UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DINÂMICA DOS OCEANOS E DA TERRA

APLICAÇÕES DE ESTUDOS DE FITÓLITOS PARA RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL DO SÍTIO ARQUEOLÓGICO LAGOA GRANDE DAS QUEIMADAS, PIAUÍ

ROBERTA MACIEL PACHECO VALENTE

NITERÓI
Julho de 2024

ROBERTA MACIEL PACHECO VALENTE

APLICAÇÕES DE ESTUDOS DE FITÓLITOS PARA RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL DO SÍTIO ARQUEOLÓGICO LAGOA GRANDE DAS QUEIMADAS, PIAUÍ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e Terra, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Heloisa Helena Gomes Coe

Coorientadora: Prof.ª Dr.ª Karina Ferreira Chueng

NITERÓI

Julho de 2024

Ficha catalográfica automática - SDC/BIG
Gerada com informações fornecidas pelo autor

V154a Valente, Roberta Maciel Pacheco
Aplicações de Estudos de Fitólitos para Reconstituição Paleoambiental do Sítio Arqueológico Lagoa Grande das Queimadas, Piauí / Roberta Maciel Pacheco Valente. - 2024.
118 f.: il.

Orientador: Heloisa Helena Gomes Coe.
Coorientador: Karina Ferreira Chueng.
Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense, Instituto de Geociências, Niterói, 2024.

1. Fitólitos. 2. Paleoambientes e Paleoclima. 3. Sítios Arqueológicos - Nordeste do Brasil. 4. Holoceno. 5. Produção intelectual. I. Coe, Heloisa Helena Gomes, orientadora. II. Chueng, Karina Ferreira, coorientadora. III. Universidade Federal Fluminense. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDD - XXX

Bibliotecário responsável: Debora do Nascimento - CRB7/6368

ROBERTA MACIEL PACHECO VALENTE

APLICAÇÕES DE ESTUDOS DE FITÓLITOS PARA RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL DO SÍTIO ARQUEOLÓGICO LAGOA GRANDE DAS QUEIMADAS, PIAUÍ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e Terra, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre
Área de Concentração: Geociências

Aprovada em 22, julho, 2024.

BANCA EXAMINADORA

Heloisa Helena Gomes Coe

Prof.ª Dr.ª Heloisa Helena Gomes Coe (orientadora)
Departamento de Geologia e Geofísica – UFF

Karina Ferreira Chueng

Prof.ª Dr.ª Karina Ferreira Chueng (coorientadora)
Departamento de Geografia – FFP/UERJ

Prof. Dr. Cleverson Guizan Silva
Departamento de Geologia e Geofísica – UFF

Prof. Dr. José Antônio Baptista Neto
Departamento de Geologia e Geofísica – UFF

Documento assinado digitalmente
gov.br ALINE GONCALVES DE FREITAS
Data: 22/07/2024 21:16:25-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof.ª Dr.ª Aline Gonçalves Freitas
Programa de Pós-Graduação em Arqueologia (PPGArq) - UFPI

Dedicatória

A minha família e ao NePaleo, pois sem o apoio deles nada disso seria possível.

Agradecimentos

Chegar nesse momento é ao mesmo tempo uma superação e uma realização pessoal após tudo o que aconteceu comigo na virada de 2021/2022. Por isso, o meu primeiro agradecimento é a Deus, pois Ele me trouxe de volta a vida quando não havia mais esperanças, fez um milagre, me dando uma segunda chance para realizar o que ainda não tinha conseguido.

Agradeço também a minha família, meu esposo Roberto, minha filha Rafaela, minha mãe Heloisa e minha irmã Andréa, que me apoiaram e incentivaram nessa jornada em meio a tantas dificuldades e obstáculos.

A minha gratidão eterna para as minhas orientadoras Prof.ª Dra. Heloisa Coe e Prof.ª Dra. Karina Chueng por terem aceitado o desafio dessa orientação, investindo e acreditando em mim com muita paciência e compreensão diante da minha realidade pessoal, me ajudando e me apoiando durante todo o percurso desse mestrado, independente do dia e da hora.

Agradeço a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de mestrado (processo 88887.703642/2022-00), que possibilitou o desenvolvimento desse trabalho.

Agradecimento especial à Dra. Aline Freitas e ao POLARQ (UFPI) por todo apoio ao longo desses 2 anos e ao NePaleo, grupo de pesquisa de que faço parte, principalmente ao meu amigo David Machado, que também foi o meu mentor nessa jornada e principalmente na etapa de laboratório, onde me treinou e ensinou todo o protocolo. Agradeço também à Dra. Antônia Elisangela Ximenes Aguiar, à Ms. Sarah Ricardo e ao Ms. Eduardo Salgado que contribuíram com habilidades excepcionais em suas áreas.

Agradeço imensamente à Prof.ª Dra. Ana Valéria Bertolino, ao Prof. Dr. André Silva e toda a equipe do LabGeo e LabDIN, ambos da UERJ-FFP, que me acolheram novamente com tanto carinho durante todo o período de trabalho nos laboratórios.

Meu agradecimento a toda a equipe e professores do Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra da Universidade Federal Fluminense que participaram dessa etapa, compartilhando suas experiências e seus conhecimentos, que foram essenciais para o aprofundamento da minha formação.

Agradeço, também, pela parceria e colaboração da Prof.ª Dra. Kita Macário e de toda equipe do LAC-UFF pelos conhecimentos adquiridos durante o curso da disciplina Tópicos de ^{14}C-AMS e pelas datações realizadas em amostras cruciais para a finalização desse trabalho.

Enfim, obrigada a todos pela. paciência, pelo incentivo, pela força, pelas contribuições e principalmente pelo carinho. A conclusão desse trabalho não é individual, o seu resultado é o reflexo de múltiplas contribuições que foram regadas ao longo desses 2 anos de mestrado e colheremos juntos os frutos desse empenho! Esta vitória não é só minha, é de todos que passaram e ficaram na minha vida desde o início dessa trajetória!

“O êxito da vida não se mede pelo caminho
que você conquistou, mas sim pelas dificuldades
que superou no caminho.”

Abraham Lincoln

RESUMO

O Estado do Piauí, localizado no semiárido do Nordeste brasileiro, possui reconhecimento mundial por seu legado arqueológico e paleontológico. A área de estudo desta dissertação corresponde ao Sítio Arqueológico Lagoa Grande das Queimadas, localizado no município de Várzea Branca, no sudeste do Piauí, onde realizam-se pesquisas geoarqueológicas, arqueométricas e microarqueobotânicas. O uso de biomineralizações de sílica (sobretudo fitólitos) como *proxy* para reconstrução paleoambiental visa corroborar esta pesquisa interdisciplinar. O local de amostragem (sedimentos lacustres) foi escolhido devido às características de preservação dos registros, que apresentam potencial para pesquisas microarqueobotânicas de cunho paleoambiental e paleoclimática. As assembleias de fitólitos são predominantemente compostas por morfotipos de Poaceae, principalmente BLOCKY, BULIFORM FLABELLATE, ACUTE BULBOSUS e ELONGATE, com presença reduzida de dicotiledôneas lenhosas (SPHEROID ORNATE). Fitólitos de Arecaceae (SPHEROID ECHINATE) também são observados em todo o perfil, aumentando da amostra mais antiga para a mais recente, além de fragmentos de megascleras de esponja e microcarvões. Os resultados revelaram que essa região passou por variações climáticas durante o Holoceno Inicial e Tardio, conforme evidenciado pelos registros de fitólitos e bioindicadores aquáticos (espículas de esponjas e frústulas de diatomáceas). As análises indicam que, entre 11.000 e 4419-4234 cal AP, a temperatura e umidade aumentaram progressivamente, seguidas por uma transição de um clima mais úmido que o atual para condições mais secas a partir de 4419-4234 cal AP. Os resultados qualitativos e quantitativos dos fitólitos, associados a outros *proxies* estudados neste local, contribuiram para a construção de informações sobre o sítio arqueológico e sua inserção na paisagem, bem como para a compreensão dos modelos de mobilidade e subsistência de grupos humanos do passado durante o Holoceno, em áreas interiores do Nordeste do Brasil.

Palavras-chave: Fitólitos, Paleoambientes, Paleoclima, Sítios Arqueológicos, Nordeste do Brasil, Holoceno

ABSTRACT

The state of Piauí, located in the semi-arid region of Northeast Brazil, is globally recognized for its archaeological and paleontological heritage. The study area of this dissertation is the Lagoa Grande das Queimadas archaeological site, located in the municipality of Várzea Branca, in southeastern Piauí, where geoarchaeological, archaeometric, and micro-archaeobotanical research is conducted. The use of silica biomineralizations (especially phytoliths) as proxies for paleoenvironmental reconstruction aims to corroborate this interdisciplinary research. The sampling site (lacustrine sediments) was chosen for its favorable characteristics for preservation of the records, which have potential for micro-archaeobotanical research of paleoenvironmental and paleoclimatic significance. The phytolith assemblages are predominantly composed of Poaceae morphotypes, mainly BLOCKY, BULIFORM FLABELLATE, ACUTE BULBOSUS, and ELONGATE, with a reduced presence of woody dicotyledons (SPHEROID ORNATE). Arecaceae phytoliths (SPHEROID ECHINATE) are also observed throughout the profile, increasing from the oldest to the most recent sample, along with fragments of sponge megascleres and microcharcoals. The results revealed that this region experienced climatic variations during the Early and Late Holocene, as demonstrated by the phytolith and aquatic bioindicator (sponge spicules and diatom frustules) records. The analyses indicate that between 11000 and 4419-4234 cal yr BP, the temperature and humidity increased progressively, followed by a transition from a more humid climate than at present to drier conditions starting from 4.419-4.234 cal yr BP. The qualitative and quantitative results of the phytoliths, associated with other proxies studied at this site, contributed to constructing information about the archaeological site and its insertion on the landscape, in addition to understanding the mobility and subsistence models of past human groups during the Holocene in the interior regions of Northeast Brazil.

Keywords: Phytoliths, Paleoenvironments, Paleoclimate, Archaeological Sites, Northeast Brazil, Holocene

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: O ciclo da Sílica e o processo de formação e deposição dos fitólitos 19
Figura 2: Tecidos vegetais onde os fitólitos são produzidos.....21
Figura 3: Fitólitos na planta e no solo.....22
Figura 4: Principais morfotipos de fitólitos encontrados em região tropical.....24
Figura 5: Intervalos estabelecidos para o índice Bi%.....27
Figura 6: Espículas de esponjas continentais vistas no microscópio óptico.....29
Figura 7: Morfologia e ultraestrutura em diatomáceas 30
Figura 8: Microcarvões ampliados.....32
Figura 9: Exemplos de sítios arqueológicos no Brasil.....42
Figura 10: Localização dos sítios arqueológicos apresentados nessa revisão 44
Figura 11: Mapa de localização da Lagoa das Queimadas.....60
Figura 12: Dados climáticos do Piauí, com destaque para a área de estudo 61
Figura 13: Dados de precipitação anual do estado do Piauí 61
Figura 14: Geologia regional de Várzea Branca-PI.....62
Figura 15: Formações vegetacionais do estado do Piauí.....64
Figura 16: Vegetação no entorno da Lagoa Grande das Queimadas (LGQ) no período de estiagem 65
Figura 17: Artefatos líticos lascados recuperados na Lagoa Grande das Queimadas: A) ponta de projetil confeccionada em quartzo hialino recuperado em superfície, a 100 m a oeste do Ponto 01 (LGQ-PT01); B) raspador confeccionado em quartzito com indicação de pontos de percussão, recuperado a 82 cm de profundidade no Ponto 01 (LGQ-PT01) 66
Figura 18: Mapa de localização da coleta das amostras sedimentares em superfície e subsuperfície da LGQ-PT01 67
Figura 19: Vista do Ponto 01 da Lagoa das Queimadas (LGQ-PT01), Várzea Branca-PI.....68
Figura 20: A) Coleta de sedimentos quaternários da LGQ-PT01, Várzea Branca-PI; B) Perfil sedimentar do LGQ-PT01.....68
Figura 21: Etapas de extração dos fitólitos.....73
Figura 22: Microscópio óptico polarizador Zeiss Axio Scope A1.....74
Figura 23: Datação da amostra 85-80cm 76

Figura 24: Datação da amostra 150-145 cm....77
Figura 25: Datação da amostra 200-195 cm....77
Figura 26: Estoque de fitólitos do Perfil Sedimentar LGQ-PT01....78
Figura 27: Estoque de fitólitos das Assembleias Modernas....79
Figura 28: Classificação dos fitólitos do perfil sedimentar (LGQ-PT01)....80
Figura 29: Classificação dos fitólitos das Assembleias Modernas. 81
Figura 30: Tipos de fitólitos do Perfil Sedimentar (LGQ-PT01) 82
Figura 31: Tipos de fitólitos das Assembleias Modernas....83
Figura 32: Fotografias dos principais morfotipos de fitólitos e outras biomineralizações....84
Figura 33: Índice D/P do Perfil Sedimentar (LGQ-PT01)....85
Figura 34: Índice D/P das Assembleias Modernas 86
Figura 35: Índice Pa/P do Perfil Sedimentar (LGQ-PT01)....87
Figura 36: Índice Bi do perfil sedimentar (LGQ-PT01)....88
Figura 37: Estoque de espículas de esponja e frústula de diatomáceas do Perfil Sedimentar (LGQ-PT01)....89
Figura 38: Estoque de espículas de esponja das Assembleias Modernas 90
Figura 39: Estoque de microcarvões do Perfil Sedimentar (LGQ-PT01) 91
Figura 40: Estoque de microcarvões das Assembleias Modernas....91
Figura 41: Teor de Carbono Orgânico Total do LGQ-PT01 93
Figura 42: Granulometria do LGQ-PT01 95
Figura 43: Diagrama síntese dos resultados....97
Figura 44: Simulação da evolução paleoambiental na Lagoa Grande das Queimadas-PI....102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais morfotipos de fitólitos por táxons botânicos 25
Tabela 2: Análises fitolíticas e quantificação de espículas de esponjas, frústulas de diatomáceas e microcarvões do Perfil Sedimentar (LGQ-PT01).....92

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....15
1.1 Objetivo Geral.....16
1.2 Objetivos específicos.....16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....18
2.1. Fitólitos.....18
2.1.1. Definição.....18
2.1.2. Classificação dos fitólitos.....22
2.1.3. Tipos de fitólitos.....23
2.1.4. Índices fitolíticos.....25
2.2. Outras Biomineralizações de Sílica e Microcarvões.....27
2.2.1. Espículas de Esponjas.....27
2.2.2 Frústulas de Diatomáceas.....30
2.2.3 Microcarvões.....31
2.3 Datação Radiocarbônica.....32
2.4 Análise granulométrica do solo.....33
2.5 Teor de carbono orgânico total (COT) no solo.....33
2.6 Paleoambientes do Nordeste durante o Pleistoceno Final e o Holoceno Tardio.....34
2.7 Aplicações de fitólitos em Arqueologia.....39
2.8 Estudos com fítólitos em sítios arqueológicos no Brasil.....41
3. ÁREA DE ESTUDO.....60
3.1. Localização.....60
3.2 Clima.....60
3.3 Geologia e solos regionais.....62
3.4 Vegetação.....63
3.5 Hidrologia.....65
3.6 O Sítio Arqueológico Lagoa Grande das Queimadas.....66
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....67
4.1. Materiais.....67
4.2. Metodologia.....69
4.2.1 Procedimentos laboratoriais para extração de fitólitos.....69

4.2.2 Microscopia....73
4.2.3 Datação por ^{14}C – AMS....74
4.2.4 Teor de Carbono Orgânico Total (COT) e Granulometria....75
5. RESULTADOS....76
5.1 Datação por 14C-AMS....76
5.2 Fitólitos....78
5.2.1. Análises Quantitativas dos Fitólitos....78
5.2.2 Classificação dos fitólitos....79
5.2.3 Morfotipos de Fitólitos....81
5.2.4 Índices fitolíticos....84
5.3 Outras Biomineralizações de Sílica....88
5.3.1 Espículas de Esponja e Frústulas de Diatomáceas....88
5.4 Microcarvões....90
5.5 Teor de Carbono Orgânico Total (COT)....93
5.6 Granulometria....93
6. DISCUSSÃO....96
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS....103
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS....105

1. INTRODUÇÃO

O presente estudo faz parte do projeto: Estudos arqueométricos e microarqueobotânicos na área arqueológica do Município de Várzea Branca, PI - Programa de desenvolvimento científico e tecnológico regional do Piauí – PDCTR-PI – Edital FAPEPI/CNPq Nº 006/2021, coordenado pela Dra. Aline Freitas, vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Arqueologia da Universidade Federal do Piauí (PPGArq/ UFPI) (Processo IPHAN N° 01402.000266/2023-97). Este projeto que visa intensificar as pesquisas geoarqueológicas, arqueométricas e microarqueobotânicas desenvolvidas pelo Grupo de Pesquisa Palinologia Arqueológica, Paleoambiente e Paleoetnobotânico (POLARQ), através de bioindicadores como fitólitos e palinomorfos, marcadores químicos e geológicos no registro arqueológico do Sítio Lagoa Grande das Queimadas (LGQ), no município de Várzea Branca-PI, Microrregião de São Raimundo Nonato-PI. Nesta região, apesar de sua importância arqueológica, ainda são escassos os dados sobre antigas populações humanas, seus modos de vida e tecnologia, o paleoambiente e o paleoclima regional por onde estes grupos migraram e/ou temporariamente se assentaram durante o Pleistoceno Final e Holoceno Tardio, bem como os recursos vegetais que consumiam, manejavam e possivelmente cultivavam. Estes dados, uma vez recuperados, são importantes medidas de salvaguarda do patrimônio arqueológico, inserindo-se nas discussões acadêmicas promovidas no âmbito nacional (Prous e Lima, 2008).

A análise de fitólitos como microvestígios de plantas tornou-se uma importante ferramenta para a Arqueologia, cada vez mais popular nas últimas décadas, principalmente para corroborar hipóteses relacionadas à domesticação de plantas e ao estudo da dieta, sobretudo em contextos em que outros vestígios de plantas (i.e., orgânicos, como sementes, frutos, grãos de pólen) são mal preservados. Numerosos estudos foram realizados com fitólitos extraídos de sedimentos e artefatos arqueológicos, mas a análise de fitólitos recuperados de solos arqueológicos é menos comum (Astudillo, 2018). Ainda não há muitos estudos em sítios arqueológicos visando a reconstituição das condições paleoambientais, sobretudo no Brasil, podendo ser citados os de Cascon (2010) no Sítio

arqueológico Hatahara, na Amazônia Central, Coe *et al*. (2017b) no Sambaqui da Tarioba, Rio das Ostras, RJ, Machado *et al*. (2022) no Sambaqui Casa de Pedra, SC, e Chueng *et al*. (2018) no Sítio Cabeças 4, Serra Negra, MG, Ramos (2019) Sítio arqueológico Lagoa Uri de Cima, em Pernambuco.

Este estudo visa evidenciar como esses indicadores podem contribuir para a compreensão do repertório da paisagem de ocupações pretéritas no Sítio Lagoa Grande das Queimadas, Várzea Branca (PI). Acredita-se que os resultados quantitativos e qualitativos das análises fitolíticas, associados à geocronologia e aos demais dados arqueológicos, possam contribuir para a compreensão da evolução da paisagem e relações paleoetnobotânicas desta área.

1.1 Objetivo Geral

Elaborar um estudo do paleoambiente do Sítio arqueológico Lagoa Grande das Queimadas (PI), utilizando como indicadores os fitólitos, espículas de esponjas, frústulas de diatomácea e datação por ^{14}C através da técnica de Espectrometria de Massa com Aceleradores (AMS) associados a outros indicadores já analisados neste sítio, evidenciando como esses indicadores podem contribuir para a reconstituição paleoambiental e compreensão do repertório cultural e ocupações pretéritas desta região.

1.2 Objetivos específicos

a) realizar um levantamento bibliográfico sobre Estudos de Fitólitos em contextos arqueológicos no Brasil e na Região Nordeste;
b) analisar o contexto geoambiental (vegetação, clima, geologia, geomorfologia, topografia, pedologia) e cultural (materiais arqueológicos) do Sítio arqueológico Lagoa Grande das Queimadas (PI), observando se é ambiente favorável à preservação dos fitólitos;

c) caracterizar quantitativa e qualitativamente (estoque, classificação e porcentagens de morfotipos) a produção de fitólitos das assembleias fitolíticas;
d) calcular índices fitolíticos para identificar parâmetros ambientais como a densidade arbórea (índice D/P), a densidade de palmeiras (índice Pa/P) e o estresse hídrico (Bi);
e) estabelecer a geocronologia através de datações por ^{14}C-AMS do sítio arqueológico, a fim de correlacionar os resultados obtidos com outros estudos paleoambientais regionais;
f) propor cenários cronológicos sobre a evolução paleoambiental do entorno do sítio arqueológico ligada às variações ambientais regionais e fornecer subsídios para a compreensão das mudanças climáticas e dos registros sobre mudanças na paisagem.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Fitólitos

2.1.1. Definição

O termo fitólito, em sua etimologia, significa pedra de planta (*fito* = planta / *lito* = pedra). Os fitólitos são definidos como partículas microscópicas (<60-100 µm) de opala biogênica. Podem ser formados por oxalato de cálcio (CaO_2) ou sílica (SiO_2), sendo denominados calcofitólitos ou silicofitólitos, respectivamente (Silva, 2016; Calegari *et al*., 2022).

Esse estudo é baseado nos silicofitólitos que se formam por precipitação de sílica amorfa entre e no interior de células de diversas plantas vivas, como resultado da absorção de ácido silícico [$Si(OH_4)$] da solução do solo pelas plantas (Piperno, 2006).

A sílica é formada por minerais primários e secundários ricos em oxigênio e silício, que podem ser sintetizados no solo e/ou em organismos que vivem nele. Esses minerais são chamados de silicatados e são decompostos pela ação do intemperismo, liberando o ácido silícico [$Si(OH_4)$] no solo (Figura 1). Uma vez disponível na solução do solo, o ácido silícico é transportado pelo xilema e absorvido pelas plantas, se acumulando no interior de seus tecidos por meio da evapotranspiração. Nesse processo, a sílica se polimeriza, resultando na deposição das partículas sólidas e amorfas de sílica hidratada ($SiO_2.nH_2O$) (Lepsch, 2011).

O ciclo do silício tem início com a morte da planta ou parte dela, quando seus restos são incorporados ao solo e sofrem decomposição para formar o húmus. Uma parte dos fitólitos presentes nesse húmus (os de tamanho menor) pode se dissolver, liberando ácido silícico para a solução do solo novamente, onde ele poderá ser reciclado pela biota; outra parte do $Si(OH)_4$ é lixiviada ao lençol freático, águas subterrâneas e cursos d'água. Contudo, grande parte dos fitólitos pode permanecer e serem preservados no solo por longos períodos, uma vez que eles apresentam uma alta tolerância mesmo em locais oxidantes, por isso são ferramentas úteis para vários estudos.

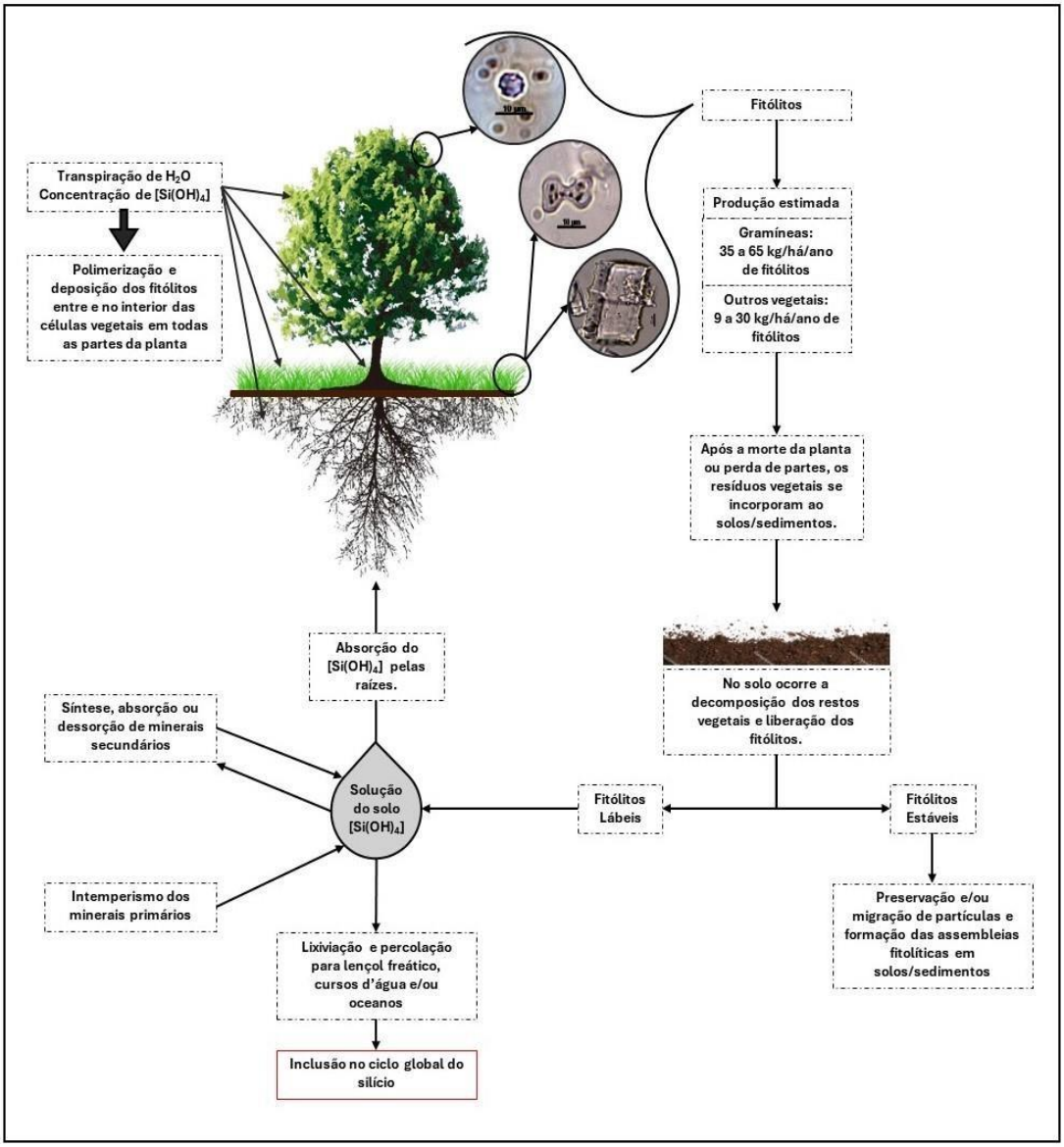

Figura 1: O ciclo da Sílica e o processo de formação e deposição dos fitólitos - adaptado de Lepsch, 2011.

A produção dos fitólitos pelas plantas ocorre por necessidade biológica e ambiental, por isso a sua produção não é homogênea e, ainda, há plantas que não necessitam produzi-los. Os fitólitos assumem funções tais como: a) suporte mecânico e estrutural para sustentar as células e órgãos vegetais, possibilitando o seu crescimento; b) proteção contra animais herbívoros e parasitas; c) resistência e resiliência ao estresse hídrico e d) a neutralização de elementos tóxicos presentes no solo (Coe e Osterrieth, 2014).

Devido a esses fatores, alguns grupos de plantas são conhecidos como baixos produtores e outros como altos produtores. Dentre as maiores

produtoras conhecidas encontram-se: as Monocotiledôneas (Poaceae, Cyperaceae, Equisetaceae, Marantaceae, Orchidaceae, Zingiberaceae, Arecaceae e Musaceae) e algumas Dicotiledôneas Tropicais (Acanthaceae, Annonaceae, Bignoniaceae, Burseraceae, Chrysobalanaceae, Cururbitaceae, Euphorbiaceae, Magnoliaceae, Maraceae e Sterculiaceae) (Coe, 2009). No entanto, o mais alto nível de produção fitolítica é o das gramíneas (Poaceae), que é 20 vezes superior ao das dicotiledôneas lenhosas. Nas gramíneas, os fitólitos são particularmente abundantes, atingindo de 1 a 5% de Si do peso seco (Webb e Longstaffe, 2000).

A produção de fitólitos também é influenciada pela taxa de evapotranspiração, ou seja, quanto maior for a taxa, maior se torna a capacidade de absorção e biomineralização da sílica, a qual pode ocorrer de duas formas: 1) **ativa**, quando as células vegetais da raiz reconhecem a sílica e a absorvem propositalmente; ou 2) **passiva**, quando o canal da raiz, por meio do gradiente osmótico, absorve todos os elementos da solução do solo (Madella, 2008; Coe, 2009).

Os fitólitos são produzidos em diversas partes das plantas (Figura 2), incluindo folhas, troncos e raízes, tanto de gramíneas quanto de plantas lenhosas (Coe, 2009; Coe *et al*., 2014a). A maioria dos fitólitos se forma na epiderme e no mesófilo das gramíneas, bem como no xilema secundário das dicotiledôneas lenhosas (Welle, 1976; Motomura *et al*., 2004). As folhas de gramíneas e de lenhosas são destacadas por sua alta concentração de ácido monosilícico e evapotranspiração, resultando em maior precipitação de sílica amorfa e importância taxonômica. Fitólitos nos troncos de árvores e arbustos também têm valor taxonômico, enquanto os das raízes têm menor valor taxonômico (Coe, 2009; Coe e Osterrieth, 2014).

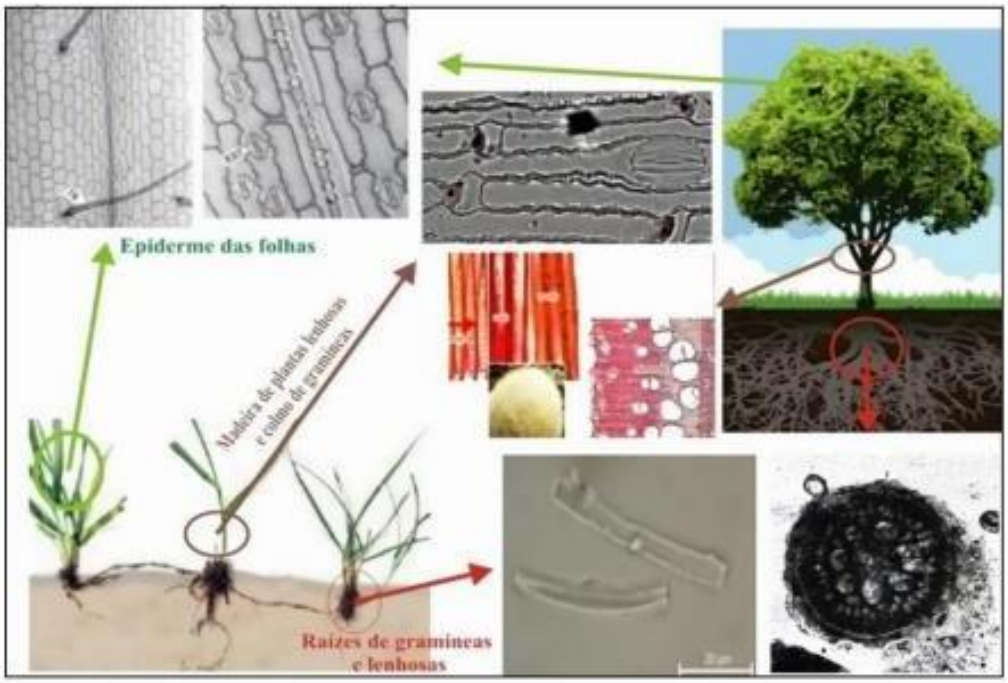

Figura 2: Tecidos vegetais onde os fitólitos são produzidos - Fonte: Aguiar *et al*., 2019.

Em termo de classificação dos fitólitos, observamos que esta segue três abordagens gerais: Taxonômica (relação direta entre um morfotipo de fitólito e um táxon botânico), Tipológica (ligação direta entre um morfotipo de fitólito e uma planta) e Taxonômico-tipológica (utilização de informação taxonômica, quando conhecida, dos tipos que pertencem a grupos específicos). Entretanto, fatores como multiplicidade e redundância limitam atribuir um valor taxonômico a um único fitólito, pois o mesmo morfotipo pode ser produzido por diferentes plantas e uma mesma planta pode produzir diversos morfotipos em diferentes tecidos (Figura 3), que podem ou não ter uma relação taxonômica (Coe e Osterrieth, 2014).

