Durante os trabalhos na ilha foram abertos e descritos 15 perfis de solo com profundidades variadas, sendo que as amostras de solo e sedimentos para extração dos fitólitos foram coletadas de acordo com Alexandre *et al.* (1997) e Coe (2009).

Nas imediações de cada um dos 15 perfis foram coletadas 05 amostras da camada mais superficial do solo. Posteriormente, essas amostras foram homogeneizadas e acondicionadas em sacos plásticos (~5 kg) para servirem de Assembleia Moderna de referência de fitólitos a fim de serem comparadas com os resultados das amostras das Assembleias Fósseis coletadas nos horizontes mais profundos.

Ainda com o objetivo de formarem-se Assembleias Fitolíticas Modernas de Referência, também foram coletadas amostras de espécies vegetais predominantes no entorno de cada perfil. Essas amostras foram devidamente identificadas, prensadas, secas e acondicionadas em sacos de papel.

Os parâmetros morfológicos de cada um dos 15 perfis foram descritos conforme o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (SANTOS *et al.*, 2015), sendo a cor do solo obtida por meio da caderneta de Münsell (MÜNSELL, 1994).

Também foram efetuadas descrições geológicas e da paisagem circundante de cada perfil, e com o auxílio de Gps (Garmin 60CSx) e trena a laser (Bosh – GLM 80) foi realizado o georreferenciamento dos perfis (Projeção UTM, fuso 26S, Datum WGS 84), com medições de altitude e declividade. Todas essas informações foram sistematizadas e se encontram a seguir (Tabela 03).

Tabela 3 – Descrição geral dos perfis de solo analisados na Ilha da Trindade (Imagens representativas dos perfis e vegetação no ANEXO I).

Perfil	Coord. (UTM 26S)	Altit. (m)	Decliv. (%)	Geologia <i>Almeida (1961)</i>	Hor.	Prof. (cm)	Cor (úmida)	Estrutura	Grau	Transição	Descrição do sítio
P01	0256816 7732043	28	8	Cone aluvial do Complexo de Trindade. Piroclastos diversos e blocos fonolíticos.	A	0-20	10 YR 2/1	Granular	Fraca	Pl. e gradual	Terraço Praia dos Cabritos - 200 metros da faixa de areia. Vegetação: <i>Cyperus atlanticus</i> e <i>Bulbostylis nesiotis</i> . Calhaus, matações e detritos rochosos cobrindo cerca de 30% da superfície. Afloramento rochoso à esquerda do perfil serve de local de nidificação para algumas aves. Camada superficial do solo bastante cascalhenta. A partir de 50cm de profundidade o solo começa a grudar na enxada indicando possível concentração de silte ou argilas. Erosão pronunciada com presença de ravinamento profundo dos dois lados do perfil.
					AC	20-60+	7YR 2,5/1	Granular	Fraca	—	
P02	0258470 7730374	85	10	Cones e aventais de talude do Complexo de Trindade. Fragmentos de blocos e matações fonolíticos.	A	0-20	7YR 3/1.	Granular	Mod.	Irreg. e clara	POIT - acima da casa da chefia na parte superior da média vertente. Vegetação: <i>C. atlanticus</i> exuberantes chegando a altura da cintura (1,30 m). Detritos rochosos de tamanhos variados (calhaus, matações, etc.) cobrindo cerca de 50% da superfície. Camada superficial cascalhenta e com bastante matéria orgânica. Presença de formigas e minhocas junto das raízes dos tufo de <i>C. atlanticus</i> . Perfil difícil de abrir devido à presença de detritos de rocha nos horizontes do solo.
					RC	20-70+	7YR 2,5/1	Granular	Fraca	—	
P03	0257311 7730346	512	21	Sequência Desejado. Piroclastos diversos.	O	0-20	7YR 2,5/1	Granular	Fraca	Irreg. e clara	Mata Nebular de <i>Cyathea delgadii</i> - face sudoeste do platô Desejado. Vegetação: <i>Cyathea delgadii</i> com cerca de 4 metros e raros <i>C. atlanticus</i> e <i>B. nesiotis</i> . Presença de diversas samambaias rasteiras. Superfície coberta por uma camada de serapilheira (20cm) sem presença de detritos de rocha. Presença de minhocas na camada superficial do solo.
					A	20-40	7YR 4/3	Bl. Ang. e sub.	Fraca	Irreg. e clara	
					Bi	40-85+	7YR 4/3	Bl. Ang. e sub.	Fraca	—	
P04	0259425 7729914	22	8	Cones e aventais de talude da Formação Morro Vermelho. Tufo e derrames de analcita-ankaratritos.	A	0-16	7YR 3/3	Granular	Fraca	Ond. e calra	Praia dos Andradas, abaixo de pico rochoso com detritos no sopé, cerca de 50m da faixa de areia. Vegetação: <i>C. atlanticus</i> cobrindo toda superfície. Blocos e detritos de rocha cobrindo cerca de 30% da superfície. Erosão laminar leve. Presença de ravinamento profundo próximo ao perfil.
					Bi	16-35	7,5 YR 3/2	Bl. Ang. e sub.	Fraca	Ond. e calra	
					C	35-55+	7,5YR 4/2	Bl. Ang. e sub.	Fraca	—	
P05	0257579 7730173	584	2	Sequência Desejado. Derrames e domos fonolíticos.	A	0-10	7YR 3/3	Granular	Fraca	Irreg. e clara	Pico Desejado. Presença de vegetação arbórea, cerca de 30%, com muitas epífitas (<i>Usnea laevis</i> ?) de cor creme-esverdeada penduradas nos galhos e trocos. Muitas samambaias rasteiras intercaladas com o <i>C. atlanticus</i> e <i>B. nesiotiis</i> . Presença de <i>C. delgadii</i> ainda pouco desenvolvidas. Presença pouco marcante de outras espécies rasteiras. Presença de matações dispersos. Solo passa a grudar na escavadeira após os 20cm de profundidade.
					C	10-25	7YR 3/2	Bl. Ang. e sub.	Mod.	Ond. e calra	
					CR	25-51+	7YR 4/6	Bl. Ang. e sub.	Mod.	—	
P06	0258865 7729537	65	13	Cone aluvial da Form. Morro vermelho. Tufo e derrames de analcita-ankaratritos c/ blocos fonolíticos do Complexo de Trindade.	A	0-17	7,5YR 2,5/1	Bl. Ang. e sub.	Fraca	Pl.a e gradual	Platô Praia do Príncipe. Terço médio da paisagem com grande ravinamento à esquerda do perfil (cerca de 20m de profundidade). Predomínio de <i>C. atlanticus</i> com pequena presença de <i>B. nesiotis</i> . Presença de uma “castanheira sete copas”, provavelmente plantada, à direita do perfil. Superfície cascalhenta coberta por cerca de 30% de blocos e matações.
					C1	17-35	7YR 3/3	Bl. Ang. e sub.	Fraca	Pl. e gradual	
					C2	35-60+	7YR 3/3	Bl. Ang. e sub.	Fraca	—	

Perfil	Coord. (UTM 26S)	Altit. (m)	Decliv. (%)	Geologia <i>Almeida (1961)</i>	Hor.	Prof. (cm)	Cor (úmida)	Estrutura	Grau	Transição	Descrição do sítio
P07	0257045 7729338	109	20	Complexo de Trindade. Piroclastos fonolíticos.	A	0-10	10YR 3/2	Granular	Fraca	Ond. e gradual	Média vertente Praia dos 5 Farrilhões. Predomínio de <i>C. atlanticus</i> com alguns <i>B. neciotis</i> e <i>Doryopteris campos-portoi</i> esparsos. Superfície 60% coberta por calhaos e matacões. Pico rochoso com bastantes pássaros nidificando acima do perfil. Muitos fungos de cor verde musgo nos blocos rochosos espalhados pela superfície. Muitos troncos mortos de <i>Colubrina glandulosa</i> de grande porte entre os blocos rochosos. Provavelmente carregados pelas enxurradas, pois não há solo suficiente nesse ambiente para sustentar árvores de grande porte. Perfil muito difícil de escavar devido à ocorrência de detritos de rochosos grosseiros nos horizontes. Presença de muitas baratas vermelhas pequenas embaixo dos tufo de <i>C. atlanticus</i> .
					AC	10-30	10YR 4/3	Granular	Fraca	Ond. e gradual	
					R	30-68+	10YR 3/3	Granular	Fraca	—	
P08	0257658 7729603	470	20	Formação Morro Vermelho. Tufos e derrames de analcita-ankaratritos.	A	0-15	7YR 3/4	Granular	Fraca	Pl. e gradual	Alto do Morro Vermelho. Perfil aberto na parte mais elevada a noroeste da cela formada pelo Morro Vermelho e Pico Grazinas. Vegetação predominante de <i>B. neciotis</i> , que parecem mais resistentes ao vento e à erosão eólica que o <i>C. atlanticus</i> . Indícios de intensa erosão eólica. Presença de samambaias rasteiras esparsas. Ambiente com muitas tocas de caranguejos (<i>Gecarcinus lagostoma</i>). Superfície não apresenta detritos rochosos. Presença de veio cascalhento na vertical a partir de 50cm de profundidade.
					BC	15-41	5YR 4/6	Bl. Ang. e sub.	Fraca	Ond. e gradual	
					C	41-80	5YR 3/4	Bl. Ang. e sub.	Fraca	Descontinua	
					CR	80-115+	5YR 4/3	Bl. Ang. e sub.	Fraca	—	
P09	0257849 7729598	472	12	Formação Morro Vermelho. Derrames de analcita-ankaratritos com sobreposição de rochas da Sequência Desejado.	A	0-10	7,5YR 3/4	Granular	Fraca	Pl. e gradual	Pico Grazina. Predomínio de <i>B. neciotis</i> com tufo de samambaias rasteiras e <i>C. atlanticus</i> dispersos. Ausência de detritos rochosos na superfície. Ocorrência de muitas tocas de caranguejos (<i>G. lagostoma</i>). Horizontes relativamente homogêneos com presença de veio cascalhento com bastante raízes finas a partir de 30cm de profundidade. Ocorrência de cascalheira a partir de 90cm impede continuação da perfuração do perfil. Ocorrência de formigueiro com minúsculas formigas.
					Bi	10-45	5YR 4/6	Bl. Ang. e sub.	Mod.	Pl. e gradual	
					C	45-90+	5YR 4/4	Bl. Ang. e sub.	Mod.	—	
P10	0256370 7731348	399	5	Sequência Desejado. Piroclastos diversos.	A	0-20	10YR 3/3	Granular	Fraca	Pl. e gradual	Platô noroeste. Predomínio de <i>C. atlanticus</i> e algumas samambaias rasteiras e <i>B. neciotis</i> esparsos. Presença de alguns pés de araquá (<i>Psidium cattleianum</i>), espécie típica do Cerrado. Há também bananeiras e um halo de <i>Guilandina banduc</i> . Superfície relativamente plana com muitas folhas em processo de decomposição. Sem ocorrência de blocos rochosos. Processo erosivo intenso nas bordas do platô sugerindo uma possível captura fluvial futura. Presença de minhocas e muitos caranguejos.
					Bi	20-40	7,5YR 3/4	Granular	Fraca	Pl. e gradual	
					Bi2	40-63+	7,5 YR 4/3	Bl. Ang. e sub.	Fraca	—	
P11		45	15		A	0-15	7YR 3/4	Granular	Fraca	Ond. e clara	

0258274 7730768	Cone aluvial do Complexo de Trindade. Piroclastos diversos e blocos fonolíticos.	AC	15-35	7YR 3/4	Granular	Fraca	Ond. e clara	Terraço Praia dos Portugueses (Prox. POIT). <i>C. atlanticus</i> cobrindo a superfície e alguns <i>B. neciotis</i> esparsos. Superfície pedregosa com cerca de 40% do terreno coberto por blocos e matações. Ocorrência de muitas tocas com caranguejos no local de abertura do perfil. Formação de pequena ravina coberta por <i>C. atlanticus</i> à direita do perfil. Contato litólico.
		CR	35-50	7YR 3/2	Bl. Ang. e sub.	Fraca	–	

Continua...

Perfil	Coord. (UTM 26S)	Altit. (m)	Decliv. (%)	Geologia <i>Almeida (1961)</i>	Hor.	Prof. (cm)	Cor (úmida)	Estrutura	Grau	Transição	Descrição do sítio
P12	0256597 7729880	89	17	Complexo de Trindade. Piroclastos fonolíticos.	A	0-15	5YR 3/4	Granular	Fraca	Irreg. e grad.	Média vertente Praia do Eme. Predomino de <i>C. atlanticus</i> e vários exemplares de <i>Doryopteris</i> , alguns secos e aparentemente mortos. Superfície muito pedregosa com cerca de 75% do terreno coberto por calhaus e matações. Curso-d'água perene com vazão significativa dos dois lados do perfil. Presença de vários atobás e ninhais de outras aves nos rochedos próximos ao perfil. Apesar disso, não foi possível constatar o odor peculiar de solos com características ornitogênicas citado por Sá (2010). Muitos troncos mortos de <i>C. glandulosa</i> nas partes mais declivosas da vertente.
					AC	15-30	5YR 3/4	Granular	Fraca	Irreg. e grad.	
					C	30-52+	2YR 3/4	Bl. Ang. e sub.	Fraca	–	
P13	0259456 7729351	29	5	Complexo de Trindade. Blocos fonolíticos e excrementos (guano) das aves.	A	0-40	5YR 3/4	Granular	Fraca	Plana e abrupta	Sopé do Pão de Açúcar, 200m da faixa de areia da Praia das Tartarugas. Superfície plana recoberta por <i>C. atlanticus exuberantes</i> (1 metro de altura) e poucos exemplares de <i>P. calomelanos</i> . Grandes halos de <i>G. banduc</i> no alto do “morro pelado”, à esquerda do perfil. Blocos e matações cobrindo cerca de 60% do terreno. Dunas de areias calcárias com ocorrência de fulgoritos à direita do perfil. Muitas aves nidificando nas fendas do Pão de Açúcar localizado logo acima do perfil. Samambaias rasteiras (<i>P. calomelanos</i>) entre os detritos rochosos ao pé do pão de açúcar. Camada considerável de <i>C. atlanticus</i> morta recobrando o solo. Horizontes bem definidos com ossos, provavelmente de aves, bem degradados a 45cm de profundidade. Não foi possível constatar o odor peculiar de solos com características ornitogênicas citado por Sá (2010).
					Bi	40-80	7YR 3/2	Bl. Ang. e sub.	Fraca	Plana e abrupta	
					C	80-110+	7,5 YR 4/3	Bl. Ang. e sub.	Fraca	–	
P14	0257418 7729836	469	7	Sequência Desejado. Piroclastos diversos.	A	0-30	5YR 4/6	Bl. Ang. e sub.	Mod.	Pl. e gradual	Platô Ponta Verde. Superfície recoberta com <i>B. neciotis</i> . Ocorrência de samambaias rasteiras com anverso das folhas branco-prateado à cerca de 200m do perfil. Presença de algumas samambaias gigantes (<i>C. delgadii</i>) ainda pouco desenvolvidas (50cm). Ocorrência de arbustos de uma espécie lenhosa espalhados pela paisagem. Cerca de 10% do terreno recoberto por afloramentos e matações recoberto por líquens verde-musgo. Camada com aproximadamente 7cm de espessura de material vegetal fibroso pouco decomposto recobrando a superfície do perfil.
					Bi	30-60	5YR 4/4	Bl. Ang. e sub.	Mod.	Pl. e gradual	
					Bc	60-90+	5YR 4/4	Bl. Ang. e sub.	Mod.	–	
P15	0255772 7731648	24	25		A	0-10	10YR 3/2	Granular	Fraca	Irregular	Praia do Noroeste. Perfil aberto na baixa vertente, a 50m da Praia do Noroeste, próximo ao Monumento. Predomínio de <i>C. atlanticus</i> e <i>B. neciotis</i>
					AC	10-30	10YR 3/2	Granular	Fraca	Irregular	

Complexo de Trindade.
Piroclastos e domos
fonolíticos.

C

30-73+

10YR 3/2

Granular

Frac

–

esparcos. Terreno coberto por cerca de 70% de blocos, matacões e outros detritos rochosos menores. Perfil extremamente pedregoso e difícil de perfurar devido à presença de muitos detritos de rocha inalterados nos seus horizontes. Horizontes difíceis de serem individualizados.

4.3. Preparo das amostras de solos e plantas

Essa etapa consistiu na preparação das amostras de solo para realização das suas análises físicas (textural) e químicas (rotina) e das plantas coletadas para extração dos fitólitos.

Essa etapa foi realizada no laboratório de geomorfologia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, onde todas as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em peneiras de 2 mm, obtendo-se a Terra Fina Seca ao Ar – TFSA (EMBRAPA, 1997).

Para realização das análises físicas e químicas dos solos foi retirada uma alíquota de 20 g de cada horizonte e enviada para o laboratório de solos Viçosa Ltda. Já para a extração dos fitólitos das espécies coletadas, frações das amostras vegetais secas foram enviadas para o Laboratório de Geomorfologia (LabGeo) e Laboratório de Microscopia Óptica e Morfologia (LAMOM) da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, por meio da Prof. Dra. Heloisa Coe.

4.4. Análise de solo e extração dos fitólitos

Essa etapa consistiu nos procedimentos laboratoriais de caracterização química e textural dos solos e na extração dos fitólitos contidos nos solos da ilha.

Para a análise textural desses solos foi realizada a desagregação física da TFSA por meio de agitação e dispersão química com o uso de NaOH concentrado, com posterior quantificação das frações texturais por peneiramento e pelo método da pipeta. Foram utilizadas 10 g de TFSA em 50 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹ em agitador vertical do tipo Wagner a 50 rpm durante 16 h. A suspensão foi transferida para proveta de 500 mL com o auxílio de peneira de 0,053 mm, a qual propiciou a separação das frações areia grossa e fina. Completou-se o volume da proveta com água deionizada e, por meio do método da pipeta, as frações silte e argila foram determinadas. A partir do peneiramento com malha de 0,210 mm a areia grossa pôde ser separada da areia fina, para que ambas fossem quantificadas (EMBRAPA, 1997 adaptado por RUIZ, 2005).

Na análise química, o pH do solo foi determinado em água e em KCl 1 mol L⁻¹ na relação solo:solução 1:2,5 pelo método potenciométrico. As extrações de fósforo disponível e potássio trocáveis foram feitas em HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹ (Mehlich-1), sendo o fósforo determinado por colorimetria e sódio e potássio por fotometria de chama. Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹, sendo o cálcio e o magnésio quantificados por espectrofotometria de absorção atômica e o alumínio por titulação com solução NaOH 0,025 mol L⁻¹. A acidez potencial (H⁺ + Al³⁺) foi extraída com Ca(C₂H₃O₂)₂ 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0 e titulado com NaOH 0,025 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 2011). Com os dados obtidos calculou-se a soma de bases (valor S), a capacidade de troca catiônica (CTC) e as saturações por bases (V %) e alumínio (m %). O fósforo remanescente (P-rem) foi obtido em amostra de TFSA com solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação 1:10 (ALVAREZ *et al.*, 2000). O carbono orgânico total foi determinado conforme Yeomans e Bremner (1988).

A realização dos procedimentos para extração dos fitólitos dos solos/sedimentos foi realizada no Laboratório de Geomorfologia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, adaptando-se os protocolos propostos por Kelly (1990), Coe (2009) e Lucena (2016). As etapas da extração são apresentadas a seguir e o protocolo completo encontra-se no Anexo II.

Após serem transferidas para cápsulas de cerâmica e completamente secas em estufa durante 24 horas (110°C), as amostras foram destorroadas e peneiradas em peneira de 2mm. Nessa etapa foram separadas alíquotas de 5g de solo já peneirado para o processo de extração dos fitólitos.



Figura 15 - Secagem e pesagem das amostras.

Em alguns dos perfis analisados foi necessário realizar a descarbonatação das amostras. Isso devido à evidência de materiais carbonáticos, principalmente nos ambientes mais próximos à faixa litorânea, onde há recente formação de sedimentos marinhos ricos em carbonatos biogênicos.

Para a descarbonatação foram utilizados beakers de 500 mL, nos quais foram adicionados 30 mL de Ácido Clorídrico diluído a 1N e 5 g da amostra. A mistura foi homogeneizada em agitador mecânico por 1 hora, e após a volatilização completa dos carbonatos foram acrescidos 5 mL de Cloreto de Cálcio CaCl_2 (floculante). Posteriormente as amostras foram transvasadas para falcons de 15 mL e centrifugadas por 5 minutos a 4000 rpm, sendo o sobrenadante extraído e os falcons completados com água destilada. Essa operação foi repetida até que se atingisse um pH entre 4 e 5.



Figura 16 - Agitação mecânica, centrifugação e aferição do pH das amostras.

Para acelerar a oxidação da matéria orgânica, principalmente nas assembleias de referência, tornando com isso as amostras mais claras, foi feita a adição de 40 mL de Hipoclorito de Sódio a 6%. Após a adição do reagente as amostras foram homogeneizadas em beckers de 500 mL, cobertas com vidro de relógio e deixadas em repouso por 72 horas (tempo máximo, após o qual pode ocorrer dissolução dos fitólitos). Findado esse período foi feita a lavagem das amostras completando-se os beckers com água deionizada quente, homogeneizando com bastão de vidro e deixando decantar por 2 horas. Decorrido esse tempo o sobrenadante foi descartado com cuidado e o processo foi repetido até a estabilização do pH entre 6 e 7.



Figura 17 - Branqueamento com Hipoclorito de Sódio.

Realizada a completa eliminação do Hipoclorito de Sódio, foram acrescentados 20 mL de Peróxido de Hidrogênio (35%) em 30 mL de amostra a 90°C. Na capela de exaustão essa mistura foi periodicamente homogeneizada com bastão de vidro e mantida em banho-maria entre 85°C e 90°C. Após a volatilização do reagente, à mistura foi novamente acrescentado 10 mL de Peróxido de Hidrogênio e observado se ainda haveria reação. Esse processo foi repetido até que não fosse mais possível observar nenhuma reação. Ao fim de cada dia, os beakers contendo as amostras foram completados com água deionizada e deixados para decantar durante a noite. No dia seguinte descartou-se o líquido sobrenadante, e os beakers foram novamente completados com água deionizada e deixados em repouso por mais 2 horas. Antes de passar para a fase de solubilização dos óxidos de ferro, o procedimento de lavagem das amostras contendo Peróxido de Hidrogênio foi repetido até obter-se pH próximo a 5.



Figura 18 - Oxidação da matéria orgânica na capela de exaustão.

Na fase de solubilização dos óxidos de ferro, acrescentou-se às amostras 40 mL de Citrato de Sódio ($C_6H_5Na_3O_7$), diluído a 88,4g/l, as quais foram aquecidas em banho-maria até atingirem 80°C. Às amostras já aquecidas foram acrescentadas 4g de Ditionito de Sódio ($Na_2S_2O_4$), divididas em alíquotas de 1g, aplicadas a cada 5 minutos. Com o intuito de facilitar separação dos agregados ferruginosos, as amostras foram submetidas ao banho de ultrassom por 5 minutos a uma frequência de 80 KHz. Ao fim do processo, os beakers de 500 mL contendo as amostras foram completados com água deionizada e deixadas em repouso por 2 horas para sedimentar. Decorrido o tempo para decantação, o sobrenadante foi dispensado e o processo de solubilização dos óxidos de ferro foi repetido. Atingida a coloração acinzentada, as amostras foram lavadas com água deionizada até o pH estabilizar-se próximo a 5.

Em amostras de ambientes sabidamente com elevado grau de óxidos de ferro foi necessário utilizar ataques com ácido clorídrico (HCl) a 32%, sendo as amostras colocadas em chapa aquecedora a 50°C (beakers de 500 mL) durante 1 hora com uma quantidade de HCl suficiente para cobri-las. A mistura foi agitada com bastão de vidro a cada 15 minutos e posteriormente centrifugada durante 5 minutos a 5000 rpm com água destilada. Enquanto as amostras não apresentaram coloração acinzentada, o processo foi repetido.



Figura 19 - Solubilização dos óxidos de ferro com auxílio de ultrassom.

Na fase de remoção da fração das argilas foram acrescentadas 18g de Hexametáfosfato de Sódio (NaPO_3) e uma quantidade de água deionizada quente, suficiente para completar cada Becker de 500 mL. Após a homogeneização das amostras com bastão de vidro, a solução foi deixada em repouso por 2 horas para decantar. Ao fim desse período o líquido sobrenadante foi cuidadosamente dispensado, completando-se os beckers novamente com água deionizada quente. O processo foi repetido até obter-se um líquido translúcido, quando então foi acrescentado 9g de EDTA - Ácido etilenodiamino tetra-acético ($\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$). O processo de decantação por 2 horas foi repetido até o líquido apresentar a coloração translúcida, finalizando assim essa etapa.



Figura 20 - Dispersão das argilas com Hexametáfosfato de Sódio e Ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA).

A etapa seguinte consistiu na separação granulométrica da fração silte em peneira de 250 μm . O transvasamento das amostras pela peneira foi feito com auxílio de um Becker de 1 litro e uma pisseta com água deionizada quente. Após o peneiramento, a fração silte-areia fina foi despejada novamente nos beckers de 500 mL e deixada para decantar por uma noite. No dia seguinte, pipetou-se o sobrenadante e os sedimentos foram secos em estufa a 80°C. A fração retida na peneira foi reservada para verificações futuras.



Figura 21 - Separação granulométrica da fração silte.

A última etapa laboratorial foi a fase de separação densimétrica, na qual se isola os fitólitos de outros minerais do solo por meio da solução de SPT – Politungstato de Sódio ($3\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 9\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) – 680g de SPT dissolvidos em 300 mL de água deionizada.