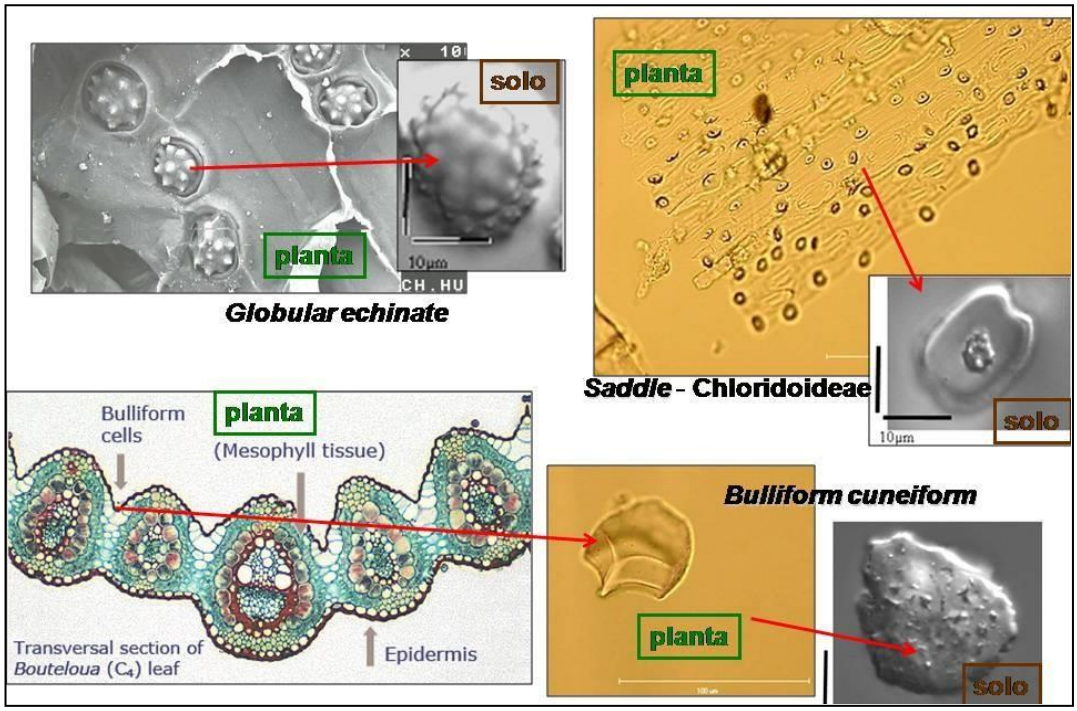

Figura 3: Fitólitos na planta e no solo. Fonte: COE, 2009

Por outro lado, através da constituição de assembleias fitolíticas é possível identificar grupos de tipologias com valor taxonômico ao nível de família. 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 (Coe, 2009).

2.1.2. Classificação dos fitólitos

Com o aumento das pesquisas utilizando fitólitos como bioindicador, principalmente nas últimas duas décadas, foi necessária a padronização da nomenclatura que ocorreu através da criação do *International Code for Phytolith Nomenclature* (ICPN 1.0), em 2005, por Madella e colaboradores, revisto e atualizado em 2019 por Neumann e colaboradores (ICPN 2.0).

As tipologias de fitólitos padronizadas pelo ICPN facilitaram a comparação e comunicação entre pesquisadores, além de produzir trabalhos científicos consistentes, sendo então validados como uma ferramenta útil em diversos estudos, incluindo documentação da biodiversidade, pedogênese, geomorfologia, paleoecologia, arqueologia, poluição ambiental, botânica, agronomia, entre outros (Neumann *et al*., 2019; Machado, 2022).

2.1.3. Tipos de fitólitos

O ICPN estabelece que um tipo de fitólito pode ser observado em um determinado táxon, mas, para ser considerado diagnóstico, deve ser exclusivo desse táxon. As tipologias são identificadas com base na flora de uma região específica. No entanto, devido à multiplicidade e redundância dos fitólitos, é difícil fazer identificações precisas e generalizações devem ser evitadas (Madella *et al.*, 2005; Neumann *et al*., 2019).

Dentro desse contexto, a figura 4 apresenta os principais morfotipos encontrados frequentemente em regiões tropicais. Com base nas classificações taxonômicas, tipológicas e taxonômica-tipológicas, esses fitólitos podem ser subdivididos em três grupos: 1) característicos das Poaceae (gramíneas), 2) característicos das Dicotiledôneas Lenhosas (plantas lenhosas de folhas largas), e 3) outros fitólitos característicos, conforme apresentados na tabela 1.

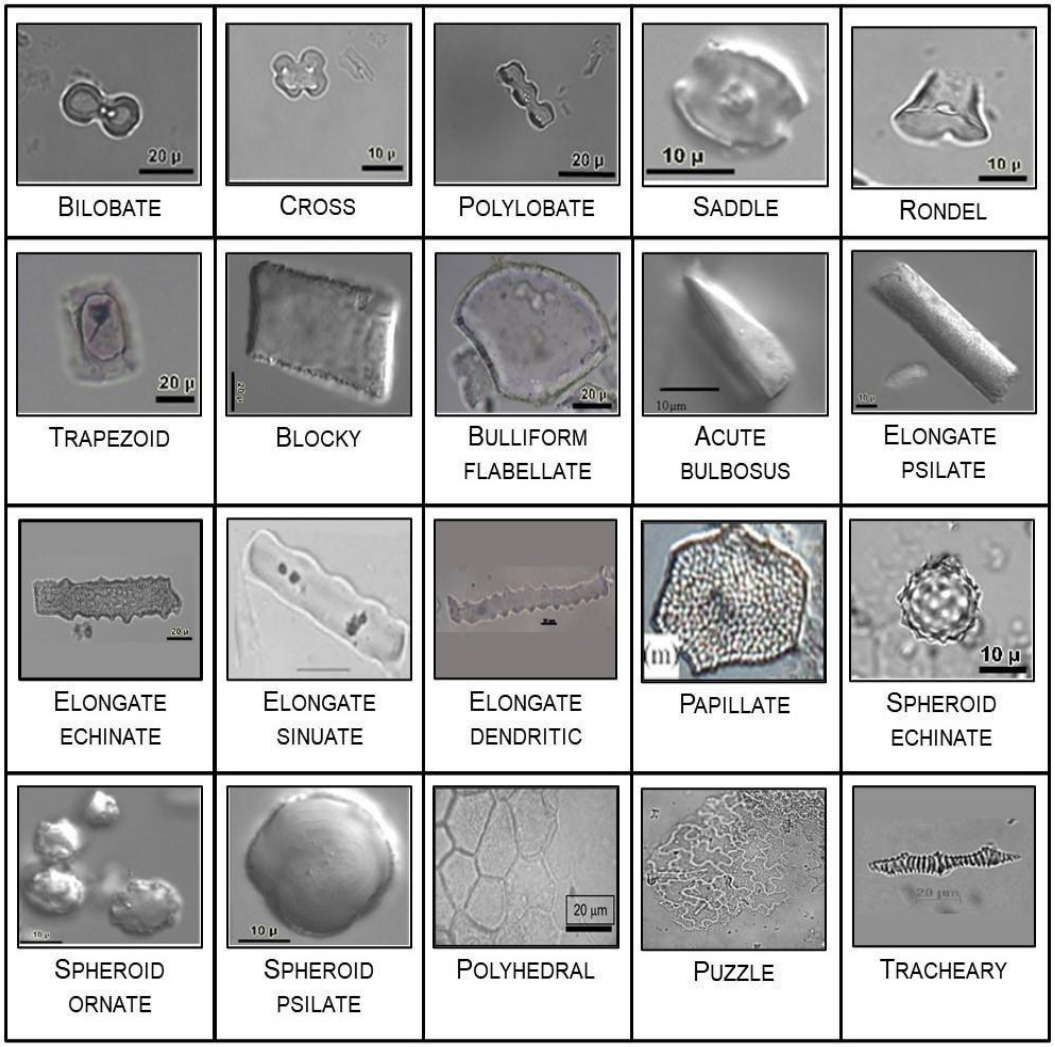

Figura 4: Principais morfotipos de fitólitos encontrados em região tropical. Elaborado por Machado, 2024.

Tabela 1: Principais morfotipos de fitólitos por táxons botânicos. Adaptado de Coe (2009) e de Machado (2022)

MORFOTIPOS DE FITÓLITOS	FAMÍLIA POACEAE
BILOBATE – POLYLOBATE - CROSS	Poaceae típica dos climas quentes e úmidos ou de solos com alto teor de água disponível. Produzidos nas subfamílias Panicoideae, Chloridoideae, Arundinoideae e Bambusoideae.
SADLLE	Poaceae típica de regiões quentes e secas ou de condições edáficas secas. Produzidos nas subfamílias Chloridoideae (C4), mas também por algumas Bambusoideae (C3) e Arundinoideae (C3).
TRAPEZOID	Poaceae abundante em regiões temperadas, frias e/ou de altitude. Produzidos nas subfamílias Pooideae.
RONDEL	Poaceae típica de regiões temperadas, frias e/ou de altitude. Produzidos nas subfamílias Pooideae e algumas Bambusoideae.
ACUTE BULBOSUS	Produzidos tricomas principalmente de gramíneas.
BULLIFORM FLABELLATE	Produzidos em todas as gramíneas e ciperáceas.
ELONGATE (PSILATE ou DENTATE)	Produzidos principalmente em gramíneas.
MORFOTIPOS DE FITÓLITOS	**DICOTILEDÔNEAS**
SPHEROID ORNATE	Produzido nos troncos de árvores e arbustos tropicais (Scurfield *et al*., 1978; Welle, 1976; Kondo *et al*., 1994).
SPHEROID PSILATE	Produção relacionada às folhas e galhos de dicotiledôneas e de algumas monocotiledôneas herbáceas (Piperno, 1998; Kondo *et al*., 1994). Observado, também, nas raízes de algumas gramíneas (Alexandre et al., 1999).
MORFOTIPOS DE FITÓLITOS	**OUTROS FITÓLITOS CARACTERÍSTICOS**
SPHEROID ECHINATE	Produzidos nas folhas das Arecaceae (Kondo et al., 1994; Runge, 1999; Vrydaghs e Doutrelepont, 2000) e Bromeliaceae (Piperno, 1985, 2006).
SPHERICAL WITH SOCKETS	Produzidos em Pinaceae (Blinnikov *et al*., 2002; Delhon *et al*., 2003).

2.1.4. Índices fitolíticos

Os índices fitolíticos (relações de abundância de tipos de fitólitos) permitem traçar parâmetros ambientais. Os cinco principais índices são: 1) Índice D/P, 2) Índice Iph, 3) Índice Bi, 4) Índice Ic, 5) Índice Pa/P (Coe, 2009).

1. **Índice D/P:**

Indica a densidade da cobertura arbórea, onde D= porcentagem de fitólitos de dicotiledôneas e P= porcentagem de fitólitos de Poaceae. Valores elevados significam maior proporção de dicotiledôneas (arbóreas e arbustivas), indicativo de vegetação mais fechada; valores mais baixos marcam o predomínio de Poaceae, indicando vegetação mais aberta. Dessa forma é calculado pela seguinte expressão:

D/P =SPHEROID ORNATE/ (*short-cells* + ACUTE BULBOSUS + BULLIFORM FLABELLATE + BLOCKY)

2. **Índice Iph:**

Indica a adaptação da formação vegetal à aridez. Valores mais altos de Iph sugerem campos e/ou pradarias dominados por Poaceae xerófitas, indicando condições de clima e/ou edáficas secas. Baixo Iph indica predomínio de Poaceae mesófilas sugerindo condições mais úmidas, sendo calculado pela expressão:

Iph (%) = [SADDLE / (SADDLE + CROSS + BILOBATE)] x 100

3. **Índice de estresse hídrico (Bi):**

Esse índice reflete a produção de fitólitos em relação à quantidade de água disponível (Figura 5), definido pela proporção dos fitólitos produzidos em células buliformes em relação ao somatório dos fitólitos de gramíneas (Poaceae). Sendo calculado da seguinte forma:

Bi % = (BULLIFORM FLABELLATE + BLOCKY) / [(*short-cells* + ACUTE BULBOSUS + BULLIFORM FLABELLATE + BLOCKY)] x 100

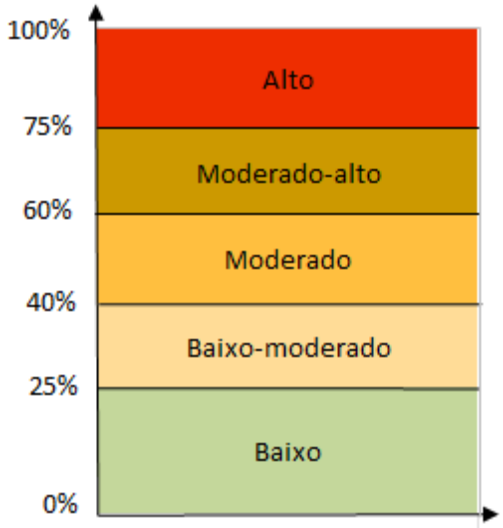

Figura 5: Intervalos estabelecidos para o índice Bi%.
Adaptado de Machado, 2022.

4. Índice Ic:

Indica a adaptação da formação vegetal a uma temperatura mínima e/ou à Pressão Parcial de Dióxido de Carbono (pCO2) forte (fases de altitude), calculado da seguinte forma:

Ic (%) = [(RONDEL + TRAPEZOID) / (RONDEL + TRAPEZOID + SADDLE + CROSS + BILOBATE)] x 100

5. Índice Pa/P:

Calculado pela primeira vez por Coe (2009), indica a densidade de cobertura de palmeiras em relação à cobertura por gramíneas, é expresso da seguinte forma:

Pa/P = SPHEROID ECHINATE / (*short-cells* + ACUTE BULBOUS + BULLIFORM FLABELLATE + BLOCKY)

2.2. Outras Biomineralizações de Sílica e Microcarvões

2.2.1. Espículas de Esponjas

As esponjas são animais aquáticos do filo Porifera, que vivem fixados em substratos como rochas ou vegetação submersa, especialmente em

áreas de inundações sazonais. Elas são filtradoras, absorvendo água pelos poros, filtrando-a em câmaras internas e expelindo-a pelos ósculos. O esqueleto das esponjas é composto por espículas (de sílica, carbonato ou esponjina), que formam uma estrutura complexa que sustenta o corpo e as células vivas do animal (Kalinovski *et al.*, 2016).

Assim como outros animais aquáticos que se originaram nos oceanos e depois invadiram águas doces, algumas esponjas marinhas também migraram para esses ambientes, originando novas espécies, gêneros e famílias. Apenas esponjas marinhas com espículas silicosas conseguiram se adaptar às águas continentais, já que todas as esponjas de água doce conhecidas têm esqueletos compostos por essas espículas. Essas estruturas são essenciais para a identificação taxonômica das espécies (Volkmer-Ribeiro e Parolin, 2010).

Quando a esponja morre, ela se desintegra, liberando espículas que se depositam no ambiente. Devido à especificidade do ambiente em que a esponja viveu, essas espículas são importantes indicadores ambientais, tanto atuais quanto passados (Almeida *et al*., 2009).

Conforme Volkmer-Ribeiro e Pauls (2000), os elementos endo-esqueletais silicosos das esponjas (Figura 6) incluem: a) Megascleras (as maiores espículas que formam a rede esquelética), b) Microscleras (espículas menores localizadas na superfície externa, usadas na identificação taxonômica), c) Gemoscleras (espículas que revestem as gêmulas das esponjas de água doce, essenciais para caracterizar famílias, gêneros e espécies).

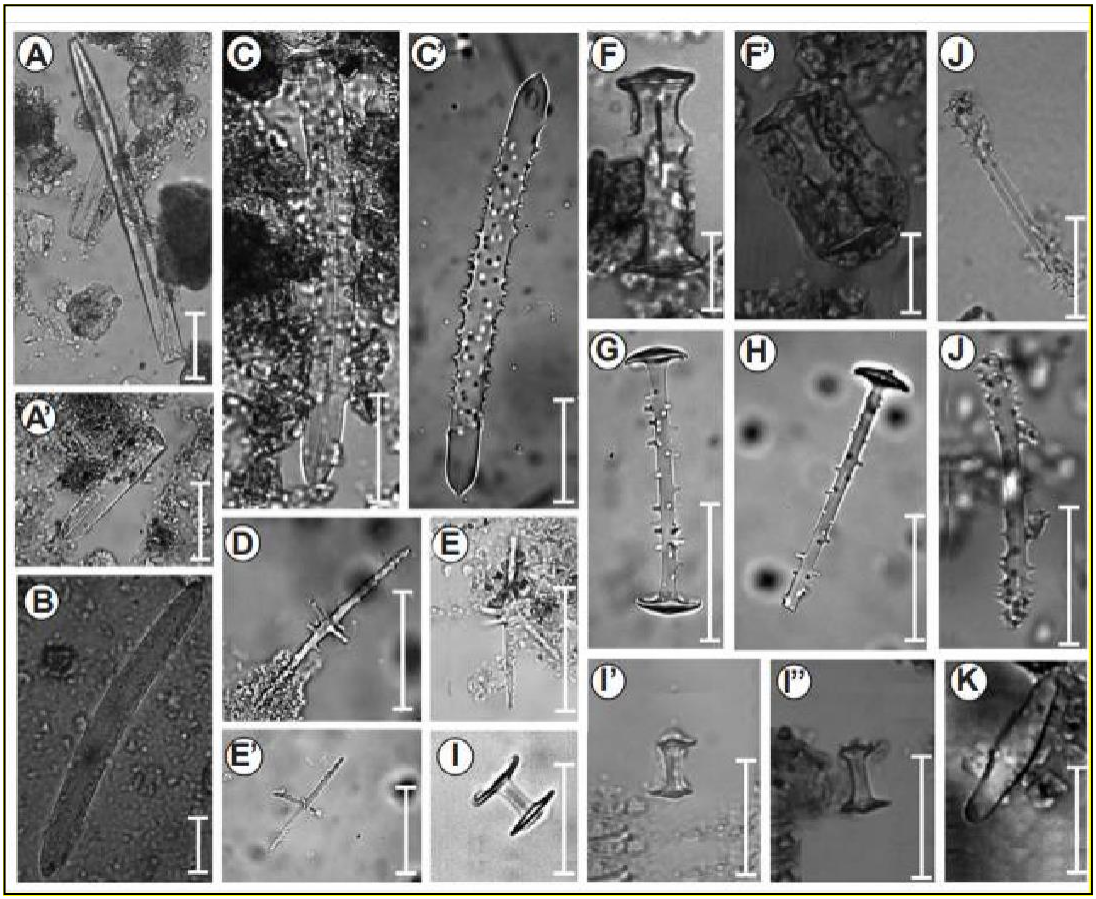

Figura 6: Espículas de esponjas continentais vistas no microscópio óptico: A-A': fragmentos de megascleras; B: megasclera; C-C': megasclera beta de *Metania spinata*; D: microsclera de *Metania spinata*; E-E': microsclera de *Dosilia pydanieli*; F-F': gemosclera de *Heterorotula fistula*; G: gemosclera de *Dosilia pydanieli*; H: fragmento de gemosclera de *Dosilia pydanieli*; I–I'': gemosclera de *Tubella variabilis*; J: gemosclera de *Radiospongilla inesi*; K: gemosclera de *Oncosclera* sp. Escalas = 20 µm. Fonte: Santos *et al,* 2017.

2.2.2 Frústulas de Diatomáceas

As diatomáceas são organismos unicelulares com uma membrana de pectina coberta por uma camada de sílica. A frústula, sua estrutura rígida, é composta por duas partes que se encaixam como uma placa de Petri: epiteca (epivalva + epicíngulo) e hipoteca (hipovalva + hipocíngulo). Essa organização permite a identificação de eixos e planos de simetria, resultando em formas variadas (Figura 7). As diatomáceas têm duas formas distintas: penadas (com comprimento maior que a largura) e cêntricas (com morfologia radial) (Leandrini *et al.*, 2010).

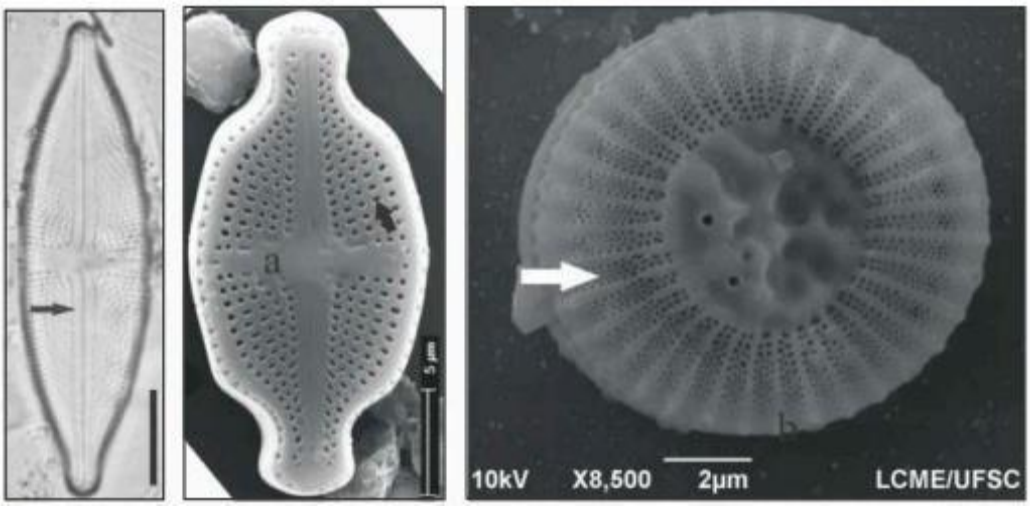

Figura 7: Morfologia e ultraestrutura em diatomáceas. Fonte: Leandrini *et al* (2010)

Por ser um grupo de algas presentes em quase todos os ambientes e latitudes do mundo, tanto em ambiente marinho quanto em água doce, as diatomáceas têm diferentes limites de tolerância a mudanças ambientais, como condutividade, pH e nutrientes, além de suas frústulas (paredes celulares de sílica) serem preservadas em sedimentos, proporcionando um registro histórico das condições ambientais (Round, 1991). Por conta disso, as diatomáceas se tornaram excelentes bioindicadores, pois apresentam rápida resposta às mudanças ambientais, podendo ser avaliadas pela presença, ausência, abundância relativa, densidade e composição das comunidades (Stevenson, 1996; Cox, 1997; Lobo e Torgan, 1988; Lobo, 1996, Lobo *et al*., 2002).

2.2.3 Microcarvões

A análise de partículas vegetais carbonizadas, conhecidas como carvões ou microcarvões (esta última terminologia será utilizada neste trabalho devido ao seu tamanho microscópico) tem sido empregada para inferir paleoqueimadas ao longo do tempo (Figura 8). Essas partículas são resultado da combustão incompleta de madeira ou outros materiais vegetais e são testemunhos de incêndios naturais ou provocados pelo homem no passado (Rodrigues e Toledo, 2009).

As queimadas, causadas tanto por atividades humanas quanto naturais, desempenham um papel fundamental no desenvolvimento da vegetação, influenciando a sucessão das plantas, alterando comunidades e contribuindo para a evolução e manutenção de ecossistemas adaptados ao fogo. Enquanto os carvões macroscópicos revelam claramente incêndios locais, os microcarvões podem indicar queimadas em áreas mais distantes (Patterson *et al.*, 1987)

A análise de carvão vegetal em sedimentos lacustres é usada para reconstruir variações de longo prazo na ocorrência de incêndios, complementando registros históricos. Essa análise oferece uma visão crucial na paleoecologia, podendo indicar o tipo de vegetação ao redor do sítio e permitindo a reconstituição do ambiente vegetal e do clima da época (Whitlock e Larsen, 2001).

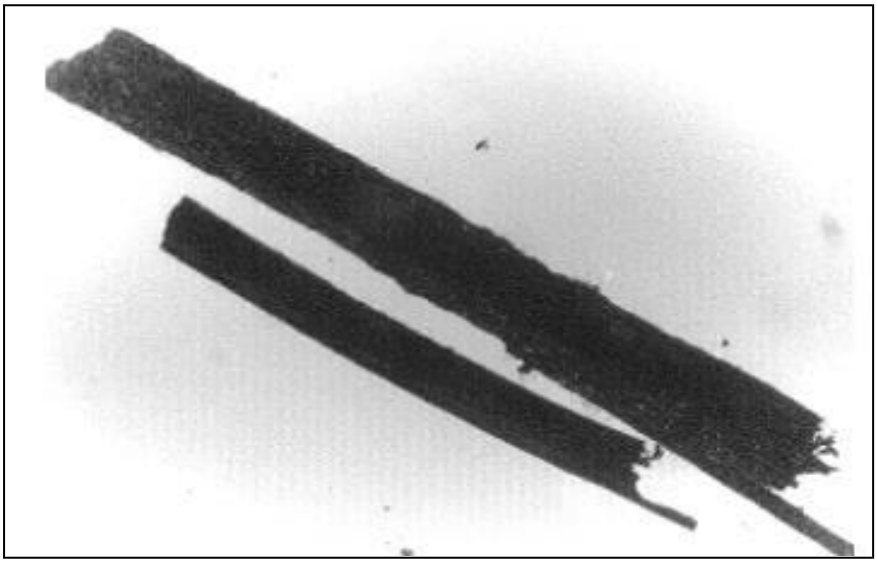

Figura 8: Microcarvões ampliados. Fonte: Rodrigues e Toledo, 2009.

2.3 Datação Radiocarbônica

Desde sua criação no final da década de 40, pelo químico Willard Frank Libby (1908-1980), a técnica de datação por carbono-14 tem sido amplamente utilizada, tanto em Arqueologia quanto em estudos relacionados às Geociências. Essa técnica é aplicada em diversos campos, incluindo o cálculo de taxas de deposição, variação do nível do mar e reconstruções de paleoclima e paleovegetação (Macário e Alves, 2018), e serve para determinar a idade de materiais orgânicos antigos, como madeira, ossos e carvão, com base na medição do conteúdo de carbono-14, fornecendo uma estimativa da época em que o material estudado foi originado (Farias, 2002; Francisco *et al*., 2011).

O surgimento da Espectrometria de Massa com Aceleradores (AMS), desenvolvida por Muller (1977), permitiu estudos mais refinados em perfis de solo e sedimento, a nível de estratigrafia detalhada. Além disso, possibilitou métodos de preparação de amostras mais avançados, visando a separação de frações químicas específicas. Isso inclui a datação de frações de solo e celulose de árvores, entre outros (Macário e Alves, 2018).

O carbono-14 é um isótopo radioativo do carbono, produzido continuamente na alta atmosfera pela irradiação cósmica do nitrogênio-14. Ao longo do tempo, os átomos de carbono-14 se desintegram espontaneamente, transformando-se em um novo elemento, como

nitrogênio-14, potássio-40, argônio-40 ou cálcio-40. Durante o tempo geológico, um equilíbrio dinâmico é estabelecido entre a produção e a desintegração do carbono-14 no estoque global (Scheel-Ybert, 1999).

De acordo com Kotz e Treichel Jr. (1999), a quantidade de carbono-14 permaneceu constante nos últimos 20.000 anos e também é constante nos vegetais e animais vivos. Quando um organismo morre, cessa a absorção de CO_2 com carbono-14 e inicia-se o decaimento beta do carbono-14. Após aproximadamente 5.730 anos, a radioatividade cai pela metade. Portanto, medindo a radioatividade residual do fóssil, é possível calcular sua idade.

Apesar de amplamente utilizado, o método de datação por carbono-14 apresenta limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados cronológicos. Vários fatores de distorção das datas obtidas em laboratório são conhecidos, no entanto a maioria deles pode ser corrigida. Ao utilizar uma datação para interpretar sequências cronológicas, é fundamental garantir que qualquer correção necessária, seja pelo $\delta^{13}C$ ou pelo efeito reservatório, tenha sido aplicada ao resultado (Scheel-Ybert, 1999).

2.4 Análise granulométrica do solo

Segundo Teixeira *et. al.* (2017), a análise granulométrica tem como objetivo quantificar a distribuição por tamanho das partículas individuais de minerais presentes no solo. Estas partículas podem ser grãos de minerais distintos, fragmentos de rocha não alterada ou parcialmente alterada, concreções, nódulos e materiais similares cimentados. O procedimento envolve a ruptura dos agregados do solo para individualizar essas partículas, usando uma combinação de energia mecânica e química para formar uma suspensão estabilizada. Posteriormente, as frações são separadas e quantificadas para análise.

2.5 Teor de carbono orgânico total (COT) no solo

O solo é um sistema aberto e complexo que troca constantemente matéria e energia com o ambiente. Sua complexidade se deve às interações

entre vegetais, organismos e minerais, além da acumulação de resíduos orgânicos. A matéria orgânica no solo é crucial para manter e melhorar suas propriedades, como capacidade de troca catiônica, retenção de água e agregação. Aproximadamente 58% dessa matéria orgânica são compostos por carbono. Os solos armazenam cerca do dobro do carbono presente na atmosfera e três vezes mais do que na vegetação (Rego *et al.*, 2013).

O carbono orgânico no solo é essencial para a sustentação da vida microbiana que mineraliza a matéria orgânica, liberando diversos nutrientes para as plantas. Desse modo, a determinação do teor de carbono orgânico no solo é de extrema importância para avaliar se o solo possui níveis adequados de matéria orgânica (Barros, 2016).

2.6 Paleoambientes do Nordeste durante o Pleistoceno Final e o Holoceno Tardio

Em 1999, De Oliveira e colaboradores estudaram uma sequência de turfeiras pertencentes aos campos de dunas de areia fossilizadas do médio Rio São Francisco, na Bahia, entre as cidades Barra e Pilão Arcado. As análises palinológicas utilizadas nessa pesquisa revelaram mudanças vegetacionais e climáticas ao longo dos últimos 11.000 anos, apontando cinco fases distintas: a) 10.990–10.540 anos AP**:** Clima muito úmido e temperaturas mais baixas, com pólen de florestas amazônicas e atlânticas; b) 10.540–6790 anos AP**:** Aquecimento progressivo e alta umidade, com domínio de *Mauritia*; c) 6790–6230 anos AP**:** Ausência de palinomorfos, possivelmente indicando condições semiáridas; d) 6230–4535 anos AP**:** Retorno de vegetação em mosaico com floresta de galeria, cerrado e caatinga, indicando condições mais úmidas; e) 4535 anos AP–Presente**:** Estabelece o padrão vegetacional e climático atual, com aumento de espécies de caatinga e cerrado e declínio de floresta de galeria, sugerindo um clima mais seco.

Em 2000, Chaves analisou coprólitos animais e humanos, além de restos orgânicos vegetais do abrigo sob rocha da Toca do Boqueirão no Sítio da Pedra Furada, para compreender a dinâmica holocênica da vegetação e clima na região sudeste do Piauí. Os resultados sugeriram que, entre 8700 e

7000 anos AP, houve uma atenuação da última crise árida holocênica, e a região possuía uma vegetação de cerrado-cerradão, um clima ligeiramente mais frio e menos seco do que o atual, confirmando mudanças climáticas e vegetacionais.

Gouveia e colaboradores, em 2005, realizaram um estudo utilizando isótopos de carbono e datação por ^{14}C para investigar as mudanças na vegetação e nas condições climáticas do nordeste do Brasil nos últimos 15.000 anos. Amostragens foram realizadas nos estados de Piauí, Paraíba e Ceará. Os resultados indicam que, do final do Pleistoceno (~15.000 anos AP) ao início do Holoceno (~10.000-9000 anos AP), havia vegetação arbórea associada a um clima mais úmido. Entre ~9000 e 4000-3000 anos AP, o Cerrado se expandiu, sugerindo um clima mais seco, confirmado pela alta concentração de carvão nos locais de estudo. A partir de ~4000-3000 anos AP até o presente, houve uma expansão da vegetação arbórea, indicando um retorno a condições climáticas mais úmidas, semelhantes ao clima atual.

Em 2009, Nascimento *et al*. apresentaram um estudo descrevendo a dinâmica holocênica da caatinga na região do Parque Nacional do Catimbau, em Buíque, Pernambuco, através da análise palinológica de sedimentos ricos em matéria orgânica vegetal. Três fases polínicas foram identificadas, mostrando a distribuição e composição da vegetação ao longo do Holoceno, desde 8410 ± 40 anos AP até o presente. Os resultados apontaram que a região manteve condições úmidas durante todo o período estudado. Aumentos na taxa de sedimentação e na presença de plantas aquáticas e algas sugerem uma fase de maior umidade entre 2150 ± 40 anos e 1694 anos AP. Desde 1694 anos AP até o presente, a composição polínica reflete a vegetação atual, com presença de elementos típicos de ambientes úmidos, apesar da região ser semiárida.

Mota, em 2012, apresentou em sua dissertação, um estudo sobre o paleoambiente do Nordeste Brasileiro, mas especificamente no Parque Nacional Serra da Capivara, no Piauí. Utilizando análises antracológicas e bibliografias prévias, os resultados obtidos sugeriram que o último Máximo Glacial e o início do Periglacial foram secos, com períodos de umidade entre 15.000 e 14.000 anos AP, e umidade no Holoceno Médio, seguida de aridez

no Holoceno Tardio, promovendo a expansão da caatinga e cerrado. Para a região específica de São Raimundo Nonato, o registro palinológico apontam um aumento da umidade no Holoceno.

Tavares (2015) investigou, em seu doutorado, os depósitos de encosta no Maciço da Serra da Baixa Verde, Pernambuco. Seu estudo apontou que picos de deposição coluvial ocorreram a 9000 e 7000 anos AP, devido à reumidificação pós-glacial e ao ótimo climático do Holoceno. A partir do Holoceno Médio, houve uma redistribuição dos sedimentos ao longo dos canais, com uma diminuição significativa da deposição nas encostas a partir de 5000 anos AP, devido ao padrão atual de semiaridez que impede a formação de novos mantos de intemperismo. Já para o Holoceno Superior, os resultados sugerem o estabelecimento do padrão de semiaridez, uma vez que os depósitos de encosta se tornaram mais escassos e os depósitos sedimentares datados de 2000 e 730 anos AP indicam a possível influência de eventos climáticos extremos, como os paleo-El Niños.

Em 2016, Utida defendeu em sua tese de doutoramento uma pesquisa que objetivava reconstruir as variações climáticas e ambientais na região do Rio Grande do Norte ao longo do Holoceno. O estudo utilizou isótopos de oxigênio e carbono e análises geoquímicas em compostos orgânicos e inorgânicos em sedimentos da Lagoa do Boqueirão, no município de Touros, e de espeleotemas das cavernas do Urubu e do Trapiá, no município de Felipe Guerra. Em síntese, os resultados obtidos indicam que durante o Holoceno Inicial (11.700 a 8200 anos AP) havia vegetação C3 abundante, indicando um ambiente úmido, com evento de resfriamento global temporário, redução na precipitação e aumento da aridez por volta de 8.200 anos AP Já no Holoceno Médio (8200 a 4200 anos AP) foi evidenciado uma longa fase de seca com diminuição significativa na precipitação e aumento da atividade de dunas entre 6000 e 4200 anos AP Já no Holoceno Tardio (4200 anos atrás até o presente), os resultados sugerem uma oscilação climática com alternância entre períodos de umidade, seca e estresse hídrico.

Em 2017, Araujo-Júnior e colaboradores estudaram novos fósseis descobertos nos depósitos de tanque nos sítios paleontológicos Campo Alegre (Taperoá, Paraíba) e Lage Grande (Alagoinha, Pernambuco). A

análise destes táxons à luz de estudos paleoautoecológicos recentes sugeriram um ambiente mais aberto com coberturas florestais e clima úmido e quente em Taperoá, enquanto Alagoinha apresentava áreas estritamente abertas com pastagens e um clima mais árido e seco durante o Pleistoceno Final e início do Holoceno.

Ainda em 2017, Dias apresentou em sua monografia, uma pesquisa em regiões de Caatinga no Rio Grande do Norte e Ceará, utilizando análises de silicofitólitos e isótopos de carbono em amostras extraídas de quatro perfis de solos. Os resultados indicaram uma tendência geral de aumento da densidade arbórea e umidade com a profundidade dos perfis, indicando que ambientes passados eram mais úmidos do que o atual (anterior a 9846 anos cal AP). A partir de 9846 anos cal AP, nota-se a redução da umidade e aumento do estresse hídrico. Também foram evidenciados períodos específicos de maior umidade relativa há cerca de 2200 anos cal AP e 465 anos cal AP.

Em 2019, três teses de doutoramento foram apresentadas com o objetivo de reconstituir o paleoambiente no Nordeste brasileiro. Uma foi defendida por Medeiros, que apresentou um estudo pautado em microfósseis da megafauna em depósitos quaternários entre os estados de Pernambuco e Paraíba, visando analisar o impacto das mudanças climáticas na vegetação e na cadeia trófica desses animais. Os resultados das análises micropaleontológicas em sedimentos revelaram a presença de elementos de floresta úmida e fria, indicando um ambiente não análogo à Caatinga atual. A partir do aquecimento no final do Pleistoceno, elementos de clima frio desaparecem, dando lugar à expansão da Caatinga por volta de 4900 anos cal AP.

A outra tese foi apresentada por Ramos, que investigou a reconstrução das condições paleoambientais através da análise de fitólitos no Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima, em Pernambuco. Os resultados das análises detalhadas dos fitólitos nos diferentes períodos estratigráficos revelaram flutuações climáticas ao longo do Holoceno, com períodos úmidos, entre 10.000 e 6000 anos AP, caracterizados pela presença de água e vegetação densa de gramíneas e dicotiledôneas. Em contraste, entre

6000 e 4000 anos AP, foram identificados períodos secos, com condições semiáridas e vegetação adaptada à seca.

Por último, Galvão apresentou um estudo sobre o paleoambiente e paleovegetação que sustentaram as ocupações pré-históricas no sudeste do Piauí, especificamente no Parque Nacional da Serra da Capivara e arredores. Por meio de análise *multiproxy* com foco em análise de fitólitos, os resultados obtidos revelaram uma variação entre floresta de caatinga alta e floresta ciliar, sugerindo um ambiente úmido similar ao encontrado em outras regiões durante o mesmo período. Este aumento da umidade também permitiu a convergência dos redutos florestais e a expansão da megafauna, com datações paleontológicas indicando sua presença entre 12.000 e 6500 anos AP. Por volta de 5500 anos AP, os resultados sugeriram o fim do Ótimo Climático no sudeste do Piauí e o início do clima semiárido. Entre 4000 e 3000 anos AP, as características paisagísticas se tornaram semelhantes às atuais.

Já em 2022, Aguiar, também em sua tese de doutorado, investigou a evolução da paisagem da Serra de Uruburetama - CE durante o Quaternário, utilizando análises *multiproxies*, como fitólitos, análises granulométricas, teor de carbono e datações por ^{14}C-AMS. A área de estudo foi dividida em três unidades geoambientais: vertente úmida, subúmida e seca. Os resultados mostraram tendências semelhantes entre as três unidades, com predominância de vegetação aberta durante o Holoceno, composta por muitas herbáceas e poucas lenhosas, sem grandes mudanças. Pequenas pulsações climáticas foram identificadas, incluindo períodos mais úmidos na transição do Pleistoceno para o Holoceno Inferior e episódios secos por volta de 9000-8200 anos cal AP. Do Holoceno Médio ao Superior, houve oscilações entre episódios secos e tendências de maior umidade, com períodos úmidos observados entre 5022-4417 anos cal AP e 4241-3664 anos cal AP, correspondendo à maior densidade arbórea.

Nesse mesmo ano (2022), Machado apresentou em sua dissertação de mestrado uma pesquisa que buscava compreender a dinâmica das coberturas superficiais ao longo do Rio Grande, oeste baiano. Nesse estudo utilizou-se biomineralizações de sílica (fitólitos, espículas de esponja e frústulas de diatomáceas), datações por LOE, análises granulométricas e

geoquímicas de amostras de sedimentos. Os resultados apontaram uma tendência de diminuição da densidade arbórea e aumento da aridez desde 6295 anos AP, com períodos mais secos sendo predominantes até o Holoceno Tardio (4200 anos AP até o presente). Cerca de 1430 anos AP, observou-se uma fase mais úmida com maior cobertura arbórea. Nos últimos 420 anos, as condições têm oscilado entre seco e úmido. A deposição das coberturas superficiais foi predominantemente sob condições de alta energia, exceto por dois episódios de menor energia em torno de 5260 e 1400 anos AP. Este último episódio coincidiu com a maior densidade arbórea registrada, indicando maior umidade.

Listo e colaboradores (2023) investigaram as variações climáticas quaternárias em Fazenda Nova, Brejo da Madre de Deus, Pernambuco. O estudo utilizou análises morfoestratigráficas, de fitólitos, de isótopos de carbono e datação por luminescência opticamente estimulada (LOE). Os resultados indicaram que os depósitos nas fossas de intemperismo foram formados principalmente por sedimentação gravitacional de fluxos de detritos, em condições torrenciais, associadas a ciclos de pedogênese e morfogênese em ambientes semiáridos. Durante o Holoceno Médio e Superior (8000 a 4000 anos AP), houve uma estabilização climática que facilitou o desenvolvimento de solos e a formação de depósitos sedimentares mais complexos. A vegetação densa da época ajudou a estabilizar o solo, reduzindo a erosão e alterando as características das fossas de intemperismo na região.

2.7 Aplicações de fitólitos em Arqueologia

A reconstituição do ambiente de antigas ocupações humanas é extremamente importante para a pesquisa arqueológica e os fitólitos são ferramentas muito úteis para essa finalidade. Sua abundância, durabilidade e morfologias diagnósticas são características potenciais que têm sido bastante aplicadas nas reconstituições paleoambientais e paleoecológicas do Quaternário Tardio em vários tipos de sedimentos e solos (Fredlund e Tieszen, 1997; Piperno e Becker, 1996; Alexandre *et al*., 1999; Coe *et al*.,

2014a, 2017a, 2018; Paisani *et al.*, 2016; Chueng *et al.*, 2018, 2019; Dias *et al*., 2019; Seixas *et al*., 2019, entre outros).

Segundo Shillito (2011), existem três características dos fitólitos vantajosas para os estudos arqueológicos, pois permitem incorporar informações sobre registros arqueobotânicos: a durabilidade, a imutabilidade e a capacidade para fornecer uma representação anatômica geral e cobertura taxonômica mais ampla, como família e gênero.

Durabilidade: as características físico-químicas dessas partículas fazem com que sejam o único resto botânico preservado em condições de conservação não excepcionais. Isso geralmente ocorre em ambientes sedimentares com intervalos de pH entre 2 e 9. Várias pesquisas em Paleontologia e Geologia confirmam esta durabilidade (Fredlund e Tieszen, 1997; Stromberg, 2002). No campo da Arqueologia, essa técnica tem sido aplicada de forma secundária às sociedades de caçadores-coletores e povos ceramistas, tendo sido analisado de preferência materiais de cronologias mais recentes, onde na maioria das vezes se tem boa conservação de outros restos arqueobotânicos, como carvões, madeiras, frutos e sementes (Scheel-Ybert et al, 2010; Shock e Moraes, 2019). Assim, têm proliferado especialmente os estudos de manejo de plantas ou contextos relacionados às origens da agricultura (Pearsall e Trimble, 1984; Rosen e Weiner, 1994; Zhao e Piperno, 2000; Mbida *et al*., 2001; Trombold e Israde Alcántara, 2005).

Inalterabilidade: a análise de fitólitos fornece uma visão geral do consumo de vegetais, independentemente dos processos a que tenham sido submetidos (cortados, moídos, cozidos, grelhados, etc.), já que não alteram os protocolos a serem seguidos ou os resultados da técnica, pois os fitólitos não são modificados quando as plantas sofrem estas transformações. Em relação ao tratamento de calor, normalmente também temos uma fiel representação dos fitólitos, já que a temperatura de fusão da sílica é extremamente elevada (500°C para a fusão da sílica e 1150°C para que se modifique e cristalize).

Representação anatômica geral: as técnicas arqueobotânicas mais comuns, a Antracologia e a Carpologia, têm objetos de análise limitados se o

objetivo do trabalho é conhecer o consumo geral de vegetais. A análise dos fitólitos nos remete a praticamente qualquer tipo de tecido vegetal e qualquer tipo de planta. Deste modo, abrange um espectro mais amplo de tecidos e grupos de plantas (Shilito, 2011).

Além disso, os estudos de fitólitos em Arqueologia podem ser divididos em duas grandes categorias: a) amostras de características arqueológicas específicas e artefatos com resíduos de alimentos ou carbonização (fuligem) aderidos às vasilhas cerâmicas, os cálculos dentários, coprólitos e estruturas de combustão (fogueiras) e b) os extraídos a partir de sedimentos e amostras de solo (Shilito, 2013).

No entanto, assim como qualquer outra biomineralização, os estudos com fitólitos apresentam algumas limitações que precisam ser levadas em consideração na interpretação dos dados, sendo o mais indicado associá-las a uma análise *multiproxy* para que os resultados sejam objetivos. Dentre essas limitações, podemos destacar os fatores de multiplicidade e redundância da produção fitolítica, sendo difícil atribuir valor taxonômico a um único fitólito, uma vez que o mesmo fitólito pode ser produzido por diferentes plantas e uma mesma planta produzir diversos tipos de fitólitos (Coe, 2009).

Dessa forma, precisamos, em nossas análises, buscar sempre caracterizar as assembleias fitolíticas, que são constituídas por um número estatisticamente válido de tipologias fitolíticas e representa a “produção média qualitativa e quantitativa” de fitólitos de uma vegetação em particular, permitindo assim caracterizar um tipo de formação vegetal e a sua densidade arbórea.

Outro ponto é que, quando se utiliza material extraído de solos, principalmente os remanejados não se pode analisar os perfis como uma sequência sedimentar, mas como uma mistura entre materiais de origem e idades diferentes, que sofreram transporte e bioturbação (Coe, 2009).

2.8 Estudos com fítólitos em sítios arqueológicos no Brasil

Podemos definir sítio arqueológico como um local de atividades humanas, onde são recuperados vestígios da cultura material que implicam

nas relações socioeconômicas e funcionais de grupos humanos do passado e do presente, assim como as relações entre os seres e a paisagem circundante (Butzer, 1989; Prous, 1991). Atualmente, no Brasil existem mais de 26 mil sítios arqueológicos cadastrados, segundo dados oficiais do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) (http://portal.iphan.gov.br/, 2023).

No Brasil existem diversos contextos arqueológicos diretamente relacionados a seus ambientes de ocupação, desde os sambaquis (Figura 9C) nas regiões litorâneas às estearias maranhenses, a abrigos sob-rocha nos Platôs, Planaltos e Serras Interiores (Figura 9B) e sítios a céu aberto nas Depressões Nordeste a Sudeste, e também os sítios ribeirinhos com antrossolos, sambaquis fluviais e geoglifos e as terras pretas de índio, na Amazônia (Figura 9A), as casas subterrâneas e os cerritos nos Planaltos e Serras ao Sul.

Figura 9: Exemplos de sítios arqueológicos no Brasil. A) Terra preta de índio (Foto. Teixeira, 2008); B) Sítio abrigado (Foto: Costa, 2012) C) Sambaqui (Foto: Villagran, 2023).

Com o avanço de pesquisas interdisciplinares em sítios arqueológicos, aliadas à utilização de indicadores *multiproxies*, os resultados têm sido cada vez mais satisfatórios no que tange a compreensão e a

reconstituição tanto do modo de vida e da mobilidade de grupos humanos pretéritos, como da paleovegetação e inferências do paleoclima e do paleoambiente onde esses grupos se estabeleceram e, se possível estabelecer o consumo, o manejo e o cultivo de plantas.

Embora que ainda incipiente, temos observado, nos últimos anos, um aumento na aplicação do bioindicador **fitólito** como *proxy* nas pesquisas que visam ampliar e corroborar tais estudos em contextos arqueológicos.

Nesse sentindo, apresentamos a seguir uma revisão dos trabalhos mais relevantes que utilizaram esse *proxy* (fitólito) em suas análises abrangendo sítios arqueológicos no Brasil. Tais trabalhos foram localizados por meio de pesquisa no Google Acadêmico, no portal de Periódicos da Capes e no levantamento feito por Aguiar *et al.* (2019).

Foram revisados 40 trabalhos que estudaram 42 sítios arqueológicos espalhados pelas regiões Norte, Nordeste, Sudeste e Sul. Não foi encontrado nenhum trabalho com fitólitos em sítios arqueológicos na região Centro-Oeste (Figura 10).

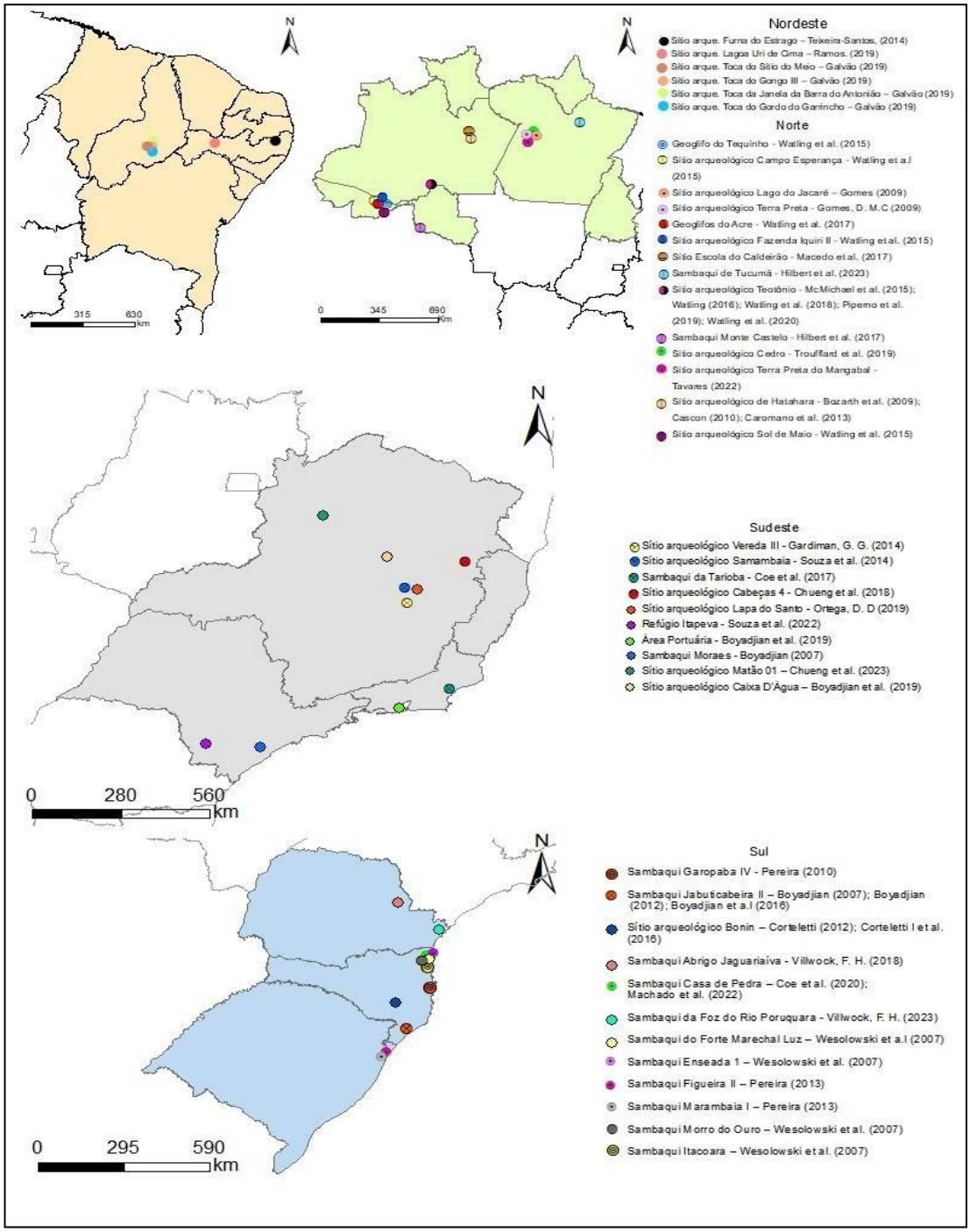

Figura 10: Localização dos sítios arqueológicos apresentados nessa revisão. Elaborado por Aguiar, 2024.

REGIÃO NORTE

Em 2008, Gomes estudou os sítios Lago do Jacaré e o Terra Preta, ambos na região do Parauá, no município de Santarém no Pará, utilizando sedimentos recuperados em assadores cerâmicos com o objetivo de compreender o uso funcional das cerâmicas encontradas nesses sítios.

Dentre as análises realizadas, os resultados das análises fitotílica no sítio Lago do Jacaré indicaram a presença de fitólitos de mandioca (*Manihot esculenta*), milho (*Zea mays*), pupunha (*Bactris gasipaes*) e buriti (*Mauritia flexuosa mart.*). Já no sítio Terra Preta, os resultados fitolíticos indicou apenas a presença de milho (*Zea mays*).

Em 2009, Bozarth e colaboradores analisaram fitólitos e outras biomineralizações de sílica, em 15 amostras de solo retiradas do Sítio arqueológico Hatahara, um sítio composto por montes de terra preta, situado a margem esquerda do Rio Solimões, no município de Iranduba, no estado do Amazonas, com o objetivo de determinar a existência de um campo agrícola durante os tempos pré-colombianos e, em caso positivo identificar as plantas que foram cultivadas no passado. Os resultados das análises de fitólitos apontaram a presença de morfotipos de espigas de milho, cascas de abóbora e cabaças domesticadas, sugerindo que os sedimentos amostrados se originaram em uma área de descarte de lixo. Em algumas amostras também foram identificados fitólitos de Calathea e Heliconia.

Cascon, em 2010, apresentou em sua dissertação de mestrado, os resultados de sua pesquisa que visava determinar os recursos vegetais consumidos durante a formação do Sítio arqueológico Hatahara, localizado à margem esquerda do Rio Solimões, no município de Iranduba no Amazonas, a partir de microvestígios botânicos, principalmente fitólitos e grãos de amido, provindos de artefatos cerâmicos e líticos e de amostras de solo. Os resultados das assembleias fitolíticas apontaram para uma grande variedade de recursos vegetais utilizado nesse sítio, sendo destacado a presença de recursos manejados, como as palmeiras e os cultivados, como o milho (*Zea mays*) e o cará (*Dioscorea* sp.).

Em 2013, Caromano e colaboradores também estudando o Sítio arqueológico Hatahara, localizado no município de Iranduba, no Estado do Amazonas, utilizaram pesquisas microarqueobotânicas e antracológicas, objetivando melhorar a compreensão dos aspectos humanos que influenciaram a vegetação pretérita, bem como a dieta dos habitantes desse sítio. Para as análises microbotânicas foram analisados restos vegetais extraídos de oito artefatos cerâmicos escavados em duas unidades distintas. As assembleias fitolíticas indicaram a presença de morfotipos de palmas e

palmeiras, estas sendo de seis prováveis gêneros: *Astrocaryum, Attalea, Bactris, Euterpe, Maurício e Oenocarpus.* Também foram observados diversos fitólitos de táxons não identificados.

Em 2015, McMichael *et al.* avaliaram o grau de impactos humanos antigos em toda a Amazônia Ocidental com base em dados arqueológicos e paleoecológicos usando metodologias que permitem comparações inter-regionais. Analisaram as assembleias de carvão e fitólitos de amostras de solo de um sítio arqueológico, locais próximos a sítios arqueológicos, áreas de florestas ribeirinhas e interfluviais e uma estação de pesquisa biológica, que se acredita conter algumas das florestas menos perturbadas da Amazônia. Os locais estudados no Brasil foram: Barcelos-AM, Porto Velho-RO, Rio Branco-AC, Tefé-AM e o sítio arqueológico Teotônio (localizado no alto de um penhasco do Rio Madeira - Brasil). Para o sítio Teotônio, as análises das assembleias fitolíticas indicaram a presença de uma mistura de fitólitos arborícolas, herbáceos e de palmeiras. O estudo ainda apontou que houve um aumento das palmeiras após 1500 anos cal AP nesse sítio.

Investigando as estratégias de subsistências no sudoeste amazônica, Watling *et al.* estudaram, em 2015, oito sítios arqueológicos, sendo quatro deles no Brasil, mais precisamente no leste do Acre. Dos sítios brasileiros estudados e que reportam ao objetivo dessa revisão, três são de montículos (Fazenda Iquiri II, Sol de Maio, Campo Esperança) e 1 de geoglifo (Tequinho). A pesquisa utilizou fitólitos como *proxy*, que foram extraídos de sedimentos e/ou cerâmicas escavados nesses sítios. Dos recursos domesticados, os resultados indicaram a presença de táxons associados a espigas de milho em todos os quatro sítios e de a abóbora em três sítios (Campo Esperança, Sol de Maio, Tequinho). Em relação aos recursos não domesticados, a variedade de fitólitos identificada sugeriu um grande consumo de frutos de árvores locais, além de táxons de palma, Annonaceae e *Cyperus/Kyllinga* sp. Também foram identificados morfotipos de gramíneas e Bambusoideae indicando possivelmente a vegetação de fundo.

Já em 2016, Watling *et al.* estudando o sítio arqueológico Teotônio, no alto do Rio Madeira, em Rondônia, analisaram cinco tipos de florestas mais comuns presentes hoje para compará-los de forma análoga com conjuntos paleoecológicos de locais pré-colombianos de terraplenagem na área. O

estudo concluiu que as assembleias de fitólitos de superfície analisadas podem ser usadas como análogos para melhorar a precisão de reconstruções arqueológicas e paleoecológicas na região.

Macedo e colaboradores (2017) estudaram a relação das atividades antrópicas com processos de formação pedogenética de solos com horizontes superficiais escuros, denominados Terra Preta da Amazônia, no sítio escola Caldeirão, no município de Iranduba – AM. Utilizando *multiproxies*, incluindo análises fitolíticas, a pesquisa confirmou a hipótese de que processos pedogenéticos podem ser instalados e intensificados por atividades antrópicas antigas e não por causas naturais, como acreditado anteriormente. Os resultados dos fitólitos sugeriram que a maior espessura da Terra Preta da Amazônia pode ser associada ao uso mais intensivo do solo e que a cor escura esteja ligada a maior incorporação de restos orgânicos, tais como folha de palmeiras e carvão.

Ainda em 2017, Watling *et al*. apresentaram um artigo com os resultados de um estudo realizado com amostras de solos de dois geoglifos no município de Senador Guiomard, no leste do Acre: o Jacó Sá e o Fazenda Colorada. Nesse estudo foram utilizadas, como metodologias, as análises de fitólitos, de carvão e de isótopos de carbono e objetivou a reconstrução da vegetação e uso da terra nos geoglifos. Os resultados das assembleias fitolíticas indicaram o domínio de morfotipos de bambu, demonstrando que esse ecossistema florestal, encontrado ainda hoje nessa região, esteve presente, pelo menos, nos últimos 6000 anos. O estudo também identificou períodos de diminuição desse sistema no final do Holoceno, podendo estar ligado ao ciclo natural do bambu associado a intensificação do desmatamento e/ou pelo manejo florestal antrópicos.

Também em 2017, Hilbert e colaboradores estudaram o sambaqui fluvial Monte Castelo, localizado na bacia do Alto Madeira, em Rondônia. Nessa pesquisa, os autores buscaram documentar evidências da domesticação do arroz silvestre (*Oryza* sp.*)* em uma região amazônica utilizando análise de fitólitos extraídos de sedimentos arqueológicos escavados nesse sítio e material de referência moderno de arroz silvestre. Os resultados das assembleias fitolíticas apontaram a presença de fitólitos diagnósticos do arroz silvestre em todas as amostras analisadas, que

remontam períodos diversos de ocupação desse sítio ao longo do tempo. Também foram identificados fitólitos associados a milho, abóbora, Arecaceae e Annonaceae, sugerindo que os moradores de Monte Castelo utilizavam recursos silvestres e domesticado como estratégia de subsistência.

Watling *et al.*, em 2018, iniciaram um projeto de pesquisa no sudoeste amazônico, mais precisamente no Sítio Teotônio, localizado em um penhasco à margem direita do Rio Madeira, em Rondônia, com o objetivo de identificar evidências diretas da domesticação de plantas e da produção de alimentos durante as ocupações humanas no Holoceno Inicial e Médio. O estudo foi realizado através de datação radiocarbônica, análise de indústrias líticas e indicadores microarqueobôtanicos, a saber: fitólitos e grãos de amido recuperados de artefatos líticos e amostras de sedimentos das camadas de ocupação. Os resultados obtidos por fitólitos e grãos de amido apontam para uma pré-domesticação de algumas culturas como abóboras (*Cucurbita* spp.), mandioca (*Manihot* sp.) e feijão (*Phaseolus* sp.), que se intensificou ao longo do Holoceno.

Troufflard e Alves publicaram, em 2019, um estudo sobre o Sítio Cedro, no município de Belterra, no Estado do Pará, com o objetivo de compreender a funcionalidade dos espaços e atividades realizadas ao longo do tempo nesse sítio. A pesquisa foi realizada através de análises geoquímica, material lítico e fitólitos extraídos de amostras de solo. No que tange à análise fitolítica, os resultados indicaram a presença de morfotipos diagnósticos da família Poaceae (*Oryza* sp. *e* Oryzeae), de Arecaceae (palmeiras, Euterpeae/Mauritiinae, Attaleinae, *Bactris/Astrocaryum* spp., *Calathea allouia*), de Cyperaceae (*Cyperus* sp.) e Marantaceae (*Maranta arundinacea e Calathea allouia*). Também foram identificados fitólitos associados a milho (*Zea mays*), mandioca (*Manihot* sp.) e abóbora (*Cucurbita* spp.).

Em 2019, Piperno e colaboradores reanalisaram núcleos de solos de terra firme e fluvial recuperados em 2008-2009, em diversos pontos na Amazônia ocidental e central, incluindo o sítio arqueológico Teotônio, em Rondônia. O estudo visava construir informações sobre o manejo florestal de três espécies de palmeiras de importância econômica:*Euterpe precatoria*,

Oenocarpus bacaba e *Oenocarpus bataua*, a partir da análise de seus fitólitos. Os resultados dos fitólitos indicaram que no sítio Teotônio houve as maiores frequências de palmeiras de todos os tipos em comparação aos demais locais amostrados nesse estudo, com maior aumento tendo sido verificado ao longo do tempo a partir de 1480 anos AP. Também foram identificados táxons associados as famílias Annonaceae e Boraginaceae.

Em 2020, dando continuidade aos estudos no sudoeste da Amazônia, Watling e colaboradores estudaram a ocupação de grupos ceramistas nos Sítios arqueológicos Teotônio e Santa Paula, ambos situados na Cachoeira do Teotônio, na calha principal do rio Madeira, em Rondônia. O estudo se baseou em análises microbotânicas extraídas de cerâmicas, solos e artefatos líticos. No que tange às análises fitolíticas realizadas, os resultados no Sítio Teotônio demonstraram a presença de morfotipos de Arecaceae, Poaceae e Asteraceae, sem valor alimentício, com exceção de fitólitos de abóbora e ariá encontrados em dois fragmentos cerâmicos. Já no Sítio Santa Paula, os resultados mostraram domínio de fitólitos de plantas lenhosas (SPHEROID ORNATE) e gramíneas, com um aumento dos morfotipos encontrados na família da Arecaceae, nos gêneros *Bactris e Astrocaryum*, além de fitólitos de mandioca oriundos da amostra de raspagem em dois artefatos.

Tavares, em 2022, apresentou em sua dissertação uma pesquisa com o objetivo de compreender os processos de formação dos solos e das feições vegetais no Sítio arqueológico Terra Preta do Mangabal, na região do alto rio Tapajós, sudoeste do Pará, através de diversas metodologias, incluindo a análise de fitólitos. As análises foram realizadas a partir de amostras de solo escavadas em diferentes níveis do perfil. Em relação as assembleias fitolíticas, os resultados apontaram a presença de morfotipos de herbáceas (Zingiberales), arbóreas, Arecaceae e Poaceae.

Visando compreender o componente vegetal das estratégias de subsistência dos construtores de conchas, Hilbert e colaboradores pesquisaram, em 2023, o Sambaqui de Tucumã, localizado na região oeste da Ilha de Marajó, no estado do Pará. Para esse estudo foram utilizadas análises de fitólitos extraídos de 37 amostras de solo escavadas em quatro unidades distintas. De um modo geral, os resultados fitolíticos sugeriram que

a dieta dos habitantes desse sítio era composta por uma mistura de culturas e de recursos silvestres, tendo sido identificados morfotipos arbóreos e arborícolas, assim como de ervas, gramíneas, palmeiras de Mauritinae, Attaleinae, Asteraceae. Também foram identificados táxons associados a milho, abóbora, amora, arroz selvagens e possivelmente de graviola (Annonaceae), que variaram ao longo da ocupação do sítio.

REGIÃO NORDESTE

Teixeira-Santos, em 2014, em sua tese de doutorado, estudou o Sítio arqueológico Furna do Estrago, localizado próximo ao município Brejo da Madre de Deus, no agreste pernambucano, buscando compreender os hábitos alimentares dos grupos caçadores-coletores pela análise de microvestígios em coprólitos e sedimentos aderidos aos esqueletos humanos. Os resultados dos fitólitos evidenciaram presença de Poaceae (gramíneas) e alguns morfotipos não identificados. Também foram identificados morfotipos de *Ipomoea batatas*, *Manihot esculenta*, *Zea mays* e de *Anadenanthera colubrina* que foram corroborados pelos resultados dos grãos de amido. Tais resultados sugerem que a diversidade de fitólitos encontrados e a frequência de tecido vegetal em 84% das amostras revelam uma dieta que apresentava um consumo de vegetais frequente.

Galvão, em 2019, buscando analisar o paleoambiente que subsidiaram ocupações pré-históricas no Sudeste do Piauí, apresentou em sua tese de doutorado um estudo *multiproxy*, incluindo análise de fitólitos, a partir de amostras de sedimentos de quatro sítios arqueológicos no entorno do Parque Nacional da Capivara, a saber: Toca do Gongo III, Toca do Sítio do Meio, Toca da Janela da Barra do Antonião e Toca do Gordo Garrincho. A análise de fitólitos foi realizada em apenas dois sítios (Toca do Gongo III, Toca do Sítio do Meio), pois os outros dois não apresentaram dados confiáveis devido os pH do solo serem elevados. No sítio da Toca do Gongo III foram identificados 8 morfotipos (GLOBULAR, BULIFORM, SADDLE, BILOBATE, PARALLELEPIPEDAL, CUNEIFORM, ACICULAR e TRAPEZOIDAL). Já no Sítio da Toca do Sítio do Meio foram identificados seis morfotipos (*Globular, Buliform, Saddle, Bilobate, Elongate e Trapezoidal*). Em ambos os sítios, a

classificação morfotipológica apontou para uma grande quantidade de fitólitos não identificados.