A solução (*Heavy liquid*) é preparada para atingir uma densidade de 2,35 g/mL, pois sabe-se que os fitólitos têm uma densidade máxima de 2,3 g/mL, inferior à de outros minerais. Assim, acrescentando a solução de SPT à amostra, submetendo-a ao banho de ultrassom, agitando-a no *Vortex* e levando-a à centrífuga, os fitólitos sobrenadam, enquanto os outros minerais, geralmente mais pesados, ficam no fundo do tubo de centrifugação, permitindo, dessa forma, sua separação.



Figura 22 - Preparo e calibração do heavy liquid com densímetro de massa específica 1,000/2,000 g/mL previamente calibrado para 2,3 g/mL.

A fração sobrenadante contendo os fitólitos foi transferida para novos tubos e esses foram centrifugados novamente com *heavy liquid* por mais duas vezes para eliminar qualquer tipo de impureza. Após essa etapa, foi feita nova bateria de centrifugação, porém acrescentando-se água destilada para diluir o SPT, permitindo assim que os fitólitos fossem depositados no fundo. Esse processo foi repetido por 3 vezes, sendo a última etapa feita com álcool isopropílico para agilizar o processo de secagem.

Os tubos previamente pesados permaneceram em estufa a 70°C até evaporar toda umidade. Depois de secos, os tubos contendo as amostras foram novamente pesados para a quantificação da porcentagem de fitólitos.



Figura 23 - Separação densimétrica dos fitólitos com *heavy liquid*.

4.5. Confeção das lâminas

Nessa etapa foram montados dois tipos de lâminas. Um deles foi preparado com glicerina e tinha caráter provisório, para as observações preliminares. Nesse caso, a possibilidade de tocar nas lâminas para girar as partículas permitiu a observação de todos os ângulos dos fitólitos nela contidos. A desvantagem é que essas lâminas não se conservam por muito tempo e, como os fitólitos podem se mover, sua contagem pode ser prejudicada.

O outro tipo de lâmina confeccionada foi a permanente, que facilita o transporte, a contagem e o arquivamento. Nesse caso utilizou-se o *Entellan*, mas também é comum utilizar o *Balsamo do Canadá*. A desvantagem neste caso é que os fitólitos ficam estáticos, fazendo com que, em ângulos desfavoráveis, seja difícil a identificação de alguns morfotipos.

A quantidade de amostra em cada lâmina deve permitir a classificação de pelo menos 200 fitólitos, mas é preciso cautela com eventuais excessos, pois a sobreposição de material nas lâminas prejudica a contagem, diminuindo a confiabilidade das interpretações.

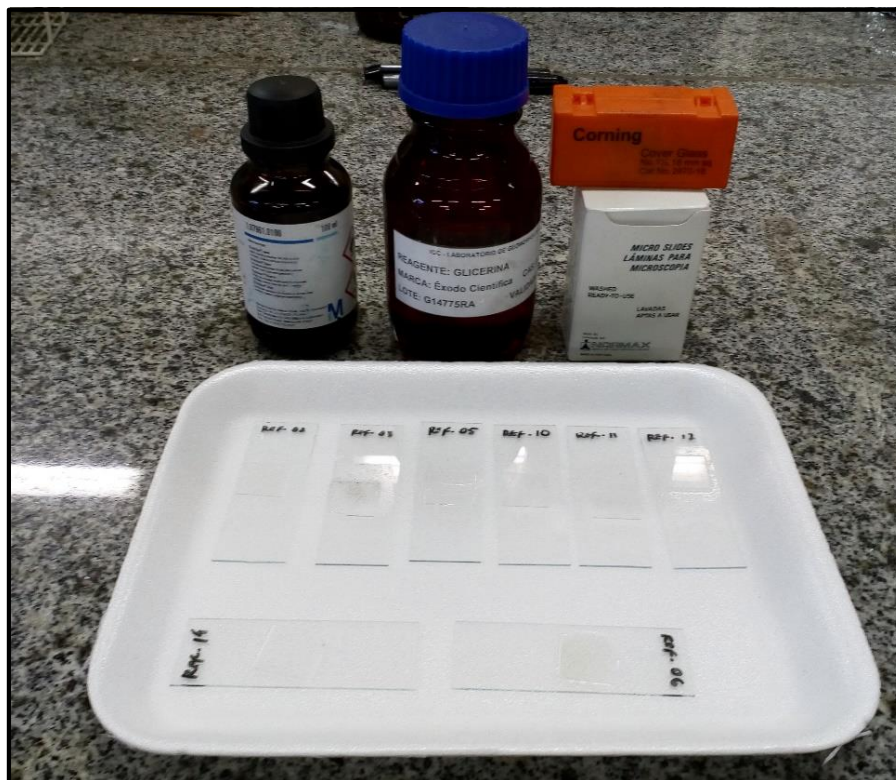


Figura 24 - Lâminas provisórias preparadas com glicerina.

4.6. Microscopia ótica e contagem dos fitólitos

A contagem e classificação dos fitólitos foi realizada no Laboratório de Geoquímica Ambiental – UFMG, em microscópio petrógrafo, modelo Leica[®] DMLP, com magnificação de 500x. As pranchas com as imagens contendo os principais morfotipos encontrados foram capturadas com auxílio de uma câmera digital Sony[®] acoplada ao microscópio. A calibração e inclusão das escalas em micrometros (μm) nessas imagens foi realizada por meio do software *Fiji/ImageJ*.

A identificação dos morfotipos seguiu orientada pela nomenclatura ICPN 1.0 (*International Code for Phytolith Nomenclature*), sugerida por Madella *et al.* (2005).

Em cada lâmina foram escolhidos ao acaso 3 transectos na horizontal, e nessas linhas foram efetuadas a contagem de todos os fitólitos, tanto aqueles classificáveis (*classified phytoliths*), quanto os sem significação taxonômica devido ao grau de alteração (*unclassified phytoliths*). Partículas como microcarvões, matéria orgânica, espículas de esponja, diatomáceas, óxidos de ferro e outras impurezas também foram consideradas

na contagem geral e classificadas como outras. Para a identificação dessas partículas, as lâminas foram submetidas ao polarizador do microscópio. Com esse recurso, a maioria das partículas que não são formadas por processos de biomineralização se destacam com um brilho intenso na lâmina, facilitando sua identificação.

Para a estimativa da frequência relativa de cada morfotipo, foi utilizado um campo amostral mínimo de 200 fitólitos, contados em lâminas permanentes confeccionadas com *Entellan*.

Uma contagem mais refinada foi realizada posteriormente, e as classes de fitólitos que apresentam menos de 0,5% da amostra foram reagrupadas. As classes consideradas sem utilidade taxinômica foram eliminadas.

Para o cálculo dos Índices Fitolíticos foram usados apenas os morfotipos que representaram mais de 5% dos fitólitos contados.

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Principais ambientes e solos da Ilha da Trindade

Por meio dos dados gerados durante as atividades de campo (sistematização na Tabela 03) foi possível elaborar o Mapa de Ambientes da Ilha da Trindade, no qual todos os perfis analisados foram devidamente plotados (Figura 25).

Para a confecção do mapa contou-se com auxílio de sensoriamento remoto, utilizando-se das ferramentas do *software ArcGis 10.1*, e para o refinamento dos resultados foram utilizadas informações adicionais obtidas em cartas náuticas e topográficas fornecidas pelo Posto Oceanográfico da Ilha da Trindade – POIT. Também foram utilizadas imagens de satélite de alta resolução, além de consideradas informações contidas nos trabalhos realizados por Alves (1998), Clemente (2006) e Sá (2010). Os resultados das análises físicas e químicas de cada um dos 15 perfis de solo analisados estão dispostos, respectivamente, nas Tabelas 04 e 05.

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS DE SOLO NOS GEOAMBIENTES DA ILHA DA TRINDADE

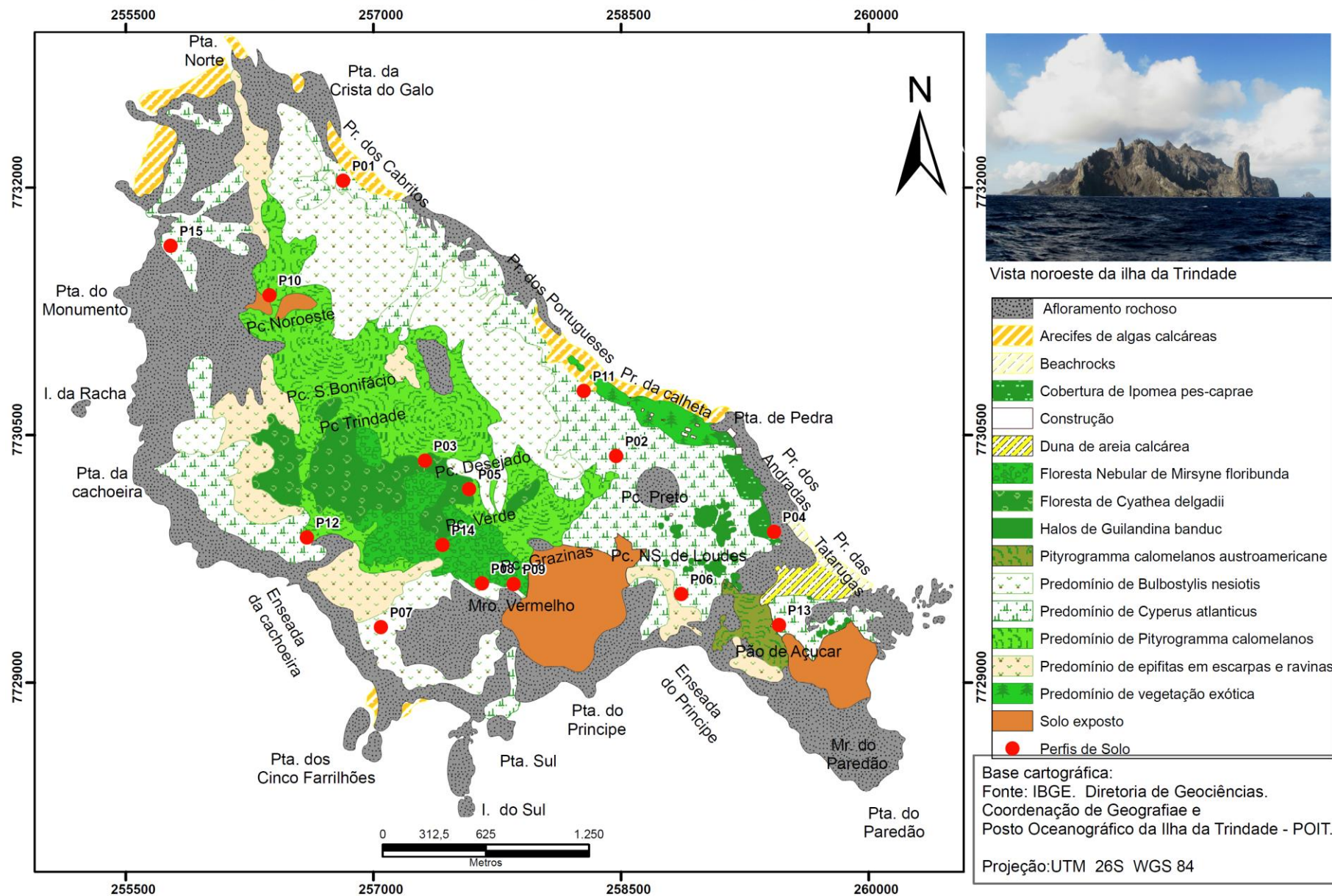


Figura 25 - Mapa de localização dos perfis nos principais Ambientes da Ilha da Trindade

Do ponto de vista da atual cobertura vegetal da Ilha da Trindade, a paisagem é composta principalmente por *Cyperus atlanticus*, *Bulbostylis nesiotes*, *Pityrogramma calomelanos*, *Myrsine floribunda* e *Cyathea delgadii*. De maneira geral, a vegetação encontra-se bastante degradada, o que reflete a própria degradação de seus solos.

Alguns desses solos, localizados majoritariamente sobre a Formação Morro Vermelho (P04, P06, P08 e P09), encontram-se atualmente decapados devido à intensificação da erosão, com ravinamento atuante. Derivados de materiais basálticos, esses solos têm menor resistência à erosão, se comparados aos materiais mais fonolíticos das formações Desejado e Trindade (SÁ, 2010).

Os resultados físicos e químicos indicam pouca variabilidade em termos de classes, mas grandes diferenças em relação a seus atributos, o que faz com que tais solos possuam grande especificidade se comparados aos solos da porção continental do território brasileiro.

Em conformidade com o que foi apresentado por Clemente *et al* (2009) e Sá (2010), foram reconhecidas na Ilha da Trindade as classes dos Neossolos, Nitossolos, Cambissolos e Organossolos. Os Neossolos ocorrendo principalmente nos sopés das vertentes, sob condições climáticas mais secas e com expressiva contribuição de material coluvial. Em termos de vegetação, esses solos estão associados principalmente ao *Cyperus atlanticus*, que apresenta maior exuberância onde há maiores índices de P e K. Os Cambissolos, localizados nas partes mais altas e/ou associados a necks fonolíticos, são recobertos majoritariamente por *Bulbostylis nesiotes* e *Ptyrogramma calomelanos*. Já os Organossolos estão associados às partes mais altas e úmidas, principalmente nas vertentes da face Oeste da ilha, onde se encontram as comunidades de *Cyathea delgadii* (Figura 26).

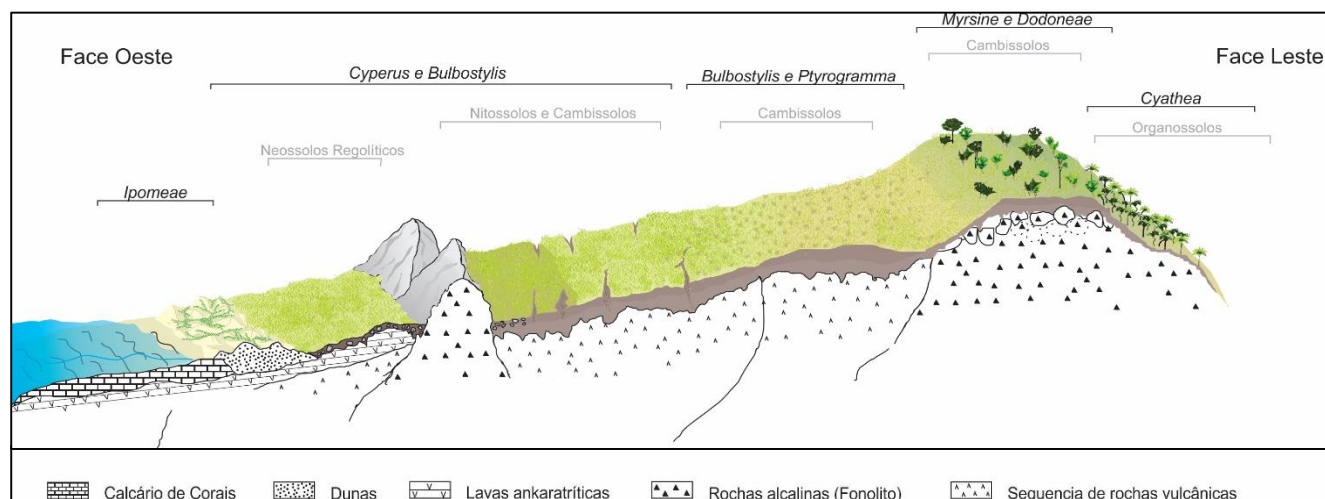


Figura 26 - Perfil esquemático da Ilha da Trindade. Adaptado de Clemente (2006). Ilustração: Henrique Machado.

Tanto a diversidade quanto a especificidade fazem com que tais solos sejam representativos dos distintos pedoambientes da ilha e, conforme destacado por Clemente *et al.* (2009), refletem, tanto em termos taxonômicos quanto de suas propriedades físicas e químicas, a influência direta dos materiais de origem e da topografia.

A especificidade dos solos também é influenciada pela atividade da avifauna, que contribui com

significativo aporte de nutrientes por meio de depósitos fecais (guano), cascas de ovos, penas, ossos e outros dejetos nas áreas de nidificação, localizadas nos principais afloramentos rochosos da ilha. Os solos dessas regiões específicas são classificados como Ornitogênicos (SCHAEFER *et al.*, 2004) e possuem matiz avermelhada mais escura (2,5YR a 5YR), além de odor amoníaco característico. A vegetação, principalmente o *Cyperus atlanticus*, é um bom bioindicador de ornitogênese, pois apresenta-se mais vigorosa nos ambientes onde esses solos são encontrados.

Em relação aos atributos físicos (Tabela 04), as texturas médias foram predominantes em todos os perfis analisados, com a textura franco-argilo-arenosa prevalecendo nos ambientes de maior altitude e menor declividade (P03, P05, P09 e P14). Já a fração mais arenosa ficou restrita às regiões de média e baixa vertente, o que pode ser atribuído ao caráter deposicional desses ambientes que sofrem relativo rejuvenescimento em função da deposição de materiais carreados das áreas de maior altitude.

A fração silte apresentou valores consideráveis em todos os perfis, corroborando com Resende (1985), que afirma que solos mais siltosos tendem a ser mais jovens e susceptíveis à erosão. Partindo desse pressuposto, é comum nesses solos a presença de sulcos erosivos e ravinas, como ocorre em quase todos ambientes da ilha. Além da presença marcante dessas cicatrizes erosivas na paisagem, grande parte da superfície da ilha encontra-se atualmente recoberta de detritos rochosos de granulometria grosseira formada por cascalhos, calhaus e matacões.

A relação silte/argila confirma o caráter intermediário de desenvolvimento dos solos da ilha, pois é utilizada na SBCS (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo) como critério para se inferir o grau de intemperismo de solos, visto que solos mais intemperizados e com uma pedogênese mais avançada possuem baixos valores dessa relação, uma vez que a fração silte é progressivamente transformada em fração argila ao longo do intemperismo químico e físico. Nos perfis analisados foram encontrados valores relativamente altos dessa relação, exceto nos perfis P05 e P14, localizados em platôs mais estáveis na paisagem. Essas duas exceções apresentaram relação silte/argila < 1,0, o que permite melhor retenção de água no solo e o desenvolvimento de vegetação arbórea (*Cyathea delgadii* e *Myrsine floribunda*), que, por sua vez, acelera o processo de interações físicas e bioquímicas com o substrato mineral, dando maior estabilidade e profundidade aos solos.

Considerando as classes de solos, os Neossolos possuem cores brunadas, textura franco-argilo-arenosa a franco-arenosa e rochosidade elevada em quase todos os perfis, à exceção daqueles formados por sedimentos bioclásticos em dunas de sedimentos carbonáticos.

Apenas alguns Neossolos abordados neste estudo possuem sequência de horizontes com profundidade suficiente para sua classificação como Regolítico. Os demais foram classificados como Litólicos, nos quais há o contato de um horizonte orgânico superficial direto com a rocha ou saprolito pouco espesso, muitas vezes de maneira fragmentária.

Os Cambissolos, por sua vez, também possuem cores brunadas, com texturas variando de franco-argilo-arenosa a franco-arenosa. Apenas um horizonte (A de P14) apresentou textura argilosa. Os Organossolos apresentam horizonte fibroso, sobrejacente a horizonte saprolítico de rochas fonolíticas ou andesito sódico. A

elevada retenção de água, associada à sua mineralogia (CLEMENTE, 2006), sugere a presença de materiais amorfos.

Tabela 4 - Características físicas dos solos amostrados na Ilha da Trindade.

Perfil	Horiz.	Prof. (cm)	< 2mm				Silte/ Argila	Classe Textural
			Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila		
P01 – Neossolo Litólico Eutrófico típico ornitogênico, A Moderado	A	0-20	310	130	340	220	1,55	Franco
	AC	20-60+	230	230	270	270	1,00	Franco-argilo-arenosa
P02 – Neossolo Litólico Distrófico fragmentário, A Moderado	A	0-20	190	340	290	180	1,61	Franco-arenosa
	RC	20-70+	180	400	290	130	2,23	Franco-arenosa
P03 – Organossolo Fólico Fíbrico típico, O hístico	O	0-20	170	320	290	230	1,26	Franco-argilo-arenosa
	A	20-40	240	340	210	210	1,00	Franco-argilo-arenosa
	Bi	40-85+	290	310	140	260	0,54	Franco-argilo-arenosa
P04 – Neossolo Regolítico Eutrófico léptico, A Moderado	A	0-16	190	280	350	180	1,94	Franco-arenosa
	Bi	16-35	180	240	330	250	1,32	Franco
	C	35-55+	220	210	300	270	1,11	Franco-argilo-arenosa
P05 – Cambissolo Háplico Ta Distrófico léptico, A Moderado	A	0-10	240	340	200	220	0,91	Franco-argilo-arenosa
	C	10-25	140	390	180	290	0,62	Franco-argilo-arenosa
	CR	25-51+	190	330	210	270	0,78	Franco-argilo-arenosa
P06 – Neossolo Regolítico Eutrófico típico, A Moderado	A	0-17	160	350	350	140	2,50	Franco-arenosa
	C1	17-35	190	220	350	240	1,46	Franco
	C2	35-60+	260	250	270	220	1,23	Franco-argilo-arenosa
P07 – Neossolo Litólico Distrófico típico ornitogênico, A Moderado	A	0-10	470	220	190	120	1,58	Franco-arenosa
	AC	10-30	300	100	330	180	1,83	Franco
	R	30-68+	320	50	300	330	0,91	Franco-arenosa
P08 – Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico ornitogênico , A Moderado	A	0-15	510	200	160	130	1,23	Franco-arenosa
	Bi	15-41	460	190	210	140	1,50	Franco-arenosa
	C	41-80	340	200	300	160	1,88	Franco-arenosa
	CR	80-115+	280	270	290	160	1,81	Franco-arenosa
P09 – Cambissolo Háplico Alítico léptico, ornitogênico , A Moderado	A	0-10	260	380	140	220	0,64	Franco-argilo-arenosa
	Bi	10-45	290	300	140	270	0,52	Franco-argilo-arenosa
	C	45-90+	460	240	210	90	2,33	Franco-arenosa
P10 – Cambissolo Háplico Alítico típico ornitogênico, A moderado	A	0-20	300	190	340	170	2,00	Franco-arenosa
	Bi	20-40	620	180	110	90	1,22	Franco-arenosa
	Bi2	40-63+	450	330	140	80	1,75	Franco-arenosa
P11 – Neossolo Litólico Eutrófico típico ornitogênico, A Moderado	A	0-15	140	400	300	160	1,88	Franco-arenosa
	AC	15-35	460	180	180	180	1,00	Franco-arenosa
	C	35-50+	290	220	300	190	1,58	Franco-arenosa
P12 – Neossolo Litólico Distrófico típico , A Moderado	A	0-15	80	360	320	240	1,33	Franco
	AC	15-30	90	430	300	180	1,67	Franco-arenosa
	C	30-52+	100	380	390	130	3,00	Franco-arenosa

P13 – Cambissolo Háplico Eutrófico léptico, A Moderado (ornitogênico?)	A	0-40	150	340	330	180	1,83	Franco-arenosa
	Bi	40-80	120	440	300	140	2,14	Franco-arenosa
	C	80-110+	160	380	290	170	1,71	Franco-arenosa
P14 – Cambissolo Háplico Ta Distrófico léptico, A Moderado	A	0-30	280	140	100	480	0,21	Argila
	Bi	30-60	290	230	120	360	0,33	Franco-argilo-arenosa
	Bc	60-90	290	250	200	260	0,77	Franco-argilo-arenosa
P15 – Neossolo Litólico Distrófico típico, A Moderado	A	0-10	240	360	220	180	1,22	Franco-arenosa
	AC	10-30	370	220	200	210	0,95	Franco-argilo-arenosa
	C	30-73+	490	210	160	140	1,14	Franco-arenosa

Apesar dos relatos de baixa atividade biológica nos solos da ilha (BARTH, 1958 E CLEMENTE *et al.*, 2009), em alguns perfis foi possível constatar a presença recorrente de minhocas (P02, P03, P06, P07 e P10) e pequenas formigas (P02, P09 e P15).

Sobre a bioturbação do solo, torna-se relevante a atividade dos caranguejos (*Gecarcinus lagostoma*), que podem ser encontrados em quantidade considerável por todos os ambientes da ilha. Suas tocas atingem mais de um metro de profundidade (P08 e P11), revolvendo grande quantidade de material pedológico. Além da aeração do solo pelo constante revolvimento, há também, por parte dos caranguejos, a translocação de material, ou seja, o transporte das partículas da base para o topo do perfil de solo e vice-versa, afora a incorporação de matéria orgânica por meio da eliminação e incorporação de pelotas fecais estáveis no solo. A presença desse material incorporado ao solo foi constatada em análises microestruturais realizadas por Clemente (2006).

A matéria orgânica produzida na ilha, mesmo sob condições quentes e úmidas, típica de climas tropicais, tende a acumular-se na superfície, o que se atribui à baixa decomposição associada à escassez de organismos decompositores. Entretanto, a própria constituição vegetal de algumas espécies parece dificultar sua degradação, formando uma cobertura fibrosa sobre o solo e condicionando o surgimento atípico de um horizonte hístico relativamente espesso em relevo escarpado. Tal fenômeno pode estar relacionado a características alelopáticas de algumas espécies que ocorrem nas regiões de microclima Nebular (P03), restritos às altas encostas e aos vales estreitos abaixo do planalto axial (do Desejado e Trindade), voltados para sul-sudoeste da ilha, onde predominam Florestas de *Cyathea delgadii* e *Myrsine floribunda* com sub-bosque de samambaias rasteiras variadas. Há nesses ambientes, devido à altitude e ao sombreamento ocasionado pela orientação geográfica das vertentes, condições de umidade e temperatura suficientes para formação de horizontes hísticos. Tais condições atípicas conferem um caráter de exclusividade a esses solos, que são considerados restritos e endêmicos da Ilha da Trindade (SÁ, 2010 e CLEMENTE *et al.*, 2009).