Também em 2019, Ramos apresentou em sua tese de doutorado um estudo que teve como objetivo a reconstituição paleoambiental do Sítio Lagoa Uri de Cima, localizado no município de Salgueiro, região semiárida de Pernambuco. O estudo foi baseado em diversas metodologias, incluindo a análise de fitólitos, a partir de amostras de sedimentos recuperados em um perfil estratigráfico. Os resultados fitolíticos indicaram a presença de morfotipos de gramíneas, palmeiras e dicotiledôneas. Por fim, o estudo sugere que, independentemente da semiaridez atual e das condições edáficas, a área da lagoa encontrou -se vegetada permanentemente, o que explica a recorrência de fitólitos encontrados nos diferentes níveis amostrados.

REGIÃO SUDESTE

Boyadjian, em 2007, em seu mestrado, além da pesquisa de um sambaqui no Sul (Jabuticabeira II), estudou também o Sítio fluvial Moraes, no município de Miracatú, São Paulo, conforme mencionado anteriormente. Neste sítio, foram analisados 63 dentes de indivíduos exumados. Os resultados apontaram a presença de uma alta taxa de amido (93%) e baixa de fitólitos (7%) nas amostras analisadas, sugerindo uma dieta fortemente baseada em alimentos amiláceos e baixo consumo de vegetais ricos em fitólitos, semelhante aos resultados encontrados, pela autora, no Sambaqui Jabuticabeira II. Os fitólitos encontrados no sítio Moraes não foram classificados.

Em sua monografia, Gardiman (2014) reflete sobre o uso de técnicas e análises de macro e microvestígios em ambientes arqueológicos. Em sua pesquisa, no Sítio Veredas III, localizado na Área de Proteção Ambiental Carste de Lagoa Santa, ao norte de Belo Horizonte, em Minas Gerais, o autor destaca a importância de se trabalhar com vários *proxies*, principalmente os da arqueobotânica (isto é, grãos de amido, fitólitos e grãos de pólen) como ferramentas necessárias para compreensão do contexto em que antigos povos viveram. Embora o foco do seu estudo tenha sido a

identificação de grãos de amido, o autor conseguiu recuperar fitólitos de alguns dos artefatos cerâmicos analisados, porém não foram identificados e quantificados nesse estudo.

Ainda no ano de 2014, Sousa e colaboradores realizaram um estudo com foco em pedoarqueologia no Sítio Samambaia, no Parque Estadual do Sumidouro, área cárstica ao norte de Belo Horizonte - MG. Nesse estudo de caso, os autores destacaram que conseguiram identificar diferentes morfotipos de fitólitos salientando que a maioria estava opaca e recoberta por material carbonizado, a saber: ELONGATE, BILOBATE, BULIFORM e BLOCKY.

Em 2017b, Coe e colaboradores estudaram o Sambaqui da Tarioba, um sítio arqueológico localizado no município de Rio das Ostras, no Estado Rio de Janeiro. Os autores buscaram compreender a evolução dos padrões de diversidade na costa brasileira ao longo do Holoceno e avaliar até que ponto os vestígios antrópicos correspondem à distribuição da vegetação natural da região, utilizando a análise da composição fitolítica associada à datação radiocarbônicas, entre outros bioindicadores (i.e., carvões, frústulas de diatomáceas, espículas de esponjas). Os resultados das análises fitolíticas apontaram que a vegetação que circundava este sítio há 3890-3530 anos cal AP consistia em floresta seca. Os dados ainda indicaram uma estabilidade das condições florísticas e ambientais neste período associada a algumas mudanças ao longo do tempo.

Estudando em seu mestrado microvestígios botânicos (fitólitos e amido) em artefatos líticos e sedimentos no Sítio Lapa dos Santos, localizado na região de Lagoa Santa, em Minas Gerais, Ortega apresentou sua dissertação em 2019, que visava verificar a utilização dos líticos nesse sítio. Para essa pesquisa foram analisados os microvestígios botânicos extraídos de sedimentos e de 20 artefatos recuperados em três unidades de escavação distintas. De um modo geral, a análise fitolítica revelou que quase todos os fitólitos encontrados nos artefatos líticos também foram encontrados nos sedimentos. A identificação das assembleias fitolíticas indicaram a presença de morfotipos produzidos por Aristidoideae, Bambusoideae, Chloridoideae, Arecaceae, Poaceae, incluindo Panicoideae (*Zea mays*), Cyperaceae, Zingiberales *e* Eucotiledôneas.

Ainda em 2019, Boyadjian e colaboradores, apresentaram um artigo sobre a evolução e uso da microarqueobotânica ao longo do tempo, principalmente em contextos arqueológicos, além de uma revisão bibliográfica da temática, os autores apresentaram resultados preliminares de dois estudos de casos que estavam sendo realizados no Museu Nacional da UFRJ. O primeiro, realizado no Sítio Caixa d'água, localizado no município de Buritizeiro em Minas Gerais, onde foram extraídos microvestígios botânicos de 14 amostras de cálculos dentários. O segundo, referente a análise de sedimentos da parte interna e externa de 28 cachimbos, retirados de uma escavação arqueológica na região central do Rio de Janeiro. Em ambos os trabalhos foi identificada a presença de fitólitos, porém a classificação dos morfotipos seriam realizadas posteriormente com o avanço das pesquisas, mas em decorrência do incêndio ocorrido no Museu, esses trabalhos foram prejudicados com a perda das amostras e/ou grande parte delas.

Em sua tese, Chueng (2020) e Chueng *et al.* (2018, 2020) desenvolveram a reconstituição do ambiente na área arqueológica de Serra Negra, face leste da Serra do Espinhaço Meridional, região arqueológica de Felício dos Santos, inserida no Planalto Diamantinense, Minas Gerais, mais precisamente no Sítio Cabeças 4, utilizando fitólitos como *proxy* principal associados a outros indicadores. Nessa área de estudo, foram coletadas nove amostras de sedimentos, de 5-5 cm, até a profundidade de 45 cm. As análises fitolíticas indicaram predomínio de tipos de fitólitos de Poaceae e Arecaceae, com boa preservação e distribuídos de forma homogênea em profundidade. Os resultados sugerem que a região era recoberta por uma vegetação principalmente de campos rupestres, indicando predomínio de gramíneas adaptadas a temperaturas mais baixas, devido à altitude, com estresse hídrico durante todo o período estudado.

Em 2022, Souza *et al.* realizaram a reconstituição paleoambiental do Sítio arqueológico Abrigo de Itapeva, no município de Itapeva, sudeste paulista, com ocupação provável de grupos Jê meridionais. A partir da análise de sedimentos, foi observado o predomínio de fitólitos de Poaceae (gramíneas e da sub-família Pooidae), seguidos pela presença de morfotípos de dicotiledôneas lenhosas, Arecaceae e Bambusoideae. A análise dos

morfotipos encontrados revelou uma mudança de um clima mais seco com vegetação campestre para uma floresta lenhosa nos períodos posteriores de ocupação do abrigo.

Em 2023, Chueng *et al*. estudaram sedimentos do Sítio Matão 01, na região de Serra Negra, Minas Gerais, Serra do Espinhaço Meridional. A vegetação atual é considerada um ecótono entre a Floresta Estacional, cerrado e dos campos rupestres. Em todas as amostras analisadas foram observadas grandes quantidades de fitólitos muito bem conservados. Durante o período observado (de cerca de 3400 a 900 anos AP), predominaram os fitólitos de Poaceae e os de Arecaceae, provavelmente da palmeira *Syagrus ruschiana*, abundante na região. Este sítio foi interpretado como uma área de atividade específica de elaboração de instrumentos, como percutores e os chamados quebra-coquinhos (bigornas), que inclusive poderiam ser usados na manipulação dessas palmeiras, cuja presença foi observada por seus fitólitos característicos. Em menor quantidade aparecem ainda fitólitos de dicotiledôneas lenhosas, indicando uma vegetação semelhante à atual.

REGIÃO SUL

Wesolowski *et al.* (2007), tendo como área de pesquisa os sambaquis Morro do Ouro, Enseada, Forte Marechal Luz e Itacoara, todos localizados na região da Baía da Babitonga, Santa Catarina, utilizaram microvestígios de plantas (amido e fitólito) retidos em cálculo dentário para estudo do modo de vida e subsistência de grupos sambaquianos. De modo geral, os resultados obtidos apontaram para o consumo de alimentos amiláceos em todas as séries esqueléticas analisadas. A análise de amido evidenciou grânulos compatíveis com milho, batata doce/Araceae e *Dioscorea* sp. Em relação as análises fitolíticas, os resultados apontaram a presença, em sua maioria, de morfotipos compatíveis com Poaceae, sendo verificado, ainda, alguns morfotipos sugestivos de Arecaceae e outro morfotipo que pode ser relacionado a semente de *Araucaria angustifolia* (pinhão), sendo esse último encontrado apenas em amostras de dois sambaquis: Itacoara e Enseada 1. Tais resultados indicam uma seleção diferenciada dos vegetais utilizados,

que variavam com a localização, sazonalidade e temporalidade, havendo independência entre dieta com aporte de produtos vegetais e utilização de cerâmica.

Nesse mesmo ano (2007), Boyadjian apresentou, em sua dissertação, a evidência do uso de recursos vegetais através de microvestígios presentes em cálculos dentários em dois sambaquis: um no Sul (Sambaqui Jabuticabeira II) e o outro no Sudeste (Sambaqui do Moraes), que será evidenciado mais a frente (*vide Região Sudeste*). No sambaqui Jabuticabeira II, localizado na Lagoa do Camacho, em Jaguaruna/SC, foi analisado o total de 68 dentes de indivíduos escavados nesse sítio. Os resultados apontaram a presença de grãos de amido em cerca de 80% das amostras, enquanto a presença de fitólitos foi identificada em apenas 24% das amostras, sugerindo uma dieta baseada em vegetais ricos em amido, como tubérculos ou raízes. Já a baixa presença de fitólitos nas amostras poderia sugerir que os fitólitos seriam formados por oxalato de cálcio, não resistindo ao ácido clorídrico utilizado no tratamento das amostras, ou estaria relacionada a padrões de dietas vegetais distintas entre os indivíduos desse sítio, onde uma parcela consumiria mais raízes e tubérculos (órgãos vegetais que, em geral, não contém fitólitos) e a outra consumiria mais folhas, frutos e caules (órgãos vegetais ricos em fitólitos). Embora, tenham sido observados morfotipos variados de fitólitos, eles não foram classificados, sendo especificado que tal identificação seria realizada em trabalho posterior.

Pereira, em 2010, analisou fragmentos de carvão encontrados no Sítio Garopaba IV, um sambaqui localizado no município de Jaguaruna, litoral de Santa Catarina. Para além das análises antracológicas, que são normalmente realizadas nos macrocarvões recuperados do registro arqueológico, o autor buscou utilizar uma nova abordagem. Em sua pesquisa, optou-se por extrair, analisar e identificar os fitólitos presentes nesses fragmentos que, mesmo sofrendo queima e carbonização, foram preservados, devido as suas características de resistência a ambientes oxidantes e altas temperaturas. O objetivo do estudo foi o de propor uma nova ferramenta, utilizando os morfotipos e fitólitos extraídos de fragmentos de carvão selecionados e previamente identificados taxonomicamente (Antracologia), para inferir sobre o tipo de madeira utilizada em fogueiras (ou

estruturas de combustão) por grupos humanos pretéritos, no Sambaqui Garopaba IV. Segundo o autor, “a identificação dos fitólitos contidos nos carvões pode ser comparada com fitólitos encontrados nos sedimentos, comprovando ou diferenciando as espécies”. Os resultados apontam a viabilidade da análise fitolítica por meio da utilização de fragmentos de carvão, o que pode ajudar a reconstituir o modo de vida e a cultura de determinado grupo humano, constituindo assim, boa ferramenta nos estudos arqueológicos.

Dando continuidade à pesquisa iniciada no mestrado, Boyadjian, em 2012, procurou, em seu doutorado, aprofundar os estudos buscando compreender a variedade de recursos vegetais consumidos pela população sambaquiana do sítio Jabuticabeira II, localizado na Lagoa do Camacho, em Jaguaruna/SC, utilizando microvestígios vegetais presentes em cálculos dentários. Para esse trabalho foram utilizados cálculos dentários de 19 indivíduos adultos e os resultados mostraram a presença de grãos de amido (alta quantidade), fitólitos (baixa quantidade) e outros tipos de microrestos. Os resultados fitolíticos apontaram a presença de Poaceae e morfotipos relacionados ao gênero *Calathea* sp. da família Maranthaceae, assim como morfotipo sugestivo de plantas da família Laurácea. O resultado *multiproxy* desse estudo sugeriu uma dieta com grande variedade de vegetais ricos em amido, tais como aráceas, *Dioscorea* sp., *Calathea* sp., *Ipomoea batatas*, *Zea mays* e frutos da família Myrtaceae.

Ainda em 2012, Corteletti, também apresentou os resultados de sua tese que buscava compreender o padrão de ocupação dos povos Jê Meridionais, tendo como área de estudo o Sítio Bonin, designado pela tipologia de Casa Subterrânea, localizado no Alto do Rio Canoas, região de Urubici em Santa Catarina. Nesse estudo foi utilizado como *proxy* as análises de fitólitos e amido provenientes de restos de alimentos carbonizados e recuperados em 14 artefatos cerâmicos escavadas nesse sítio. Os resultados dessas análises evidenciaram a preparação de alimentos como *Zea mays*, *Cucurbita* sp., *Manihot* sp. e o consumo de *Phaseolus* sp. e *Dioscorea* sp. Além da reconstrução da dieta, a análise de fitólitos também permitiu a inferência do possível paleoambiente no Sítio Bonin durante o período de ocupação dos povos indígenas Jê, uma vez que

foram identificados morfotipos relacionados a *Scirpus* sp., tipo de vegetação pertence à família Cyperaceae e indicador de áreas alagadiças.

Pereira (2013), pesquisando, em seu mestrado, a composição dos paleossolos de dois sambaquis situados na lagoa de Itapeva, no litoral norte do Rio Grande do Sul, o Marambaia I e Figueira II, buscou compreender a relação deste com a formação e a ocupação desses sítios por grupos pescadores coletores. Para esse estudo, o autor utilizou amostras de sedimentos dos paleossolos coletados nesses sítios, além de amostras vegetais modernas para fins de comparações. Os resultados apontaram fitólitos de gramíneas, ciperáceas, grãos de pólen, além de partículas carbonizadas. No Sítio Figueira também foi observada a presença de esporos de fungos. A pesquisa sugere, a partir dos resultados obtidos, uma estabilidade do ambiente “onde a Restinga começa a se expandir por sobre os cordões holocênicos”.

Em 2016, foram realizados diversos estudos arqueológicos utilizando os fitólitos como marcador de antigas atividades humanas. Na Região Sul, Corteletti e colaboradores, aprofundando os estudos sobre sítio arqueológico Bonin que consiste em uma aldeia de Casas Subterrâneas composta por 23 estruturas semi-subterrâneas, localizada na várzea do Rio Canoas, no município de Urubici, Santa Catarina, apresentaram um artigo sobre a dieta alimentar, a domesticação de culturas agrícolas e os padrões de assentamentos dos povos indígenas Proto-Jê pré-coloniais nas terras altas do sul do Brasil, utilizando microvestígios de plantas (grãos de amido e fitólitos) extraídos de fragmentos cerâmicos em contextos de estruturas de combustão (fogões). As análises fitolíticas e de amido demonstraram a presença de morfotipos associados a espécies de plantas domesticadas para consumo (milho, feijão, abóbora e mandioca), assim como a presença de fitólitos de gramíneas e ciperáceas em maior quantidade e de fitólitos de árvores, incluindo palmeiras (Arecaceae), em menor quantidade.

Já Boyadjian *et al*. (2016) seguiram a mesma vertente de Wesolowski *et al.* (2007), utilizando amostras de cálculo dentário para recuperação de microvestígios do consumo de plantas, entre eles os fitólitos, no Sambaqui Jabuticabeira II, localizado no município de Jaguaruna, no sul de Santa Catarina, com a finalidade de reconstrução dos hábitos alimentares e meios

de subsistência dos povos ali viventes há cerca de 2000 a 800 anos cal AP Conforme essa pesquisa, foi possível recuperar fitólitos em 58% das amostras, com identificação dos morfotipos compatíveis com Arecaceae, Myrtaceae e Poaceae que, associados a outros proxies (análise multiproxies), sugerem o consumo de vegetais amiláceos pertencentes as famílias Araceae (família do inhame), Arecaceae (palmeiras), Convolvulaceae (batata-doce), Dioscoreaceae (carás), Maranthaceae (ariá), Myrtaceae (possivelmente pitanga) e Poaceae (incluindo milho).

Em 2018, Villwock apresentou, em sua dissertação de mestrado, um estudo acerca da paleovegetação em áreas de cerrado no município de Jaguariaíva, na mesorregião centro oriental paranaense, incluindo o Sítio Arqueológico Abrigo Jaguariaíva 1, utilizando amostras de solos. De modo geral, os resultados fitolíticos indicaram uma alta presença do morfotipos de Poaceae. Já no sítio arqueológico, também foram encontrados morfotipos associados à família Cucurbitaceae, sugerindo o uso de espécimes dessa família na dieta indígena. A partir dos resultados obtidos, o paleoambiente da região pode ser descrito como uma vegetação campestre sujeita a forte estresse hídrico.

Estudando o Sambaqui Casa de Pedra (São Francisco do Sul), em Santa Catarina, em 2020, Coe *et al.* encontraram características únicas por se tratar de um abrigo natural de rochas (gnaisse), formado a partir da acomodação natural de blocos. O estudo foi realizado através da composição fitolítica com finalidade paleoambiental. Os resultados fitolíticos (Machado *et al*., 2022) indicaram predominância de gramíneas com presença de algumas árvores e palmeiras, sem variação no tipo de vegetação ao longo do período de ocupação do Sítio, datado entre 5470 e 4460 anos AP Embora, os resultados apontem uma estabilidade da vegetação durante esse período, foi possível identificar um pequeno adensamento da cobertura arbórea da base para o topo, que pode estar ligado a um aumento na umidade, corroborando outros estudos paleoambientais realizados na Região Sul do Brasil.

Em um estudo recente (2023), Villwock e colaboradores apresentaram uma pesquisa a partir de sedimentos escavados em um perfil no sambaqui da Foz do Rio Poruquara, município de Guaraqueçaba no Paraná, com o

objetivo de compreender as condições paleoambientais dessa região ao longo do tempo. Através de um estudo *multiproxies*, onde a análise fitolítica foi a principal ferramenta utilizada, os resultados obtidos permitiram inferir uma paleovegetação caracterizada por três fases distintas em um intervalo de tempo entre 4000 anos AP até o presente. A primeira fase (base do perfil) dominada por gramíneas, a segunda (nível intermediário do perfil) dominada por gramíneas-arbustivo, e a terceira (topo do perfil) dominada por arbóreo-gramíneas.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização

O Sítio arqueológico Lagoa Grande das Queimadas localiza-se no município de Várzea Branca (Figura 11), no Sudeste Piauiense e faz parte da microrregião de São Raimundo Nonato, compreendendo uma área de 425,49 km², tendo como limite os municípios de São Braz do Piauí e Bonfim do Piauí ao norte, Fartura do Piauí e o Estado da Bahia ao sul, Bonfim do Piauí a leste e Anísio de Abreu e São Brás do Piauí a oeste (Aguiar e Gomes, 2004).

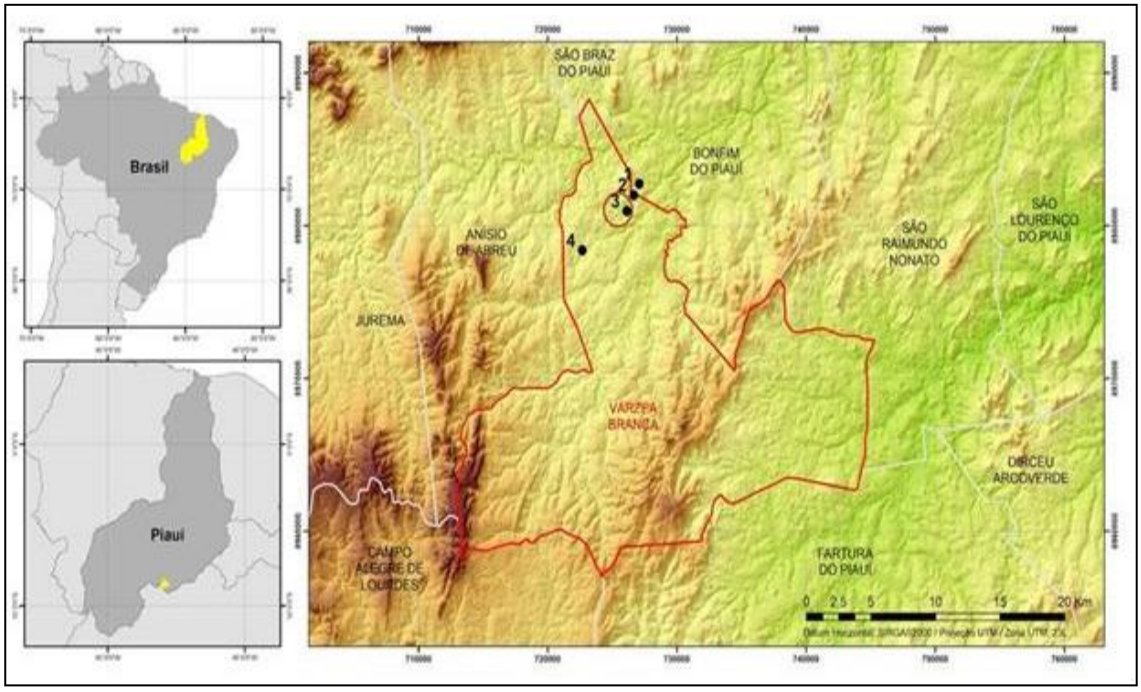

Figura 11: Mapa de localização da Lagoa das Queimadas. Elaborado por Mützenberg (2021).

3.2 Clima

O clima regional apresenta-se semiárido tropical (Figura 12), com expectativa de umidade subúmida seca. A precipitação pluviométrica média anual (Figura 13) é definida no Regime Equatorial Continental e situa-se em torno dos 800 mm entre dezembro e março. As temperaturas médias oscilam entre 34º e 20º C (http://varzeabranca.pi.gov.br/).

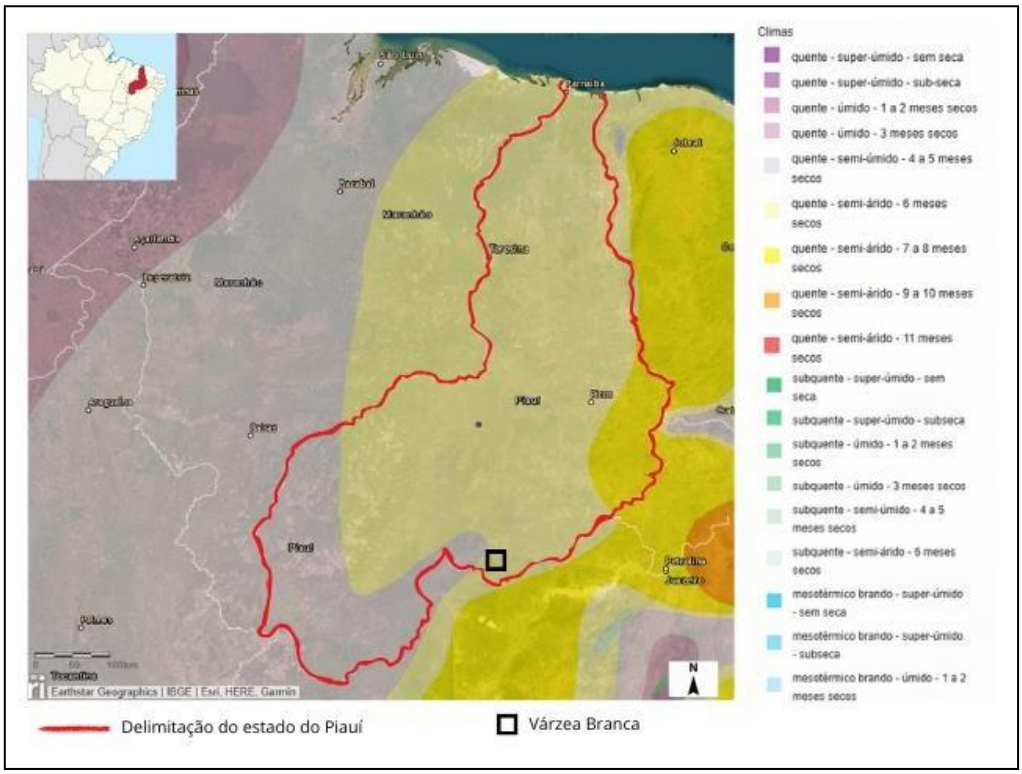

Figura 12: Dados climáticos do Piauí, com destaque para a área de estudo. Fonte: Autora, adaptado do Mapa interativo de Climas do Brasil, IBGE.

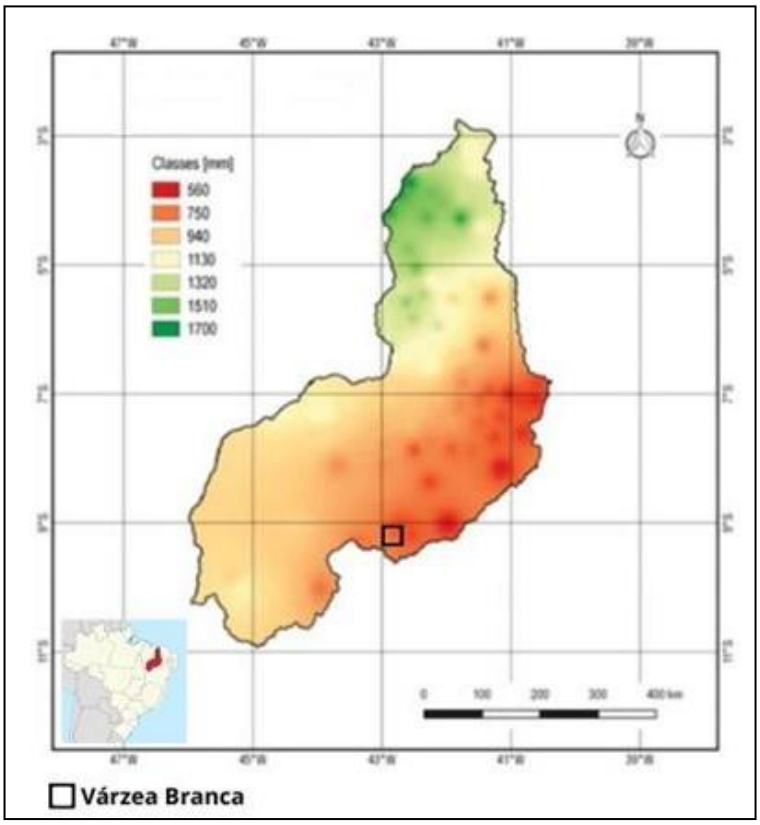

Figura 13: Dados de precipitação anual do estado do Piauí. Fonte: Autora, adaptado de SEMAR-PI, 2019.

3.3 Geologia e solos regionais

A geologia regional é formada por dois domínios distintos: as rochas cristalinas do embasamento pré-cambriano e as coberturas detríticas tércio-quaternárias. As rochas do embasamento estão representadas por gnaisses do Complexo Sobradinho-Remanso, xistos e granitos diversos. As coberturas correspondem a sedimentos inconsolidados de constituição arenoargilosa e concreções lateríticas pertencentes aos Depósitos Detrito–Lateríticos (Aguiar e Gomes, 2004) (Figura 14).

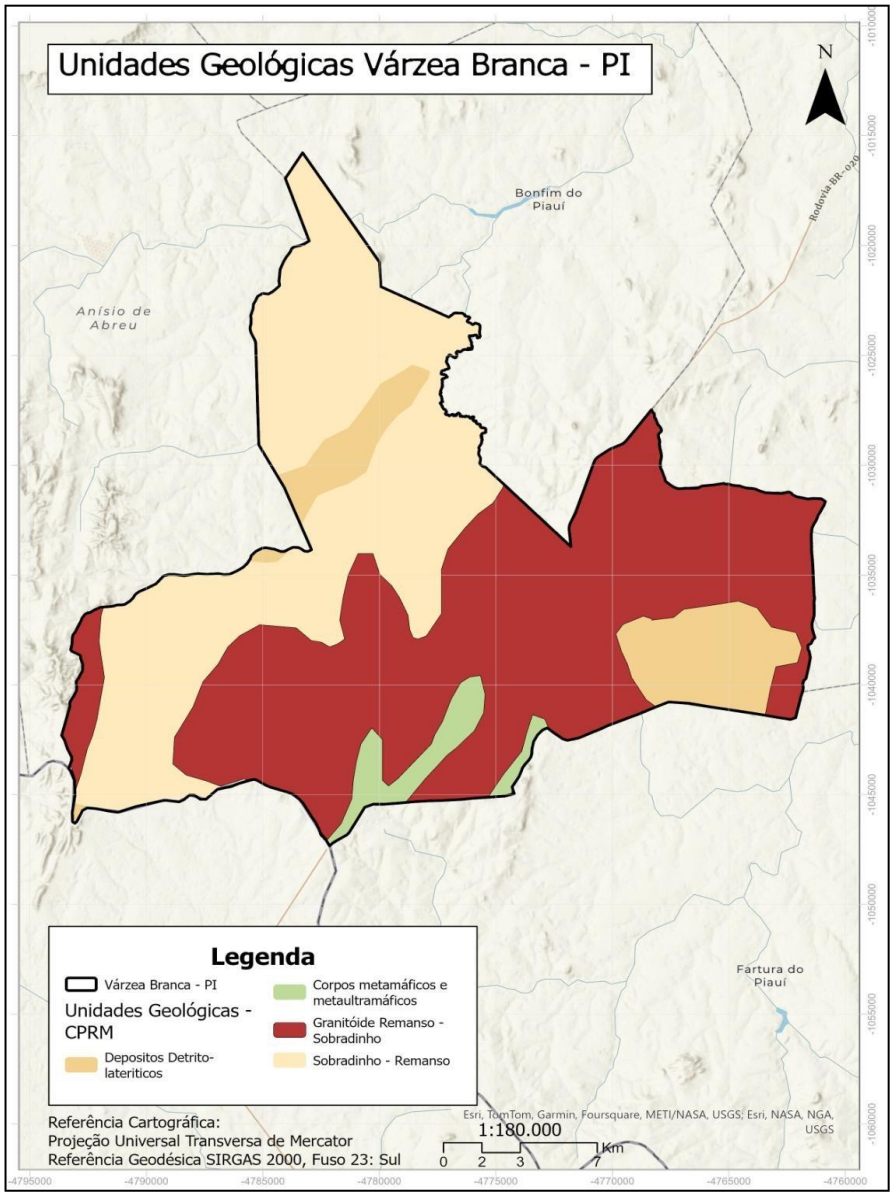

Figura 14: Geologia regional de Várzea Branca-PI. Elaborado por Teixeira, 2024.

Já os solos, em grande parte, são provenientes da alteração de gnaisses, xisto e granito, sendo rasos ou pouco espessos, jovens, às vezes pedregosos, ainda com influência do material subjacente. Dentre os solos regionais predominam latossolos álicos e distróficos de textura média a argilosa. Também estão presentes solos podzólicos vermelho-amarelos, de textura média a argilosa, fase pedregosa e não pedregosa, além de areias quartzosas, que compreendem solos arenosos essencialmente quartzosos, profundos, drenados, desprovidos de minerais primários, de baixa fertilidade (Aguiar e Gomes, 2004).

3.4 Vegetação

O Piauí possui uma diversidade de formações vegetais (Figura 15) influenciadas pelos domínios da Amazônia, do Planalto Central e do Nordeste. O atual Estado do Piauí compreende um ecótono entre três biomas: a Floresta Amazônica, o Cerrado e a Caatinga. Além disso, apresenta formações de floresta semidecídua, vegetação litorânea e áreas de transição entre cerrados e caatinga e entre floresta semidecídua e cerrado. Os cerrados predominam no sudoeste e extremo sul, estendendo-se em manchas pela região centro-leste e norte. A caatinga ocorre no leste, centro-norte e sudeste do estado, apresentando variações arbóreas e arbustivas. Nas áreas de transição entre os cerrados e a caatinga, há uma variedade de vegetações, como mata seca decídua, mata estacional semidecídua, mata de babaçu, carnaúba, mata ripícola e o complexo vegetacional Campo Maior, formado por um mosaico de vegetações (Pimentel *et. al*., 2015).