As análises químicas dos solos de Trindade (Tabela 05) revelaram que os índices pH em água variam de muito ácidos a alcalinos (3,7 a 8,0). Os perfis com maior acidez (P02, P03 e P05) encontram-se em regiões com vegetação relativamente densa, onde há maior acúmulo de matéria orgânica com liberação de ácidos fúlvicos e mineralização de compostos orgânicos como o Nitrogênio e o Enxofre. Outro fator que contribui com acidificação dos solos nos perfis citados são os teores consideráveis de alumínio. Observa-se que a ocorrência de solos mais

ácidos está, geralmente, associada a rochas fonolíticas e a maiores altitudes, em que não houve contribuição de sedimentos de origem basáltica, já que a mistura de materiais é comum nos solos de Trindade.

Os solos mais alcalinos (P04 e P13) encontram-se em ambientes de baixa altitude e mais próximos à faixa litorânea, onde há recente formação de sedimentos marinhos ricos em carbonatos biogênicos. Os teores de nutrientes nesses locais são altos, sendo classificados como eutróficos, assim como os teores do P, que sugere tanto fonte inorgânica pela presença de minerais fosfatos geogênicos quanto fonte derivada da atividade ornitogênica, a partir da interferência de ninhais pretéritos ou atuais na Ilha (SÁ, 2010).

Nas análises realizadas neste estudo, alguns perfis apresentaram valores de saturação por base (V%) muito baixa (P03, P05, P09), ainda que originados de rochas de composição básica, como P09.

Tabela 5 - Características químicas dos solos amostrados na ilha da Trindade

Perfil	Hor.	Prof.	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC(t)	CTC(T)	V	m	MO
		(cm)	(H ₂ O)	mg/dm ³		cmol _c /dm ³							(%)		dag/kg
01 – Neossolo Litólico Eutrófico típico ornitogênico, A Moderado	A	0-20	7,1	201,2	580,0	14,1	9,2	0,0	3,00	24,80	24,80	27,80	89	0	2,18
	AC	20-60	7,8	195,7	750,0	16,6	7,2	0,0	2,00	25,70	25,70	27,70	93	0	1,45
02 – Neossolo Litólico Distrófico fragmentário, A Moderado	A	0-20	4,8	185,3	270,0	3,3	1,5	2,2	31,70	5,50	7,70	37,20	15	29	10,98
	RC	20-70	4,8	185,3	260,0	2,2	0,8	2,3	32,80	3,70	6,00	36,50	10	39	9,92
03 – Organossolo Fólico Fíbrico típico, O hístico	O	0-20	3,7	195,7	58,0	0,3	0,2	4,5	24,60	0,70	5,20	25,30	3	87	10,98
	A	20-40	4,1	190,4	17,0	0,2	0,0	3,5	29,50	0,20	3,70	29,70	1	94	4,82
	Bi	40-85+	4,4	185,3	25,0	0,1	0,0	4,2	24,90	0,20	4,40	25,10	1	96	3,22
04 – Neossolo Regolítico Eutrófico léptico, A Moderado	A	0-16	7,2	185,3	440,0	16,2	8,9	0,0	1,80	26,20	26,20	28,00	94	0	4,12
	Bi	16-35	8,1	190,4	410,0	16,9	6,5	0,0	1,00	24,50	24,50	25,50	96	0	4,12
	C	35-55+	8,0	206,9	360,0	18,4	5,3	0,0	1,00	24,60	24,60	25,60	96	0	1,97
05 – Cambissolo Háptico Ta Distrófico léptico, A Moderado	A	0-10	4,0	125,7	86,0	1,8	0,6	4,3	32,00	2,60	6,90	34,60	8	62	7,89
	Bi	10-25	3,8	122,1	70,0	0,9	0,1	4,7	29,70	1,20	5,90	30,90	4	80	1,86
	BC	25-51+	4,7	118,7	75,0	1,3	0,1	3,3	25,70	1,60	4,90	27,30	6	67	5,58
06 – Neossolo Regolítico Eutrófico típico, A Moderado	A	0-17	6,7	190,4	500,0	15,9	10,3	0,0	4,30	27,50	27,50	31,80	86	0	3,10
	C1	17-35	7,4	212,8	450,0	15,0	8,5	0,0	2,80	24,70	24,70	27,50	90	0	2,29
	C2	35-60+	7,6	195,7	530,0	14,8	9,4	0,0	3,10	25,60	25,60	28,70	89	0	1,65
07 – Neossolo Litólico Eutrófico típico ornitogênico, A Moderado	A	0-10	5,9	185,3	520,0	18,1	7,7	0,0	13,90	27,10	27,10	41,00	66	0	4,26
	AC	10-30	6,5	195,7	550,0	16,5	8,6	0,0	8,60	26,50	26,50	35,10	76	0	4,12
	R	30-68	6,4	195,7	520,0	16,8	8,2	0,0	10,40	26,30	26,30	36,70	72	0	2,29
08 – Cambissolo Háptico Ta Distrófico típico, A Moderado	A	0-15	5,8	4,2	470,0	1,3	4,0	0,0	7,90	6,50	6,50	14,40	45	0	2,63
	Bi	15-41	6,0	4,6	550,0	0,9	1,8	0,0	7,80	4,10	4,10	11,90	35	0	3,35
	C	41-80	6,0	6,6	280,0	0,9	3,7	0,0	6,90	5,30	5,30	12,20	44	0	2,29
	CR	80-115+	6,0	8,4	55,0	1,0	4,7	0,0	6,80	5,80	5,80	12,60	46	0	5,27
09 – Cambissolo Háptico Alítico léptico, A Moderado	A	0-10	6,2	4,2	290,0	4,4	5,5	0,0	7,30	10,60	10,60	17,90	59	0	2,63
	Bi	10-45	5,1	2,9	188,0	1,2	1,6	0,6	9,20	3,30	3,90	12,50	26	15	2,18

C 45-90+ 4,9 4,0 55,0 1,6 2,0 1,2 11,60 3,70 4,90 15,30 24 24 2,63

Continua...

Perfil	Hor.	Prof.	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC(t)	CTC(T)	V	m	MO
		(cm)	(H ₂ O)	mg/dm ³		cmol _c /dm ³							(%)		dag/kg
10 – Cambissolo Háplico Alítico típico, A moderado	A	0-20	4,8	180,3	108,0	9,4	6,2	4,8	27,70	15,90	20,70	43,60	36	23	6,40
	Bi	20-40	5,6	201,2	15,0	12,1	5,4	3,2	23,60	17,50	20,70	41,10	43	15	1,25
	Bi2	40-63+	5,7	185,3	34,0	12,1	4,5	1,5	20,10	16,70	18,20	36,80	45	8	2,40
11 – Neossolo Litólico Distrófico típico, A Moderado	A	0-15	5,5	185,3	410,0	4,5	4,3	0,9	18,20	9,90	10,80	28,10	35	8	4,12
	AC	15-35	5,3	190,4	220,0	3,7	2,5	1,9	24,90	6,80	8,70	31,70	21	22	2,29
	C	35-50	5,0	190,4	166,0	2,9	2,3	2,6	29,50	5,60	8,20	35,10	16	32	3,60
12 – Neossolo Litólico Distrófico típico, A Moderado	A	0-15	5,3	166,1	510,0	6,7	5,6	3,0	20,30	13,60	16,60	33,90	40	18	4,12
	AC	15-30	5,0	185,3	220,0	3,3	2,7	6,2	28,20	6,60	12,80	34,80	19	49	1,45
	C	30-52+	4,8	201,2	118,0	2,7	2,4	8,2	32,70	5,40	13,60	38,10	14	60	1,25
13 – Cambissolo Háplico Eutrófico léptico ornitogênico, A Moderado	A	0-40	7,1	90,1	710,0	15,5	5,9	0,0	3,80	23,20	23,20	27,00	86	0	2,52
	B	40-80	7,5	185,3	610,0	16,9	6,9	0,0	5,30	25,40	25,40	30,70	83	0	1,25
	C	80-110+	8,0	185,3	740,0	22,4	8,1	0,0	3,10	32,40	32,40	35,50	91	0	1,25
14 – Cambissolo Háplico Ta Distrófico léptico, A Moderado	A	0-30	5,1	96,0	40,0	1,2	0,8	1,7	30,70	2,10	3,80	32,80	6	45	6,06
	Bi	30-60	4,8	115,2	9,0	0,1	0,1	1,0	16,30	0,20	1,20	16,50	1	82	2,98
	Bc	60-90+	5,1	105,4	10,0	0,4	0,2	1,5	24,80	0,60	2,10	25,40	2	70	2,86
15 – Neossolo Litólico Eutrófico típico ornitogênico, A Moderado	A	0-10	6,4	195,7	1150,0	25,4	11,8	0,0	3,10	40,10	40,10	43,20	93	0	5,42
	AC	10-30	6,7	190,4	1140,0	27,3	12,2	0,0	2,30	42,40	42,40	44,70	95	0	5,27
	C	30-73+	7,5	190,4	1050,0	23,9	10,9	0,0	1,20	37,50	37,50	38,70	97	0	5,12

pH em água - Relação 1:2,5

P - K - Extrator Mehlich 1

Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L

H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0 SB =
Soma de Bases Trocáveis

CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

V = Índice de saturação de Bases

m = Índice de saturação de Alumínio

MO. (Mat. Org.) - Oxidação: $N_2 + C_{2r} + O_{7\ 4} + N + H_2 + S + O_{4\ 10} + N$

5.2. Análise fitolítica

A análise fitolítica consiste na comparação entre os conjuntos de fitólitos extraídos dos solos/sedimentos e as coleções de referências de fitólitos extraídos de plantas atuais de um determinado ambiente. A ausência dessas coleções implica na impossibilidade de comparações, dificultando a reconstituição paleoambiental por meio deste *proxy*. A análise é feita por meio de um número estatisticamente válido de morfotipos (no mínimo 200 fitólitos classificáveis) e representa a produção média qualitativa e quantitativa de fitólitos de uma determinada vegetação (BREMOND *et al.*, 2005b).

No caso de ambientes insulares como a Ilha da Trindade, essas coleções de referência são praticamente inexistentes, apesar de fundamentais para caracterizar e detectar mudanças na cobertura vegetal, auxiliando na recuperação, conservação e manejo das diferentes fitofisionomias impactadas pela ocupação antrópica.

Na tentativa de minimizar essa lacuna, será apresentado aqui um apanhado dos principais morfotipos de corpos silicosos encontrados nas espécies de plantas mais frequentes na Ilha da Trindade atualmente. Também serão apresentados neste estudo os resultados das análises fitolíticas realizadas nas Assembleias Modernas (AMs) dos 15 perfis de solo analisados. Essas assembleias, extraídas das camadas mais superficiais, foram utilizadas como referência para a interpretação das assembleias fitolíticas fósseis, extraídas dos horizontes mais profundos.

Para a análise fitolítica nos horizontes mais profundos foram selecionados seis perfis, levando-se em consideração a sua posição no relevo e a representatividade desses perfis em relação aos diversos geoambientes da ilha.

5.2.1 Coleção de referência de fitólitos de plantas

Uma coleção de referência fitolítica consiste numa forma de agrupar e apresentar os morfotipos encontrados em uma determinada espécie vegetal ou em amostra de solo/sedimento, com ou sem significado taxonômico, para fins de comparação entre dados de diferentes áreas e cronologia (RAIZ, 2012). Como dito anteriormente, trabalhos desse porte, ou seja, voltados para a elaboração de coleções de referência de fitólitos de espécies vegetais modernas, são incipientes no Brasil continental e praticamente inexistentes em suas ilhas oceânicas.

A fim de facilitar a reconstituição paleoambiental por meio da análise fitolítica e abrindo caminho para a elaboração de uma coleção de referência para Ilha da Trindade, foram submetidas ao processo de extração as seguintes espécies: *Cyperus atlanticus*, *Bulbostylis nesiotes*, *Pityrogramma calomelanos*, *Cyathea delgadii*, *Colubrina glandulosa*, *Doryopteris campos-porto*, *Psidium cattleianum* e *Caesalpinia bonducella*.

A espécie *Cyperus atlanticus* é endêmica à Ilha da Trindade e destaca-se como ciperácea predominante, ocorrendo em praticamente todos os ambientes da ilha. Nos locais de menor altitude, como a Praia dos Andradas e vertentes mais suaves nas imediações do POIT, essa ciperácea chega a atingir 100% de cobertura vegetal (Alves, 1998). Dentre as espécies analisadas, o *Cyperus atlanticus* foi a que apresentou a maior produção de

biomineralizações, destacando-se os morfotipos *Papillae*, *Papillae (conical)* e *Elongates*, característicos das Cyperaceae (Le Cohu, 1973; Ollendorf, 1987; Kondo *et al.*, 1994; Wallis, 2003). (Figura 27)

A seguir, encontram-se os resultados de uma análise quantitativa, realizada em três transectos de lâmina permanente de amostras coletadas na Praia dos Cabritos (Tabela 06).

Tabela 6 - Morfotipos contados em três transectos horizontais de lâmina permanente com amostra de fitólitos extraídos da espécie Cyperus atlanticus, coletada na Praia dos Cabritos.

<i>Cyperus atlanticus</i>		
Morfotipos	Quantidade	%
<i>Estômatos</i>	3	0,2
<i>Tricoma</i>	15	0,8
<i>Elongate</i>	220	12,1
<i>Papillae</i>	1478	81,2
<i>Poliédrico</i>	91	5,0
<i>Bulliform paralelepipedal</i>	10	0,5
<i>Globular psilate</i>	3	0,2

<i>Cyperus atlanticus</i>		
Morfotipos	Quantidade	%
<i>Estômatos</i>	3	0,2
<i>Tricoma</i>	15	0,8
<i>Elongate</i>	220	12,1
<i>Papillae</i>	1478	81,2
<i>Poliédrico</i>	91	5,0
<i>Bulliform paralelepipedal</i>	10	0,5
<i>Globular psilate</i>	3	0,2

Destacando-se como segunda maior produtora de fitólitos dentre as amostras analisadas encontra-se a espécie *Bulbostylis nesiotes*. Essa espécie se destaca em algumas comunidades na parte mais alta da ilha, chegando a cobrir 100% da superfície em regiões como o Platô Ponta Verde. Em regiões de menor altitude ocorre mais esparsamente, misturada em proporções variáveis com *Cyperus atlanticus* (Alves, 1998). Exemplos dessa espécie, coletados no Platô Ponta Verde, também apresentaram uma elevada produção de morfotipos característicos das Cyperaceas (Figura 28).

É consenso na literatura corrente afirmar que as pteridófitas constituem-se como boas produtoras de biomineralizações (PIPERNO, 2006; BLINNIKOV, 2005), entretanto, as espécies de samambaias coletadas na Ilha da Trindade (*Pityrogramma calomelanos* e *Cyathea delgadii*) não se apresentaram como boas produtoras de fitólitos.

As amostras de *Cyathea delgadii*, que em território brasileiro parece ocorrer apenas na Ilha da Trindade, foram coletadas no Platô Axial ao Pico Desejado, local onde, segundo Alves (1998), ocorre como vegetação relictual. Essa espécie apresentou raras biomineralizações do tipo *Poliédrico*, *Globular granulate*, *Elongate*, além de alguns Tricomas e Estômatos (Figura 29).

Já a espécie *Pityrogramma calomelanos*, pteridófita mais abundante na Ilha, sendo dominante em algumas comunidades herbáceas dos altos platôs, como o Platô Noroeste, onde foi feita a coleta, apresentou raros fitólitos do tipo *Poliédrico*, *saddle* e alguns Tricomas.

As amostras da espécie *Colubrina glandulosa*, planta da família das Rhamnaceae, coletadas de exemplares provenientes de revegetação nas imediações da academia de ginástica do POIT, também apresentaram baixa produção de fitólitos, com raros *Elongates*, *Globulares granulates* e *Tracheid*, além de alguns estômatos, raros poliédricos, sendo alguns articulados e Drusas que brilham quando submetidas ao filtro polarizador (Figura 30).

Nas amostras de *Doryopteris campos-portoi*, *Psidium cattleianum* e *Caesalpinia bonducella* não foram encontrados fitólitos. Endêmica da Ilha da Trindade (Alves, 1998), a espécie *Doryopteris campos-portoi* é uma Aspleniaceae e foi coletada nas imediações do afloramento rochoso denominado Monumento. A espécie parece apresentar grande afinidade pelas baixas elevações do relevo, ocorrendo frequentemente em comunidades penumbrais, debaixo de grandes blocos rochosos ou afloramentos. Mas raramente também pode ser observada exposta ao sol nas partes mais elevadas do relevo, mas isso somente em regiões de grande umidade e precipitação superficial.

Pertencente à família Myrtaceae e popularmente conhecida como araçá, a espécie *Psidium cattleianum* é comum na vegetação de Cerrado do Brasil continental. Provavelmente a espécie é exótica da Ilha da Trindade, mas foi encontrada em abundância e com frutos bem desenvolvidos no Platô Noroeste, onde foi feita a coleta das amostras. Não foi possível observar a ocorrência dessa espécie fora dessa região.

Espécie bastante frequente na ilha, e pertencente à família Fabaceae, mesma família da *Guilandina bonduc*, que atualmente é considerada como planta invasora na ilha, a *Caesalpinia bonducella* pode ser encontrada principalmente nas vertentes mais suaves acima da Praia dos Andradas, nas encostas próximas ao antigo cemitério português e nas proximidades da Gruta Nossa Senhora de Lourdes. A coleta dessa espécie foi feita nas imediações da captação de água que abastece a ilha.

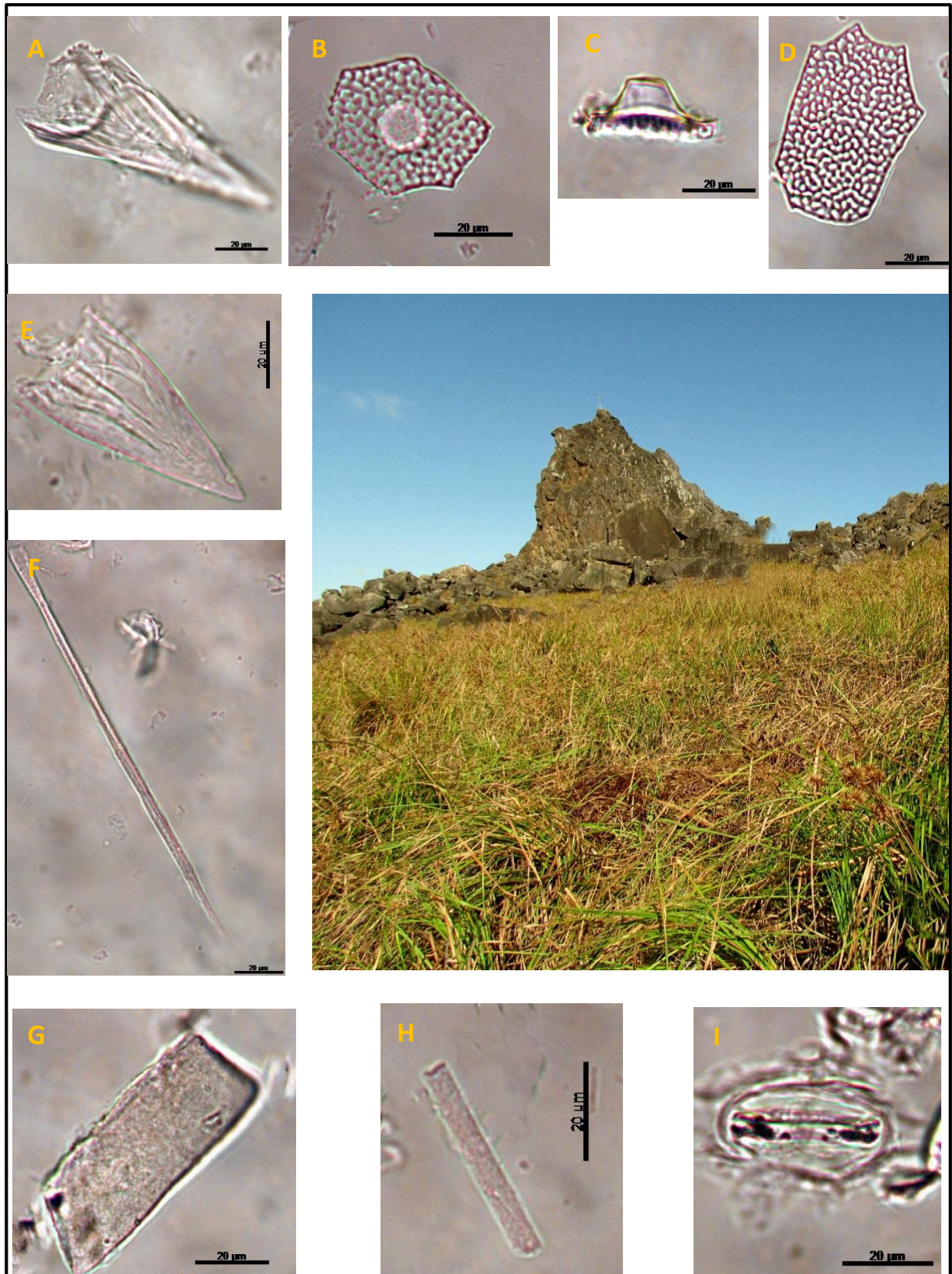


Figura 27 - Morfotipos de fitólitos encontrados na espécie *Cyperus atlanticus*.

A, E, F Acicular Hair cell. **B, D** Papillae, **C** Papillae conical **G** Bulliform paralelepipedal, **H** Elongate psilate (brown), **I** Stomata. Fotos: Sarah Frircks Ricardo, 2017 – LAMON/UERJ.

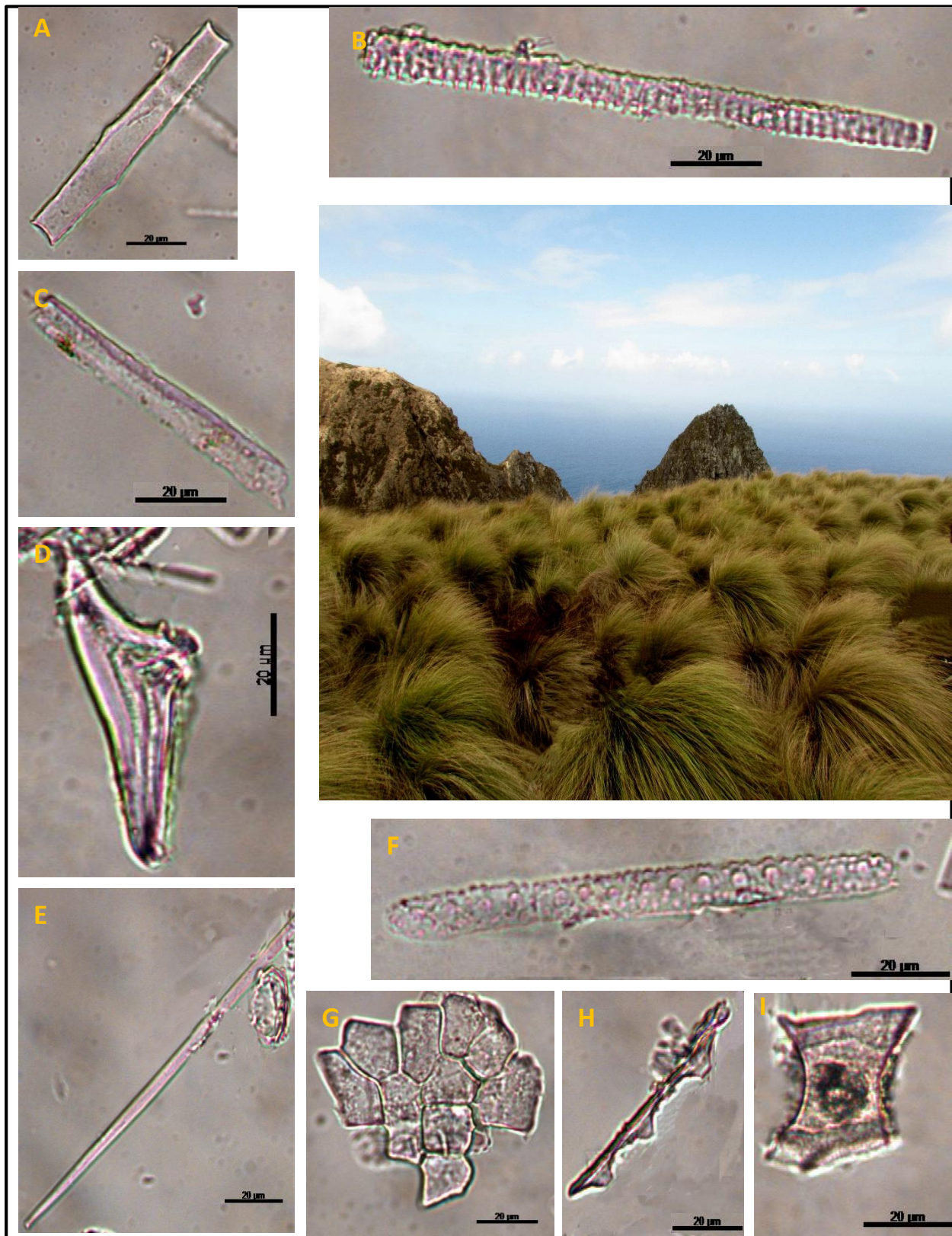


Figura 28 - Morfotipos de fitólitos encontrados nas folhas de *Bulbostylis nesiotis*.

A Elongate psilate, B Tracheid (vascular tissue), C Bulliform parallelepipedal, D – E Acicular hair cell, F Elongate echinate, G Polygonal cells - Epidermis skeleton, H Papillae conical, I Trapeziform. Fotos: Sarah Frircks Ricardo, 2017 – LAMON/UERJ.



Figura 29 - Morfotipos de fitólitos encontrados nas folhas de *Cyathea delgadii*.

A – B Globular granulate, C – D Elongate psilate, E Elongate Psilate (brown), F Elongate echinate– G Rondel, H Acicular Hair cell, I Stomata. Fotos: Sarah Frircks Ricardo, 2017 – LAMON/UERJ.

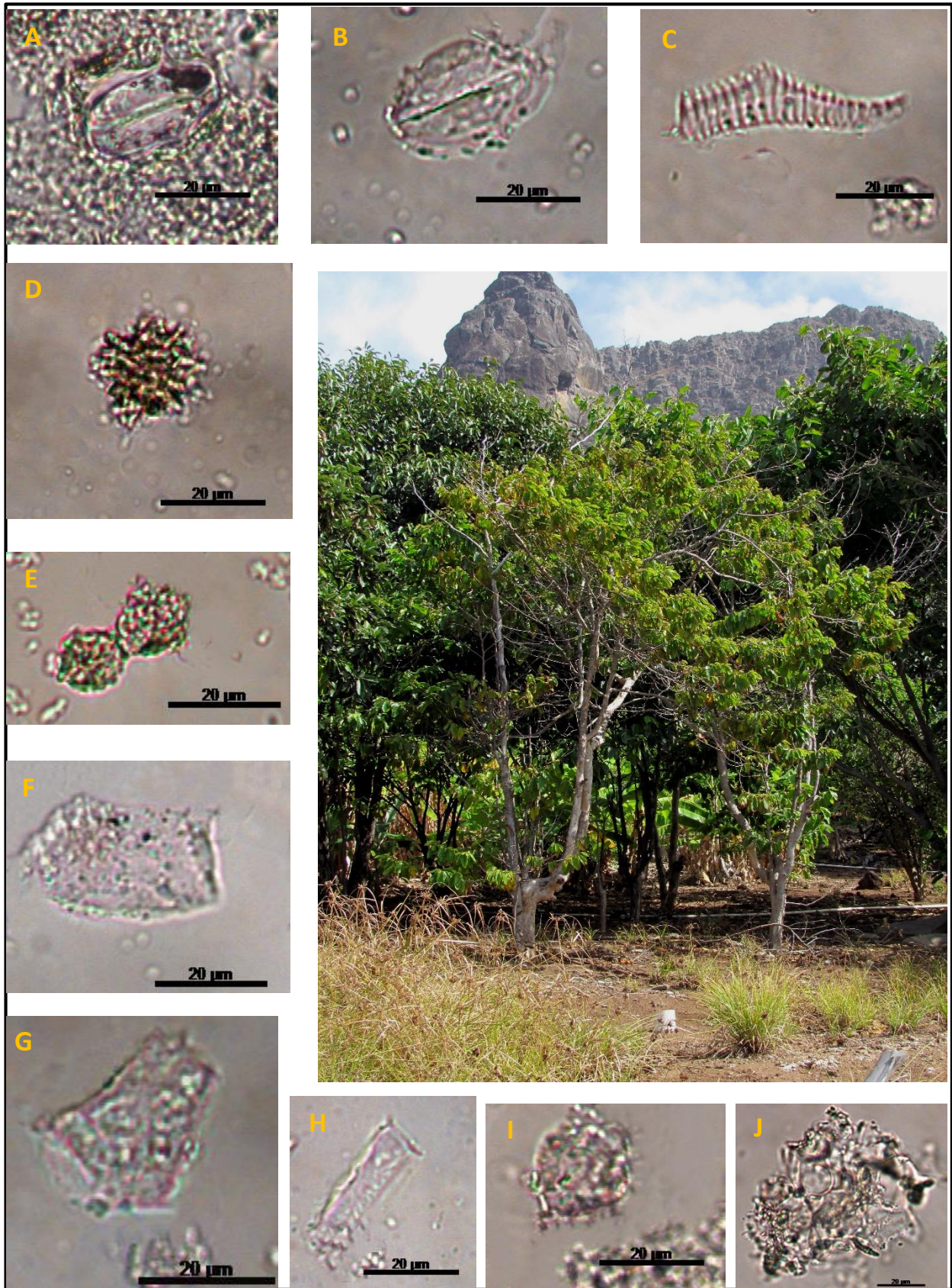


Figura 30 - Morfotipos de fitólitos encontrados nas folhas de *Colubrina glandulosa* (mudas replantadas no POIT).

A – B Stomata, **C** Tracheid (vascular tissue), **D** *Drusa*, **E** *Drusas articularas*, **F – G** Poliédrico, **H** *Elongate psilate*, **I** *Globular granulate*, **J** Resto de tecido vegetal.

5.2.2 Assembleias Modernas

Uma assembleia fitolítica moderna é formada pelo conjunto de biomineralizações de sílica encontrado na camada mais superficial do solo/sedimento e serve como referência para a interpretação das assembleias fitolíticas fósseis, ou seja, extraídas dos horizontes mais profundos. Os fitólitos encontrados nas camadas mais superficiais do solo serão, portanto, utilizados aqui para definir o registro do conjunto de biomineralizações de sílica produzido por cada fitofisionomia do entorno dos 15 perfis amostrados. Isso é feito no intuito de comparar se os resultados fitolíticos encontrados nesses horizontes superficiais correspondem à cobertura vegetal atual. Entretanto, Coe (2009) adverte que é preciso levar em consideração que há um lapso temporal entre o registro de uma assembleia fitolítica moderna e o horizonte superficial do solo que a contém, pois as amostras foram coletadas nos primeiros 5 cm do solo, o que pode representar depósitos realizados há centenas de anos.

Há também que se considerar a ação dos ventos, que podem deslocar as partículas menos coesas ao solo, pois estudos têm demonstrado que o vento pode transportar os fitólitos por considerável distância (TWISS *et al.*, 1969 apud PIPERNO, 2006, p. 21). Alguns fitólitos têm sido recuperados nos mares profundos da costa noroeste da África a distâncias acima de 2000 quilômetros de seu local de origem no continente (PARMENTER e FOLGER, 1974 *apud* PIPERNO, 2006).

5.2.3 Estoque de fitólitos

Em relação ao estoque de fitólitos contidos na superfície de cada perfil analisado, as AMs apresentaram grande heterogeneidade, com valores variando de 0,1% a 9% por peso de matéria seca (p.m.s) (Gráfico 02).

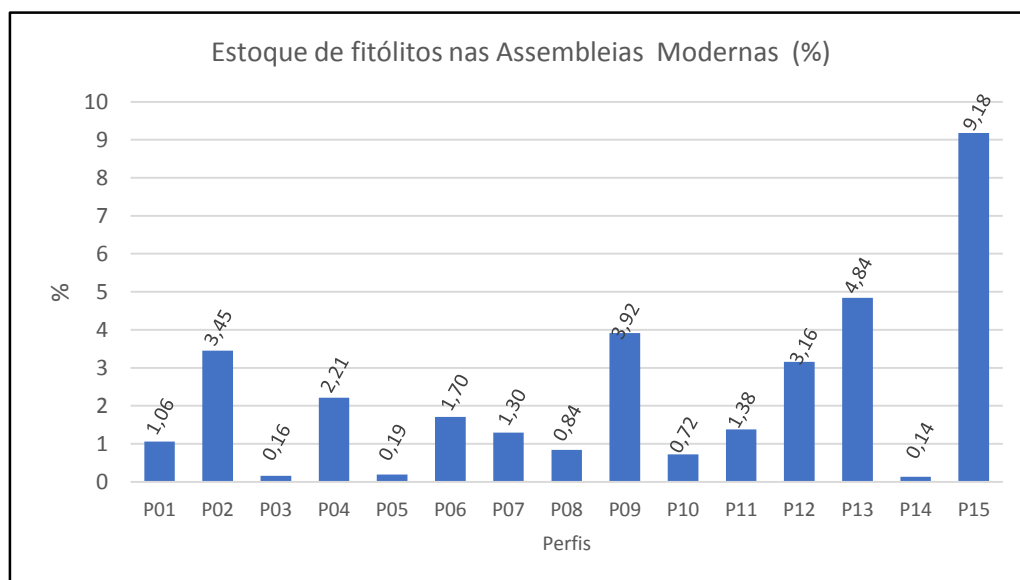


Gráfico 2 - Concentração de fitólitos na superfície dos perfis analisados.

Dentre as AMs analisadas, as das regiões de maior altitude, como o Platô Desejado (P05), a Mata Nebular de *Cyathea delgadii* (P03) e o Platô Ponta Verde (P14), apresentaram os menores estoques de fitólitos por peso de matéria seca. Essas regiões são as mais estáveis e elevadas da ilha, onde predomina uma vegetação de padrão fotossintético do tipo C3 – principalmente lenhosas arbóreas e arbustivas, que possuem uma produção relativamente baixa de fitólitos se comparadas com as espécies do grupo C4, que são as grandes produtoras de fitólitos e que na Ilha da Trindade é representado pela vegetação de *Cyperus atlanticus* e *Bulbostylis neclotis* –, ciperáceas que se desenvolvem em praticamente todos ambientes da ilha (Figura 31).

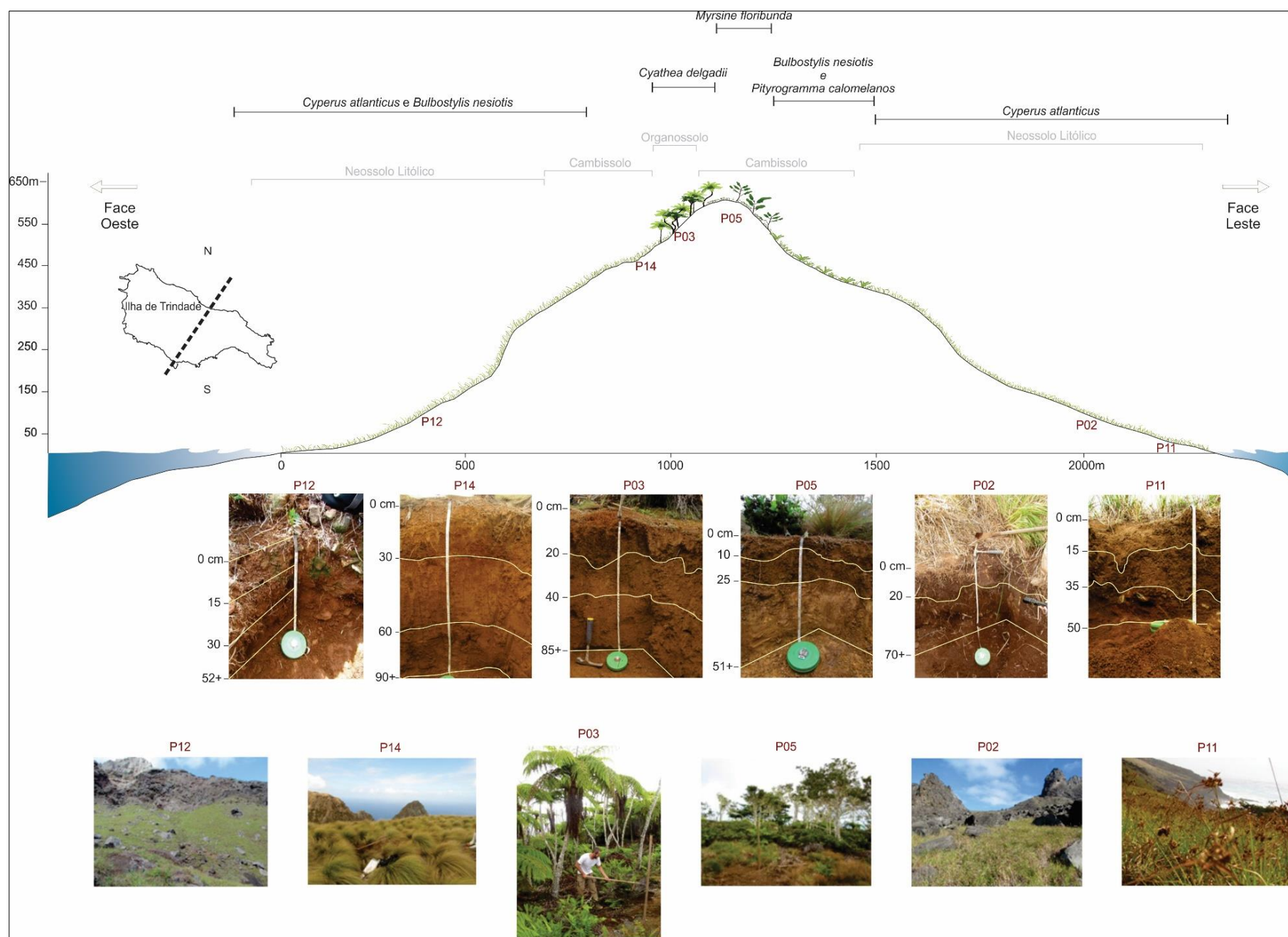


Figura 31 - Perfil esauemático dos locais seleccionados para a análise fitolítica na Ilha da Trindade. Ilustração: Henriague Machado.

O baixo estoque de fitólitos nas AMs das regiões mais elevadas pode, portanto, estar relacionado à baixa produção da sua cobertura vegetal, que em sua grande maioria é composta por espécies arbóreas de pequeno e médio porte. Também deve ser levada em consideração a lenta decomposição dos componentes vegetais nessas regiões, pois o microclima nessas áreas mais elevadas é caracterizado por temperaturas mais baixas e, devido ao efeito orográfico, maior umidade. Nessas condições ocorre o acúmulo de material orgânico na superfície, e a liberação dos fitólitos no solo acontece de forma mais lenta. Na Mata Nebular de *Cyathea delgadii* (P03), por exemplo, há notável acúmulo de material fibroso formando uma camada orgânica de cerca de 20 cm no horizonte superficial (Tabela 03).

O Platô Ponta Verde (P14), apesar de contar com uma superfície recoberta, em sua grande maioria, por *Bulbostylis neclotis* (segundo maior produtor de fitólitos da ilha), foi o que apresentou o menor estoque de fitólitos (0,1%) em sua AM. Neste caso, além da maior umidade e menor temperatura, um dos fatores a ser considerado é a erosão eólica, pois ventos constantes varrem a superfície carregando grande parte das partículas mais finas e menos coesas ao solo para as porções de menor altitude.

A Praia Noroeste (P15) apresentou o maior estoque de fitólitos dentre as AMs (9%), confirmando a alta produtividade de fitólitos das ciperáceas, pois a amostra foi coletada sob Neossolo Litólico, a cerca de 200 metros da linha de praia, em uma região recoberta por uma comunidade exuberante de *Cyperus atlanticus*. Outras regiões recobertas pela mesma vegetação, como o Sopé do Pão de Açúcar (P13), proximidades do POIT (P03) e a Praia dos Andradas (P04), também apresentaram AMs com estoques de fitólitos relativamente elevados e coerentes com a cobertura vegetal atual.

5.2.4 Classificação dos fitólitos

Os fitólitos, quando incorporados ao solo, passam a sofrer, como qualquer outra partícula mineral, processos de alteração. Aqueles cuja forma pode ser reconhecida e classificada são denominados classificáveis (*classified*). Ao contrário, os fitólitos que estão muito degradados, dissolvidos ou fragmentados, a ponto de ser impossível identificar seu tipo, são chamados de inclassificáveis (*unclassified*).

O grau de alteração dos fitólitos nas AMs analisadas apresentou um padrão elevado, com uma média de fitólitos inclassificáveis para os 15 perfis analisados chegando a 50% (Gráfico 03).

Esse padrão evidencia a intensidade dos processos intempéricos e erosivos atuantes na ilha, pois grande parte de sua superfície é recoberta por cascalhos, calhaus e matacões com presença marcante de formas ravinadas por toda a paisagem. Esse panorama erosivo, favorecido pelas condições geomorfológicas, também foi consideravelmente potencializado pela degradação da cobertura vegetal.

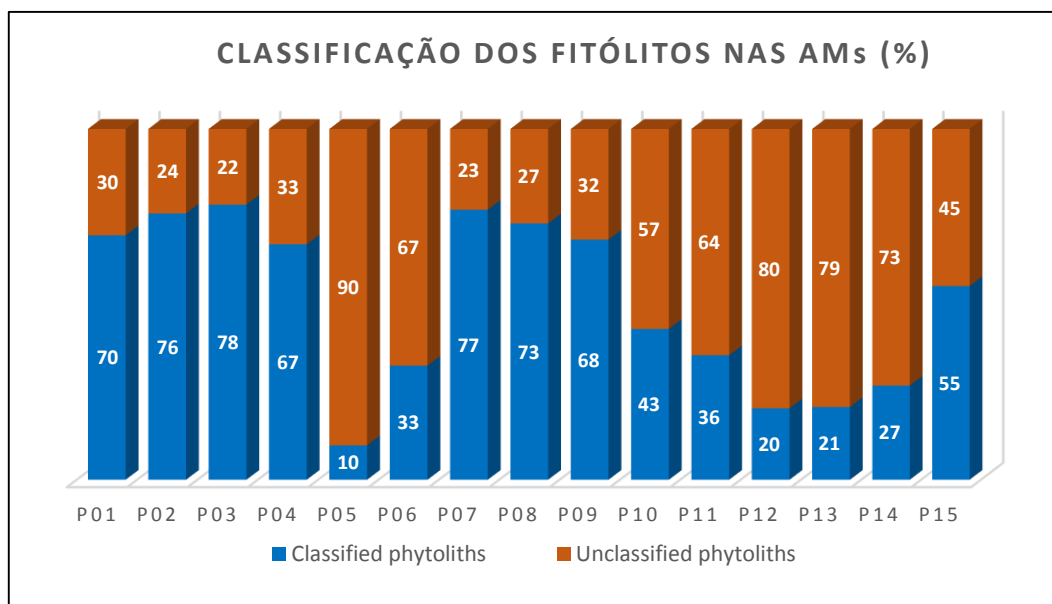


Gráfico 3 - Porcentagem de fitólitos classificáveis e inclassificáveis nas AMs.

Além do quadro erosivo generalizado, o alto grau de degradação dos fitólitos também pode ter sido influenciado pelo elevado teor de óxidos de ferro contido nos solos. Nas análises de ferro extraído por DBC (Fed) e por oxalato de amônio, realizadas por Sá (2010), os resultados de ferro Ditionito variaram de 1,41 a 17,55 dag/kg-1 e de ferro Oxalato de 0,55 a 14,11 dag/kg-1. Em regiões como o Pico do Desejado (P05), onde o número de fitólitos inclassificáveis chegou a 90%, os teores de ferro Ditionito e Ferro Oxalato foram os mais elevados (17,55% e 14,11%, respectivamente), corroborando com os estudos de Costa & Olszevisk (2008) e Costa *et al.* (2010), que indicam que um alto teor de ferro no solo pode influenciar na degradação da sílica opalina, pois o silício pode adsorver-se nas concreções ferruginosas e óxidos de ferro. Seixas (2015), em amostras coletadas no Quadrilátero Ferrífero, também encontrou fitólitos muito alterados (apenas de 44 a 64% de classificáveis) nas amostras superficiais de solos com alto teor de óxidos de ferro.

Além da influência dos fatores ambientais, também é preciso ter em conta que a degradação dos fitólitos está diretamente relacionada à sua composição química, à superfície específica e à estabilidade das partículas de silício agregadas à matéria orgânica do solo (ALEXANDRE *et al.*, 1997).

Entre os ambientes em que as AMs apresentaram menor degradação e, conseqüentemente, maior número de fitólitos classificáveis, destacam-se as vertentes das imediações do POIT (P02) e a Mata Nebular de *Cyathea delgadii* (P03) (Gráfico).

Nas imediações do POIT o elevado número de fitólitos classificáveis provavelmente está relacionado à rápida reposição realizada pela exuberante comunidade de *Cyperus atlanticus*, já que nessa região os processos denudacionais também são bastante elevados.

Na Mata Nebular de *Cyathea delgadii* o menor grau de alteração dos corpos silicosos pode estar relacionado ao microclima, pois nessa região, devido à altitude (512 metros), há maior umidade e menor temperatura, favorecendo a condensação direta e dificultando, assim, os processos de decomposição dos materiais. O fenômeno também pode estar relacionado à relativa estabilidade do solo, pois a região apresentou horizontes mais profundos, sugerindo maior resistência aos processos erosivos.

5.2.5 Morfotipos de fitólitos

Em relação aos morfotipos, em todas as AMs foram encontrados fitólitos característicos da família Cyperaceae denominados *Papillae* e *Papillae (conical)* (ICPN 1.0). Variando na textura, forma e tamanho, também foram encontrados fitólitos dos tipos *Elongate*, *Globular psilate*, *Bulliform parallelepipedal* e *Acicular*. Além desses morfotipos, foram constatadas grandes porções de placas epidérmicas, estômatos silicificados e esqueletos de fitólitos. Este último constituindo-se de corpos silicosos com alto grau de degradação (fragmentação ou dissolução), impossíveis de serem classificados (*unclassified phytoliths*).

Dentre os fitólitos classificáveis, há destaque para os dos tipos *Elongate*, *Papillae* e *Bulliform parallelepipedal*. Esses morfotipos, produzidos em abundância pelas ciperáceas *Cyperus atlanticus* e *Bulbostylis neclotis*, foram encontrados em número considerável em praticamente todas as AMs analisadas, confirmando a abrangente distribuição espacial e a grande produção de biomineralização de sílica dessas espécies (Tabela 07 e Gráfico 04).

Tabela 7 - Total de morfotipos contados em três transectos horizontais de lâmina permanente para cada AM.

AM	LENHOSAS						POACEAE							OUTRAS PLANTAS		
	<i>Glob. granulate</i>	<i>Glob. psilate</i>	<i>Glob. echinate</i>	<i>Puzzle</i>	<i>Tracheid</i>	<i>Poliédrico</i>	<i>Bulliform parallelepipedal</i>	<i>Bulliform cuneiform</i>	<i>Elongate</i>	<i>Acicular</i>	<i>Bilobate</i>	<i>Rondel</i>	<i>Trapeziform</i>	<i>Papillae</i>	<i>Unknown</i>	TOTAL
P01	37	0	0	0	0	24	36	5	26	2	0	0	0	84	0	214
P02	0	0	0	0	0	0	3	0	1310	0	0	0	0	552	591	1865
P03	0	12	0	0	0	0	117	0	108	4	0	0	3	24	138	268
P04	8	0	0	0	0	15	33	9	52	2	1	0	0	111	0	231
P05	0	18	0	0	0	0	21	0	3	0	3	0	0	6	468	51
P06	0	18	0	0	0	0	114	0	69	0	0	0	0	162	750	363
P07	0	6	0	0	0	32	181	41	89	14	1	0	0	158	0	522
P08	93	139	0	0	0	65	37	27	26	9	0	10	0	17	0	423
P09	100	106	0	0	0	47	37	57	29	22	0	0	10	33	0	441
P10	0	21	0	0	3	0	69	0	105	0	3	0	5	90	395	296
P11	0	15	0	0	3	0	33	0	105	0	0	15	12	207	717	390
P12	0	48	0	0	0	0	120	0	18	0	9	0	0	12	807	207
P13	15	9	0	0	0	8	57	51	38	7	0	0	0	42	867	227
P14	0	88	0	0	0	0	12	59	67	7	6	0	0	6	567	245
P15	1	1	0	0	0	31	51	27	37	25	0	0	0	21	0	194
TOTAL	254	481	0	0	6	222	921	276	2082	92	23	25	30	1525	5300	5937

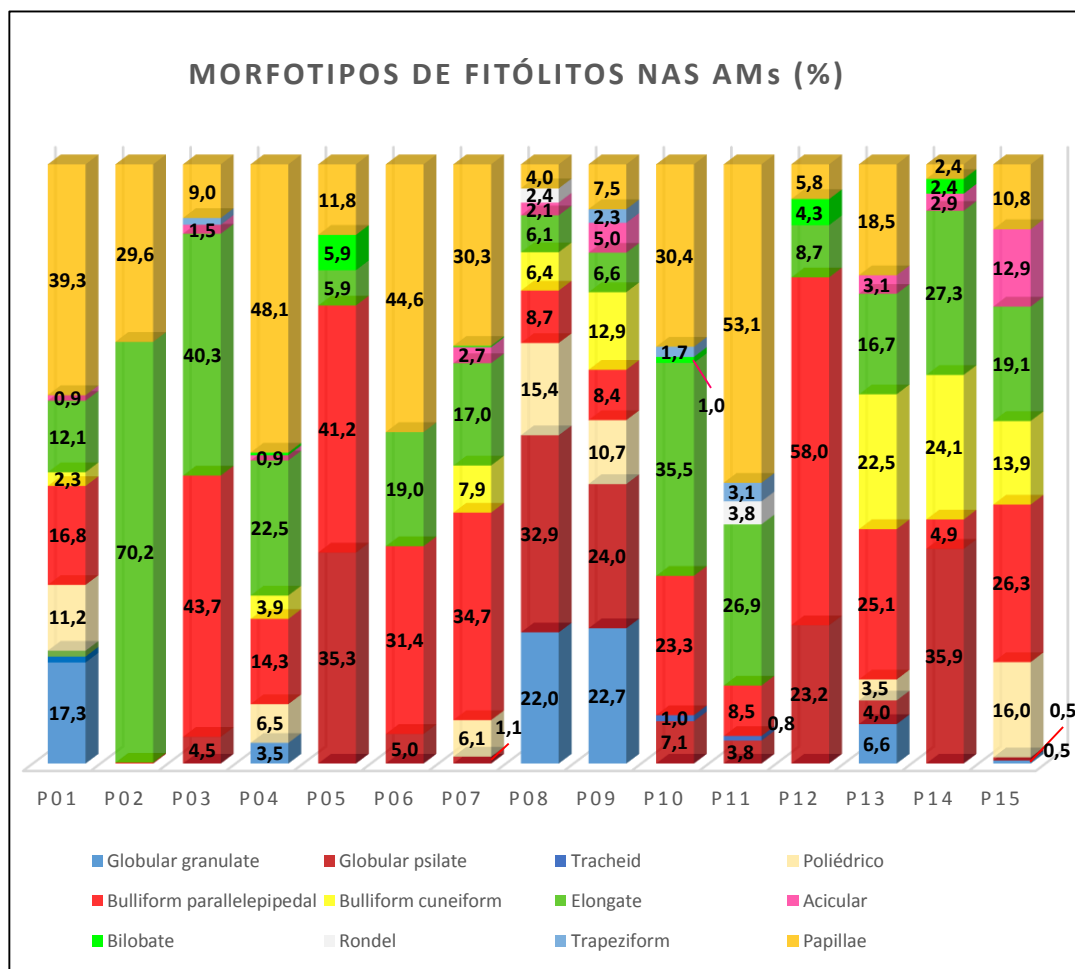


Gráfico 4 - Porcentagem de fitólitos por morfotipo nas AMs.