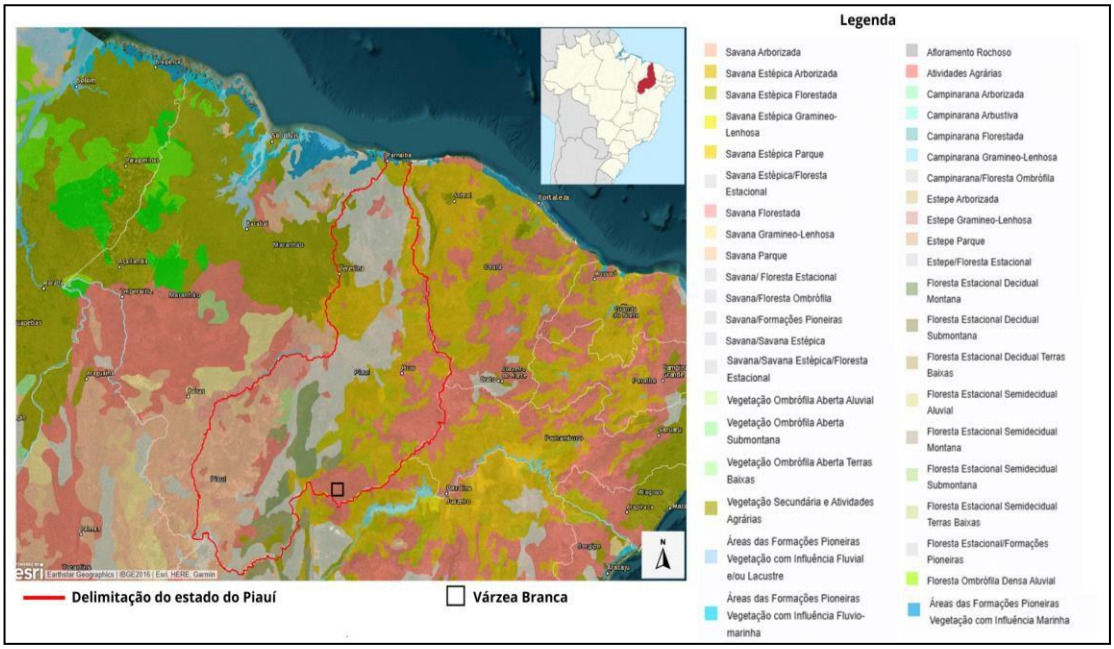

Figura 15: Formações vegetacionais do estado do Piauí. Fonte: Autora, adaptado do Mapa interativo de Vegetação do Brasil, IBGE, 2004 (Escala 1:5.000.000).

A área de estudo, caracterizada pelo clima semiárido, está situada entre duas importantes áreas de conservação da biodiversidade: os Parques Nacionais da Serra da Capivara e da Serra das Confusões e faz parte do bioma Caatinga. Como resultado, prevalecem características da caatinga hipoxerófila, que consiste em vegetação de pequeno e médio porte, adaptada a solos pouco profundos (Figura 16). Entre as espécies que compõem essa vegetação estão o angico (*Anadenanthera*), o umbuzeiro (*Spondias*), a favela (*Cnidoscolus quercifolius*) e outras plantas que suportam longos períodos de seca (Lemos & Rodal, 2002).

A região também apresenta períodos de transição para a caatinga/cerrado caducifólio (Aguiar e Gomes, 2004), como exemplificado pela *Bauhinia cheilantha*, uma vegetação característica do semiárido do Piauí (Ferraz *et al*., 1998).

Figura 16: Vegetação no entorno da Lagoa Grande das Queimadas (LGQ) no período de estiagem – Fotos: Freitas, 2023.

3.5 Hidrologia

Os recursos hídricos do Piauí são dominados pela bacia do rio Parnaíba, a maior entre as 25 da região, englobando parte do Maranhão, Ceará e Piauí. O rio Parnaíba, com 1.400 km de extensão, é vital para a região, sendo o segundo mais importante do Nordeste após o São Francisco. Destacam-se sub-bacias como Balsas (Maranhão), Potí, Portinho (Ceará) e Canindé, Uruçuí-Preto, Gurguéia e Longá (Piauí). Apesar de estar no "Polígono das Secas", o Piauí possui poucos açudes, sendo os principais: Boa Esperança (Guadalupe), Caldeirão (Piripiri), Cajazeiras (Pio IX), Ingazeira (Paulistana) e Barreira (Fronteiras). No município de Várzea Branca, há dois domínios hidrogeológicos: rochas cristalinas e coberturas detrito-lateríticas. As rochas cristalinas, cobrindo 90% da área, têm reservatórios dispersos devido à falta de porosidade primária, com água geralmente salinizada, devido à falta de circulação e ao clima semiárido. Os depósitos detrito-lateríticos têm pouca expressão como fonte de água subterrânea devido à espessura limitada e constituintes pouco favoráveis ao armazenamento de água (Aguiar e Gomes, 2004).

3.6 O Sítio Arqueológico Lagoa Grande das Queimadas

O Estado do Piauí possui reconhecimento mundial por seu legado arqueológico e paleontológico no tocante à história pré-colonial brasileira do Nordeste do Brasil. Entretanto, seu patrimônio arqueológico e paleontológico encontra-se em iminente risco de destruição parcial ou total, estimulada pela ausência de políticas preventivas e falta de reconhecimento do valor destes bens culturais (Freitas, 2020).

O Sítio arqueológico Lagoa Grande das Queimadas (LGQ), localizado a sudeste do referido estado, abriga um contexto arqueológico regional de indústrias líticas (Figura 17), atestando antigas ocupações humanas. A região é reduto de vários sítios arqueológicos e paleontológicos e, devido às características apresentadas no tocante à preservação de registros, tais como: a granulometria da matriz sedimentar e a pouca quantidade de oxigênio, foi selecionado como potencial inicial para as pesquisas arqueológicas, paleoclimáticas e paleoambientais (Freitas, 2022).

Figura 17: Artefatos líticos lascados recuperados na Lagoa Grande das Queimadas: A) ponta de projetil confeccionada em quartzo hialino recuperado em superfície, a 100 m a oeste do Ponto 01 (LGQ-PT01); B) raspador confeccionado em quartzito com indicação de pontos de percussão, recuperado a 82 cm de profundidade no Ponto 01 (LGQ-PT01). Fonte: Freitas, 2018

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Materiais

Foram analisadas 42 amostras de sedimentos orgânicos (04 em superfície e 38 em subsuperfície) do Ponto 01 (LGQ-PT01) do corpo hídrico efêmero denominado Lagoa Grande das Queimadas (23 L 0726128 8980968), na base de um afloramento de granito-gnaisse (Figura 18), no município de Várzea Branca do Piauí, a sudeste do referido estado.

Figura 18: Mapa de localização da coleta das amostras sedimentares em superfície e subsuperfície da LGQ-PT01. Elaborado por Marques, 2020.

Inicialmente foi realizada a abertura de uma sondagem de subsuperfície no Ponto 01, com dimensões de 2 x 1 x 2 metros (Figura 19), denominada LGQ - P01 (23 L) 726128 8980968). Em seguida, foi aberto o perfil sedimentar desta sondagem (Figura 20) onde foi realizada a coleta de 38 amostras de sedimentos lacustres, através de uma escavação controlada em níveis artificiais adensados de 5-5 cm entre 205 (base do perfil sedimentar) e 30 cm e de 10-10 cm, entre os níveis 30 e 0 cm (topo do perfil sedimentar ou nível de solo atual) (Freitas, 2020).

Em um segundo momento, foram coletadas 4 amostras de sedimentos superficiais no entorno da Lagoa (100 m ao norte; 400 m ao sul; 368 m a

leste; 30 m a oeste), conforme destacado na Figura 18, para determinação de assembleias fitolíticas modernas (coleção de referência), para fins comparativos com os resultados das amostras coletadas no perfil sedimentar (assembleias fitolíticas fósseis).

Figura 19: Vista do Ponto 01 da Lagoa das Queimadas (LGQ-PT01), Várzea Branca-PI. Foto: Freitas, 2008.

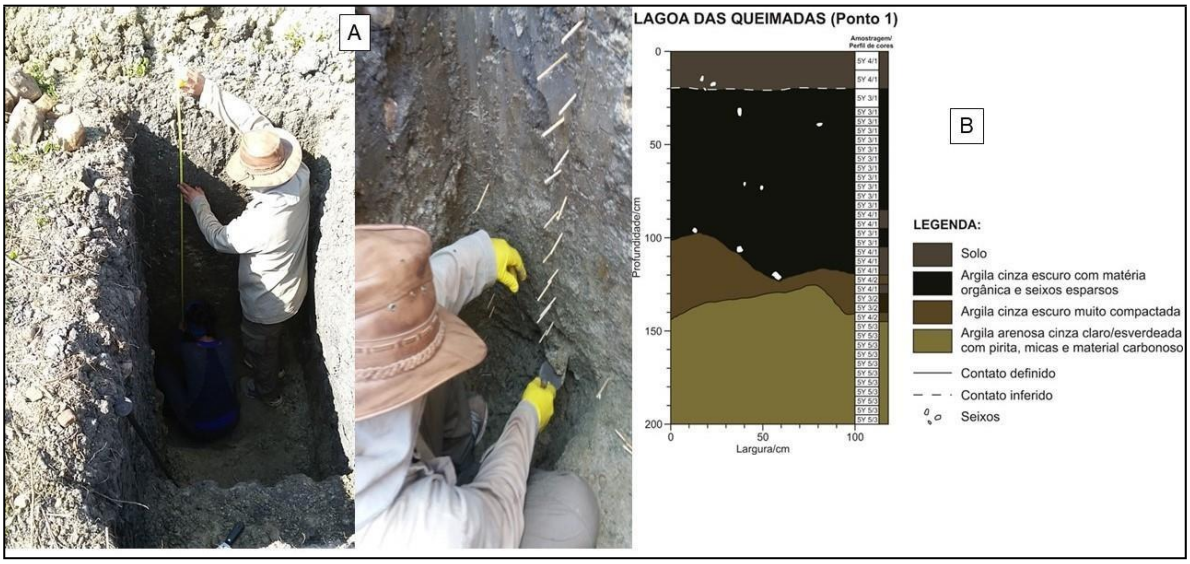

Figura 20: A) Coleta de sedimentos quaternários da LGQ-PT01, Várzea Branca-PI. Foto: Cisneros, 2008; B) Perfil sedimentar do LGQ-PT01.

Além das análises fitolíticas e datação por ^{14}C-AMS, previstas neste projeto, o POLARQ (Grupo de Pesquisa Palinologia Arqueológica, Paleoambiente e Paleoetnobotânica) possui análises quantitativas esporo-

polínicas em andamento, que poderão fornecer mais elementos para a interpretação das comunidades vegetais em resposta às mudanças ambientais climáticas e antropogênicas (Holloway e Bryant, 1986).

4.2. Metodologia

4.2.1 Procedimentos laboratoriais para extração de fitólitos

Para a extração e determinação de biomineralizações silícicas dos sedimentos está sendo seguido o protocolo de Coe *et al.* (2020), que consiste em nove etapas:

Etapa 1: Preparação inicial

Iniciamos essa etapa com secagem das amostras em estufa a 100º C, pois ainda estavam úmidas. Com o material completamente seco, as amostras foram destorroadas e peneiradas em malha de 02 mm, selecionando as frações granulométricas. Separamos, então, 10 gramas de cada amostra (pesagem em balança de precisão), que foram armazenadas em tubos *falcons* de 50 ml devidamente identificados para a realização das demais etapas.

Nesse momento, observamos algumas características dos sedimentos, visando a escolha da melhor técnica de extração, tais como: presença de material orgânico a partir da coloração; tipo de solo e/ou presença de restos vegetais; fração granulométrica predominantemente; presença ou ausência de carbonatos a partir da litologia ou de fragmentos de conchas; e presença ou ausência de ferro por meio da cor e/ou tipo de solo.

Etapa 2: Remoção dos carbonatos

A remoção dos carbonatos se deu com o acréscimo de 30 ml de solução de Ácido Clorídrico (HCl a 10%) nas amostras, seguindo-se pela mistura manual no tubo *falcon* (agitação). Após misturado, vedamos completamente o tubo e o mesmo permaneceu no agitador mecânico orbital por 1 hora em velocidade média a alta (50% a 100%). Concluído o tempo, foi necessário verificar se houve volatização (liberação de gases), identificada pelo som e presença de bolhas ao abrir o tubo. Em algumas amostras houve

volatização, então repetimos o processo que cessasse completamente a reação. Após, as amostras foram lavadas com água destilada (rinsagem) na centrífuga em pelo menos 3000 rpm, até atingirem um pH entre 5 e 7, transvasando apenas o sobrenadante.

Após findar essa etapa, o material retornou para secar na estufa a 80ºC.

Etapa 3: Oxidação da matéria orgânica

O processo de oxidação de matéria orgânica (MO) consistiu na eliminação do material orgânico das amostras por meio da queima ácida. Nessa etapa, as amostras foram transferidas, individualmente, para tubos de ensaio, que foram colocados em *beckers* identificados para que não haja mistura/contaminação de uma amostra para outra.

Como as amostras desse estudo continham pouca MO, realizamos um ataque ácido simplificado, que consiste na adição de Ácido Nítrico (HNO_3) nas amostras, com o auxílio de uma pipeta. Após o ácido ser acrescido, os tubos de ensaio foram aquecidos em lamparinas até a MO ser completamente eliminada. Tal procedimento é constatado através de dois indícios: a cor da fumaça liberada torna-se branca e/ou a cor da amostra no tubo de ensaio torna-se mais clara.

Concluída a queima, aguardamos o resfriamento das amostras e, aos poucos, acrescentamos cerca de 3 ml de Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) a 30%. Após o término dessa reação, aguardamos o resfriamento da amostra para transferi-la, novamente, para o tubo *falcon* de 50 ml. A etapa foi finalizada com a rinsagem das amostras na centrífuga, em pelo menos 3000 rpm e com o pH entre 5 e 7, transvasando apenas o sobrenadante.

Etapa 4: Branqueamento

Após a oxidação da matéria orgânica, as amostras foram transferidas para *beckers* de 600 ml e adicionamos Hipoclorito de Sódio (NaClO) em quantidade suficiente para cobrir as amostras. O objetivo dessa etapa foi clarear as amostras, o máximo possível, para facilitar a identificação dos morfotipos de fitólitos e/ou outras biomineralizações de sílica presentes nas mesmas.

Cada amostra permaneceu nesse processo por 72 horas (tempo máximo para o processo). Após esse tempo, as amostras foram rinsadas no próprio *becker* com água destilada em ponto de ebulição, respeitando um intervalo de 2 horas entre elas (tempo de decantação). As rinsagens foram repetidas até a remoção completa do reagente, verificada a partir da ausência do odor característico do Hipoclorito de Sódio.

Etapa 5: Remoção da fração argila

Findada a etapa do branqueamento e, ainda no *becker,* são adicionados 10 gramas de Hexametafosfato de Sódio ($Na_6[(PO_3)_6]$) e, em seguida, é adicionada água destilada quente até completar o volume do *becker.* Utilizando um bastão de vidro, misturamos todo o conteúdo, para que o reagente fosse totalmente dissolvido. Essa fase é finalizada após realização das rinsagens com água destilada quente a cada 2 horas, até que a água fique transparente ou levemente turva.

Após concluir essa primeira fase, adicionamos 10 gramas de Ácido Etilenodiamino Tetra-acético (EDTA) e completamos o volume do *becker* com água destilada quente, misturando também com um bastão de vidro até a completa dissolução do reagente. Como na fase anterior, foi realizada a rinsagem das amostras no próprio *becker*, utilizando água destilada quente, a cada 2 horas, até que a água ficou transparente ou levemente turva. Finalizamos essa etapa, transferindo as amostras novamente para os tubos *falcons* de 50 ml.

Como as amostras possuíam um alto teor argiloso, essa etapa foi primordial para remoção das partículas de argila, uma vez que essa fração pode formar agregados que dificultam a identificação e quantificação dos morfotipos de fitólitos e outras biomineralizações presentes na amostra.

Etapa 6: Oxidação do ferro

Essa etapa consistiu na solubilização do ferro contido nas amostras, já que os óxidos de ferro também podem criar agregados que aprisionam os fitólitos e as demais biomineralizações de sílica existentes, dificultando sua identificação e quantificação.

Como as amostras possuíam pouca quantidade de ferro, realizamos essa etapa acrescentando uma solução de 10 ml de água destilada com 10

ml da solução de Citrato de Sódio ($Na_3C_6H_5O_7$). Após, colocamos as amostras em banho-maria até atingir a temperatura de 80º C. Ao atingir essa temperatura, acrescentamos 0,5 g de Ditionito de Sódio ($Na_2S_2O_4$) e agitamos, manualmente, o tubo até que as amostras atingiram a cor cinza esverdeado (Fe^{2+} dissolvido).

A etapa se encerrou com a realização da rinsagem das amostras na centrífuga até atingir o pH entre 5 e 7.

Etapa 7: Remoção da fração areia

A etapa consistiu em remover as frações granulométricas superiores a 250 µm. Utilizando um *becker* de 500 ml, colocamos um funil de vidro e uma peneira de 250 µm e, em seguida, despejamos a amostra na peneira e, com o auxílio de um *pissete* com água destilada, a amostra é lavada, a fim de se recuperar todas as frações finas contidas na peneira.

Transferimos as frações mais finas para o tubo *falcon* de 50 ml e reservamos a fração mais grossa em outro tubo. Após, realizado esse processo, a amostra foi seca na estufa a 80º C.

Etapa 8: Separação densimétrica

Essa etapa consistiu em selecionar os materiais com densidade de 2,31 g/ml (densidade das biomineralizações de sílica) e remover os minerais que não possuem densidade equivalente, principalmente o quartzo.

Acrescentamos 15 ml da solução com politungstato de sódio (SPT) com densidade 2,31 nas amostras, que estavam secas e dentro dos tubos *falcons* de 50 ml.

Colocamos a mistura da amostra no agitador de tubos, tipo *vortex*, por 10 minutos e, em seguida, centrifugamos, também, por 10 minutos a 5000 rpm, recolhemos o material sobrenadante (que são as biomineralizações de sílica). O processo foi repetido por 3 vezes.

Ao concluirmos essa etapa, rinsamos as amostras na centrífuga a fim de remover toda a solução e, posteriormente, as amostras foram secas na estufa a 80ºC.

Etapa 9: Confecção de Lâminas e Armazenamento

Realizadas todas as etapas e com as amostras secas, adicionamos no *falcon,* cerca de 05 ml de álcool etílico 92,8% e tomamos uma alíquota

fixa (25 µl), para a confecção das lâminas para microscopia. A alíquota foi despejada sobre a lâmina e fixada com a resina *Entellan*® (lâminas permanentes) e lamínula.

As frações mais grosseiras, após secagem, foram guardadas em microtubos, tipo *Eppendorf,* de 1,5 ml, devidamente identificadas, para serem utilizadas, posteriormente, caso seja necessário ou para armazenamento definitivo do material.

Destacamos que, nem sempre foi possível a realização de duas ou mais etapas no mesmo dia, devido ao processo envolvido, porém ao término do dia, as amostras foram levadas para secagem na estufa, a 80º C (exceto no decorrer das etapas 4 e 5), até a continuação das etapas descritas na metodologia (Figura 21).

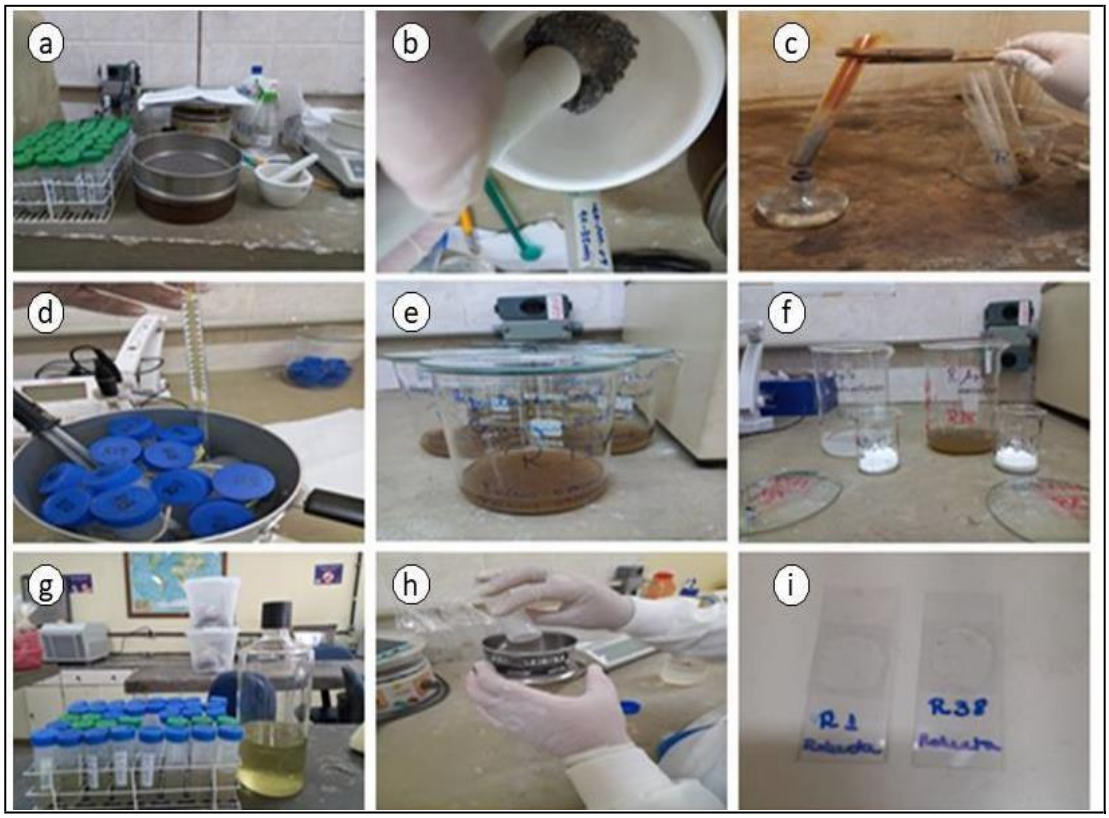

Figura 21: Etapas de extração dos fitólitos. a) Preparação Inicial e Pesagem b) Maceração; c) Eliminação de matéria orgânica; d) Eliminação de óxidos de ferro; e) Branqueamento; f) Remoção das argilas; g) Separação densimétrica; h) Peneiragem; i) Lâminas permanentes.
Fonte: Autora, 2023

4.2.2 Microscopia

As lâminas, após secas, foram analisadas no microscópio óptico polarizador Zeiss Axio Scope A1 (Figura 22) do Laboratório de Microscopia

Óptica e Morfoscopia (LAMOM) do Departamento de Geografia da Faculdade de Formação de Professores – UERJ com aumento de 400x a 600x, delimitando a análise em 3 linhas (transectos) em cada uma, para a determinação de seu conteúdo.

Foi realizada a contagem dos fitólitos com significação taxonômica (classificáveis) e dos fitólitos sem significação taxonômica (não classificáveis), ou seja, partículas, que apesar de serem fitólitos, perderam sua forma original. Também foi realizada a contagem de outros tipos de biomineralizações de sílica (espículas de esponja e frústulas de diatomácea) e microcarvão.

A quantidade e a descrição dos morfotipos de fitólitos encontrados, assim como o estado de alteração das partículas foram anotados para interpretação dos resultados obtidos e cálculo dos índices fitolíticos. Os fitólitos foram classificados seguindo a nomenclatura do ICPN 2.0 (Código Internacional de Nomenclatura de Fitólitos), de Neumann *et al*. (2019).

Figura 22: Microscópio óptico polarizador Zeiss Axio Scope A1. Fonte: Autora, 2023

4.2.3 Datação por ^{14}C – AMS

No total, foram enviadas três amostras sedimentares do ponto 01 da LGQ (85-80. 150-145 e 200-195 cm) para datação radiocarbônica (^{14}C). A primeira datação foi realizada pelo Instituto Federal de Tecnologia de Zurique (ETH), sob a responsabilidade da Dra. Irka Hajdas. A amostra

selecionada para datação do nível de 85-80 cm de profundidade coincidia com a ocorrência de um artefato lítico (raspador) Figura 17b.

Após a finalização da etapa de laboratório e aquisição dos resultados, selecionamos mais duas amostras sedimentares, uma no nível 195-200 cm (próximo à base) e outra no nível 150-145 cm (nível onde se inicia a presença de bioindicadores aquáticos). As datações dessas últimas amostras foram realizadas pelo Laboratório de Radiocarbono da Universidade Federal Fluminense (LAC-UFF), sob a responsabilidade da Dra. Kita Macário.

4.2.4 Teor de Carbono Orgânico Total (COT) e Granulometria

A quantificação do Carbono Orgânico Total (COT) e a análise granulométrica foram realizadas pela equipe do Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares, no Laboratório de solos e sedimentos da Universidade Federal do Piauí. A metodologia seguiu o Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa. A análise granulométrica foi realizada nas amostras do nível de 165 cm para o topo do perfil sedimentar.

5. RESULTADOS

5.1 Datação por ^{14}C-AMS

Os resultados das datações por Carbono-14 (^{14}C) apontaram as seguintes cronologias: 4419-4234 anos cal AP, para a amostra no nível 85-80 cm (Figura 23); 5307-4787 anos cal AP, para a amostra no nível 150-145 cm (Figura 24); e 10969-10529 anos cal AP, para a amostra no nível 200-195cm (Figura 25).

As datações foram calibradas utilizando a curva SHCal20 (Hogg *et al*., 2020), que é a mais empregada para os contextos arqueológicos do Hemisfério Sul, visando uma maior acurácia nos resultados.

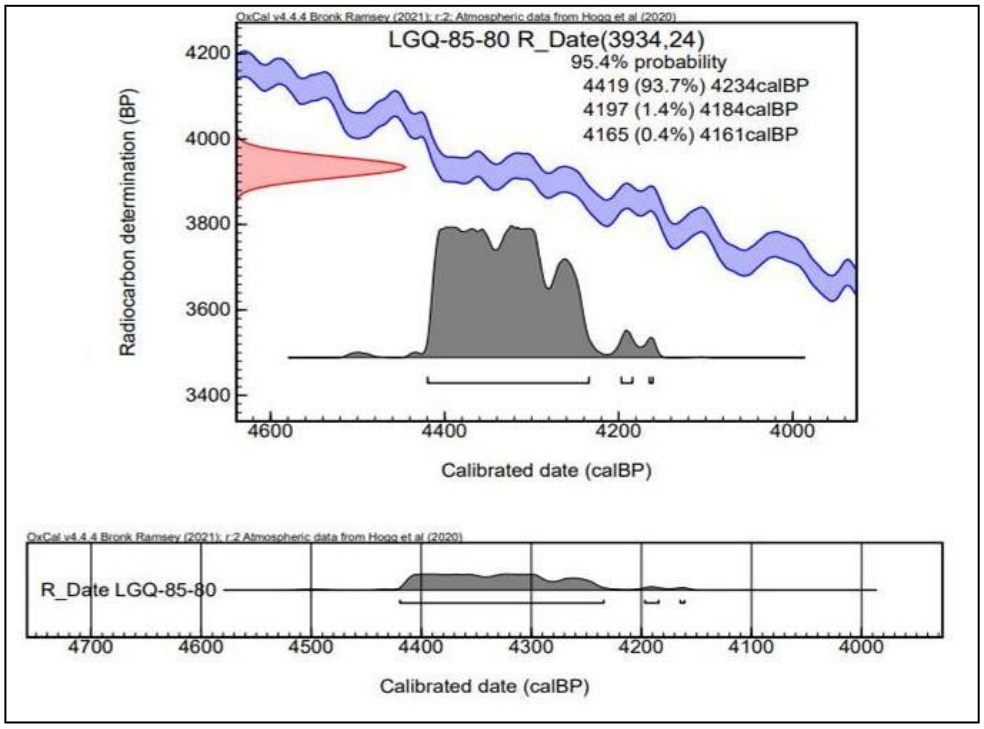

Figura 23: Datação da amostra 85-80cm. Elaborado por Freitas, 2023.

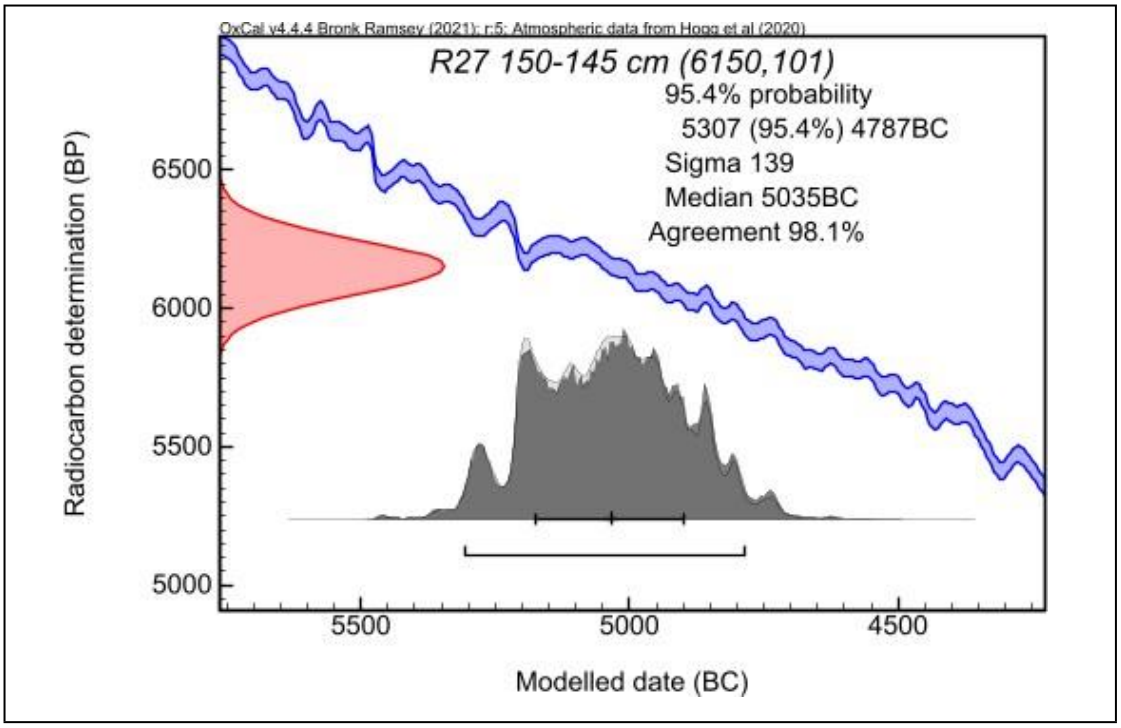

Figura 24: Datação da amostra 150-145 cm. Elaborado por Macário, 2024

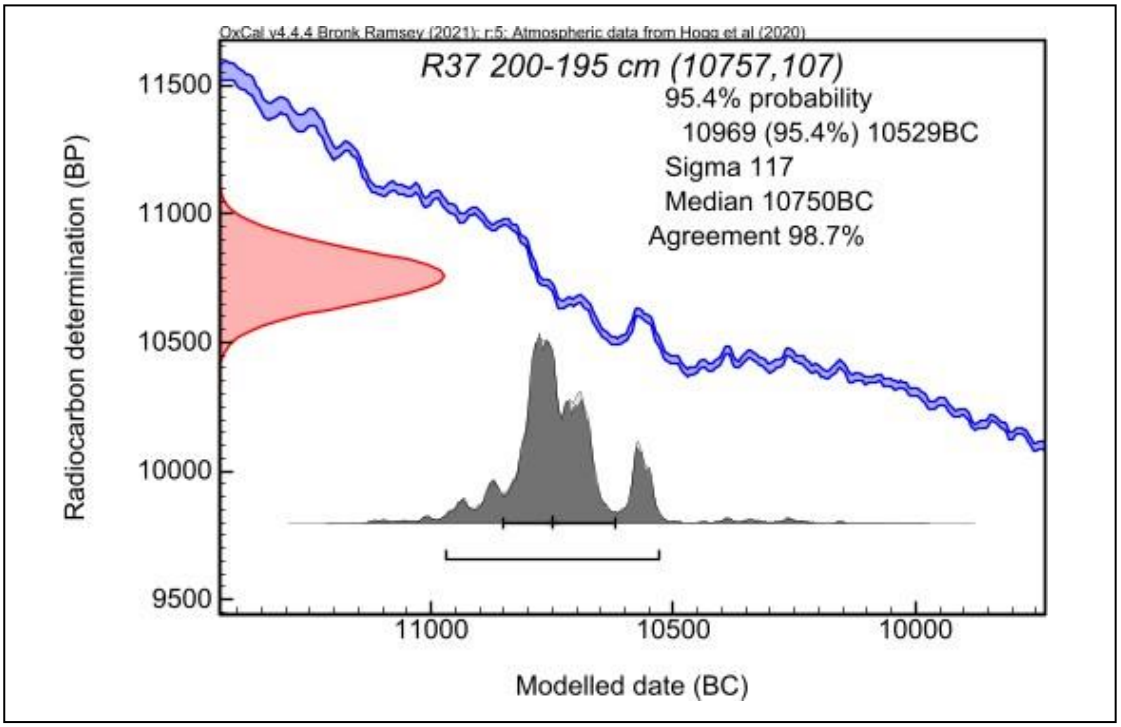

Figura 25: Datação da amostra 200-195 cm. Elaborado por Macário, 2024

5.2 Fitólitos

5.2.1. Análises Quantitativas dos Fitólitos

Foi observada uma grande quantidade de fitólitos ao longo de todo o perfil sedimentar (LGQ-PT01), apresentando uma relativa estabilidade no estoque (entre 260 e 204 fitólitos em 3 transectos) desde o topo até quase a base, contrariando o padrão normal de diminuição do estoque com o aumento da profundidade. Apesar de não variar muito ao longo do perfil, os maiores picos não foram registrados na superfície, mas sim a 172,5 cm de profundidade (260 fitólitos). Apenas a amostra mais profunda (205 cm) apresentou redução considerável no estoque de fitólitos (122), o que possivelmente é devido ao maior tempo de deposição e, consequentemente, desgaste dos mesmos (Figura 26).

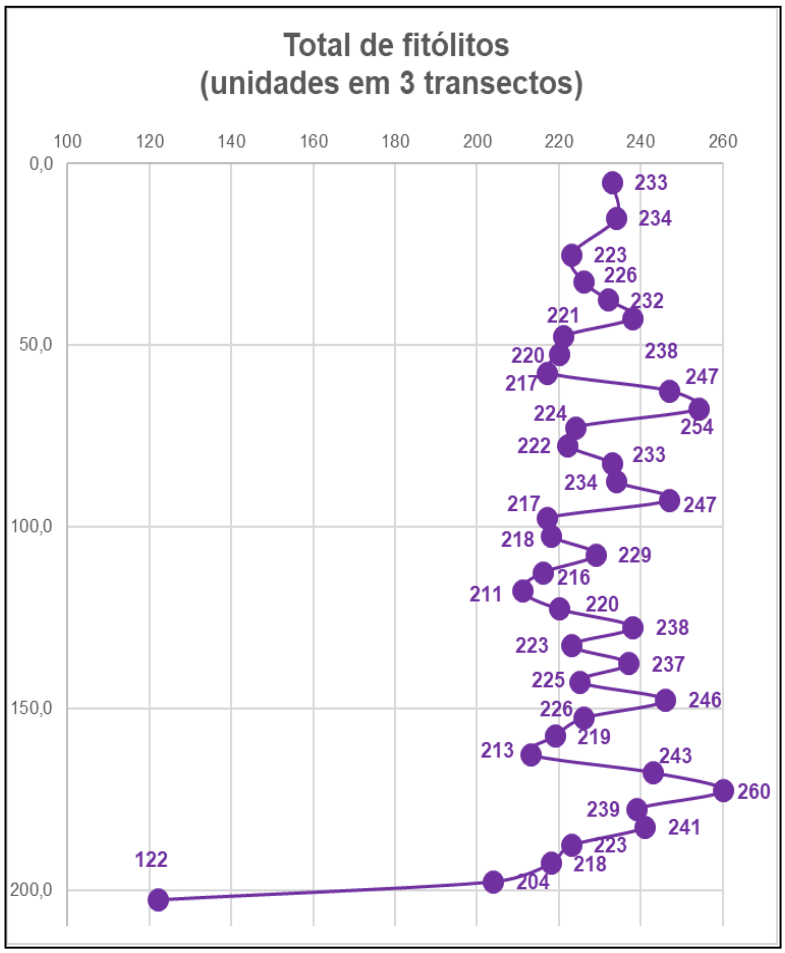

Figura 26: Estoque de fitólitos do Perfil Sedimentar LGQ-PT01

Nas quatro amostras superficiais do entorno do PS para determinação das assembleias modernas (AM), encontramos um estoque muito baixo de fitólitos, não atingindo a quantidade mínima de 200 fitólitos classificáveis (Figura 27), sugerindo intensos processos de erosão e escoamento superficial de sedimentos para outros pontos ou para o interior da Lagoa.

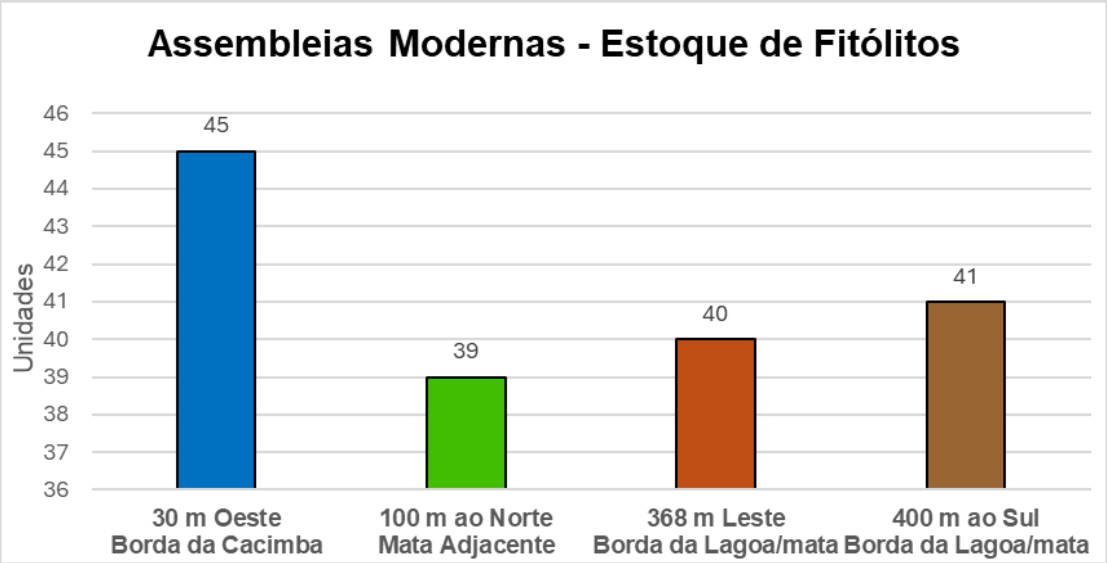

Figura 27: Estoque de fitólitos das Assembleias Modernas

5.2.2 Classificação dos fitólitos

No LGQ-PT01 os fitólitos apresentaram uma alta taxa de preservação, com porcentagens variando de 83 a 96% de fitólitos classificáveis e de 4 a 17% de fitólitos não classificáveis (Figura 28 e Tabela 2), quase não variando ao longo do perfil, indicando que ambientes de deposição lacustre, com baixa oxidação e poucos processos erosivos, são importantes repositórios de microfósseis.

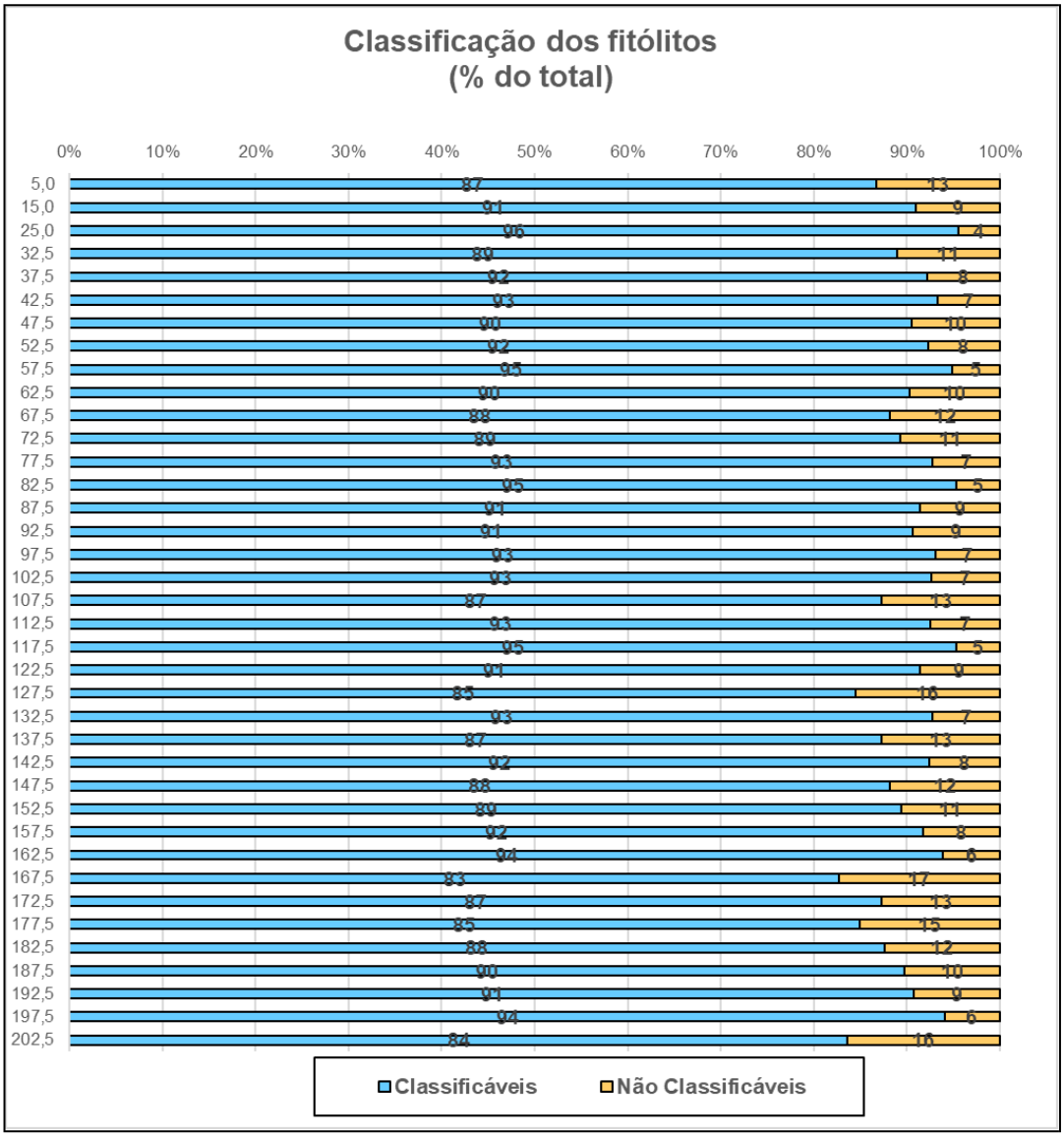

Figura 28: Classificação dos fitólitos do perfil sedimentar (LGQ-PT01)

De modo geral, os fitólitos das amostras modernas encontravam-se com boa taxa de preservação, com uma porcentagem variando de 64 a 74% de fitólitos classificáveis e de 26 a 36% de fitólitos não classificáveis (Figura 29). Os valores menores de preservação nessas amostras, em relação aos encontrados no LGQ-PT01, podem ser indicativos de processos erosivos mais intensos e constantes na atualidade.

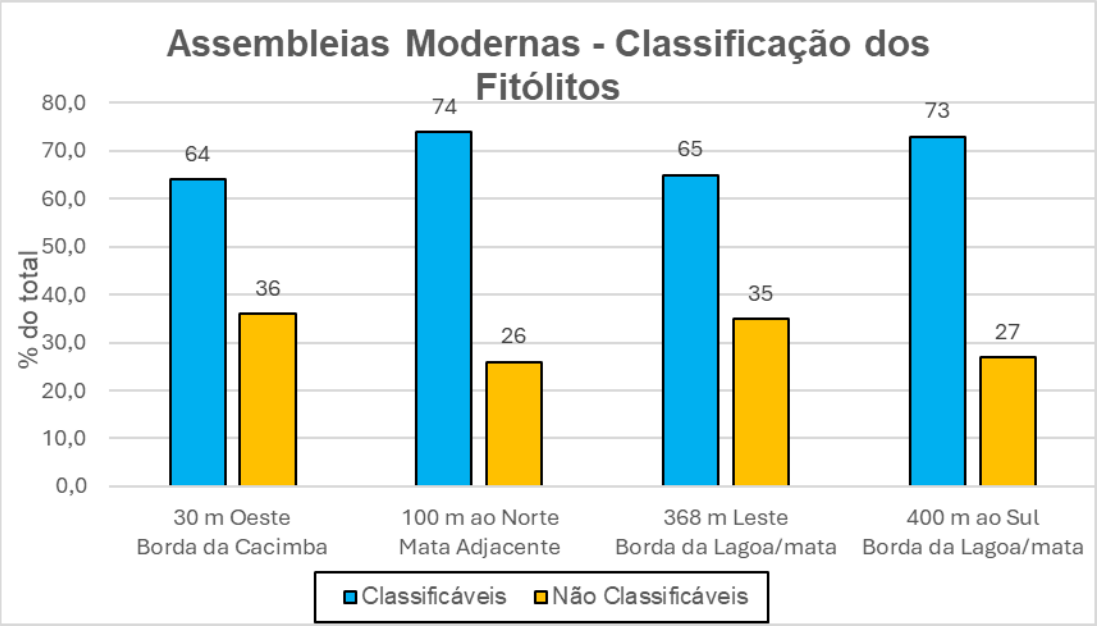

Figura 29: Classificação dos fitólitos das Assembleias Modernas.

5.2.3 Morfotipos de Fitólitos

Entre os fitólitos classificáveis predominam os tipos produzidos pelas gramíneas (Poaceae), principalmente BLOCKY, BULIFORM FLABELLATE, ACUTE BULBOSUS e ELONGATE, com presença reduzida de dicotiledôneas lenhosas (SPHEROID ORNATE). Fitólitos de Arecaceae (SPHEROID ECHINATE) também são observados em todo o perfil, aumentando da amostra mais antiga para a mais recente (Tabela 2 e Figura 30).

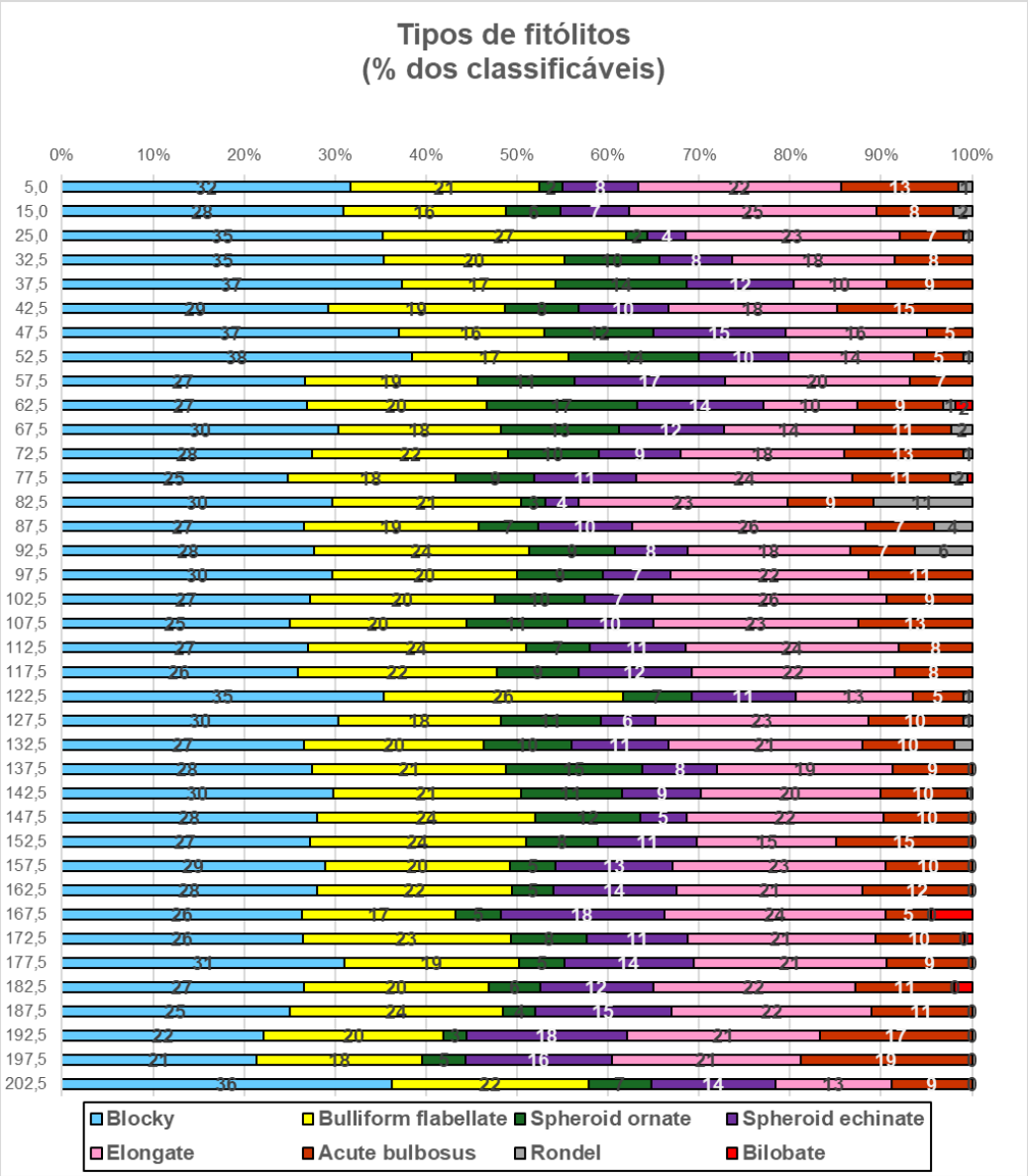

Figura 30: Tipos de fitólitos do Perfil Sedimentar (LGQ-PT01)

Assim como no LGQ-PT01, os morfotipos que predominam nas amostras de AM são os produzidos principalmente pelas gramíneas (BLOCKY, BULIFORM FLABELLATE e ELONGATE). Também foram observados, em quantidade reduzida, o morfotipo produzido por dicotiledôneas lenhosas (SPHEROID ORNATE) em três amostras modernas.

Entretanto, não foram observados fitólitos de palmeiras (SPHEROID ECHINATE) em nenhuma das AM (Figura 31). A presença deste morfotipo no LGQ-PT01 pode estar relacionada à influência de antigas ocupações humanas na região, que poderiam manejar essas plantas nas proximidades para diversos usos.

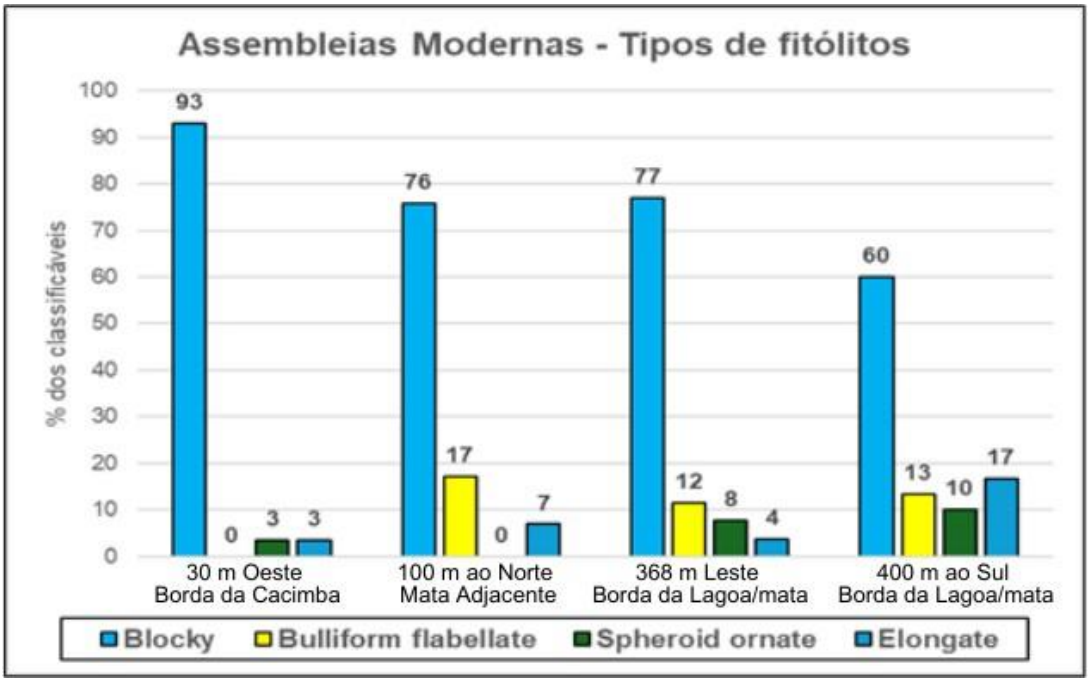

Figura 31: Tipos de fitólitos das Assembleias Modernas

Observamos a presença de fitólitos *brown* ao longo de todo o PS (Figura 32). Os fitólitos com essa característica podem indicar que passaram por processo de combustão, podendo ser um indicativo de paleoincêndios naturais e/ou influência antrópica.

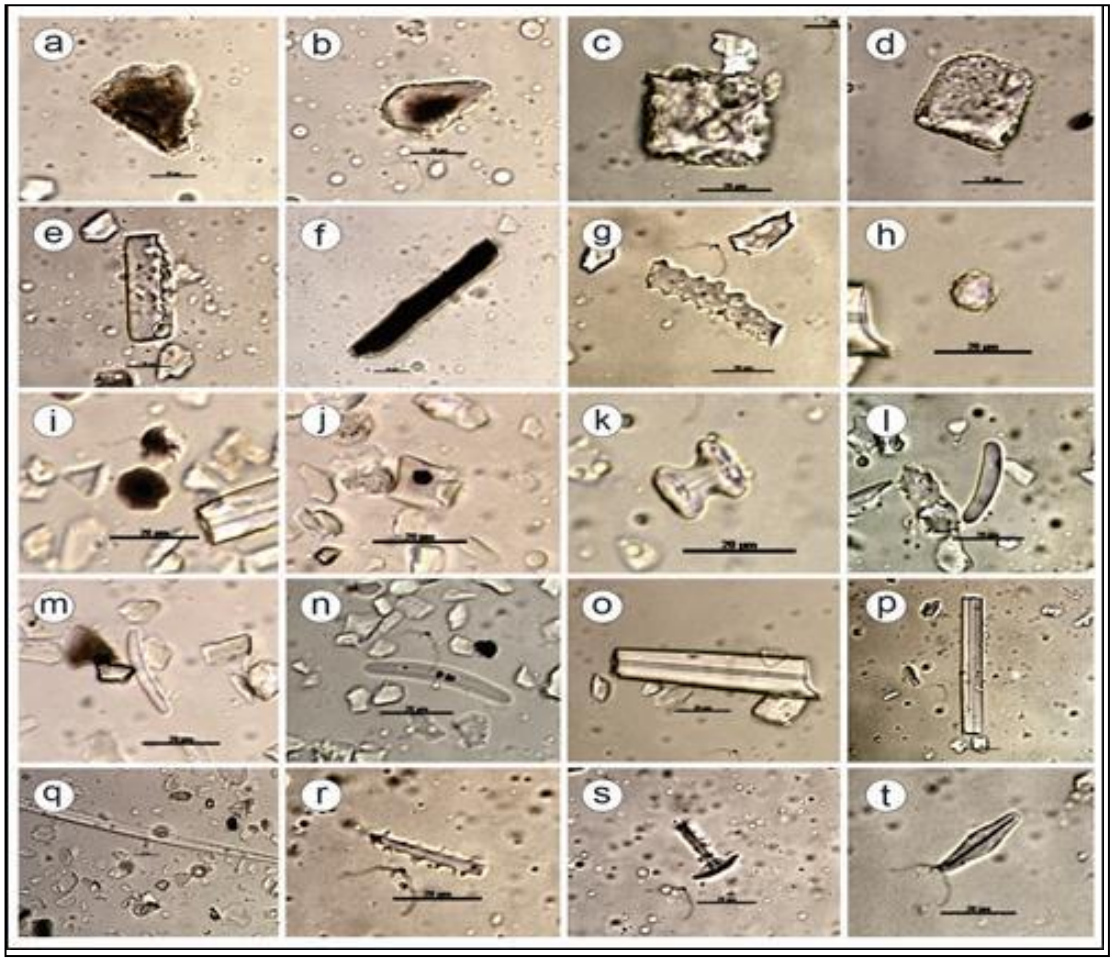

Figura 32: Fotografias dos principais morfotipos de f itólitos e outras biomineralizações: a, b) BULIFORM FLABELLATE; c, d) BLOCKY; e, g) ELONGATE; h) SPHEROID ECHINATE; i) SPHEROID ORNATE; j) RONDEL; k) BILOBATE; l , m, n, r) Espículas de esponja: o, p, q) Megasclera; s) Gemosclera; t) f rústula de diatomácea.

5.2.4 Índices fitolíticos

O **índice de densidade arbórea (D/P)** apresentou sempre valores muito baixos, entre 0,04 e 0,28 (Figura 33 e Tabela 2), indicando uma vegetação aberta e com predomínio de gramíneas, similar à atual, porém com oscilações na densidade da cobertura, que podem estar ligadas a períodos relativamente mais úmidos e/ou mais secos. Valores similares foram encontrados por Dias (2017), em perfis de solo no Rio Grande do Norte, Aguiar (2022), em perfis de solo nas vertentes seca e semiúmida na Serra de Uruburetama, Ceará, e por Ricardo (2016) em amostras superficiais de uma formação de caatinga, no Rio Grande do Norte.

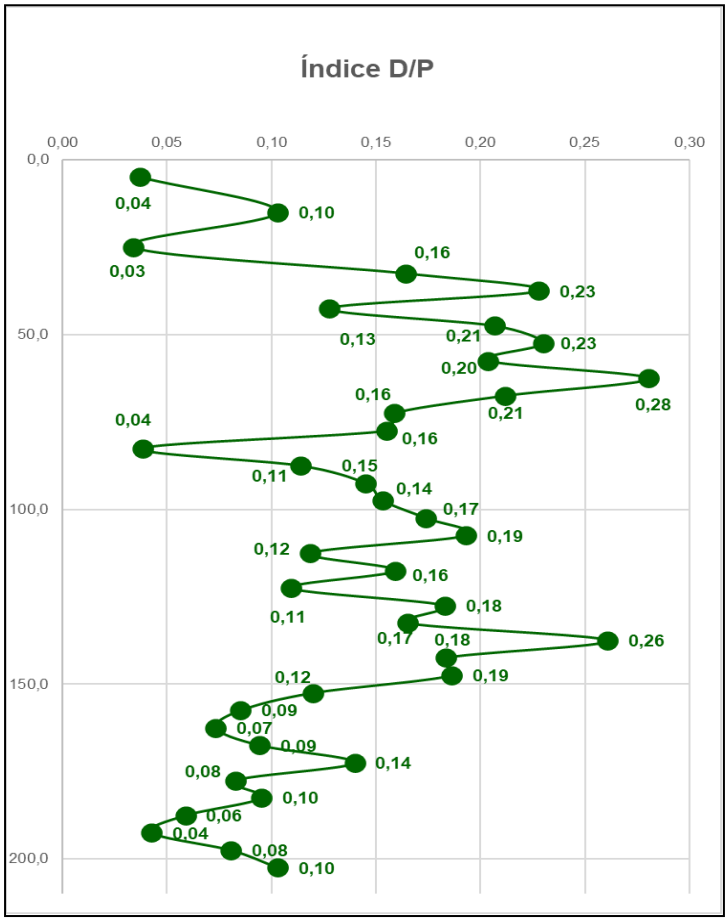

Figura 33: Índice D/P do Perfil Sedimentar (LGQ-PT01).

Foi possível calcular o índice D/P para as assembleias modernas do entorno da lagoa (Figura 34). Este índice variou de 0 (R40) a 0,14 (R42), similares aos encontrados no topo do PS.

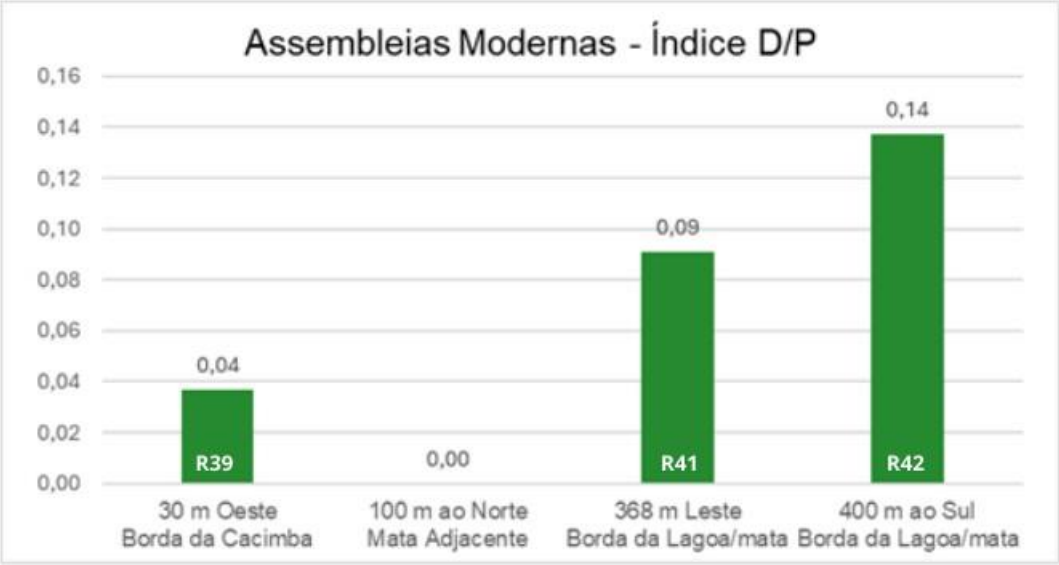

Figura 34: Índice D/P das Assembleias Modernas

De maneira geral, o **índice de densidade de cobertura de palmeiras** (Pa/P) foi baixo (Figura 35), variando entre 0,03 a 0,28, corroborando a hipótese de uma vegetação aberta, dominada por gramíneas e similar à atual, onde ocorrem elementos arbustivo-arbóreos (ou caatinga arbórea) como Euphorbiaceae-velame, Bignoniaceae-ipê, Fabaceae-umburana, Fabaceae-angico, dentre outras, com poucos elementos arbustivos-herbáceos (Bromeliaceae-croatá, Bromeliaceae-macambira, Cactaceae-mandacaru), dentre outras. Valores similares foram encontrados por Aguiar (2022), em perfis de solo nas vertentes seca e semiúmida na Serra de Uruburetama, Ceará.

Apesar de não apresentar variações expressivas ao longo do perfil, observamos uma tendência de aumento relativo do Pa/P da base para o topo, alternando períodos de redução e estabilidade na cobertura arbórea ao longo do tempo.

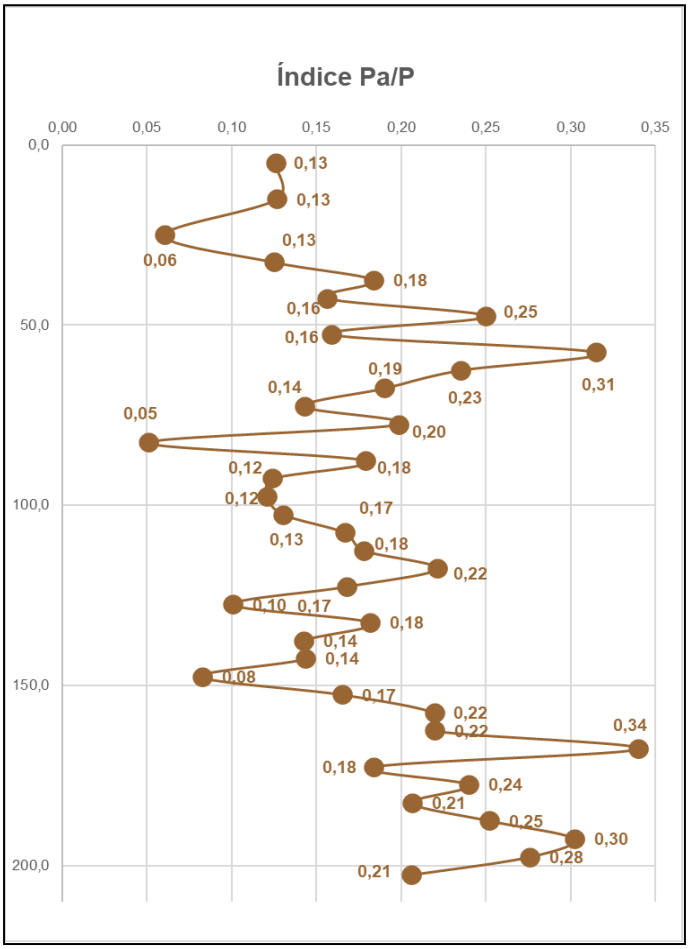

Figura 35: Índice Pa/P do Perfil Sedimentar (LGQ-PT01).

O **índice Bi%** (estresse hídrico) apresenta valores de moderado a alto (Figura 36 e Tabela 2), variando entre 68 e 91%, indicando um ambiente com estresse hídrico elevado, o que é compatível com a região semiárida e de bordas de laguna, muito afetada por variações do lençol freático. Valores similares foram encontrados por Aguiar (2022), em perfis de solo na vertente seca na Serra de Uruburetama, Ceará.