De forma geral, os morfotipos classificáveis das AMs apresentaram variação no seu tamanho, tonalidade e grau de alteração (Figura 35). Em relação à tonalidade, grande parte dos morfotipos (principalmente os dos tipos *Elongate* e *Bilobate*) contidos nas lâminas com material derivado das amostras coletadas nas vertentes orientais da ilha apresentou coloração mais escura (*brown*), o que provavelmente está relacionado aos incêndios descritos por Alves (1998). Esses incidentes ocorreram nas vertentes próximas ao POIT, entre os anos de 1995 e 1996, e, segundo registros, o fogo causou grande impacto à comunidade de *Cyperus atlanticus*, que teria sido totalmente eliminada na área ardida, sendo o primeiro sinal de sua recuperação constatado por Alves (1998) em junho de 1998. Atualmente ainda é possível encontrar vestígios desses incêndios nos troncos de *Colubina glandulosa* espalhados pelas vertentes leste da ilha (Figura 04).

Além da ocorrência de queimadas, a variação observada na coloração dos morfotipos das vertentes da face leste pode ter sido ocasionada pela presença de óxidos de ferro associados à sílica, pois os solos dessas vertentes também apresentaram elevados teores de ferro (SÁ, 2010).

Em relação ao grau de alteração, apesar da resistência e durabilidade atribuída aos morfotipos dos tipos *Elongate* e *Bulliform* (COE, 2009), foram observadas consideráveis alterações nesses fitólitos, evidenciando novamente a intensa dinâmica superficial na maioria dos ambientes (Figura 32).

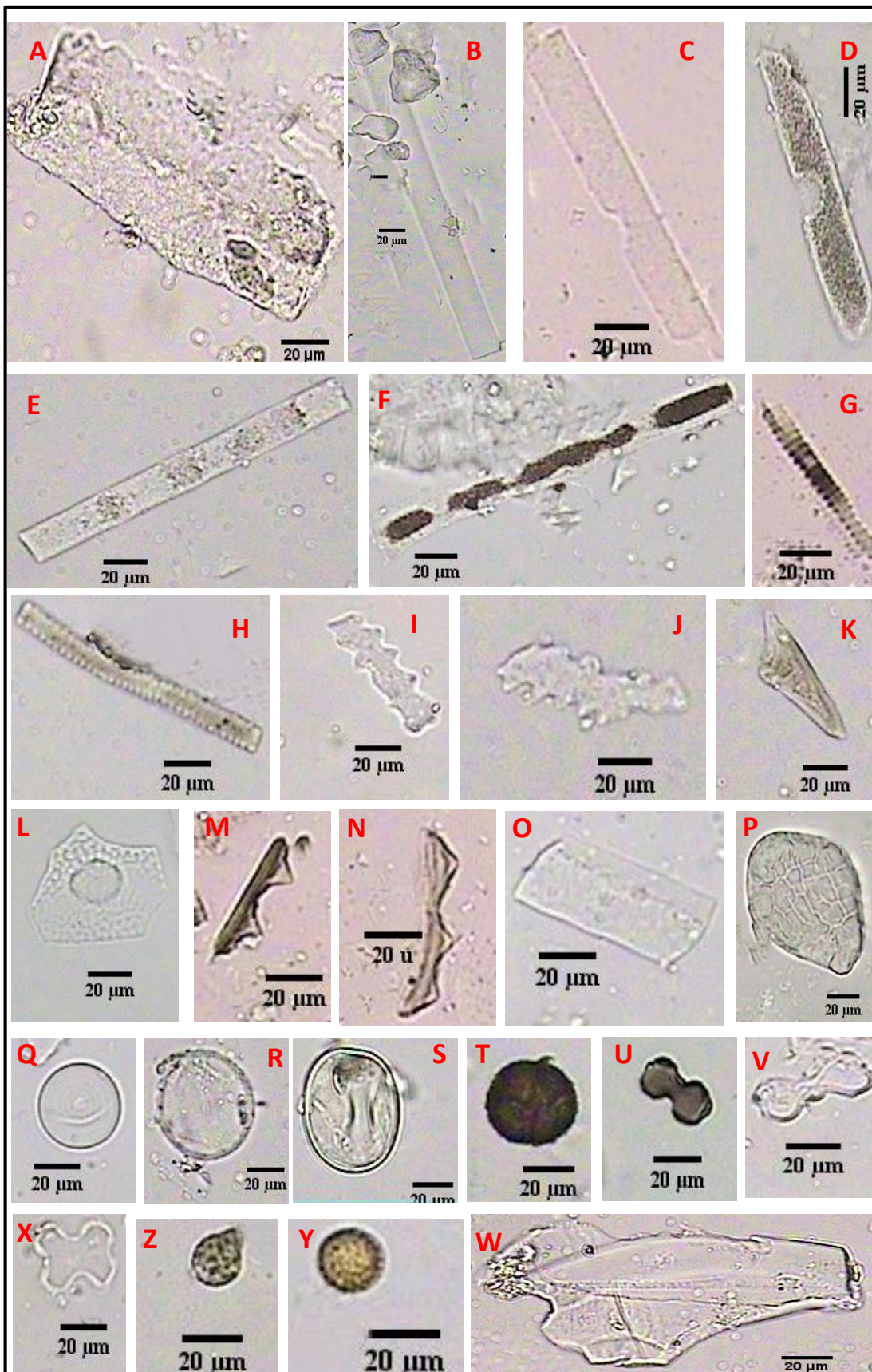


Figura 32 - Morfotipos de fitólitos encontrados nas Assembleias Modernas.

A, O: Bulliform parallelepipedal; **B – D -E:** Elongate psilate; **D – F:** Elongate psilate (brown); **G – H:** Cylindric sulcate tracheid, **I – J:** Elongate echinate; **K:** Acicular; **L:** Papillae; **M – N:** Papillae conical; **P:** Epidermal skeleton; **Q – R:** Globular psilate; **S:** Stomata; **T:** Drusa; **U:** Bilobate (brown); **V:** Bilobate; **X:** Cross; **Z – Y:** Globular granulate; **W:** Bulliform cuneiform.

5.2.6 Índices fitolíticos

Para todas as AMs analisadas foram calculados os índices D/P, que estabelecem a proporção de fitólitos característicos dos elementos lenhosos em relação à soma de fitólitos de gramíneas, indicando a densidade da cobertura arbórea; e o índice Bi%, que estima se determinado ambiente sofre estresse hídrico devido à aridez ou a flutuações do nível freático (Tabela 08).

Tabela 8 - Índices fitolíticos aplicados nas AMs.

Índices Fitolíticos		
AMs	D/P	Bi%
P01	0,90	95
P02	0,00	100
P03	0,00	94
P04	0,19	93
P05	0,00	88
P06	0,00	100
P07	0,00	94
P08	1,26	77
P09	0,96	75
P10	0,00	90
P11	0,00	55
P12	0,00	93
P13	0,14	94
P14	0,00	85
P15	0,01	76

$D/P = \text{globular granulate} / (\text{bulliform parallelepipedal} + \text{bulliform cuneiform} + \text{acicular} + \text{saddle} + \text{bilobate} + \text{polylobate} + \text{trapeziform} + \text{cross} + \text{rondel})$

$Bi\% = [(\text{bulliform parallelepipedal} + \text{bulliform cuneiform}) / (\text{bulliform parallelepipedal} + \text{bulliform cuneiform} + \text{acicular} + \text{saddle} + \text{bilobate} + \text{polylobate} + \text{trapeziform} + \text{cross} + \text{rondel})] \times 100$

De maneira geral, o índice de cobertura arbórea (D/P) para as AMs apresentou-se bastante coerente à vegetação atual da ilha, com valores muito baixos, oscilando entre 0 e 1,26. Para fins de comparação, esse índice é superior a 150 para florestas equatoriais (ALEXANDRE *et al.*, 1997), de 7 a 10 para florestas perenes (ALEXANDRE *et al.*, 1997), 0,33 a 1,16 para uma savana alta e de 0 a 0,1 para savanas baixas e estepes (BREMOND *et al.*, 2005b).

Mesmo apresentando algumas espécies lenhosas, locais como a Mata Nebular de *Cyathea delgadii* (P03), Pico Desejado (P05), Platô Noroeste (P10) e Platô Ponta Verde (P14) apresentaram índice D/P igual a zero. A explicação para esse fato pode estar relacionada à baixa produção de fitólitos das espécies lenhosas presentes nessas regiões, pois nas análises realizadas nessas plantas foram encontrados poucos morfotipos característicos de dicotiledôneas lenhosas.

Por outro lado, mesmo não apresentando vegetação arbórea atualmente, locais como Alto do Morro Vermelho (P08) e Pico Grazina (P09) apresentaram os maiores valores de D/P observados, 0,96% e 1,26%, respectivamente. Esses ambientes são cobertos quase que exclusivamente por Cyperaceae e os valores encontrados podem estar relacionados à cobertura vegetal pretérita ou ao transporte de fitólitos das regiões mais elevadas para as mais baixas pela ação do vento.

O índice de estresse hídrico (Bi%) não se mostrou coerente com as AMs analisadas, pois apresentou valores elevadíssimos, inadequados, portanto, para um ambiente insular que, apesar de apresentar grande parte de sua superfície coberta por solos jovens e cascalhentos, que favorecem a infiltração dificultando a retenção da água, conta com relativa umidade proveniente de diversos cursos-d'água perenes, abastecidos por precipitações regulares favorecidas pela influência da orografia e da maritimidade. Sendo assim, o alto valor do índice de estresse hídrico pode ter sido influenciado pela elevada degradação dos fitólitos provocada pela intensa dinâmica erosiva da ilha. Esse quadro favorece a dissolução seletiva dos fitólitos com uma concentração relativa de morfotipos do tipo *bulliforms*, que são mais robustos e, provavelmente, mais resistentes à alteração. Assim, enquanto os *bulliforms* são preservados no solo, a maioria dos outros morfotipos do tipo *short-cells* são destruídos ou tão intensamente alterados que se tornam irreconhecíveis (*unclassified*).

Em locais como POIT (P02) e Platô Praia do Príncipe (P06), o índice Bi% apresentou seu valor máximo (100%). Além de influenciado pela alta concentração relativa dos *bulliforms*, os altos valores de Bi% encontrados nesses ambientes também podem ter sido influenciados pelo *spray* salino, pois as amostras dessas AMs foram coletadas entre 50 e 200 metros da zona de arrebentação das marés.

5.2.7 Assembleias Fósseis

Para proceder a análise fitolítica dos horizontes mais profundos (Assembleias Fósseis) foram selecionados seis dos quinze perfis utilizados nas AMs. Foram eleitos aqueles perfis que melhor representassem os diversos geoambientes da ilha. No transecto realizado estão plotados, com sua respectiva posição no relevo da ilha, os perfis, as espécies vegetais predominantes em cada região e o tipo de solo encontrado (Figura 31).

A interpretação dos resultados encontrados nas AFs foi feita levando-se em consideração a comparação com as assembleias fitolíticas modernas, coletadas nos horizontes superficiais, e as espécies vegetais presentes em cada um dos ambientes analisados. Também foram considerados na interpretação dos resultados os índices D/P e Bi%, o estoque de fitólitos contido em cada horizonte e o grau de alteração dos morfotipos ao longo de cada perfil.

A estimativa do estoque de fitólitos, ou seja, a produção fitolítica pretérita contida em cada AF, foi realizada com a pesagem do material que compõe a fração obtida na separação denssimétrica (Figura 33). É importante destacar que nesse material, além dos compostos formados por sílica biogênica (fitólitos), também é comum a ocorrência, ainda que em pequena quantidade, de microcarvões, matéria orgânica, espículas de esponja, diatomáceas, óxidos de ferro e outras impurezas.

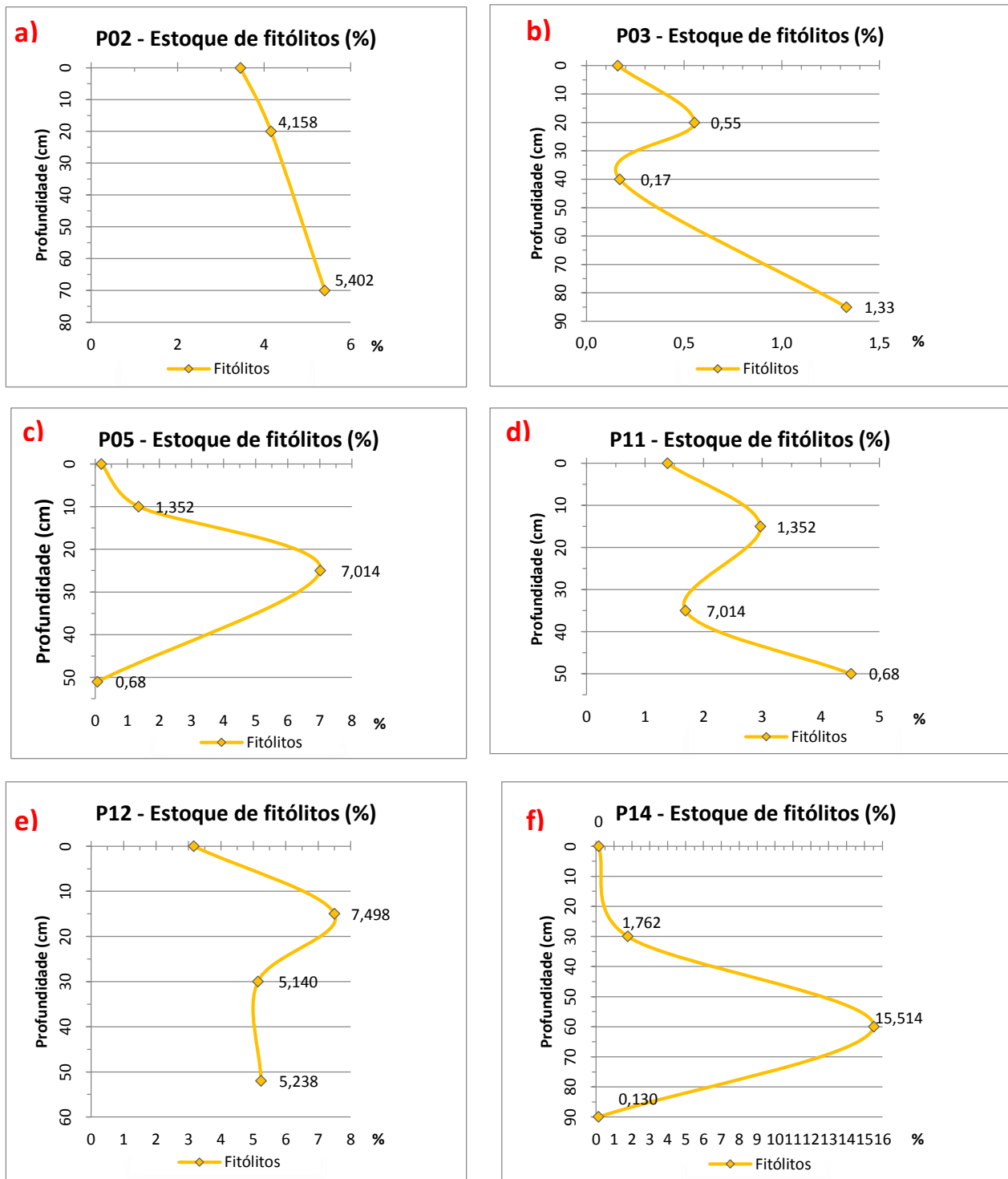


Figura 33 - Estoque de fitólitos nas AFs selecionadas

Os estoques fitolíticos nas amostras mais superficiais oscilaram de 0,55% (P03) a 7,5% (P12) e, na base, de 0,13% (P14) a 5,41% (P02). Importante ressaltar que nos gráficos acima o valores referentes à profundidade zero, ou seja, ao estoque de fitólitos em superfície, corresponde aos resultados encontrados para as AMs ,e que foram apresentados anteriormente.

No Perfil 02 (Figura 33a), o estoque de fitólitos apresentou tendência ascendente com a profundidade, indo de 4,16% (25cm) para 5,41% (70cm). Esse aumento na quantidade dos corpos silicosos com a profundidade pode estar relacionado à cobertura pedológica, uma vez que na região predomina o Neossolo litótico com presença marcante de detritos rochosos ao longo dos horizontes (Tabela 03). Essas características facilitam a percolação e o transporte das partículas de sílica ao logo do perfil, favorecendo assim seu acúmulo nas zonas mais profundas e de contato litólico.

O perfil 11 (Figura 33d) também é constituído de Neossolo litótico e, apesar das oscilações no estoque de fitólitos com a profundidade, também apresentou maior acúmulo nas zonas próximas ao contato litótico. A oscilação na quantidade de fitólitos ao longo do perfil em questão pode estar associada à bioturbação e à translocação de materiais, pois na região foi observada intensa atividade de caranguejos (*Gecarcinus lagostoma*) com a ocorrência de muitas tocas profundas, inclusive no local de abertura do perfil (ANEXO I).

Os perfis P05 e P14, abertos em regiões mais elevadas e planas, com predomínio de Cambissolos (Figura 31), apresentaram maior acúmulo de fitólitos nos horizontes intermediários (entre 25 e 60cm) e queda abrupta nos horizontes mais profundos. Esse comportamento na movimentação dos fitólitos para esses perfis pode estar atrelado à relativa estabilidade desses solos e à maior concentração de argila nos horizontes intermediários, pois suas análises físicas apresentaram uma classe textural Franco-argilo-arenosa (Tabela 04). Há também que se considerar a maior umidade, pois os dois perfis estão localizados acima dos 450 metros, contando com precipitações quase que diárias (Pirajá) devido ao efeito orográfico.

O perfil P03, apesar de também se encontrar em região elevada (512 metros) e possuir a mesma classificação textural que os perfis P05 e P14, não apresentou a mesma dinâmica na concentração dos fitólitos ao longo das AFs. Tal fato pode estar associado a maior declividade e a menor produção de fitólitos pelas espécies vegetais dessa região (Gráfico 02).

De acordo com os resultados obtidos, é possível estabelecer que a distribuição do estoque de fitólitos por peso de matéria seca (p.m.s.) ao longo dos perfis analisados apresentou-se bastante heterogênea com a profundidade, não demonstrando a diminuição característica de sequências fitolíticas em equilíbrio com a cobertura vegetal predominante no presente (Alexandre *et al.*, 1997). Se compararmos o estoque de fitólitos contido nas camadas fósseis com a capacidade de produção da vegetação atual, também verificamos que não há muita correspondência, pois os maiores estoques nem sempre se encontram nas amostras onde há predomínio de *Cyperus atlanticus* e *Bulbostylis nesiotes*, que são as maiores produtoras de fitólitos da ilha atualmente. Isso talvez se deva à menor resistência à degradação de grande parte dos morfotipos produzidos por essas espécies. Já em relação às características dos solos encontrados na ilha, a variação no estoque de fitólitos foi bastante coerente, corroborando com a classificação pedológica e com as análises granulométricas realizadas.

5.2.8 Classificação e morfotipos de fitólitos

Sobre o grau de conservação dos fitólitos, foi observado que a degradação dos morfotipos mais frágeis (*Short Cells*) tende a aumentar com a profundidade, já que esses estão ausentes em praticamente todas as amostras mais profundas dos perfis analisados (Tabela 09). Já em relação ao número de fitólitos inclassificáveis (*unclassified*) houve consideravelmente aumento do topo para a base dos perfis (Gráfico 05). Esse aumento no grau de alteração dos fitólitos com a profundidade sugere maior tempo de residência das partículas no solo e, portanto, um aumento da idade média dos fitólitos com a profundidade (Alexandre *et al.*, 1997).

Com o número de fitólitos inclassificáveis variando consideravelmente ao longo dos horizontes, o perfil P11 destoa da tendência apresentada pelos outros perfis. O referido perfil (P11) foi aberto no Terraço Praia dos Portugueses (próximo ao POIT) em uma superfície pedregosa com cerca de 40% do terreno coberto por blocos e matacões. O local também conta com pequenas ravinas e uma intensa atividade de caranguejos, com presença de muitas tocas (ANEXO I). As cicatrizes erosivas e a presença dos crustáceos levam a crer que o local é suscetível à intensa movimentação do regolito, tanto pelos agentes erosivos quanto pela bioturbação. Esse panorama ajuda a compreender o comportamento irregular na variação do número de fitólitos classificáveis e inclassificáveis ao longo do perfil.

A mistura de materiais também pode ser comprovada pela presença, nas camadas mais profundas, de morfotipos mais sensíveis à degradação, como os do tipo *Papillae*, em grande quantidade nos perfis 02 e 12 e *Bilobate* no perfil 12 (Tabela 09). Esses morfotipos provavelmente não foram depositados juntos com os outros mais robustos encontrados em profundidade e, conseqüentemente, não possuem a mesma idade destes. Os morfotipos mais sensíveis tendem a ser mais rapidamente dissolvidos, diminuindo em abundância com a profundidade, até atingir zero na base do perfil.

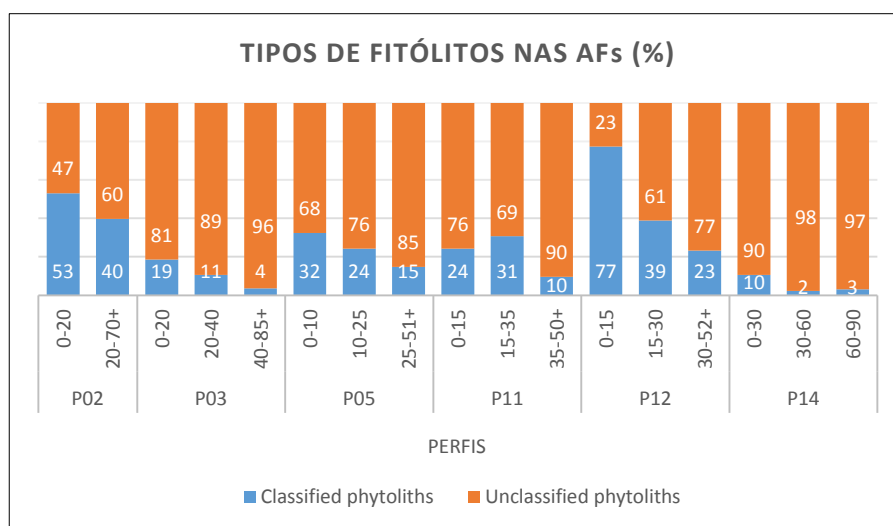


Gráfico 5 - Porcentagem de fitólitos classificáveis e inclassificáveis nas AFs.

Com os resultados obtidos pode-se dizer que, apesar de constituir meio particularmente interessante para a análise fitolítica, a distribuição dos corpos silicosos nos perfis depende da interação entre diversos processos pedogenéticos, como a acumulação, erosão, dissolução seletiva e a translocação (Piperno e Becker, 1996; Alexandre *et al.* 1997; 1999; Meunier *et al.*, 2001).

Tabela 9 - Total de morfotipos contados em três transectos horizontais de lâmina permanente para cada AF.