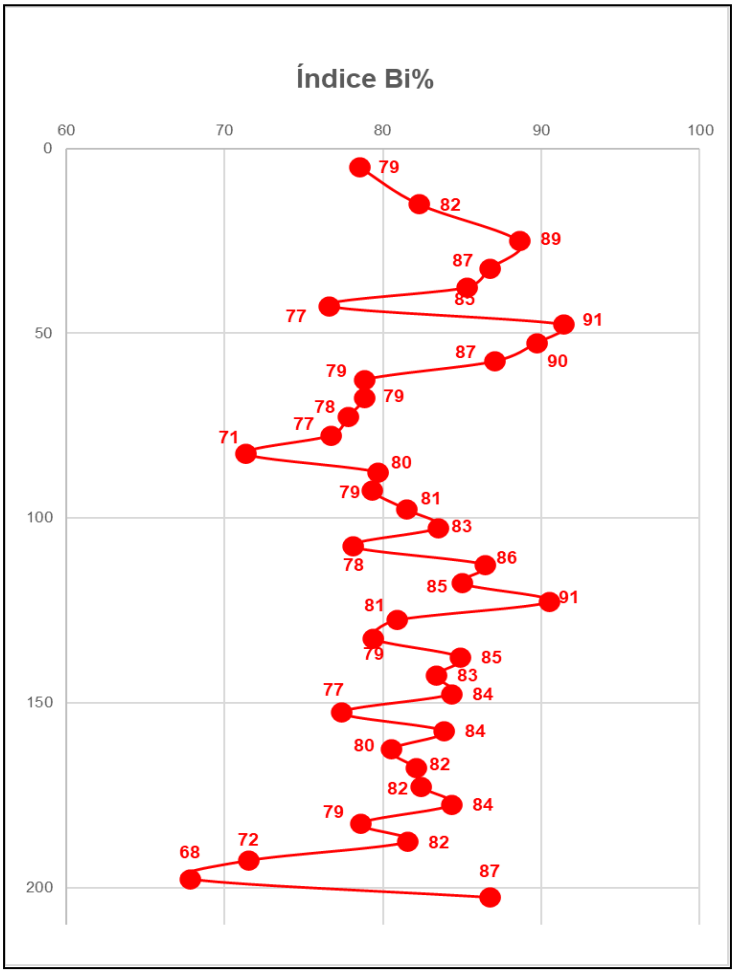

Figura 36: Índice Bi do perfil sedimentar (LGQ-PT01).

5.3 Outras Biomineralizações de Sílica

5.3.1 Espículas de Esponja e Frústulas de Diatomáceas

Os maiores estoques de espículas de esponjas e frústulas de diatomáceas foram encontrados a partir do nível de 145 cm até o topo do perfil (Figura 34), sugerindo uma fase de cheia e/ou estabilidade da lagoa.

Da base do perfil até o nível de 150 cm (Figura 37), os estoques de espículas de esponjas e frústulas de diatomáceas foram zero na maioria das amostras, indicando que a lagoa estava seca ou ainda não tinha se formado.

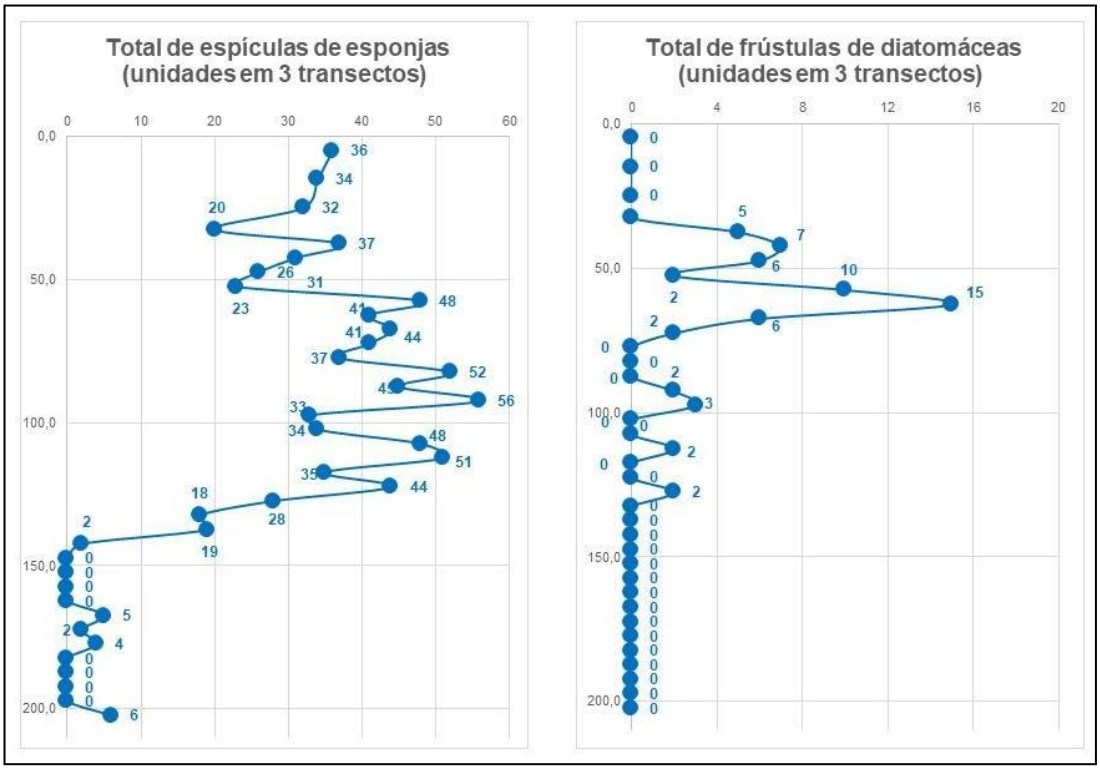

Figura 37: Estoque de espículas de esponja e f rústula de diatomáceas do Perfil Sedimentar (LGQ-PT01).

Nas amostras modernas (Figura 38), os resultados apontam uma quantidade expressiva de fragmentos de espículas de esponjas, tanto de megaescleras como de gemoescleras, ultrapassando até mesmo a quantidade de fitólitos nas mesmas amostras. Essas quantidades foram muito superiores às das amostras mais superficiais do PS.

Não foram encontradas frústulas de diatomáceas nas amostras das AM analisadas, como aconteceu nas amostras superficiais do (LGQ-PT01).

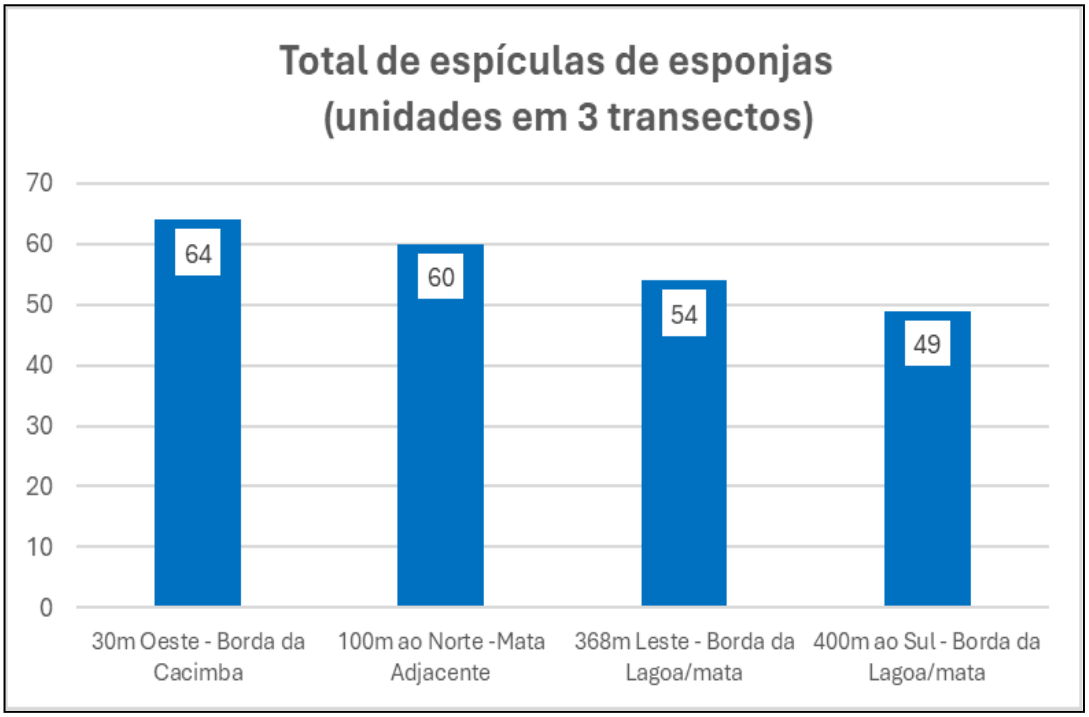

Figura 38: Estoque de espículas de esponja das Assembleias Modernas

5.4 Microcarvões

Foram encontrados fragmentos de carvão (microcarvões) em cerca de 90% das amostras, aumentando, de maneira geral, da base para o topo do perfil (Figura 39).

O maior estoque foi verificado próximo à base do perfil (nível de 180-185 cm), reforçando a tese da lagoa seca ou não formada.

A presença desses microcarvões pode sugerir a ocorrência de paleoincêndios provocados por um clima mais seco na região.

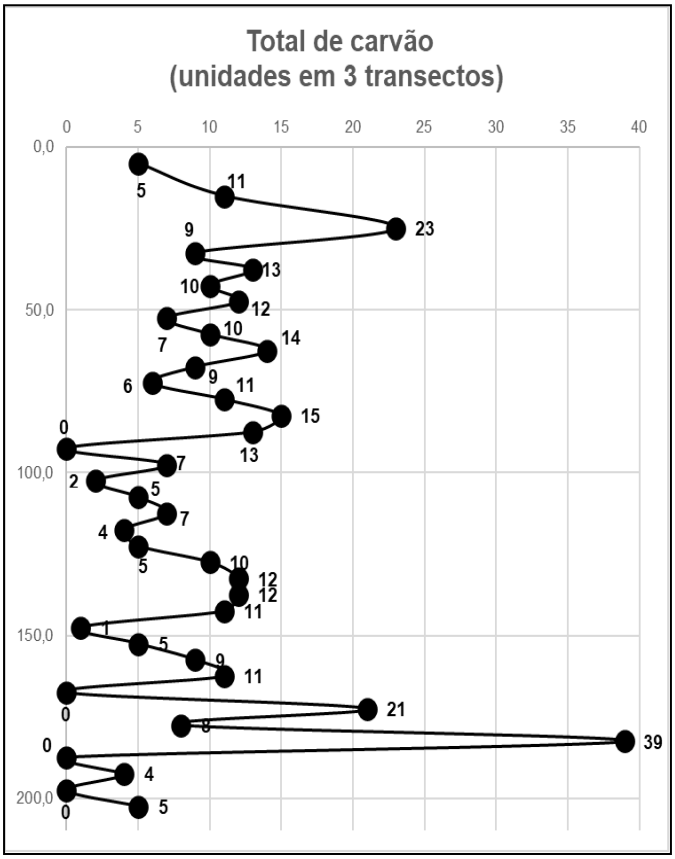

Figura 39: Estoque de microcarvões do Perfil Sedimentar (LGQ-PT01).

Os fragmentos de carvão também estão presentes nas amostras da AM (Figura 40), podendo ser reflexo do processo natural de queima causada pela seca nessa região semiárida ou por ação humana atual.

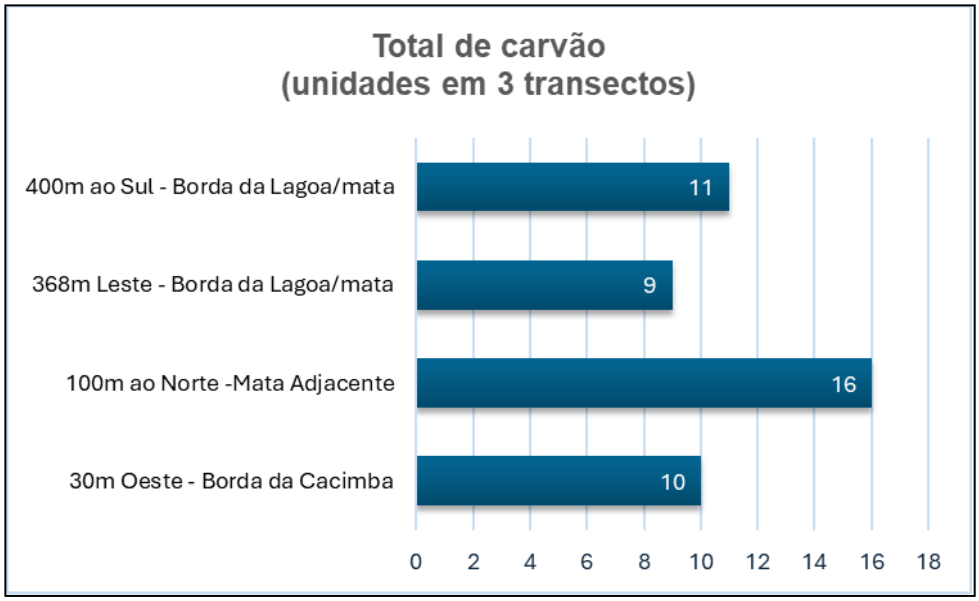

Figura 40: Estoque de microcarvões das Assembleias Modernas.

Tabela 2: Análises fitolíticas e quantificação de espículas de esponjas, frústulas de diatomáceas e microcarvões do Perfil Sedimentar (LGQ-PT01).

Profundidade a	Total Fitólitos b	Blocky c	Bulliform flabellate c	Spheroid ornate c	Spheroid echinate c	Elongate c	Acute Bulbosus c	Rondel c	Bilobate c	Classified	Unclassified	D/P d	Pa/P e	Espículas (fragmentos +gemoscleras) b	Frústulas de Diatomáceas b	Carvão b
5,0	233	31,7	20,8	2,5	8,4	22,3	12,9	1,5	0,0	86,7	13,3	0,04	0,13	36	0	5
15,0	234	28,2	16,2	5,6	6,8	24,8	7,7	1,9	0,0	91,0	9,0	0,10	0,13	34	0	11
25,0	223	35,2	26,8	2,3	4,2	23,5	7,0	0,9	0,0	95,5	4,5	0,03	0,06	32	0	23
32,5	226	35,3	19,9	10,4	8,0	17,9	8,5	0,0	0,0	88,9	11,1	0,16	0,13	20	0	9
37,5	232	37,4	16,8	14,5	11,7	10,3	9,3	0,0	0,0	92,2	7,8	0,23	0,18	37	5	13
42,5	238	29,3	19,4	8,1	9,9	18,5	14,9	0,0	0,0	93,3	6,7	0,13	0,16	31	7	10
47,5	221	37,0	16,0	12,0	14,5	15,5	5,0	0,0	0,0	90,5	9,5	0,21	0,25	26	6	12
52,5	220	38,4	17,2	14,3	9,9	13,8	5,4	1,0	0,0	92,3	7,7	0,23	0,16	23	2	7
57,5	217	26,7	18,9	10,7	16,5	20,4	6,8	0,0	0,0	94,9	5,1	0,20	0,31	48	10	10
62,5	247	26,9	19,7	16,6	13,9	10,3	9,4	1,3	1,8	90,3	9,7	0,28	0,23	41	15	14
67,5	254	30,4	17,9	12,9	11,6	14,3	10,7	2,2	0,0	88,2	11,8	0,21	0,19	44	6	9
72,5	224	27,5	21,5	10,0	9,0	18,0	13,0	1,0	0,0	89,3	10,7	0,16	0,14	41	2	6
77,5	222	24,8	18,4	8,7	11,2	23,8	10,7	1,9	0,5	92,8	7,2	0,16	0,20	37	0	11
82,5	233	29,7	20,7	2,7	3,6	23,0	9,5	10,8	0,0	95,3	4,7	0,04	0,05	52	0	15
87,5	234	26,6	19,2	6,5	10,3	25,7	7,5	4,2	0,0	91,5	8,5	0,11	0,18	45	0	13
92,5	247	27,7	23,7	9,4	8,0	17,9	7,1	6,3	0,0	90,7	9,3	0,14	0,12	56	2	0
97,5	217	29,7	20,3	9,4	7,4	21,8	11,4	0,0	0,0	93,1	6,9	0,15	0,12	33	3	7
102,5	218	27,2	20,3	9,9	7,4	25,7	9,4	0,0	0,0	92,7	7,3	0,17	0,13	34	0	2
107,5	229	25,0	19,5	11,0	9,5	22,5	12,5	0,0	0,0	87,3	12,7	0,19	0,17	48	0	5
112,5	216	27,0	24,0	7,0	10,5	23,5	8,0	0,0	0,0	92,6	7,4	0,12	0,18	51	2	7
117,5	211	25,9	21,9	9,0	12,4	22,4	8,5	0,0	0,0	95,3	4,7	0,16	0,22	35	0	4
122,5	220	35,3	26,4	7,5	11,4	12,9	5,5	1,0	0,0	91,4	8,6	0,11	0,17	44	0	5
127,5	238	30,3	17,9	10,9	6,0	23,4	10,4	1,0	0,0	84,5	15,5	0,18	0,10	28	2	10
132,5	223	26,6	19,8	9,7	10,6	21,3	10,1	1,9	0,0	92,8	7,2	0,17	0,18	18	0	12
137,5	237	27,5	21,3	15,0	8,2	19,3	8,7	0,0	0,0	0,0	208,0	0,26	0,14	19	0	12
142,5	225	29,8	20,7	11,1	8,7	19,7	9,6	0,5	0,0	92,4	7,6	0,18	0,14	2	0	11
147,5	246	28,1	24,0	11,5	5,1	21,7	9,7	0,0	0,0	88,2	11,8	0,19	0,08	0	0	1
152,5	226	27,2	23,8	7,9	10,9	15,3	14,9	0,0	0,0	89,4	10,6	0,12	0,17	0	0	5
157,5	219	28,9	20,4	5,0	12,9	23,4	9,5	0,0	0,0	91,8	8,2	0,09	0,22	0	0	9
162,5	213	28,0	21,5	4,5	13,5	20,5	12,0	0,0	0,0	93,9	6,1	0,07	0,22	0	0	11
167,5	243	26,4	16,9	5,0	17,9	24,4	5,0	0,0	4,5	82,7	17,3	0,09	0,34	5	0	0
172,5	260	26,4	22,9	8,4	11,0	20,7	9,7	0,0	0,9	87,3	12,7	0,14	0,18	2	0	21
177,5	239	31,0	19,2	4,9	14,3	21,2	9,4	0,0	0,0	84,9	15,1	0,08	0,24	4	0	8
182,5	241	26,5	20,4	5,7	12,3	22,3	10,9	0,0	1,9	87,6	12,4	0,10	0,21	0	0	39
187,5	223	25,0	23,5	3,5	15,0	22,0	11,0	0,0	0,0	89,7	10,3	0,06	0,25	0	0	0
192,5	218	22,2	19,7	2,5	17,7	21,2	16,7	0,0	0,0	90,8	9,2	0,04	0,30	0	0	4
197,5	204	21,4	18,2	4,7	16,1	20,8	18,8	0,0	0,0	94,1	5,9	0,08	0,28	0	0	0
202,5	122	36,3	21,6	6,9	13,7	12,7	8,8	0,0	0,0	83,6	17,2	0,10	0,21	6	0	5

a-cm; b-unidade; c- porcentagem dos classificáveis; d- **D/P** =SPHEROID ORNATE/ (short-cells + ACUTE BULBOSUS + BULLIFORM FLABELLATE + BLOCKY);
e- Pa/P = SPHEROID ECHINATE / (short-cells + ACUTE BULBOUS + BULLIFORM FLABELLATE + BLOCKY)

5.5 Teor de Carbono Orgânico Total (COT)

A análise do COT indicou baixos teores de matéria orgânica nas amostras próximas à base do perfil (205 cm) e o nível de 110 cm, com tendência de aumento relativo para as amostras mais superficiais, entre 110 cm e o topo do perfil (Figura 41). O resultado corrobora uma condição que já é observada para solos da região semiárida do Brasil, pois conforme Rego *et al.* (2013), a vegetação escassa e o clima tropical aceleram a mineralização da matéria orgânica.

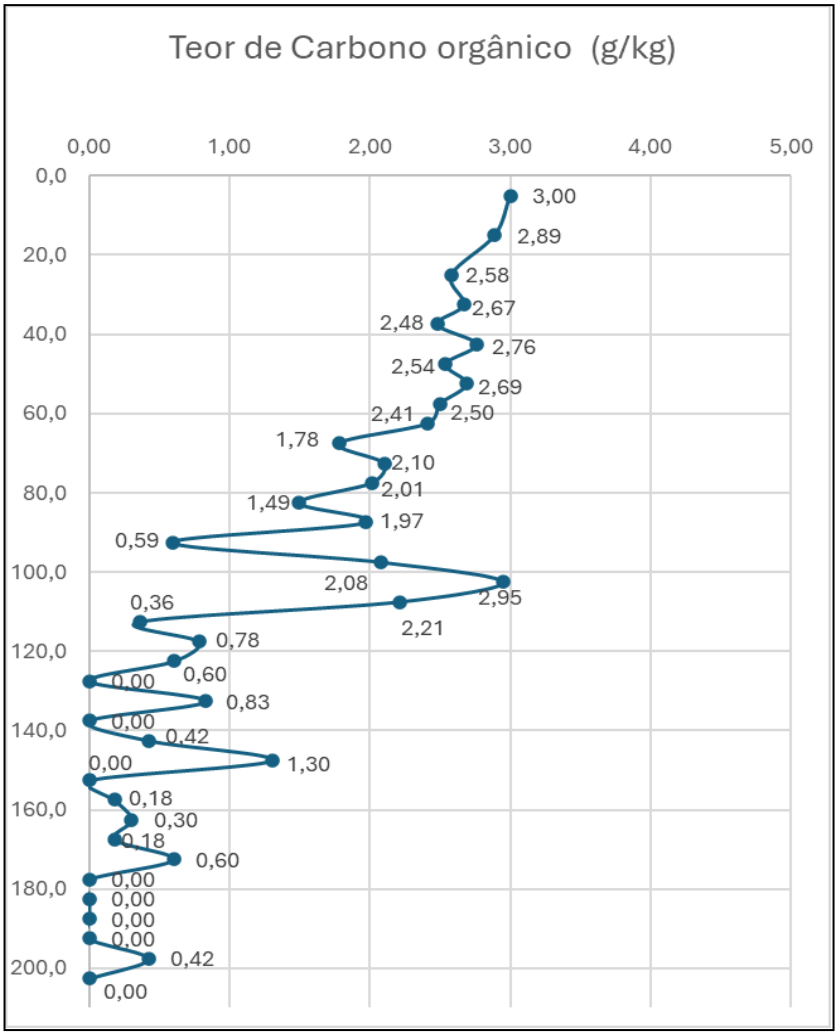

Figura 41: Teor de Carbono Orgânico Total do LGQ-PT01.

5.6 Granulometria

Os resultados das análises granulométricas (Figura 42) evidenciaram a presença predominante de fração silte e argila em todas as amostras

analisadas, com tendência de aumento gradual da fração argila a partir do nível de 120 cm de profundidade para o topo do perfil (entre 10 e 0 cm), não havendo mudanças significativas na composição granulométrica. Observamos, ainda, uma pequena tendência de aumento da fração areia e predomínio da fração argila a partir do nível de 125 cm de profundidade em direção a base do perfil (205 cm), no entanto não foi possível confirmar tal tendência, devido à ausência dos resultados das amostras mais próximas da base do perfil (entre 165 e 205 cm).

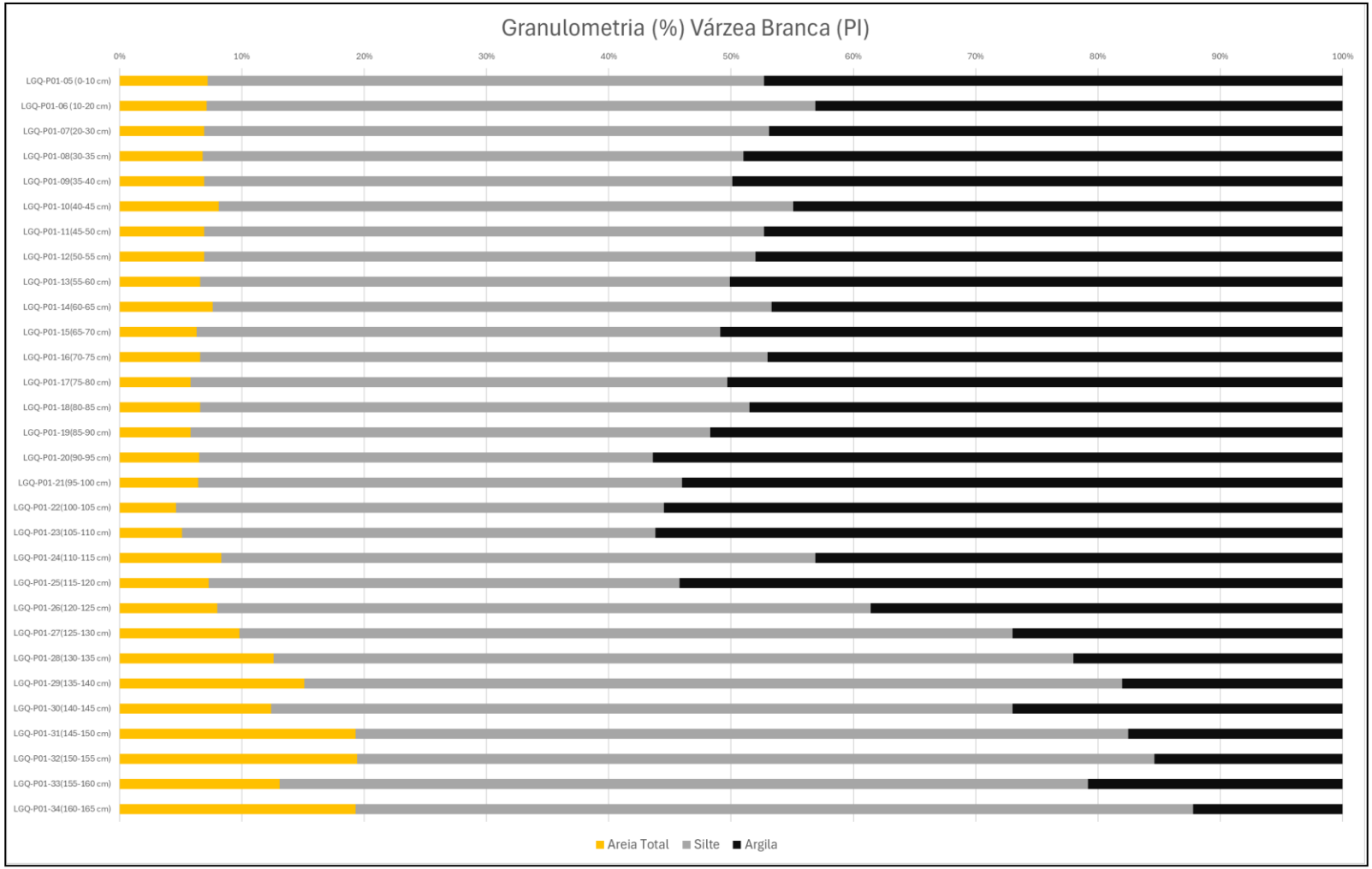

Figura 42: Granulometria do LGQ-PT01 – Elaborado por Machado, 2024

6. DISCUSSÃO

Após a análise dos resultados obtidos, por meio dos indicadores utilizados para o desenvolvimento desse estudo, buscou -se identificar as principais características relacionadas às condições ambientais que marcaram a evolução da paisagem ao longo do Holoceno no Sítio Lagoa Grande das Queimadas. Para a individualização e delimitação das fases foram considerados os resultados de estoque de fitólitos, de frústulas de diatomáceas, espículas de esponjas e microcarvões, além dos índices fitolíticos D/P, Pa/P e Bi%, que permitiram a identificação de períodos de maior ou menor umidade e as consequentes modificações na cobertura vegetal. Foi considerada também a granulometria dos sedimentos.

Desta forma, foram delimitadas quatro zonas fitolíticas (Figura 43) no perfil sedimentar, que correspondem a fases de evolução da paisagem (Figura 44), com diferentes tendências:

Zona I: da base (205 cm de profundidade) a 140 cm – Entre 10.969-10.529 anos cal AP e 5307-4787 anos cal AP (Figura 44)

Na primeira zona do perfil (Z I), é possível notar um estoque de fitólitos superior ao da amostra mais superficial, no topo do perfil (0 a 10 cm de profundidade), que é de apenas 233 fitólitos (Figura 43). A granulometria desta zona apresenta uma quantidade maior de areias que as demais (Figura 42), indicando um período de dinâmica mais intensa e maior influência terrestre, visto que os indicadores aquáticos são praticamente ausentes. Foram observados microcarvões em quase todas as amostras, sendo registrado um pico de 39 partículas a 185-180 cm de profundidade, o maior de todo o perfil, que pode indicar uma frequência maior de paleoqueimadas (Figura 43).

O índice D/P variou de 0,04 (similar à camada mais superficial do perfil) a 0,19 (no limite da zona), demonstrando uma tendência de aumento da cobertura arbórea da base para o topo desta zona. O índice Pa/P variou bastante nesta zona, indo de 0,08 a 0,34, o maior do perfil, a 175-170 cm de profundidade. O índice Bi% oscilou de 87% na base a 68% (menor do perfil) (Figura 43).

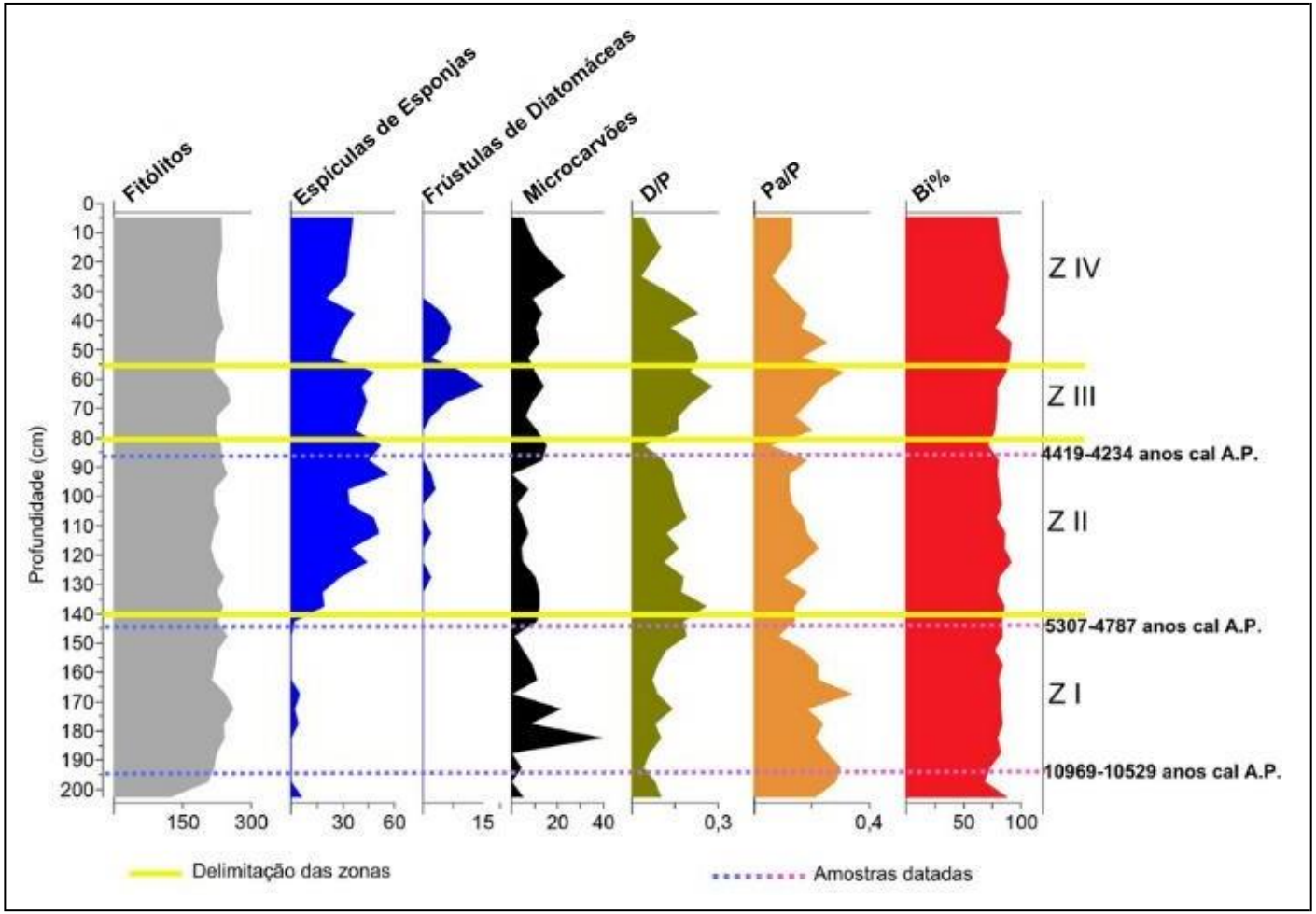

Figura 43: Diagrama síntese dos resultados. Elaborado por Salgado, 2024.

Os resultados dessa zona apontam para um período de mudança relativa na vegetação, refletindo um ambiente mais úmido que o atual, pelos valores mais elevados dos índices D/P e Pa/P. Além disso, o registro dos bioindicadores aquáticos foi praticamente nulo, o que pode estar relacionado a uma expansão da vegetação terrestre em um período que a lagoa poderia ainda não ter se formado.

Zona II: de 140 a 80 cm de profundidade – Entre 5307-4787 anos cal AP e 4419-4234 anos cal AP (Figura 44)

A segunda zona do perfil (Z II), é marcada por uma mudança na granulometria (Figura 42), que se torna mais lamosa, indicando uma dinâmica de deposição de menor energia, e coincide com o início da presença dos bioindicadores aquáticos (espículas de esponjas e frústulas de diatomáceas), principalmente as espículas de esponjas (Figura 43). As espículas apresentam tendência de aumento a partir do limite inferior da fase, tendo um pico a 95-90 cm de profundidade (56 espículas), a maior quantidade do perfil. O estoque dos fitólitos foi homogêneo, com valores similares ao topo da zona I, com um pico de 247 fitólitos a 95-90cm de profundidade, a mesma amostra que apresentou o máximo de espículas de esponja (Figura 43).