AF	Prunf. (cm)	LENHOSAS						POACEAE							OUTRAS		
		<i>Glob. granulate</i>	<i>Glob. psilate</i>	<i>Glob. echinate</i>	<i>Puzzle</i>	<i>Tracheid</i>	<i>Poliédrico</i>	<i>Bulliform parallelepipedal</i>	<i>Bulliform cuneiform</i>	<i>Elongate</i>	<i>Acicular</i>	<i>Bilobate</i>	<i>Rondel</i>	<i>Trapeziform</i>	<i>Papillae</i>	<i>Unknown</i>	TOTAL
P02	0-20	3	3	0	0	0	0	234	0	117	3	0	9	0	120	432	489
	20-70+	0	0	0	0	0	0	47	0	50	0	0	0	0	117	325	214
P03	0-20	6	30	0	0	0	0	17	0		0	3	0	0	18	921	74
	20-40	0	48	0	0	0	0	18	0	12	3	3	0	0	33	996	117
	40-85+	0	3	0	0	0	0	3	12		3	0	0	0	0	576	21
P05	0-10	0	12	0	0	0	0	45	15	42	0	24	6	0	81	468	225
	10-25	0	12	0	0	0	0	38	10	13	3	16	0	0	23	358	115
	25-51+	0	3	0	0	0	0	27	0		9	0	0	0	6	261	45
P11	0-15	0	0	0	0	0	0	75	9	51	0	0	3	0	102	777	240
	15-35	0	0	0	0	0	0	87	3	39	0	0	0	0	225	798	354
	35-50+	0	0	0	0	0	0	21	9	15	0	0	0	0	42	816	87
P12	0-15	0	0	0	0	0	0	0	0	750	0	0	0	0	60	237	810
	15-30	0	9	0	3	0	0	21	12	332	0	3	0	0	54	681	434
	30-52+	0	3	0	0	6	0	18	6	180	0	15	0	0	45	906	273
P14	0-30	0	0	0	0	0	0	15	3	21	0	9	3	0	0	435	51
	30-60	0	0	0	0	0	0	9	3	3	6	0	3	0	6	1077	30
	60-90	0	0	0	0	0		12	0	3	0	0	0	0	0	477	15
TOTAL		9	123	0	3	6	0	687	82	1628	27	73	24	0	932	10541	3594

Tabela 10 - Índices fitolíticos aplicados nas AFs.

AFs	Índices fitolíticos		
	Prunf. (cm)	D/P	Bi%
P02	0-20	0,01	95,12
	20-70+	0,00	100,00
P03	0-20	0,30	85,00
	20-40	0,00	75,00
	40-85+	0,00	83,33
P05	0-10	0,00	66,67
	10-25	0,00	71,64
	25-51+	0,00	75,00
P11	0-15	0,00	96,55
	15-35	0,00	100,00
	35-50+	0,00	100,00
P12	0-15	0,00	0,00
	15-30	0,00	91,67
	30-52+	0,00	61,54
P14	0-30	0,00	60,00
	30-60	0,00	57,14
	60-90	0,00	100,00

Como constatado nas AMs, o índice de estresse hídrico (Bi%) também apresentou valores muito elevados para todas as AFs (Tabela 10). Os resultados referentes a umidade pretérita da ilha parecem, portanto, inadequados e influenciados pela elevada concentração relativa de morfotipos do tipo *bulliforms*. Lucena (2015) também constatou valores muito elevados para a uma área de Cerrado-Vereda na bacia do rio Peruaçu, Minas Gerais.

Em relação ao índice de cobertura arbórea (D/P) aplicado nas AFs, os resultados também foram bem parecidos com os encontrados nas AMs. Ou seja, apresentaram-se muito baixos, não corroborando com a hipótese proposta por Alves (1998), de que a ilha fora recoberta em sua grande maioria por espécies arbóreas. É preciso salientar que esses resultados são preliminares e que, por se tratar de ambiente singular e com dinâmica geomorfológica intensa, os morfotipos característicos de dicotiledôneas lenhosas podem ter sido destruídos ou transportados para o mar pela ação dos agentes erosivos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido ao seu caráter pioneiro, este estudo tem o intuito de dar subsídios, por meio de coleções de referências fitolíticas modernas e fósseis, para futuras reconstituições paleoambientais da Ilha da Trindade. Os ensaios obtidos por meio desse *proxy* se mostraram bastante promissores, mas ainda permanecem muitas lacunas que necessitam ser complementadas ou esclarecidas por novos estudos.

De forma geral, os resultados obtidos com os índices preliminares não apontam grandes mudanças no tipo de cobertura vegetal da ilha ao longo do tempo, pois os índices fitolíticos de densidade arbórea (D/P) permaneceram muito baixos para todas as assembleias analisadas, tanto as modernas quanto as fósseis. Isso sugere que a cobertura vegetal predominante talvez nunca tenha atingido uma grande densidade arbórea, característica de áreas mais úmidas e com solos mais estáveis e desenvolvidos do que os da ilha. Entretanto, numa escala de tempo “humana”, não geológica, em algumas das assembleias modernas (AMs) das regiões mais estáveis do relevo, puderam ser observadas mudanças na cobertura vegetal, revelando uma outra aplicação para os estudos fitolíticos na Ilha da Trindade: relacionar os resultados obtidos com o histórico de sua ocupação e degradação.

A abundância de morfotipos mais robustos dos tipos *bulliform*, *elongate* e *acicular* nos ambientes analisados aponta para uma intensa dinâmica dos fatores geomorfológicos, pois a concentração desses morfotipos – mais resistentes – sugere que grande parte dos fitólitos mais frágeis, como os de células pequenas (*short-cells*), foram destruídos pela dinâmica intempérica e erosiva da ilha, aumentando assim a concentração relativa dos morfotipos mais resistentes. Mesmo os morfotipos mais resistentes, tanto das assembleias modernas quanto das fósseis, apresentaram relativo grau de alteração, reforçando a hipótese de que a ilha possui um quadro geomorfológico bastante instável. A mistura de morfotipos “novos” e “antigos” e o estado de degradação dos morfotipos encontrados nas assembleias modernas reflete com certa clareza o quadro erosivo generalizado em que a ilha se encontra atualmente.

A análise fitolítica também apresentou algumas limitações, pois o índice Bi%, que mede o estresse hídrico sofrido pelas espécies vegetais produtoras de fitólitos, não se mostrou adequado para a ilha, apresentando valores muito elevados para um ambiente com uma rede hidrográfica perene abastecida pela relativa umidade proveniente do oceano. Os altos valores relacionados ao índice Bi%, provavelmente se devem à concentração relativa de fitólitos do tipo *bulliform* citada anteriormente, já que esses são mais resistentes aos processos intempéricos. Talvez novas calibrações com outros *proxies*, como análises polínicas e de microcarvões, permitam uma melhor reconstituição das variações de umidade na ilha, permitindo, consequentemente, inferir sobre sua cobertura vegetal pretérita, considerando que a cobertura vegetal reflete as variações na umidade do ambiente.

Outra peculiaridade da Ilha da Trindade que também representou certa limitação a uma maior precisão dos resultados fitolíticos obtidos foi a grande concentração de ferro nas amostras de solo analisadas. A alta concentração desse mineral dificulta o processo de extração dos fitólitos, além de influenciar na degradação de morfotipos importantes para o cálculo de alguns índices diagnósticos.

A mistura de fitólitos "novos" e "antigos" nas diferentes profundidades pela translocação e a atividade biológica, principalmente dos caranguejos, também oferece certa limitação a ser superada, pois diminui a precisão e confiabilidade dos índices fitólitos.

Isso posto, é imprescindível salientar que a conclusão desta dissertação não significa a conclusão dos trabalhos com fitólitos na Ilha da Trindade, pois ainda há muito a ser investigado, tanto nas plantas quanto nas assembleias fitolíticas de seus tão variados ambientes. Para que os estudos possam se desenvolver com maior precisão e confiabilidade, é imprescindível a formação de uma coleção de referência de silicofitólitos mais consistente, pois ainda restam muitas dúvidas a serem esclarecidas, muitas hipóteses a serem testadas, enfim, muitas pesquisas a serem realizadas.

BIBLIOGRAFIA

- ALCANTARA-SANTOS, J.C. Paleogeografia e paleoambientes do Baixo Curso do rio Ivaí, PR. Maringá: Univ. Est. Maringá, 2013. 83p. (Progr. Pós-Grad. Geografia, Dissert. Mestrado).
- ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J.-D.; MARIOTTI, A.; SOUBIES, F. 1999. Late Holocene Phytolith and Carbon-Isotope Record from a Latosol at salitre, South-Central Brazil. *Quaternary Research*, 51:187-194.
- ALEXANDRE, A. *et al.* Phytoliths: indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v.136, n.1-4, p.213-229, 1997.
- ALEXANDRE, A.; MEUNIER J.-D.; COLIN, F.; OUD, J.-M. Plant impact on the biogeochemical cycle of silicon and related weathering processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. v. 61, n. 3, pp. 677-682, 1997.
- ALMEIDA, F.F.M. A ilha de Trindade. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D.A.; Queiroz, E.T.; Winge, M.; Berbert-Born, M. (Edit.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. 2000. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/sitio092/sitio092.pdf>>. Acesso: 28 jan. 2015.
- ALMEIDA, F.F.M. de. Ilha da Trindade. Relatório anual do Diretor da Divisão de Geol. e Mineralogia, ano de 1958:99-101, Rio de Janeiro; n.v.
- ALMEIDA, F.F.M. Geologia e Petrologia da Ilha da Trindade. Rio de Janeiro: DNPM/DGM, 197 p., 1961. (Monografia).
- ALVES, R.J.V. Ilha da Trindade e Arquipélago Martin Vaz: Um Ensaio Geobotânico. Rio de Janeiro: Serviço de Documentação da Marinha, 1998.
- BARATELLI, T.G. Estudo das propriedades alelopáticas vegetais: investigação de substâncias aleloquímicas em *Terminalia catappa* L. (Combretaceae). Tese (Doutorado em Química de Produtos Naturais). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006. 199p.
- BARTH, R. Observações biológicas e meteorológicas feitas na Ilha da Trindade. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, Rio de Janeiro, 1958. 56(1):261-279.
- BATISTELLA, M. Cartografia Ecológica do Arquipélago de Fernando de Noronha. Universidade de São Paulo, São Paulo, 236p., 1993. (Dissertação de Mestrado).
- BLINNIKOV, M. S. Phytoliths in plants and soils of the interior Pacific Northwest, Usa. *Review of Palaeobotany and Palynology*, v.135, n.1-2, p.71-98, 2005.
- BORBA-ROSCHER M., ALEXANDRE A., VARAJÃO A.F.D.C., MEUNIER J.-D., VARAJÃO C.A.C., COLIN F. Phytoliths as Indicators of Pedogenesis and Paleoenvironmental Changes in the Brazilian Cerrado. *Journal of Geochemical Exploration*, 2006. 88(1):172-176.
- BREMOND, L. Calibration des fonctions de transfert entre assemblages phytolithiques, structures des végétations et variables bioclimatiques actuelles, pour l'intégration de la dynamique des biomes herbacés dans les modèles de végétation. Thèse de Doctorat en Géosciences de l'environnement, direction J. GUIOT, Université Aix-Marseille III, 2003.
- BREMOND, L.; ALEXANDRE, A.; PEYRON, O.; GUIOT, J. Grass water stress estimated from phytoliths in West Africa. *Journal of Biogeography*, 32, p. 311-327, 2005a.

CALEGARI, M.R. Ocorrência e significado paleoambiental do horizonte A húmico em latossolos. Piracicaba: ESALQ. Univ. de São Paulo, 2008. 259p. (Progr. Pós-Grad. Agronomia, Tese Dout.).

BREMOND, L.; ALEXANDRE, A.; HÉLY, C.; GUIOT, J. A phytolith index as a proxy of tree cover density in tropical areas: calibration with Leaf Area Index along a forest-savanna transect in southeastern Cameroon. *Global and Planetary Change*, v. 45, n.4, p.277-293, 2005b.

CALEGARI, M.R.; RAITZ, E.; PAISANI, J.C. Coleção de referência de fitólitos da Floresta Ombrófila Mista no SW do Paraná: primeira aproximação. In: Cong. Abequa, 13, 2011. Res. Expand..., Búzios, Ass. Bras. Est. do Quaternário.

CAMPOS, A. C.; LABOURIAU, L. F. G. Corpos Silicosos de Gramíneas dos Cerrados. II. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 1969. 4:143-151.

CAVALCANTE, P.B. Contribuição ao Estudo dos Corpos Silicosos das Gramíneas Amazônicas I. Panicoideae (Melinideae, Andropogoneae e Tripsaceae). *Botânica*, 1968. 80:1-11.

CHUENG K. F. Inferência da cobertura vegetal e das condições climáticas no espinhaço meridional, MG, durante o Quaternário através dos indicadores fitólitos e isótopos de carbono. Rio de Janeiro: Univ. Est. Rio de Janeiro, 2012. 115 p. (Depart. Geografia, Monografia Geografia).

CLEMENTE, E. P.; SCHAEFER, C. E. R. G.; OLIVEIRA, F. S. Proposta de Zoneamento Ambiental para a Ilha da Trindade (ES). Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2009. 28p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 171).

COE, H.H.G. *et al.*, Dynamics of production and accumulation of phytolith assemblages in the Restinga of Marica, Rio De Janeiro, Brazil, *Quaternary International* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2015.10.071>

COE, H.H.G.; CHUENG K.F.; OSTERRIETH M.; SANTOS A.S.; GOMES J.G.; FONSECA C.M. Gênese de solos e mudanças ambientais na bacia do rio São João, RJ, identificadas através do *proxy* fitólitos. In: Cong. Abequa, 13, 2011. Res. Expand..., Búzios, RJ, Ass. Bras. Est. do Quaternário.

COE, H.H.G. *et al.*, Reconstituições da vegetação e inferências de paleoclimas através da utilização dos indicadores fitólitos e isótopos de carbono – Exemplos De Estudos No Brasil. *Revista Geonorte*, edição especial, v.1, n.4, p.248 - 261, 2012.

COE, H.H.G.; OSTERRIETH, M.; BORRELLI, N. L.; SILVA, A. S.; GOMES, J. G. Contributions of Phytolith Studies on the Identification of Soil Genesis and Environmental Changes in the São João River Basin, Rio de Janeiro, Brazil. In: Intern. Meet. Phytolith Res., 8, Colorado, 2010. Abstracts, PaleoResearch Institute (PRI), Colorado, USA.

COE, H. H. G. Fitólitos como indicadores de mudanças na vegetação xeromórfica da região de Búzios / Cabo Frio, RJ, durante o Quaternário. 2009. 300 p. Tese de Doutorado Lagemar, UFF, Niterói.

CORADIN, T.; LOPEZ, P.J.; GAUTIER, C.; LIVAGE, J. From biogenic to biomimetic silica. *Comptes Rendus Palevol.*, 3:443-452, 2004.

CORDANI, U.G. Idade do vulcanismo do Oceano Atlântico Sul. São Paulo: Instituto de Geociências e Astronomia, Boletim IGA, 1, p. 9-75. 1970.

COSTA, L.M.; MOREAU, A.M.; MOREAU, M.S. Estabilidade da Sílica Biogênica Extraída de Capim Jaraguá (*Hyparrhenia rufa*) em Solução de NaOH. *Química Nova*, 2010B, 33(8):1658-1663.

COSTA, L. M. *et al.* Ocorrência de corpos silicosos em horizontes superficiais de solos de diferentes ecossistemas. Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]. 2010, vol.34, n.3, pp.871-879.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 3 ed. Rev. ampliada. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 353p. 2013.

COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Caracterização da Paisagem do Cerrado. In: FALEIRO, G. F.; NETO, A. L. F. (Org.). Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Distrito Federal: Ed.1 Editora eletrônica, 2008. p. 362- 378.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Brasília: EMBRAPA-SPI, 420 p. 2006.

FIGUEIREDO, R.C.L; HANDRO, W. Corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados V. In: Simp. sobre Cerrado, 3, 1971. Anais. Univ. São Paulo, São Paulo, SP.

FONTANA JR., P.; MUTH, H. Estruturas silicosas na gramínea *Panicum maximum*. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, 5:135-144, 1957.

FRAYSSE, F.; POKROVSKY, O.S.; SCHOTT, J.; MEUNIER, J.D. Surface properties, solubility and dissolution kinetics of phytoliths from bamboos of Reunion Island. Geochim. Cosmochim. Acta Suppl., A216, 2004.

GUNN, C.R.B.; KATZ, C.; BRADLEY, S.; DENNIS, J.V. e ZIES, P. 1997. The Drifting Seed, 3(1): 1-10.

HILDEBRAND, M. Biological processing of nanostructured silica in diatoms. Progress Organic Coatings, 47:256-266, 2003.

JUNIOR, A. V. I.; KÄMPF, N. Avaliação de procedimentos de extração dos óxidos de ferro pedogênicos com ditionitocitrato-bicarbonato de sódio. Rev. Bras. Ciência do Solo, 27:1139-1147, 2003

KELLY, E.F. Methods for extracting opal phytoliths from soil and plant material. In: Workshop on Biotic indicators of global change, Seattle, 1990.

KOHN, D.D.; WALSH, D.M. Plant species richness: the effect of island size and habitat diversity. Journal of Ecology, v.82, p.367-377. 1994.

KONDO, R.; CHILDS, C.; ATKINSON, I. Opal Phytoliths of New Zealand: Manaaki Whenua Press, 85 p., 1994.

LEPSCH, IGO F. 19 lições de pedologia. São Paulo. Oficina de Textos, 2016.

LE COHU, M.-C. Examen au Microscope Electronique à Balayage des cônes de silice chez les Cypéracées. C. R. Acad. Sci. Paris, v.277, p.1301–1303, 1973.

LIMA, L. G.; MEDEANIC, S. A variação morfológica dos fitólitos de opala em duas espécies de gramíneas na Planície Costeira do Rio Grande do Sul e sua importância nas paleoreconstruções. In: Congr. Abequa, 11, 2007. Res. Expand., Belém, Ass. Bras. Est. do Quaternário.

LIMA, L. G.; MEDEANIC, S. A variação morfológica dos fitólitos de opala em duas espécies de gramíneas na Planície Costeira do Rio Grande do Sul e sua importância nas paleoreconstruções. In: Congr. Abequa, 11, 2007. Res. Expandido, Belém, Ass. Bras. Est. do Quaternário.

LUCENA, U.P. Interações paleoclima e paleovegetação e inferências geomorfológicas em área de cerrado-vereda na bacia do Rio Peruaçu, Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, 2016. (Univ. Federal de Minas Gerais - Dissertação de Mestrado).

LUZ, L.D.; KALINOVSKI, E.C.Z.; PAROLIN, M.; SOUZA, F.E.E. Estágio Atual do Conhecimento sobre Fitólitos no Brasil. *Terræ Didática*, 2015. 11(1):52-64.

MACARTHUR, R.H.; WILSON, E.O. The theory of island biogeography. Princeton, New Jersey: Princeton University Press. 203p. 1967.

MADDELLA, M.; ALEXANDRE A., Ball T. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. *Annals of Botany*, 96(2) 253-260, 2005.

MARQUES, C. P. M.; JÚNIOR, A. P. M.; OLIVEIRA, F. S. Hidrogeomorfologia da Ilha da Trindade – caracterização da única rede hidrográfica permanente nas ilhas oceânicas brasileiras. XVII Simpósio de Geografia Física Aplicada. Campinas SP, 2017.

MARQUES, F.A. Caracterização e classificação de solos da Ilha de Fernando de Noronha (PE). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-Pernambuco, 101p., 2004. (Dissertação de Mestrado).

MEDEANIC, S.; CORDAZZO, C.V.; CORREIA, I.C.S.; MIRLEAN, N. Os fitólitos em Gramíneas de Dunas do Extremo Sul do Brasil: Variabilidade Morfológica e Importância nas Reconstruções Paleoambientais Costeiras. *Gravel*, 2008. 6(2):1-14.

MEUNIER, J. D.; ALEXANDRE, A. Interêt de l'étude du cycle biogéochimique du silicium pour interpréter la dynamique des sols tropicaux. *Bull. Soc. Géol. France*, v.172, n.5, p.533-538, 2001.

MONTEIRO, M.R.; PAROLIN, M.; GUERREIRO, R.L. Primeiras considerações paleoambientais com análise de fitólitos em sedimentos turfosos nos Campos Gerais do Estado do Paraná. In: Cong. Abequa, 13, 2011. Res. Expand., Ass. Bras. Estudos Quaternário, Búzios, RJ, 2011.

MONTEIRO, M.R. 2012. Paleoambientes indicados através da análise de fitólitos e $\delta^{13}\text{C}$ em sedimentos turfosos nos Campos Gerais do Estado do Paraná. Campo Mourão: Univ. Tecn. Fed. Paraná. 61p. (Depart. Engenharia Ambiental, Monografia).

MONTEIRO, M. R.; PEREIRA, J. S. R.; RASBOLD, G.G.; PAROLIN, M.; CAXAMBÚ, M. G. Morfologia de Fitólitos Característicos de duas Espécies de Arecaceae do Bioma Mata Atlântica: *Bactris setosa* Mart. e *Geonoma schottiana* Mart. *Rev. Biol. Neotr.*, 2012. 9(1):10-18.

MONTENEGRO, A. A.; RIBEIRO, M. R.; MONTENEGRO, S. M.; CORRÊA, M. M.; SANTOS, T. E. Potencialidades hídricas superficiais de Fernando de Noronha, PE, e alternativas para incremento da oferta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, p. 931-939, 2009.

MÜNSELL. Soil Color Charts. Maryland: 1994.

OLLENDORF, A. L. Archeological implications of a phytolith study at Tel Mique (Ekron), Israel. *J. Field Archaeol.*, v.14, p.453–463, 1987.

OLIVEIRA, F.S.. Fosfatização em solo e rocha em ilhas oceânicas brasileiras. Universidade Federal de Viçosa, Fev. 2008. Dissertação de Mestrado (Solos e Nutrição de Plantas). Viçosa, MG. 124p. 2008.

OSTERRIETH, M.; FERNANDEZ H, M. Micromorphology and phytoliths study in coastal dunes of the Southeastern Pampean Plains, Buenos Aires province, Argentina. En. In: Madella, M., Zullo, D. (Eds.), *Plant, People and Places e Recent Studies in Phytolith Analysis*, 18. Oxbow Books, pp. 209e216. 2007.

PAROLIN, M.; RASBOLD, G.G.; PESSENDA, L.C.R. Primeiras considerações palinológicas e paleoclimáticas do Pleistoceno Tardio na região de Campo Mourão, Paraná, Brasil. In: Cong. Abequa, 13, 2011. Res. Expand., Búzios, RJ, Ass. Bras. Est. do Quaternário, 2011.

PAULA, L.M.A.; SILVA, P.C. A formação do mineral opala biogênica nos solos dos cerradões de Uberlândia. In: Simp. Nac. Geomorfologia, 7, 2006. Res. Expand..., Belo Horizonte, Univ. Fed. Minas Gerais.

PEREIRA, G.L. Identificação de fitólitos a partir de fragmentos de carvão. Cadernos do LEPAARQ, 2010. 7:13-14.

PIPERNO, D. R.; BECKER, P. Vegetational History of a Site in the Central Amazon Basin Derived from Phytolith and Charcoal Records from Natural Soils. Quaternary Research, 1996. 45(2):202-209.

PIPERNO, D.R. The Status of Phytolith Analysis in the American Tropics. Journ. World Prehist., 1991. 5(2):155-191.

PIPERNO, D. R.; PEARSALL, D. M. The Silica Bodies of Tropical American Grasses: Morphology, Taxonomy and Implications for Grass Systematics and Fossil Phytolith Identification. Smithsonian Contribution to Botany, v. 85, p. 1-40, 1998.

PIPERNO, D., Phytoliths. A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists. AltaMira Press, Oxford, 2006.

PIPERNO, D.R., Phytolith Analysis. An Archaeological and Geological Perspective. Academic Press, New York, 1988. 280 pp.

RAITZ, E. Coleção de referência de Silicofitólitos da flora do Sudoeste do Paraná: Subsídios para estudos paleoambientais. Francisco Beltrão: Univ. Est. Oeste do Paraná, 2012. 204p. (Progr. Pós-Grad. Geografia, Dissert. Mestrado).

RASBOLD, G.G.; MONTEIRO, M.R.; PAROLIN, M.; CAXAMBÚ, M.G., PESSENDA L.C.R. Caracterização dos Tipos Morfológicos de Fitólitos Presentes em *Butia paraguayensis* (Barb. Rodr.) L. H. Bailey (Arecaceae). Iheringia, 2011. 66(2):265-270.

RASBOLD, G.G.; PAROLIN, M.; CAXAMBÚ, M.G.; PESSENDA, L.C.R. Avaliação e Quantificação dos Fitólitos Presentes em *Chloris elata* Desv., *Chloris gayana* Kunth e *Tripogon spicatus* (Ness) Ekman (Chloridoideae). Iheringia, 2012. 67(2):137-148.

RASBOLD, G.G.; PAROLIN, M.; CAXAMBÚ, M.G. Avaliação das formas de fitólitos presentes em *Cyperus giganteus* Vahl (Cyperaceae). In: Enc. Prod. Científica Tecnológica, 5, Anais..., Fac. Est. Ciências Letras Campo Mourão, Campo Mourão, PR, 2010.

RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. Inf. Agropec., 11:3-18, 1985.

SÁ, M.M.F. Caracterização ambiental, classificação e mapeamento dos solos da ilha da Trindade, Atlântico Sul. 2009. Dissertação de Mestrado. UFV, Viçosa - Minas Gerais.

SANTOS, R. D.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H., Manual de descrição e coleta de solo no campo. 7 ed. Viçosa: SBCiS. 102 p. 2015.

SEIXAS, A. P. Reconstituição paleobiogeoclimática de registros sedimentares fluviais no Quadrilátero Ferrífero, Minas Merals, através de análises fitolíticas e de isótopos de carbono. Rio de Janeiro, Brasil. Monografia apresentada como pré requisito para obtenção do grau de licenciatura em Geografia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro. São Gonçalo, 2015.

SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.N.B.; ALBUQUERQUE-FILHO, M.R.; MICHEL, R.F.M.; VIANA, J.; TATUR, H.M. Fosfatização: Processo de formação de solos na Baía do Almirantado e implicações ambientais.

In: SCHAEFER, C.E.G.R., FRANCELINO, R., SIMAS, F.N.B., ALBUQUERQUE FILHO, R. (Eds.), *Ecossistemas Costeiros e Monitoramento Ambiental da Antártica Marítima, Baía do Almirantado, ilha Rei George*. NEPUT–DPS. Viçosa. pp. 47–59. 2004.

SCHAEFER, C.E.G.R. Brazilian latosols and their B horizon microstructure as longterm biotic constructs. *Australian Journal Soil Research*, 39:909-926. 2001.

SCHAEFER, C.E.G.R.; ALBUQUERQUE, M.A.; CAMPOS, J.C.F.; CHARMELO, L.L.; SIMAS, F.N.B. Elementos da paisagem e Gestão da Qualidade Ambiental. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 21 (202):20-44, 2000.

SENDULSKY, T.S.; LABOURIAU, L.G. Corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados. I. In: *Simpósio sobre Cerrado*, 1, Anais..., Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, RJ, 1966.

SERAFINI, F.; ANDRIGUETTO, F. Ilhas oceânicas brasileiras: biodiversidade conhecida e sua relação com o histórico de uso e ocupação humana. *Revista de Gestão Costeira Integrada* 10(3):281-301 (2010).

SILVA, S.T.; LABOURIAU, L.G. Corpos Silicosos de Gramíneas dos Cerrados III. *Pesq. Agrop. Brasileira*, 1970. 5:167-182.

SILVA, N.G.; ALVES, R.J.V. The eradication of feral goats and its impact on plant biodiversity - a milestone in the history of Trindade Island, Brazil. *Rodriguésia*, 2011. 62: 717-719.

SÖNDAHL, M.R.; LABOURIAU, L.G. Corpos Silicosos de Gramíneas dos Cerrados IV. *Pesq. Agrop. Brasileira*, 1970. 5:183-207.

TWISS, C. Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. In: G. RAPP, J.; MULHOLAND, S. C. (Ed.). *Phytolith Systematics*. New York: Plenum Press, 1992.

TWISS, C. Dust deposition and opal phytoliths in the Great Plains. *Transactions of the Nebraska Academy of Sciences*, v.XI, n.special issue, p.73-82, 1969.

WAGNER, W.L.; HERBST, D. R.; SOHMER, S.H. *Manual of the Flowering Plants Of Hawaii*. v. 1 e 2. Havai: University of Havai Press e Bishop Museum Press, 1854 p.,1991.

WALLIS, L. An overview of leaf phytolith production patterns in selected northwest Australian flora. *Review of Palaeobotany and Palynology*, v.125, p.201-248, 2003.

WESOLOWSKI, V.; SOUZA, S.M.F.M.; REINHARD, K. Grânulos de amido e fitólitos em cálculos dentários humanos: contribuição ao estudo do modo de vida e subsistência de grupos sambaquianos do litoral sul do Brasil. *Rev. Mus. Arq. Etn.*, 2007. 17:191-210.

ANEXO I - FOTOS E DESCRIÇÃO DOS PERFIS DE SOLO ANALISADOS NA ILHA DA TRINDADE

Perfil 1 – Terraço Praia dos Cabritos (200 metros da faixa de areia)



Data da coleta: 25/06/2015 – Hora:12:56:39

Coordenada UTM 26S: 0256816 – 7732043

Declividade: 8%

Relevo: Bastante movimentado formado por escarpas íngremes.

Altitude: 28m

Vegetação: *Cyperus atlanticus* e *Bulbostylis nesiotis*.

Presença de calhaus, matacões e detritos rochosos cobrindo cerca de 30% da superfície. Do lado esquerdo do perfil há um afloramento rochoso em forma de cabeça de cachorro que serve de local de nidificação para algumas aves. A camada superficial do solo é bastante cascalhenta. A partir de 50cm de profundidade o solo começa a grudar na enxada indicando possível concentração de silte ou argilas. Erosão considerável com presença de duas ravinas profundas próximo ao perfil (uma à direita outra à esquerda)

0 – 20 cm

Presença de muitas raízes finas. Bastante pedregoso.

Estrutura granular e em blocos angular e subangulares fraca /moderada. Pegajoso.

Cor: 10 YR 2/1

Transição gradual

20 – 60+ cm

Presença de poucas raízes. Solo bastante pegajoso.

Estrutura granular fina; muito pegajoso.

Cor: 7YR 2,5/1

Perfil 2 – POIT (acima da casa da chefia) parte superior da média vertente



Data da coleta: 27/06/2015 – hora: 13:59:19

Coordenada UTM 26S: 0258470 - 7730374

Declividade: 10%

Relevo: Bastante movimentado formado por escarpas íngremes.

Altitude: 85m

Vegetação: *Cyperus atlanticus* exuberantes chegando a altura da cintura.

Detritos rochosos de tamanhos variados (calhaus, matacões, etc.) cobrindo 50% da superfície. Camada superficial pedregosa e com bastante matéria orgânica. Presença de formigas e minhocas junto as raízes dos tufos de *Cyperus* arrancados durante abertura do perfil. Perfil difícil de abrir devido a presença de detritos de rocha nos horizontes do solo.

0 – 20cm

Presença de muitas raízes finas. Estrutura granular moderada. Transição irregular e clara.

Cor: 7YR 3/1.

20 – 70+cm

Pouca presença de raízes finas. Presença marcante de detritos rochosos. Estrutura granular fraca.

Cor: 7YR 2,5/1

Perfil 3 - Mata de *Cyathea delgadii* (samambaias gigantes) abaixo do platô do Desejado (face Oeste).

Data da coleta: 29/06/2015 – Hora:10:52:35

Coordenada UTM 26S: 0257311 – 7730346

Declividade: 21%

Relevo: Bastante movimentado formado por escarpas íngremes

Altitude: 512m

Vegetação: predominância de samambaias gigantes (+- 4m) (*Cyathea delgadii*) e raros *Cyperus* e *Bulbostylis*. Presença de diversas samambaias rasteiras. Superfície coberta por uma camada de material fibroso semidecomposto (serapilheira) com cerca de 20cm. Sem presença de detritos de rocha. Presença de minhocas na camada superficial do solo.

0 – 20cm

Horizonte escuro com muita matéria orgânica. Presença de muitas raízes finas e muito finas. Estrutura granular fraca. Porosidade alta. Consistência macia.

Cor: 7YR 2,5/1

20-40cm

Transição suave e plana. Presença de poucas raízes. Estrutura em blocos angulares e sub angulares fraca. Bastante pegajoso.

Cor: 7YR 4/3

40 – 85+

Estrutura fraca em blocos angulares e sub angulares. Bastante pegajoso.

Cor: 7YR 4/3

Perfil 4 - Praia dos Andradas, baixo de pico rochoso com detritos no sopé.



Data da coleta: 30/06/2015 – hora: 13:51:00

Coordenada UTM 26S: 0259425 – 7729914

Declividade: 8%

Relevo: Baixa vertente relativamente suave

Altitude: 22m

Vegetação: *Cyperus atlanticus* cobrindo toda superfície.

Blocos e detritos de rocha cobrindo cerca de 30% da superfície. Erosão laminar leve. Presença de ravina profunda próximo ao perfil. Perfil aberto a cerca de 50m da faixa de areia.

0 -16 cm

Bastante pedregoso. Presença de raízes finas. Consistência macia. Estrutura granular fraca. Pegajosidade media. Porosidade alta.

Cor: 7YR 3/3

16 – 35 cm

Presença de raízes finas um pouco menor que horizontes acima. Presença de detritos rochosos não intemperizados. Estrutura fraca em blocos angulares e sub angulares. Porosidade média. Consistência macia.

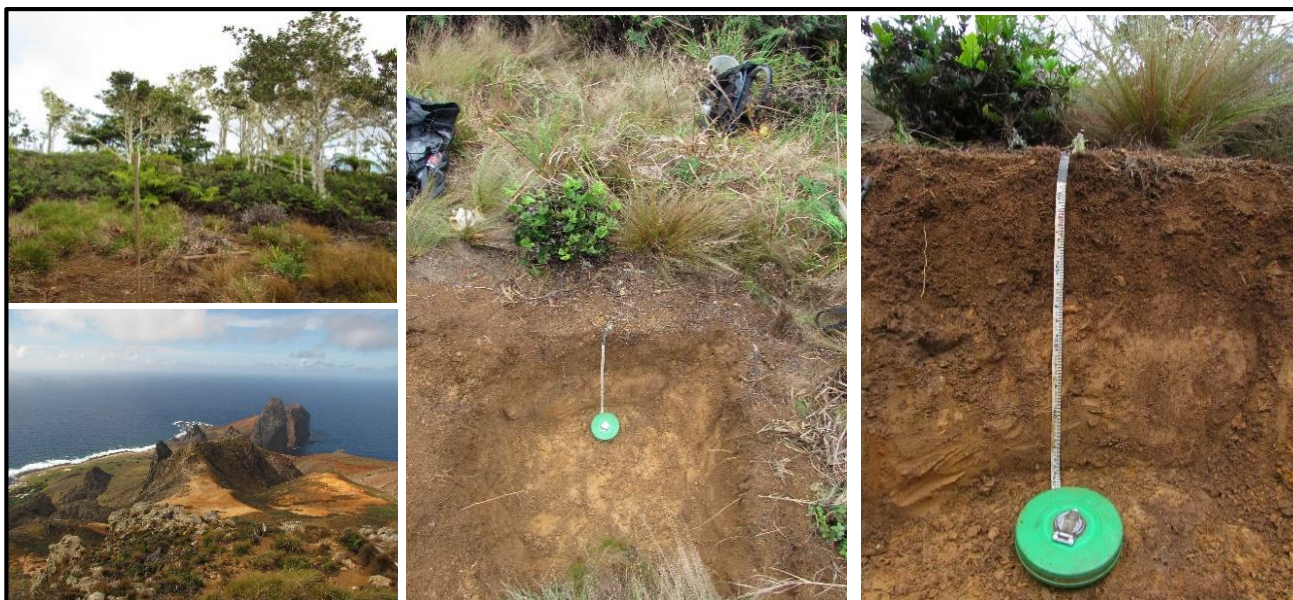
Cor: 7,5 YR 3/2

35 – 55+

Poucas raízes. Saprolito com alguns detritos de rocha bem consolidados entre horizontes. Estrutura fraca em blocos angulares e subangulares. Porosidade média. Pegajosidade média. Consistência macia.

Cor: 7,5YR 4/2

Perfil 5 - Pico Desejado



Data da coleta: 02/07/2015 – hora:10:23:43

Coordenada UTM 26S: 0257579 – 7730173

Declividade: 2%

Relevo: Platô de topo relativamente plano.

Altitude: 584m

Vegetação: Presença de vegetação arbórea, cerca de 30%, com muitas epífitas (*Usnea laevis*) de cor creme-esverdeada penduradas nos galhos e trocos. Muitas samambaias rasteiras intercaladas com *Cyperus* e *Bulbostylis*. Presença de algumas samambaias gigantes ainda pouco desenvolvidas. Presença pouco marcante de outras espécies rasteiras. Presença de matacões dispersos.

Solo passa a grudar na escavadeira após os 20cm de profundidade.

0 – 10cm

Presença de muitas raízes finas. Porosidade média. Estrutura fraca granular. Consistência média e pegajosidade média.

Cor: 7YR 3/3

10 – 25cm

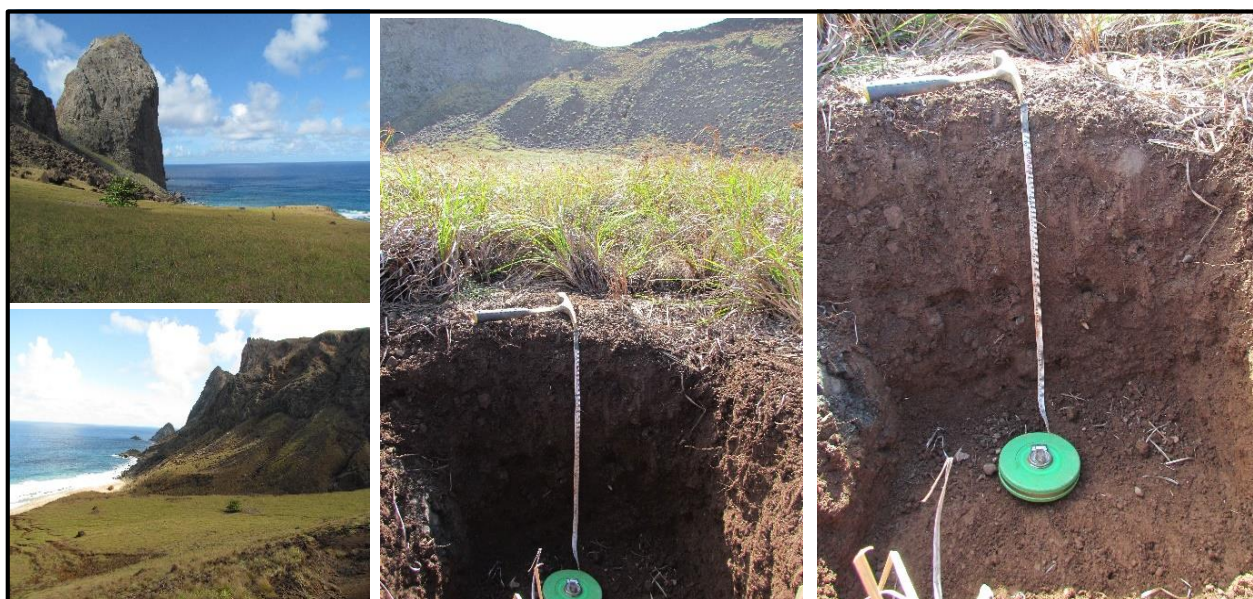
Presença de poucas raízes. Porosidade média. Estrutura granular fraca. Pegajosidade média. Consistência macia.

Cor: 7YR 3/2

25 - 51cm

Horizonte compacto com presença de detritos de rocha. Muito resistente a perfuração. Presença de saprolito. Estrutura placoide média. Consistência ligeiramente dura. Pegajosidade média.

Cor: 7YR 4/6

Perfil 6 - Platô Praia do Príncipe

Data da coleta: 03/07/2015 – hora: 10:03:32

Coordenada UTM 26S: 0258865 – 7729537

Declividade: 13%

Relevo: Platô na média vertente. Terço médio da paisagem com grande ravinamento à esquerda do perfil, cerca de 20m de profundidade.

Altitude: 65m

Vegetação: predomínio de *Cyperus* com pequena presença de *Bulbostytis*. Presença de uma “castanheira sete copas”, provavelmente plantada, a direita do perfil. Cerca de 30% coberta por detritos de rochas (blocos, matacões e diâmetros menores)

0 – 17cm

Muito pedregoso e difícil de perfurar. Presença de raízes finas e minhocas. Porosidade média. Estrutura fraca em blocos angulares e subangulares. Pegajosidade média e consistência média.

Cor: 7,5YR 2,5/1

17 – 35cm

Muito pedregoso com algumas raízes. Estrutura média em blocos angulares e subangulares. Porosidade média. Consistência média. Pegajosidade média.

Cor: 7YR 3/3

35 – 60cm+

Bastante pedregoso com poucas raízes finas. Um pouco mais pegajoso que o horizonte acima. Estrutura fraca em blocos amgulares e subangulares. Consistência macia.

Cor: 7YR 3/3

Perfil 7 - Média vertente Praia dos 5 Farrilhões (face Oeste)



Data da coleta: 06/07/2015 – Hora: 09:45:37

Coordenada UTM 26S: 0257045 - 7729338

Declividade: 20 %

Relevo: Media vertente bastante inclinada.

Altitude: 109m

Predomínio de *Cyperus* com alguns *Bulbostylis* e poucos *Doryopteris campos-portoi* esparsos. Cerca de 60% da superfície coberta por calhaos e matações de rocha. Acima do perfil há um pico rochoso com bastantes pássaros nidificando. Presença de muitos fungos de cor musgo claro nos blocos de rochas espalhados pela superfície. Presença de muitos troncos de grande porte entre os blocos rochosos. Provavelmente são troncos de *Colubrinas* carregados pelas enxurradas, pois no presente não há solo suficiente no local para suportar árvores de grande porte. Perfil muito difícil de perfurar devido a ocorrência de muitos detritos de rocha nos horizontes. Transição bem gradual entre os horizontes. Presença de baratas pequenas entre os tufo de gramíneas arrancados para abertura do perfil.

0 – 10cm

Presença de muitas raízes finas e algumas minhocas. Horizonte bastante pedregoso. Estrutura granular fraca. Pegajosidade média. Porosidade média.

Cor: 10YR 3/2

10 – 30cm

Presença de muitas raízes finas e detritos rochosos no perfil. Bastante pedregoso. Estrutura fraca granular media. Pegajosidade media. Consistência macia.

Cor: 10YR 4/3

30 – 68cm+

Presença de poucas raízes finas. Solo suja os dedos, mas sai fácil sem fixar. Presença de blocos rochosos que no perfil que impedem continuar perfuração. Estrutura granular fraca. Porosidade alta. Pegajosidade media.

Cor: 10YR 3/3

Perfil 8 – Alto do Morro Vermelho



Data da coleta: 08/07/2015 – hora: 08:16:03

Coordenada UTM 26S: 0257658 – 7729603

Declividade: 20 %

Relevo: Topo relativamente inclinado.

Altitude: 470m

Perfil aberto na parte mais elevada a noroeste da cela formada entre o Morro Vermelho e o Pico Grazinas. Presença predominante de *Bulbostylis* que parecem mais resistentes ao vento e a erosão eólica que o *Cyperus*. Indícios de intensa erosão eólica. Presença de samambaias rasteiras esparsas. Local com muitas tocas de caranguejos. Superfície não apresenta detritos rochosos. Presença de veio cascalhento na vertical a partir de 50cm de profundidade.

0 – 15cm

Presença de raízes finas e tocas de caranguejos. Estrutura granular fraca. Porosidade alta. Consistência macia. Pegajosidade média.

Cor: 7YR 3/4

15 – 41cm

Presença de poucas raízes finas. Presença de veio cascalhento na vertical até o fim do perfil. Estrutura fraca em blocos angulares e subangulares. Porosidade média. Pegajosidade média. Consistência média.

Cor: 5YR 4/6

41 – 80cm

Presença de veio cascalhento na horizontal abrangendo metade do horizonte. Presença de muitas raízes finas no veio cascalhento e poucas raízes fora dele. Torrões apresentam lustrosidade, ou seja, brilho espelhado ao ser cortado pela pá de coleta. Estrutura média em blocos angulares e subangulares. Porosidade baixa. Consistência macia. Pegajosidade media.

Cor: 5YR 3/4

80 – 115+cm

Presença de veio cascalhento na horizontal com poucas raízes finas. Fora de veio não há ocorrência de raízes. Presença de lustrosidade nos agregados ao serem cortados pela pá de coleta. Estrutura em blocos subangulares fraca. Consistência macia. Pegajosidade baixa. Porosidade baixa.

Cor: 5YR 4/3

Perfil 9 – Pico Grazina

Data da coleta: 09/07/2015 – Hora: 09:40:48

Coordenada UTM 26S: 0257849 - 7729598

Declividade: 12 %

Relevo: Topo levemente inclinado.

Altitude: 472m

Ausência de detritos rochosos na superfície. Ocorrência de muitas tocas de caranguejos. Vegetação predominante de *Bulbostylis* com tufo de samambaias rasteiras e *Cyperus* dispersos. Perfil com horizontes muito homogêneos.

Presença de veio cascalhento com bastante raízes finas a partir de 30cm de profundidade. Transição muito suave entre os horizontes. Ocorrência de cascalheira a partir de 90cm impede continuar perfuração do perfil.

0 – 10cm

Ocorrência de muitas raízes finas. Estrutura granular fraca. Consistência macia. Pegajosidade média. Transição plana e gradual. Porosidade media.

Cor: 7,5YR 3/4

10 – 45cm

Ocorrência de poucas raízes. Estrutura em blocos angulares e subangulares média. Consistência média. Pegajosidade média. Porosidade média. Transição muito sutil.

Cor: 5YR 4/6

45 – 90cm

Ocorrência de formigueiros de minúsculas formigas. Ocorrências de poucas raízes finas no veio de cascalho. Horizonte apresenta lustrosidade ao ser cortado pela pá de coleta e termina em camada cascalhenta. Porosidade menor que horizonte acima. Estrutura em blocos angulares e subangulares. Consistência média.

Cor: 5YR 4/4

Perfil 10 – Platô Noroeste



Data da coleta: 13/07/2015 – hora: 11:31:07

Coordenada UTM 26S: 0256370 – 7731348

Declividade: 5 %

Relevo: Topo relativamente plano.

Altitude: 399m

Superfície bem plana com muitas folhas em processo de decomposição. Sem ocorrência de blocos rochosos. Ocorrência de forte processo erosivo nas bordas do platô sugerindo uma possível captura fluvial no futuro. Presença predominante de *Cyperus* com algumas samambaias rasteiras e alguns *Bulbostylis* esparsos. Consta também no platô bastantes pés de banana e alguns de araçá (*Psidium cattleianum*). Há também um halo de *Guilandina*.

0 – 20cm

Presença de muitas raízes finas e algumas médias. Ocorrência de minhocas. Textura granular fraca. Porosidade alta. Pegajosidade media. Consistência macia.

Cor: 10YR 3/3

20 – 40cm

Ocorrência de poucas raízes finas. Estrutura granular fraca. Consistência media. Porosidade média. Consistência macia.

Cor: 7,5YR 3/4

40 – 63cm+

Horizonte compacto oferecendo grande resistência a perfuração. Estrutura em blocos angulares. Pouquíssimas raízes finas. Consistência macia. Pegajosidade e porosidade media.

Cor: 7,5 YR 4/3

Perfil 11 – Terraço Praia dos Portugueses (Próximo ao POIT)



Data da coleta: 15/07/2015 – Hora: 10:21:10

Coordenada UTM 26S: 0258274 - 7730768

Declividade: 15 %

Relevo: Média vertente relativamente inclinada.

Altitude: 45m

Superfície muito pedregosa com cerca de 40% do terreno coberto por blocos e matacões. Predomínio de *Cyperus atlanticus* cobrindo a superfícies e alguns *Bulbostylis nesiotis* esparsos. Ocorrência de muitas tocas de caranguejos no local de abertura do perfil. Formação de pequena ravina coberta por *Cyperus* à direita do perfil.

0 – 15cm

Muito pedregoso e com muitas raízes finas. Estrutura granular fraca. Consistência macia. Pegajosidade baixa. Porosidade alta.

Cor: 7YR 3/4

15 – 35cm

Pedregosidade um pouco menor que horizonte acima. Presença de muitas raízes finas. Outros atributos iguais ao horizonte logo acima.

35 – 50cm+

Ocorrência de raízes finas em menor quantidade que horizontes acima. Muitos detritos rochosos e ocorrência de saprolito. Estrutura granular e em blocos angulares e subangulares fraca. Porosidade media. Pegajosidade media. Consistência macia. Contato litólico impedindo continuar escavação.

Cor: 7YR 3/2

Perfil 12 – Média vertente Praia do Eme

Data da coleta: 16/07/2015 – Hora: 11:06:56

Coordenada UTM 26S: 0256597 – 772988

Declividade: 17 %

Relevo: Média vertente bastante escarpada.

Altitude: 89m

Superfície muito pedregosa com cerca de 75% do terreno coberto por calhaus e matacões. Predomínio de *Cyperus* e vários exemplares de *Doryopteris*, alguns dos quais apresentam-se secos e aparentemente mortos. Ocorrência de curso d'água perene com vazão significativa a direita e a esquerda do perfil. Presença de vários atobás e ninhais de outras aves nos rochedos próximos ao local do perfil. Possível área de ninhais. Ocorrência de muitos troncos mortos, possivelmente de *Colubrinas*, nas partes mais declivosas da vertente. Não foi possível constatar o odor peculiar de solos com características ontogênicas citado por SÁ (2010).

0 – 15cm

Presença de muitas raízes finas e muitos detritos rochosos. Estrutura granular fraca. Porosidade alta. Pegajosidade media. Consistência macia.

Cor: 5YR 3/4

15 – 30cm

Ocorrência de raízes finas um pouco menor que horizonte acima. Muito pedregoso. Estrutura granular fraca. Pegajosidade media. Consistência macia. Porosidade alta.

Cor: 5YR 3/4

30 – 52cm

Presença de poucas raízes finas. Ocorrência de saprófito a partir de 52cm. Muito pedregoso com detritos rochosos mais alterados que horizontes acima. Estrutura em blocos angulares e subangulares fraca. Consistência macia. Pegajosidade media.

Cor: 2YR 3/4

Perfil 13 – Sopé do Pão de açúcar /Praia das Tartarugas



Data da coleta: 21/07/2015 – Hora: 09:46:00

Coordenada UTM 26S: 0259456 - 7729351

Declividade: 5 %

Relevo: Baixa vertente relativamente plana.

Altitude: 29m

Perfil aberto a cerca de 200m da faixa de areia da Praia das Tartarugas. Blocos e matações cobrindo em torno de 60% do terreno. Superfície plana recoberta por *Cyperus* e poucos exemplares de *Pityrogramma calomelanos*. No alto do “morro pelado”, a esquerda do perfil, há ocorrência de grandes halos de *Guilandina banduc*. Presença de dunas de areias calcárias com ocorrência de fulgoritos à direita do perfil. Ocorrência de muitas aves nidificando

nas fendas do pão de açúcar localizado logo acima do perfil. Ocorrência mais proeminente de samambaias rasteiras entre os detritos rochosos ao pé do pão de açúcar. Presença de camada considerável de *Cyperus* morta recobrindo o solo no local do perfil. Perfil com três horizontes bem definidos. Ocorrência de ossos, provavelmente de aves, bem degradados a 45cm de profundidade. Não foi possível constatar o odor peculiar de solos com características ornitogênicas citado por SÁ (2010).

0 – 40cm

Horizonte bastante cascalhento com ocorrência de muitas raízes. Camada superior mais escura com cerca de 1cm. Estrutura granular fraca. Porosidade alta. Pegajosidade baixa. Consistência macia. Transição plana e abrupta.
Cor: 5YR 3/4

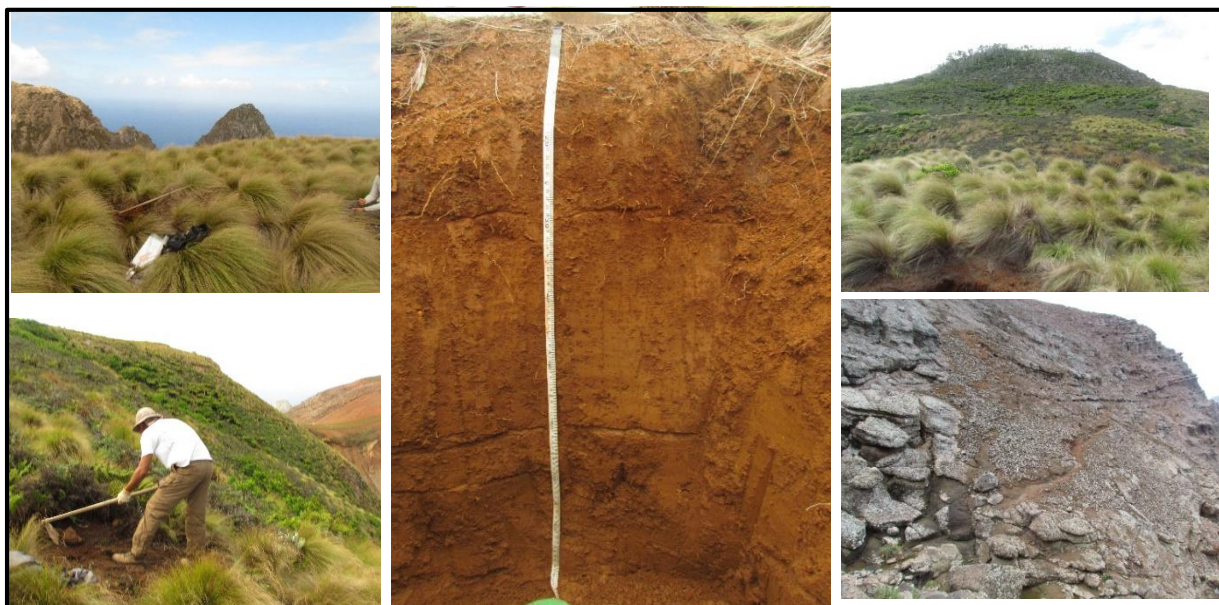
40 – 80cm

Horizonte cascalhento apresentando tonalidade mais escura e com menos raízes finas que horizonte acima. Estrutura em blocos angulares/granular fraca. Consistência macia. Porosidade alta. Pegajosidade baixa. Transição plana e abrupta.
Cor: 7YR 3/2

80 – 110cm +

Menos pedregoso que horizonte acima. Ocorrência de pouquíssimas raízes finas. Estrutura em blocos angulares/granular fraca. Consistência macia. Porosidade alta. Pegajosidade média.
Cor: 7,5 YR 4/3

Perfil 14 – Platô Ponta verde



Data da coleta: 23/07/2015 – hora: 10:49:25

Coordenada UTM 26S: 0257418 – 7729836

Declividade: 7 %

Relevo: Platô relativamente plano.

Altitude: 469m

Superfície do perfil recoberta com *Bulbostylis*. Ocorrência de samambaias rasteiras com anverso das folhas branco/prateado. Presença de algumas samambaias gigantes ainda pouco desenvolvidas com cerca de 50cm de altura. Há também arbustos de uma espécie lenhosa espalhados pela paisagem. Cerca de 10% do terreno recoberto por afloramentos e matações contendo fungos acinzentados e líquens verde musgo. Presença de camada com aproximadamente 7cm de espessura de material fibroso recobrindo superfícies do perfil.

0 - 30cm

Horizonte muito fibroso com ocorrência de muitas raízes finas. Estrutura em blocos angulares e subangulares média. Porosidade alta. Consistência firme. Pegajosidade média. Ocorrência de pequenos nódulos de material orgânico entre os agregados.

Cor: 5YR 4/6

30 – 60cm

Horizonte compacto com poucas raízes finas apresentando lustrosidade ao ser cortado pela pá de coleta. Estrutura em blocos angulares e subangulares moderada. Consistência ligeiramente duro. Pegajosidade alta. Porosidade média.

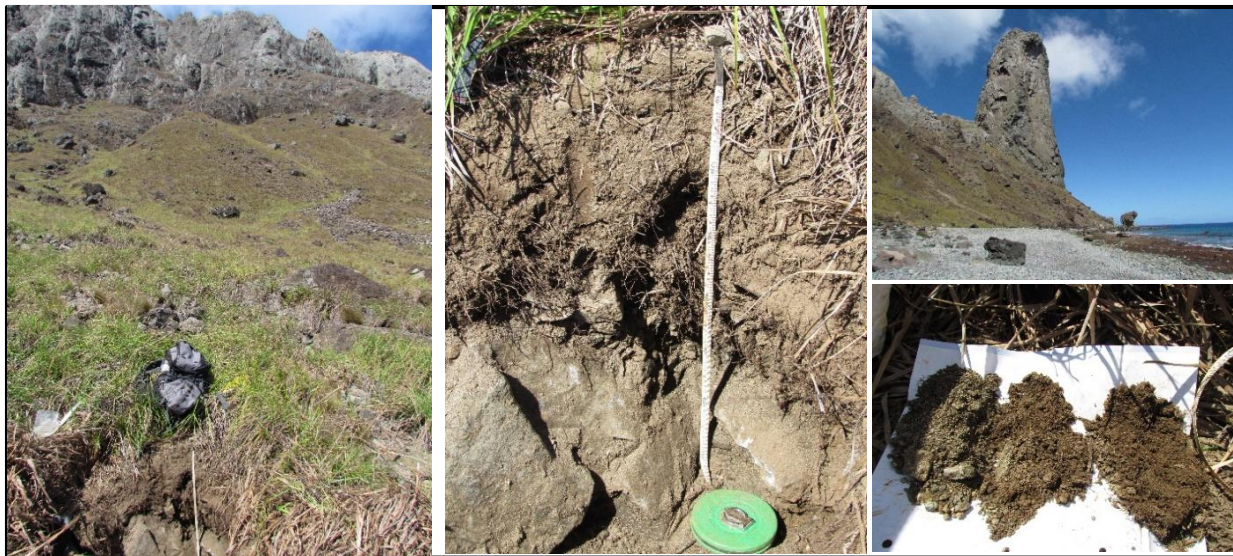
Cor 5YR 4/4

60 – 90cm+

Horizonte compacto com ausência de raízes. Estrutura em blocos angulares e subangulares moderada. Consistência ligeiramente dura.

Cor: 5YR 4/4

Perfil 15 – Praia do Noroeste



Data da coleta: 31/07/2015 – hora: 10:50:59

Coordenada UTM 26S: 0255772 – 7731648

Declividade: 25%

Relevo: Baixa Vertente.

Altitude: 24m

Perfil aberto na baixa vertente, a 50m da Praia do Noroeste, próximo ao monumento. Predomínio de *Cyperus* e *Bulbostylis* esparsos. Terreno coberto por cerca de 70% de blocos, matacões e outros detritos rochosos menores. Perfil extremamente pedregoso e difícil de perfurar, com muitos detritos de rocha inalterados. Horizontes difíceis de serem individualizados.

0 – 10cm

Horizonte com muitos restos vegetais em processo de decomposição. Ocorrência de uma espécie de formiga bem pequena e com asas. Ocorrências de poucas raízes finas. Estrutura granular fraca. Consistência macia. Pegajosidade media. Porosidade alta. Transição difícil de visualizar.

Cor: 10YR 3/2

10 – 30cm

Ocorrência de muitas raízes finas emaranhadas entre detritos rochosos grandes. Estrutura granular fraca. Pegajosidade baixa. Porosidade média. Consistência macia.

Cor: 10YR 3/2

30 – 73cm

Horizonte muito pedregoso com ocorrência de uma espécie de areia fina. Muitos detritos rochosos grandes. Estrutura granular fraca solta. Consistência baixa. Porosidade alta. Pegajosidade baixa.

Cor: 10YR 3/2

ANEXO II - PROTOCOLO PARA EXTRAÇÃO DE FITÓLITOS DE SOLOS

Adaptado de Coe (2009), Seixas (2015) e EMBRAPA (1997).

1) Secagem das amostras de solo/sedimento.

Materiais:

- Estufa;
- Cápsulas de porcelana 50 mL ou placas de petri 100 mm de diâmetro;
- Peneiras de malha 2 mm;
- Sacos plásticos para armazenagem de solo.

Procedimentos:

Destorroar a amostra levemente para não danificar os fitólitos. Peneirar em peneira 2 mm. Obs.: lavar e secar bem a peneira entre cada amostra para diminuir a contaminação. Separar 50g da amostra em placa de petri ou cápsula de porcelana tarada em balança de precisão. Levar à estufa aquecida a 110°C por 24 horas. Retirar da estufa e colocar em dessecador. Após esfriar, armazenar em sacos plásticos bem vedados para evitar umidade.

2) Descarbonatação

Materiais:

- Mesa Agitadora orbital tipo *Kline*;
- Falcons 50 mL;
- Beckers de 500 mL;
- Papel indicador de pH ou Phmetro digital;
- Galões plástico transparentes para armazenar o resíduo de HCl e CaCl₂;
- Óculos e luvas de nitrilo.

Reagentes:

- Solução de ácido clorídrico HCl 32% 1N
- Cloreto de Cálcio (CaCl₂) 0,94g/l.

Procedimentos:

Caso o solo seja originado de rochas carbonáticas, proceder a descarbonatação com HCl 32% a 1 N (84 mL para 1 L) de acordo com Kelly apud Coe (2012). Transferir 20g da amostra de solo/sedimento para os *erlenmeyers* de 250 mL. Acrescentar 30 mL de ácido clorídrico 32% diluído a 1 N. Agitar na mesa agitadora orbital tipo *Kline* por 1 hora. Acrescentar 10 mL de Cloreto de Cálcio Anidro puríssimo (CaCl₂) (solução de 0,94g para 1 litro de água destilada). Transferir para os *falcons* e centrifugar por 5 minutos a 4000 rpm. Descartar o sobrenadante e repetir a operação até que não haja mais volatilização. Acrescentar

água destilada e centrifugar 7 vezes ou até atingir pH entre 4 e 5. Obs.: Numerar as tampas dos *falcons* para que não haja contaminação com a troca das mesmas.

3) Branqueamento

Materiais:

- Beckers 500 mL;
- Ebulidor ou chapa aquecedora;
- Becker 1 litro;
- Vidros de relógio;
- Bastões de vidro;
- Papel indicador de pH ou pHmetro digital;
- Capela de exaustão;
- Galões transparentes para armazenar o resíduo de NaClO;
- Hipoclorito de Sódio 4-6% (NaClO) para análise;
- E.P.I: óculos e luvas de nitrilo.

Procedimentos:

Transferir a amostra para um becker de 500 mL, aplicar 50 mL de Hipoclorito de Sódio 4-6%, o suficiente para cobrir 20g de amostra. Observar a reação e acrescentar mais Hipoclorito de Sódio caso não haja reação. Tampar com vidro de relógio e deixar reagindo por no máximo 72 horas. Para retirada do Hipoclorito de Sódio, transferir os beckers para a capela, acrescentar água deionizada quente até encher os beckers. Medir o pH com papel indicador de pH ou pHmetro, verificando se ocorreu a neutralização da base (pH entre 6 e 7). Deixar decantando por no mínimo 2 horas e retirar o sobrenadante. Repetir a operação caso não ocorra a neutralização do Hipoclorito de Sódio.

4) Oxidação da matéria orgânica

Materiais:

- Capela de exaustão;
- Chapa aquecedora ou banho-maria;
- Pipeta graduada 10 mL;
- Becker 500 mL;
- Termômetro (100°C);
- Peróxido de Hidrogênio 35%;
- Luvas de nitrilo, óculos e máscara com filtro para gases ácidos e vapores orgânicos.

Procedimentos:

À amostra seca em becker de 500 mL, acrescentar 20 mL de Peróxido de Hidrogênio 35% (H₂O₂) e 20 mL de água deionizada. Levar à chapa aquecedora em banho de areia ou banho-maria a 90°C. Obs.: Se a reação for muito intensa, tendendo a transbordar o becker, acrescentar água deionizada aos poucos para diminuir a

velocidade da reação. Caso não ocorra reação acrescentar mais Peróxido de Hidrogênio 35% em partes de 10mL até que ocorra reação. Observar a reação, acrescentando mais água e mais H_2O_2 . Ao final de cada dia acrescentar água deionizada – encher o becker, deixar decantar por 2 horas e excluir o sobrenadante, com cuidado para não perder a fração silte. Recomeçar procedimento no dia seguinte, caso as reações ainda não tenham cessado.

5) Extração do Ferro

Materiais:

- Chapa aquecedora ou banho-maria;
- Becker de 500 mL;
- Espátulas de metal;
- Falcons 50 mL;
- Centrífuga;
- Termômetro;
- Bastões de vidro;
- Solução de Citrato de Sódio Tribásico ($C_6H_5Na_3O_7$);
- Ditionito de Sódio ($Na_2S_2O_4$);
- Luvas de nitrilo, óculos e máscara com filtro para gases ácidos e vapores orgânicos.

Procedimento:

A extração de ferro foi adaptada do protocolo da EMBRAPA (1997) e Mehra & Jackson (1960) apud Inda Junior & Kämpf (2003), para Ferro extraído pela dissolução seletiva dos óxidos de ferro pedogênicos (inclui óxidos cristalinos, de baixa cristalinidade e não-cristalinos, como, por exemplo, hematita, goethita, maghemita, lepidocrocita e ferrihidrita) por meio de Ditionito-Citrato-Bicarbonato (DCB) em quatro extrações sucessivas de 5 minutos à temperatura de 80°C, excluindo-se o uso de Bicarbonato de sódio.

Em cada extração de 5 minutos adiciona-se 1g de Ditionito de Sódio ($Na_2S_2O_4$). À amostra já aquecida a 80°C acrescenta-se 1g de Ditionito e 40 mL de solução Citrato-Na 0,3 mol L⁻¹ ($Na_3C_6H_5O_7 \cdot 2H_2O$). Após a adição da primeira alíquota de Ditionito de Sódio, a solução deve ser misturada vigorosamente com bastão de vidro por 1 minuto e submetida ao banho de ultrassom por 5 minutos a 80°C e 80 Khz. Decorrido os 5 minutos adiciona-se mais 1g, agita-se vigorosamente, e retorna ao ultrassom por mais 5 minutos. A temperatura deve ser mantida rigorosamente a 80° C (máximo). Ao final de quatro repetições, completa-se os beckers com água deionizada e decanta-se por duas horas. Por fim, exclui-se o sobrenadante e repete-se o processo até que as amostras apresentem aspecto acinzentado. Para agilizar, as amostras também podem ser centrifugadas com água deionizada por 5 minutos a 5000 rpm.

6) Extração de Ferro total com Ácido Clorídrico 32% (HCl)

Materiais:

- Capela de exaustão;

- Chapa aquecedora ou banho-maria;
- Becker 500mL;
- Pinça de madeira;
- Espátulas de metal;
- Falcons 50mL;
- Bastões de vidro;
- Pipeta graduada;
- Centrífuga;
- Termômetro;
- Máscara com filtro para vapores orgânicos e gases ácidos, luvas de nitrilo e óculos.

Caso a extração de ditionito-citrato não surta efeito, utiliza-se a extração de Ferro total adaptada de Seixas (2015). As amostras devem ser colocadas em tubos de 50 mL com uma quantidade de HCl suficiente para cobri-las. As mesmas devem ser postas em banho-maria a 50°C, onde devem permanecer durante 1 hora, sendo agitadas com o auxílio de um bastão de vidro de 15 em 15 minutos. Posteriormente, centrifugadas por 10 minutos a 5.000 rpm com água destilada. Após a centrifugação, exclui-se o sobrenadante (HCl com ferro solubilizado) e centrifuga-se novamente, completando os falcons com água e entornando o líquido indesejado. Repete-se a centrifugação por três vezes. Enquanto as amostras não apresentarem uma coloração cinza, todo o processo deve ser repetido. Ao final do processo, centrifugar as amostras por 7 vezes (ou até o pH ficar entre 4 e 5) a 3000 rpm, sempre excluindo o sobrenadante e acrescentando água deionizada.

Obs.: não utilizar o mesmo bastão de vidro em mais de uma amostra sem antes lavar com água deionizada.

Numerar as tampas dos falcons para que não ocorra contaminação com a troca das tampas.

7) Dispersão de argila

Materiais:

- Beckers 500 mL;
- Bastões de vidro;
- Vidros de relógio;
- Becker 20 mL;
- Hexametáfosfato de Sódio;
- Ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA);
- Luvas de nitrilo.

A solução deve ser preparada de acordo com EMBRAPA (1996), excluindo-se o uso de carbonato de sódio anidro: em balão de vidro de um 1 litro, dissolver em água quente (100°C) 35,7g de Hexametáfosfato de Sódio Puríssimo (NaPO_3). O procedimento de dispersão foi adaptado de Coe (2009): adiciona-se solução suficiente para encher cada becker de 500 mL, misturando bem com o bastão de vidro. Deixa-se as amostras

decantarem por 2 horas, depois exclui-se o sobrenadante através de pipetagem ou entorna-se cuidadosamente o becker para excluir o sobrenadante e não perder a amostra. Seguidamente, acrescenta-se água quente em cada becker com amostra. Decanta-se por 2 horas, por mais 2 vezes ou até apresentar aspecto translúcido. Acrescenta-se 9 gramas de EDTA – ácido etilenodiamino tetra-acético ($C_{10}H_{16}N_2O_8$), misturar com bastão de vidro, decantar por 2 horas, repetindo o procedimento de lavar por três vezes.

Obs.: lavar a pipeta por dentro e por fora (a parte em contato com a água) após a pipetagem de cada amostra, para diminuir a contaminação, pois pode ocorrer retorno do líquido para o Becker.

8) Peneiramento:

Materiais:

- Peneira granulométrica pequena de malha 250 μ m;
- Becker 2 litros;
- Becker 500 mL;
- Falcons;
- Pisseta;
- Pipeta 100 mL.

As amostras são peneiradas com água deionizada quente, com auxílio de uma pisseta e peneira de 250 μ m. A fração silte areia-fina de cada amostra é colocada em beckers 500 mL, decantadas por uma noite, pipeta-se o sobrenadante com pipeta 100 mL, e posteriormente as amostras são secas em uma estufa a 80°C. A fração retida na peneira é conservada e armazenada em falcons.

9) Separação densimétrica

Materiais:

- Politungstato de Sódio (SPT);
- Becker 1 litro;
- Centrífuga;
- *Stirrer plate*;
- Falcons;
- *Ultrasonic Water Bath ou Sonication*;
- Densímetro.

A solução densa (*heavy liquid*) contendo 300 mL de água e 680g de SPT (Politungstato de Sódio em pó (50lbs), fabricante TC – *Tungsten Compounds*) (densidade=2,31g/mL) deve ser preparada em um *becker* de 1 litro sobre um misturador *stirrer* (*magnetic stirrer plate*), onde são adicionados 300 mL de água deionizada e metade das 680g de SPT. A mistura deve ser agitada e, assim que a água apresentar coloração translúcida, adiciona-se aos poucos os 340g restantes de SPT, misturando novamente com o *stirrer*. A densidade precisa ser aferida com densímetro e se necessário calibrada até atingir a densidade desejada (2,35g/mL). Obs.: a densidade

também poderá ser aferida por peso/volume, utilizando-se um balão volumétrico de 10 mL e uma balança de precisão.

Para a separação densimétrica a solução de SPT deve ser colocada nos tubos contendo as amostras até cobri-las completamente (20 mL) e misturadas no *Vortex*. A fim de acelerar o processo de separação das partículas a amostra deve ser submetida ao *Ultrasonic Water Bath ou Sonication* por 5 minutos a uma frequência de 80 KHz. A mistura precisa então ser centrifugada a 5000 rpm por 10 min e a película sobrenadante (fitólitos e outras partículas) cuidadosamente transposta para um novo tubo de 50mL. Para garantir a retirada de todos os fitólitos, o processo precisa ser repetido por pelo menos duas vezes, adicionando-se ao tubo com os sedimentos mais 5mL de *heavy liquid*.

Para diminuir a densidade do líquido nos falcons contendo os fitólitos, deve ser adicionado o dobro do volume do *heavy liquid* de água, misturado no *Vortex* e centrifugando por 10min a 3000rpm. O excesso de líquido precisa ser descartado, preservando-se apenas os 5 mL do fundo, onde encontra-se os fitólitos.

No processo de secagem, os tubos contendo os fitólitos devem ser completados com água deionizada e misturados no *Vortex* para dissolver os possíveis agregados de argila. Feito isso, os tubos devem ser centrifugados por 5 minutos a 3000 rpm e a água descartada. O sólido branco contido nos tubos devidamente limpos e pesados devem ser levados à estufa a 70°C para secagem. Após a retirada total da umidade, deve ser feita nova pesagem com intuito de definir o peso da massa de fitólitos.

10) Confecção das lâminas:

- Lâminas para microscópio
- Lamínulas
- *Entellan*
- Glicerina

Usualmente são preparados dois tipos de lâminas, as temporárias com glicerina e as permanentes com *Entellan*. Nas temporárias utiliza-se a glicerina, que permite tocar nas lâminas para girar as partículas permitindo, assim, a observação de todos os ângulos dos fitólitos nela contidos. A desvantagem é que essas lâminas não se conservam por muito tempo e, como os fitólitos podem se mover, sua contagem pode ser prejudicada.

Já as lâminas permanentes facilitam o transporte, a contagem e o arquivamento. Nesse caso utiliza-se o *Entellan*, mas também é comum utilizar-se o *Balsamo do Canadá*.

A confecção das lâminas consiste em colocar uma pequena quantidade de fitólitos na lâmina, espalhar bem com um palito de dentes, ou algo equivalente, e acrescentar a glicerina ou *Entellan*. Após homogeneizar bem, cobre-se com a lamínula. A quantidade de amostra contendo os fitólitos colocada nas lâminas deve ser constante para todas as lâminas, evitando-se o excesso para não causar sobreposição. Deve-se contar 3 linhas de cada lâmina ou pelo menos 200 fitólitos por lâmina, descartando os *Elongates*, pois esses morfotipos são produzidos por várias assembleias de plantas diferentes.

ANEXO III - PROTOCOLO PARA EXTRAÇÃO DE FITÓLITOS DE PLANTAS

Adaptado de Coe (2009).

Todas as amostras devem ser cuidadosamente lavadas com água destilada e secas à temperatura ambiente. Em seguida, precisam ser cortadas em fragmentos de 5cm e pesadas. Cerca de 10 gramas de planta seca é suficiente para cada extração. Após a pesagem os fragmentos devem ser colocados em tubos de plástico onde deve ser acrescida uma solução de ácido clorídrico 1N. A quantidade deve ser o suficiente para cobrir todo o material. Em seguida submete-se a mistura ao agitador mecânico por 30 minutos. Posteriormente, as amostras devem ser centrifugadas e o sobrenadante descartado. Completam-se os tubos com água destilada e repete-se a operação até estabilizar o pH em torno de 5. Na próxima etapa, as amostras devem ser vertidas em um bquer de 1000 mL onde adiciona-se álcool etílico 70% até cobrir bem os fragmentos. Os béqueres devem ser colocados em banho-maria por 15 minutos. Em seguida, a amostra deve ser resfriada à temperatura ambiente. Descarta-se o sobrenadante, completa-se com água destilada e espera-se decantar. O processo de lavagem com água destilada deve ser repetido por mais duas vezes. As amostras então devem ser submetidas à estufa para secar a 105°C.

Após serem completamente secas, as amostras devem ser transpostas para *erlenmeyers* de 1000 mL e adicionado ácido sulfúrico (H₂SO₄) 96%, o suficiente para cobrir bem as amostras que devem ser levadas ao banho de areia a 70°C por 48 horas. Cumprida a etapa anterior, as amostras devem ser resfriadas à temperatura ambiente. Após serem lavadas com água destilada, as amostras devem ser levadas novamente ao banho-maria (70°C). Lentamente deve ser adicionado peróxido de hidrogênio a 33%. Isso deve ocorrer até que as reações de oxidação cessem e as amostras fiquem totalmente límpidas.

Uma vez límpidas, as soluções devem ser removidas do banho-maria e transferidas para béqueres de 1000 mL, onde adiciona-se água destilada o suficiente para completar todo o volume da vidraria. Em seguida, as amostras devem ser deixadas em repouso por 48 horas. Cessado o período de decantação o sobrenadante deve ser removido com cuidado para não misturar. Novamente devem ser adicionados 1000 mL de água destilada e feita a filtração (0,20 µ). As partículas retidas no filtro de papel devem ser lavadas com ácido clorídrico (1N) e água destilada e deixadas em um bquer para decantar por 24 horas. Em seguida o sobrenadante deve ser retirado com o auxílio de uma pipeta e as partículas transferidas para pequenas vidrarias previamente secas e pesadas. Os recipientes contendo as amostras devem ser colocados na estufa a 110°C durante 24 horas. Após as partículas estarem secas, os recipientes devem ser novamente pesados. Feito isso, inicia-se o processo de montagem das lâminas.