São observados microcarvões em toda a zona, com exceção da amostra de 95-90 cm de profundidade, que não teve registro desse indicador. O índice D/P variou de 0,26 no limite inferior da zona II (140-135 cm de profundidade) a 0,04, no topo da zona. O índice Pa/P variou de 0,22 a 0,05 (próximo ao topo da zona). Já o índice Bi% apresentou tendência de redução da base (85%) para o topo da zona (71%), com um pico de 91% (um dos maiores do perfil) a 125-120 cm de profundidade (Figura 43).

Os resultados obtidos nessa zona sugerem uma fase de formação ou expansão da lagoa, pela presença de indicadores aquáticos. Quanto à vegetação terrestre, não houve redução no estoque de fitólitos, mas sim uma mudança no tipo de cobertura vegetal, com uma retração de lenhosas e aumento de herbáceas, mais adaptadas a áreas alagadas.

Zona III: de 80 a 55 cm de profundidade – Posterior a 4419-4234 cal AP (Figura 44)

A terceira zona do perfil (Z III), é caracterizada por um pequeno acréscimo no estoque de fitólitos na base da fase e por um por um aumento significativo nas frústulas de diatomáceas (de 0 no topo da F II para 15 a 65-60 cm de profundidade), enquanto o estoque de espículas de esponjas e microcarvões se manteve estável em relação à fase anterior (Figura 43). A granulometria se manteve similar à da zona II, com predomínio de lamosos, sobretudo argila (Figura 42).

O índice D/P variou de 0,16 (base da fase) a 0,28, o maior do perfil, a 65-60 cm de profundidade, coincidindo com o pico das frústulas de diatomáceas, sugerindo um ambiente mais úmido. O índice Pa/P apresentou tendência de aumento, variando de 0,14 (na base da zona) a 0,31, o segundo maior do perfil (60-55 cm de profundidade), sendo mais um indicador de aumento de umidade. Já o índice Bi% registrou uma variação de 77%, na base da zona, com tendência de aumento, chegando a 90% no topo da zona (o segundo maior do perfil), possivelmente indicando uma resposta da vegetação a variações no espelho d'água da lagoa (Figura 44).

Esses resultados apontam para um breve período em que ocorreu uma pequena variação na vegetação terrestre, demonstrando uma tendência de expansão associada a um aumento da umidade e estabilidade da lagoa.

Zona IV: de 55 a 0 cm de profundidade – Posterior a 4419-4234 cal AP (Figura 44)

A última zona do perfil (Z IV), é caracterizada por um leve aumento e estabilização da granulometria (Figura 42), do estoque de fitólitos e das espículas de esponjas em relação às zonas anteriores. O estoque de frústulas de diatomáceas sofre redução com a diminuição da profundidade, chegando a zero nas amostras mais superficiais (topo do perfil) (Figura 43). Nas amostras modernas (AM) coletadas na borda da lagoa atual, também não foram encontradas frústulas. Nota-se, também, uma certa estabilidade no estoque de microcarvões em relação às zonas II e III, porém foi observado um pico na amostra do nível 30-20 cm de profundidade (Figura 41). Esta zona ainda é marcada pela redução significativa dos índices D/P,

Pa/P e Bi% da base para o topo, onde o D/P variou de 0,23 a 0,04 na amostra mais superficial (similar aos encontrados nas assembleias modernas R39 e R40 – Figura 31), o Pa/P de 0,25 a 0,13, e o Bi% de 91% para 79% (Figura 43).

Os resultados dessa zona indicam que, após 4419-4234 cal AP, houve uma redução progressiva da umidade, com uma possível abertura da vegetação e estabelecimento da fitofisionomia de caatinga e do regime atual de semiaridez.

Tendências observadas no Sítio arqueológico Lagoa Grande das Queimadas

As tendências apontadas pelos índices fitolíticos são similares às encontradas em outros estudos realizados na Caatinga, como os de Dias (2017) e Aguiar (2022).

A presença de microcarvões em todas as fases pode ser relacionada a episódios de queimadas e reforço do regime atual de semiaridez. Carcaillet *et al.* (2002) utilizaram idades ^{14}C de fragmentos de carvão do solo coletados em áreas entre 5°N e 5°S no Norte da bacia amazônica, representando os últimos dois mil anos como evidência de altas concentrações de incêndios florestais.

A relação entre os paleoincêndios e as condições climáticas foram apresentadas por Carcaillet *et al*. (2002) com argumentos de que modificações nos regimes de fogo durante a anomalia climática da Idade Média, entre os anos de aproximadamente 950 e 1250 anos AP, e a Pequena Idade do Gelo, por volta do período entre 1400 e 1700 anos AP, se basearam nas alterações do clima.

As tendências observadas nesta pesquisa foram encontradas em outros estudos paleoambientais realizados em diversas áreas do Nordeste, como De Oliveira e colaboradores (1999) na Bahia; Chaves (2000) no sudeste do Piauí, Gouveia e colaboradores (2005) no Piauí, Paraíba e Ceará; Mota (2012) no Piauí; Tavares (2015) em Pernambuco; Utida (2016) no Rio Grande do Norte; Medeiros (2019) em Pernambuco e Paraíba; Ramos (2019) em Pernambuco; Galvão (2019) no Piauí; e Machado (2022)

no oeste da Bahia. Todos esses autores estimam que a partir da transição Pleistoceno/Holoceno (11.000 anos AP) a temperatura e a umidade aumentam gradativamente (De Oliveira, 1999). De acordo com Chaves (2000), entre 8700 e 7000 anos AP, houve atenuação da crise árida holocênica no Sudeste do Piauí. Tavares (2015) identificou no mesmo período uma reumidificação e aumento da temperatura. A partir de 5500 anos AP, com o fim do Ótimo Climático do Holoceno (Galvão, 2019), teve início o estabelecimento do padrão vegetacional e climático semiárido atual, com aumento de espécies de caatinga, a partir de 4500 anos atrás.

Os resultados fitolíticos corroboram a estabilidade encontrada no Holoceno. De acordo com Chueng (2020), o Holoceno foi relativamente estável em relação aos 20 mil anos AP, mas, ainda assim, foi marcado por uma série de eventos de caráter relativamente abrupto de menor amplitude e duração, o que exigiu para as interpretações que os registros paleoclimáticos apresentassem maior resolução e maior precisão cronológica.

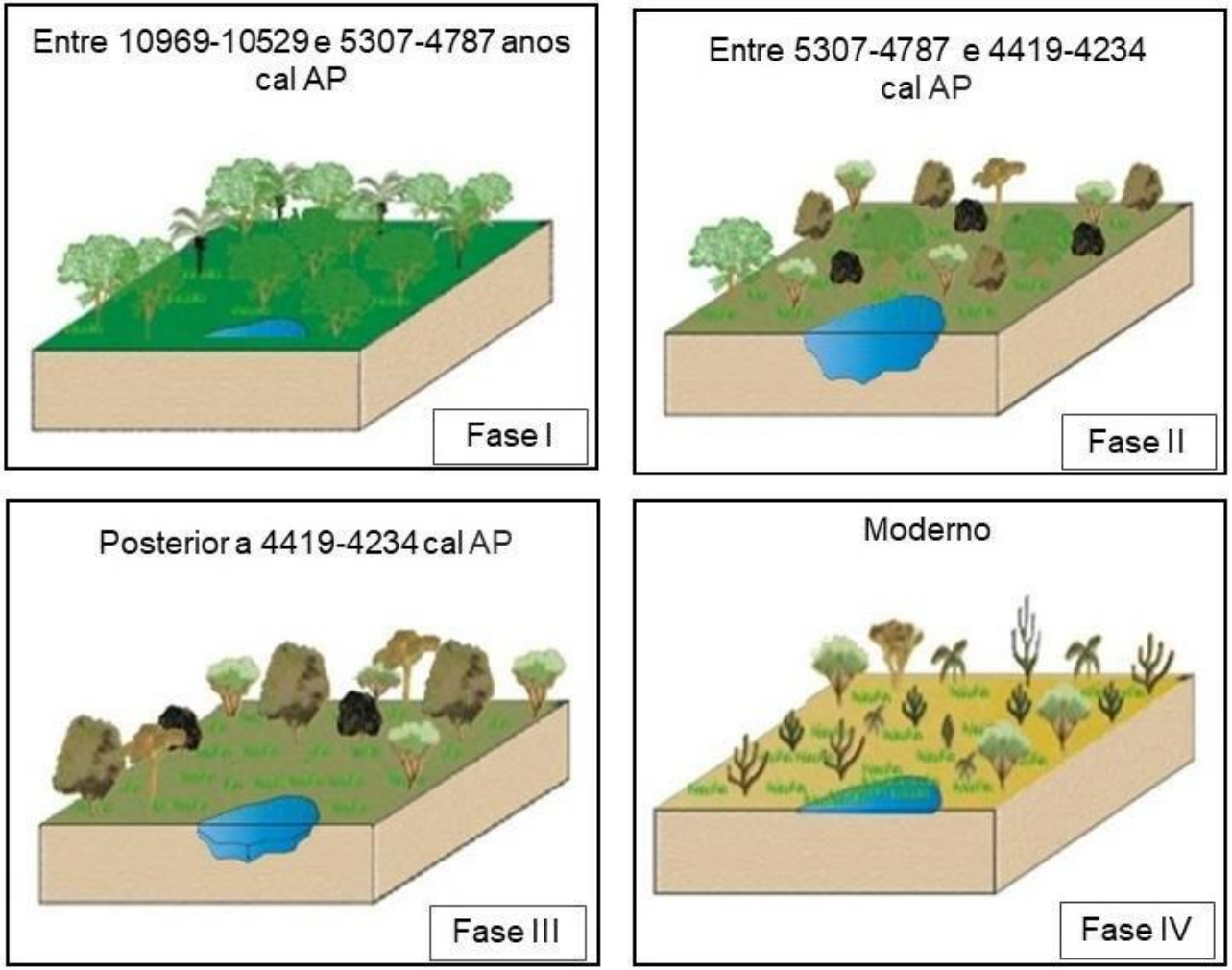

Figura 44: Simulação da evolução paleoambiental na Lagoa Grande das Queimadas-PI

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito desse estudo foi contribuir para a compreensão do contexto paleoambiental e paleoclimático de antigas ocupações humanas no Sítio Lagoa Grande das Queimadas (PI), durante o Holoceno, em áreas interiores do Nordeste do Brasil.

As tendências observadas nas 4 zonas delimitadas nesse trabalho são corroboradas pelos dados regionais e globais para o Holoceno. Os resultados fitolíticos corroboram as pesquisas arqueológicas já desenvolvidas na área pelo Grupo de Pesquisas POLARQ/UFPI.

Os resultados revelaram que a região desse estudo passou por variações climáticas durante o Holoceno, conforme evidenciado pelos registros de fitólitos e bioindicadores aquáticos (espículas de esponjas e frústula de diatomáceas) nos sedimentos lacustres. Estas análises indicam que, entre 11.000 e 4419-4234 cal AP, a temperatura e umidade aumentaram progressivamente. A partir desse período, foi observada uma transição de um clima mais úmido que o atual para condições mais secas com o estabelecimento de um padrão semiárido e da fitofisionomia da Caatinga. Comparados com estudos anteriores, esses resultados corroboram as tendências observadas em regiões adjacentes, sugerindo uma mudança climática regional.

Os estudos paleoclimáticos são fundamentais para o entendimento do arcabouço arqueológico, uma vez que os fitólitos e demais indicadores estudados possibilitam a compreensão das condições paleoambientais mesmo em locais com interferência antrópica e auxiliam a compreender o contexto propício para as ocupações humanas. Além disso, os estudos *multiproxy* são considerados uma ótima ferramenta nas pesquisas arqueobotânicas.

Em suma, acreditamos que este estudo contribui significativamente para a compreensão do repertório da paisagem de ocupações pretéritas na região do Sítio Arqueológico Lagoa Grande das Queimadas e das mudanças ambientais ocorridas durante o Holoceno. Os resultados qualitativos e quantitativos das biomineralizações de sílica, associados a outros *proxies* estudados neste local, contribuiram para a construção de informações sobre o sítio arqueológico e sua inserção na paisagem, bem como para a

compreensão dos modelos de mobilidade e subsistência de grupos humanos do passado durante o Holoceno Tardio, em áreas interiores do Nordeste do Brasil, e reforçam a importância de uma abordagem interdisciplinar na reconstituição paleoambiental.

Deste modo, é compreensível que a conclusão desta dissertação não signifique a conclusão dos estudos na região de Várzea Branca, no sudeste do Piauí. Restam dúvidas a serem esclarecidas, muitas pesquisas a serem realizadas e hipóteses a serem confirmadas, seja na região agora estudada, como em outras.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. E. X. **Reconstituição paleobiogeoclimática dos brejos de altitude do Ceará: um estudo de caso da Serra de Uruburetama (CE)**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro de Ciências e Tecnologia, Curso de Doutorado em Geografia, Fortaleza, 2022.

AGUIAR, A. E. X.; COE, H. H. G.; MADELLA, M.; CRUZ, M. L. B. 2019. O uso do bioindicador fitólito em estudos ambientais e arqueológicos no Brasil. **Revista GeoNordeste**, 30(1): 80-104, 2019.

AGUIAR, R. B.; GOMES, J. R. C. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí: diagnóstico do município de Várzea Branca**. Fortaleza: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2004.

ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J. D.; MARIOTTI, A.; SOUBIES, F. Late Holocene Phytolith and Carbon-Isotope Record from a Latosol at Salitre, South-Central Brazil. **Quaternary Research** 51, 187-194, 1999.

ALMEIDA, A. C. S., VOLKMER-RIBEIRO, C., VARAJÃO, A. F. D. C., GOMES, N., & VARAJÃO, C. A. C. Espículas de esponjas continentais nos sedimentos cenozóicos do noroeste de Minas Gerais, como indicadores paleoambientais. **Revista Brasileira de Paleontologia**, 12(2), 123-138, 2009.

ARAÚJO-JÚNIOR, H. I., DE OLIVEIRA PORPINO, K., PAGLARELLI BERGQVIST, L., & DOS SANTOS AVILLA, L. Nova Ocorrência de Mamíferos do Quaternário nos Tanques de Taperoá (Paraíba) e Alagoinha (Pernambuco), Nordeste do Brasil: Implicações Paleoambientais. **Anuário do Instituto de Geociências**, 40(2), 2017.

ASTUDILLO, F. J. Soil phytoliths as indicators of initial human 105iddle105on San Cristóbal Island, Galápagos. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** 490: 522–532. 2018.

BARROS, D. R. S. **Métodos para determinação do carbono orgânico em solos de Alagoas**. 2016. 45 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo-AL, 2016.

BERTOLDI DE POMAR, H. Ensayo de Clasificatíon Morfológica de los Silicofitolitos. **Ameghiana** 8: 317-28, 1971.

BIERNATH, A. Sambaquis: as descobertas sobre as monumentais construções de 8 mil anos no litoral do Brasil. **BBC News Brasil**, 2023. Disponível em https://www.bbc.com/portuguese/articles/cxegxkr04jvo, acesso em 22/04/2024.

BOYADJIAN, C. H. C. **Microfósseis contidos no cálculo dentário como evidência do uso de recursos vegetais nos sambaquis de Jabuticabeira II (SC) e Moraes (SP)**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

BOYADJIAN, C. H. C. **Análise e identificação de microvestígios vegetais de cálculo dentário para a reconstrução de dieta sambaquieira: estudo de caso de Jabuticabeira II, SC**. 2012. Tese (Doutorado em Biologia (Genética)) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

BOYADJIAN, C. H. C.; EGGERS, S; REINHARD, K. J.; SCHEEL-YBERT, R. Dieta no sambaqui Jabuticabeira II: consumo de plantas revelado por microvestígios provenientes de cálculo dentário. **Cadernos do LEPAARQ** 13:132-161, 2016.

BOYADJIAN, C.; SCHEEL-YBERT, R.; BARROS, A.; OLIVEIRA, R.; PROUS, A.; RODET, M. J. Microarqueobotânica no Museu Nacional, UFRJ: estado da arte de uma disciplina inovadora e primeiros resultados de estudos recentes. **Revista de Arqueologia**, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 149–177, 2019.

BOZARTH, S., PRICE, K., WOODS, W., NEVES, E., REBELLATO, R. Phytoliths and Terra Preta: The Hatahara Site Example. In: WOODS, W.I., TEIXEIRA, W.G., LEHMANN, J., STEINER, C., WINKLERPRINS, A., REBELLATO, L. (eds) **Amazonian Dark Earths: Wim Sombroek's Vision**. Springer, Dordrecht, 2009.

BLINNIKOV, M.; BUSACCA, A.; WHITLOCK, C. Reconstruction of the late Pleistocene grassland of the Columbia basin, Washington, USA, based on phytolith records in loess. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v.177, n.1-2, p.77-101, 2002.

BUTZER, K. W. Arqueología, una ecología del hombre: método y teoría para un enfoque contextual. **Bellaterra**, 1989.

CALEGARI, M. R; SOUZA, E.; MOZER, J. H.; MARCOLIN, L.; FONSECA, C. F. Fitólitos – Uma ferramenta para estudos de reconstituição paleoambiental: Conceitos e revisão sobre aplicações no Brasil. **Derbyana**, [S. l.], v. 43, p. e778, 2022.

CARCAILLET, C.; ALMQUIST, H.; ASNONG, H.; BRADSHAW, R.H.W.; CARRION, J.S.; GAILLARD, M.J.; GAJEWSKI, K.; HAAS, J.N.; HABERLE, S.G.; HADORN, P.; MULLER, S.D.; RICHARD, P.J.H.; RICHOZ, I.; ROSCH, M.; GONI, M.F.S.; VON STEDINGK, H.; STEVENSON, A.C.; TALON, B.; TARDY, C.; TINNER, W.; TRYTERUD, E.; WICK, L.; WILLIS, K.J. Holocene biomass burning and global dynamics of the carbon cycle. **Chemosphere** 49, 845–863, 2002.

CAROMANO, C. F.; CASCON, L. M.; NEVES, E. G.; SCHEEL-YBERT, R. Revealing Fires and Rich Diets: Macro- and Micro archaeobotanical Analysis at the Hatahara Site, CentralAmazonia. Tipití: **Journal of The Society for the Anthropology of Lowland South America**, [S. l.], v. 11, n. 5, p. 40-51, 2013.

CASCON, L. M. **Alimentação na floresta tropical: Um estudo de caso no sítio Hatahara, Amazônia Central, com base em microvestígios botânicos**. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 203pp, 2010.

CHAVES, S.A.M. Estudo palinológico de coprólitos pré-históricos holocenos coletados na Toca do Boqueirão do Sítio da Pedra Furada. Contribuições paleoetnológicas, paleoclimáticas e paleoambientais para a região sudeste do Piauí - Brasil. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, São Paulo, 10: 103-120, 2000.

CHUENG, K. F. **Reconstituição paleobiogeoclimática de áreas cársticas, arqueológicas e turfeiras na Serra do Espinhaço Meridional através de biomineralizações de sílica**. Tese – Universidade Federal Fluminense, Niterói – RJ, 201p, 2020.

CHUENG, K.F.; COE, H.H.G.; FAGUNDES, M.; VASCONCELOS, A.M.C.; e RICARDO, S.D.F. Reconstituição Paleoambiental da Área Arqueológica de Serra Negra, Face Leste do Espinhaço Meridional (Minas Gerais), através da Análise de Fitólitos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.11, nº7, p. 2260-2275, 2018.

CHUENG, K. F., COE, H. H. G., AUGUSTIN, C. H. R. R., MACARIO, K. D., RICARDO, S. D. F. VASCONCELOS, A. M. C. Landscape paleodynamics in siliciclastic domains with the use of phytoliths, sponge spicules and carbon isotopes: The case of 107iddle107o Espinhaço Mountain Range, Minas Gerais, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 95, p. 1-20, 2019.

CHUENG, K. F.; COE, H. H. G.; SOUZA, R. C. C. L.; FAGUNDES, M.; VASCONCELOS, A. M. C.; RICARDO, S. D. F.; BANDEIRA, D. R.; DIAS, R. R.; MACHADO, D. O. B. F. Reconstituição paleoambiental em sítios arqueológicos através da análise de fitólitos: estudos de caso no Brasil. In: COSTA, LUÍS RICARDO FERNANDES DA. (Org.). **Geografia Física: Estudos Teóricos e Aplicados**. 1ed.: Atena Editora, p. 84-97, 2020.

CHUENG, K.F.; COE, H.H.G.; MACHADO, D.O.B.F.; VALENTE, R.M.P.; SANTOS, C.P.; FAGUNDES, M. Reconstituição Paleoambiental do Sítio Arqueológico Matão (MG), através da análise de fitólitos. In: XXII Congresso da SAB - Arqueologias Plurais, Políticas Patrimoniais e Desafios Contemporâneos, 2023, Florianópolis. **Resumos XXII Congresso da SAB** – Livro Eletrônico. ISBN: 978-65-981812-0-8. 2023.

COE, H. H. G. **Fitólitos como indicadores de mudanças na vegetação xeromórfica da região de Búzios/Cabo Frio, RJ, durante o Quaternário** . Tese de Doutorado: UFF, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2009.

COE, H. H. G.; OSTERRIETH, M.; HONAINE, M. F; Phytoliths and their Applications. In: Coe, H. H. G. e Osterrieth, M. (ed.). **Synthesis of Some Phytolith Studies in South America (Brazil and Argentina)**. 1 ed. New York: Nova Science, 2014.

COE, H. H. G., RICARDO, S. D. F., SOUSA, L.O.F., DIAS, R. R. Caracterização de fitólitos de plantas e assembleias modernas de solo da caatinga como referência para reconstituições paleoambientais**. Quaternary and Environmental Geosciences** 8: 9-21, 2017a.

COE, H. H. G., SOUZA, R. C. C. L., DUARTE, M. R., RICARDO, S. D. F., MACHADO, D. O. B. F., MACARIO, K. C. D., SILVA, E. P. Characterisation of phytoliths from the stratigraphic layers of the Sambaqui da Tarioba (Rio das Ostras, RJ, Brazil). **FLORA** 236-237: 1-8, 2017b.

COE, H. H. G., RAMOS, Y. B. M., SILVA, A. L. C., GOMES, E., SOUSA, L. O. F., MACARIO, K. D., DIAS, R. R. Paleovegetação da Ilha Grande (Rio de Janeiro) no Holoceno através do estudo de fitólitos e isótopos do carbono. **Revista Brasileira de Geografia Física** 11, 456-476, 2018.

COE, H. H. G.; SOUZA; BANDEIRA, D. R.; RASBOLD, G. G.; SOUZA, R. C. C. L.; CHUENG, K. F.; DIAS, R. R.; MACHADO, D. O. B. F; FERREIRA, J.; VOSS, C. V.; SÁ, J. C. Reconstituição paleoambiental através de fitólitos no sambaqui casa de pedra, São Francisco do Sul-SC, Brasil. **Paleontologia Contemporânea: Diferentes Técnicas e Análises**. 1ed.: Atena Editora, 2020, p. 61-85.

CORTELETTI, R.; DICKAU, R; DEBLASIS, P.; IRIARTE, J. Análises de grãos de amido e fitólitos nas terras altas do sul do Brasil: repensando a economia e mobilidade dos grupos proto-Jê meridionais. **Cadernos do LEPAARQ** (UFPEL), v. 13, p. 163-196, 2016.

CORTELETTI, R. **Projeto Arqueológico Alto Canoas - Paraca: um estudo da presença Jê no planalto catarinense.** Tese de Doutorado. São Paulo, Universidade de São Paulo. 342pp, 2012.

COSTA, M. C. Sítio Arqueológico de Caieiras, disponível em https://arqueologiadeaverna.blogspot.com/2012/03/sitio-arqueologico-de-caieiras.html, acesso em 22/04/2024.

COX, E. J. Assessing and designating diatom taxa at or below the species level – a consideration of current status and some suggested guidelines for the future. **Nova Hedwigia**, Porto Alegre. v. 65, n. 1, p. 13-26, 1997.

DE OLIVEIRA, P. E.; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. Late pleistocene/holocene climatic and vegetational history of the Brazilian caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco river. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 152, p. 319-337, 1999.

DELHON, C.; ALEXANDRE, A.; BERGER, J.F.; THIÉBAULT, S.; BROCHIER, J.L. e MEUNIER J.D. Phytolith assemblages as a promising tool for reconstructing Mediterranean Holocene vegetation. **Quaternary Research**, v.59, n.1, p.48-60, 2003.

DIAS, R.R. **Reconstituição paleobiogeoclimática de áreas de Caatinga na Depressão Sertaneja Setentrional**. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia): Dep. Geografia UERJ-FFP, São Gonçalo, 149p, 2017.

DIAS, R. R.; COE, H. H. G.; RICARDO, S. D. F.; VASCONCELOS, A. M. C.; SOUSA, L.O.F. Reconstituição paleoambiental de dunas vegetadas na caatinga, em Aracati, Ceará, através de biomineralizações de sílica. **Revista GEOUECE**, v.08, p.193 – 208, 2019.

FARIAS, R. F. A química do tempo: Carbono 14. **QNESC**, v.16, 6-8, 2002.

FERRAZ, E. M. N.; RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V.; PEREIRA, R. D. C. A. Composição florística em trechos de vegetação de caatinga e brejo de altitude na região do Vale do Pajeú, Pernambuco. **Brazilian Journal of Botany**, *21*, 7-15, 1998.

FRANCISCO, J. A. S.; LIMA, A. A.; ARÇARI, D. P. Datação por carbono–14. **The Carbon–14**, 2011.

FREDLUND, G., TIESZEN, L. Calibrating grass phytolith assemblages in climatic terms: application to late Pleistocene assemblages from Kansas and Nebraska. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** 136: 199-211, 1997.

FREITAS, A. G.; NASCIMENTO, A. L. M. L.; LEONCIO, Y. B. S.; REIS, R. L.; MORAES, L. A.; PAZ FILHO, P. S.; MARTINS, P. E. D.; SILVA, N. E. M ; CARVALHO, L. M. S.; GONCALVES-ESTEVES, V.; MENDONÇA, C. B. F.; CHAVES, S.A.M ; COE, H. H. G.; CHUENG, K.; RICARDO, S. D. F.; BIANCHINI, G. F.; CAROMANO, C. F.; CASCON, L. M.; OCHOA, G. A.; FERNÁNDEZ, S.; CARRION, J. S. A trajetória do Grupo POLARQ (Palinologia Arqueológica, Paleoambiente e Paleoetnobotânica)/ UFPI em pesquisas arqueobotânicas no Nordeste do Brasil. In: I Simpósio Brasileiro de Arqueobotânica, 2022, Online. **I Simpósio Brasileiro de Arqueobotânica – Livro de Resumos**. Rio de Janeiro: Laboratório de Arqueobotânica e Paisagem, 2022. V. 1. P. 61-62.

FREITAS, A; NASCIMENTO, A.L.M.L.; CISNEROS, J. C.; RIBEIRO, M. A.; MARTINS, P. E. D.; VALLADARES, G.; MARQUES, R.; ALVARES NETO, M.; FARIAS FILHO, B. B.; CHAVES, S.A.M ; MUTZENBERG, D. S.; COE, H. H. G.; CHUENG, K.; CARRION, J. S.; FERNANDEZ, S.; GARCIA-ALIX, A. Apresentação do projeto de pesquisa: arqueologia e paleoambiente no município de Várzea Branca-PI. In: Simpósio Virtual de Paleontologia do Quaternário, 2020, Online. **Livro de Resumos do Simpósio Virtual de Paleontologia do Quaternário**, 2020. V. único. P. 27-27.

GALVÃO, D. C. **Evolução do paleoambiente e da paisagem quaternárias no Sudeste do Piauí**. 145 f. Tese (Doutorado em Arqueologia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

GARDIMAN, G. G. **Vereda III: Uma análise paleoetnobotânica**. Monografia (Graduação em Antropologia). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

GOMES, D.M.C. 2008. O Uso Social da Cerâmica de Parauá, Santarém, Baixo Amafases: uma análise funcional. **Arqueología Suramericana**, 4: 4-33.

GOUVEIA, S. E., PESSENDA, L. C., BENDASSOLI, J. A., ARAVENA, R., RIBEIRO, A. S., SAIA, S. E. M. G.; VEDOVETO, M. Reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) no Nordeste do Brasil através dos isótopos do carbono da matéria orgânica dos solos e fragmentos de carvão. In **X Congresso da Abequa**, Espírito Santo, 2005.

HILBERT, L.; NEVES, E. G.; PUGLIESE, F.; WHITNEY, B. S.; SHOCK, M.; VEASEY, E. A.; ZIMPEL, C. A.; IRIARTE, J. Evidence for mid-Holocene rice domestication in the Americas. **Nat Ecol Evol** 1, 1693–1698 (2017).

HILBERT, L.M.; ALVES, D.T.; NEVES, E.G.; IRIARTE, J. A glimpse into shell mound builders' diet during mid-to-late Holocene on Marajó island. **Vegetation History and Archaeobotany**. 2023.

HOGG, A.; Heaton, T.; HUA, Q.; PALMER, J.; TURNEY, C.; SOUTHON, J.; WACKER, L. SHCa20 Calibração do Hemisfério Sul, 0–55.000 anos cal BP. **Radiocarbono***, 62* (4), 759-778, 2020.

HOLLOWAY, R.G.; BRYANT, V.M. New Directions of Palynology iIn Ethnobotany. **Journal of Ethnobiology**, V. 6, N. 1, p. 47-65, 1986.

KALINOVSKI E.C.Z., PAROLIN M., SOUZA FILHO E.E. Esponjas de água doce na América do Sul: o estado da arte da produção científica no Brasil. **Terræ Didatica**, 12(1):4-18, 2016.

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

KOTZ, J.C. e TREICHEL Jr., P. **Chemistry & chemical reactivity**. Nova Iorque: Saunders College Publishing, 1999.

LEANDRINI, J. A., CAVALCANTI, A. V., & RODRIGUES, L. **Diatomáceas. abordagem ambiental interdisciplinar em bacias hidrográficas no estado do Paraná**. Editora da Fecilcam, Campo Mourão, 131-155, 2010.

LEMOS, J. R., & RODAL, M. J. N. Fitossociologia do componente lenhoso de um trecho da vegetação de caatinga no Parque Nacional Serra da Capivara, Piauí, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, *16*, 23-42, 2002.

LEPSCH, I. F. **19 lições de Pedologia**. São Paulo. Oficina de Textos, 2011.

LISTO, D. G. S.; BALDER, R. F. T. M.; CORRÊA, A. C. B.; RAMOS, D. A. M. C.; CALEGARI, M. R. Weathering pits as a geochronometer of environmental changes in the state of Pernambuco, northeastern Brazil. **Quaternary International**, 649, 58-71, 2023.

LOBO, E. A. Pollution tolerant diatoms from lotic systems in the Jacui Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. **Iheringia, Série Botânica** Porto Alegre, v. 47, p. 45-72, 1996.

LOBO, E. A.; TORGAN, L.C. Análise da estrutura da comunidade de diatomáceas (Bacillariophyceae) em duas estações do sistema Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, São Paulo, suplemento 1, p. 103-119, 1988.

LOBO, E. A.; CALLEGARO, V.L.M.; BENDER, P. **Utilização de algas diatomáceas epilíticas como indicadoras da qualidade da água em rios e arroios da Região Hidrográfica do Guaíba, RS, Brasil**. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2002. 127p.

MACARIO, K. D.; ALVES, E. Q. Efeito de reservatório marinho na costa do Brasil. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 9, n. 1, p. 11-17, 2018.

MACEDO, R. S.; TEIXEIRA, W. G.; CORRÊA, M. M.; MARTINS, G. C.; TORRADO, P. V. Pedogenetic processes in anthrosols with pretic horizon (amazonian dark earth) in Central Amazon, Brazil. **PLOS ONE** 12(5), 2017.

MACHADO, D. O. B. F. **Reconstituição Paleoambiental em baixos terraços fluviais no médio curso do Rio Grande (BA), por meio de Biomineralizações de sílica e Luminescência Opticamente Estimulada (LOE)**. 1 recurso online (214 p.) Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, SP, 2022.

MACHADO, D. O. B. F.; COE, H. H. G.; BANDEIRA, D.; SOUZA, R. C. C. L.; RASBOLD, G. G.; CHUENG, K. F.; DIAS, R. R.; FERREIRA, J.; VOSS, C. V.; VER, J. C. Palaeoenvironmental reconstruction through phytolith analysis in the Casa de Pedra shell mound archaeological site, São Francisco do Sul, Santa Catarina, Brazil. **Vegetation History and Archaeobotany**, p. 1-13, 2022.

MADELLA, M. **Physiology of silica deposition**. Curso ministrado no 7th International Meeting on Phytolith Research, Mar del Plata, 2008.

MADELLA, M.; ALEXANDRE, A.; BALL, T. International code for phytolith nomenclature 1.0. **Annals of Botany**, v. 96, p. 253 – 260, 2005.

MBIDA, M, C.; DOUTRELEPONT, H.; VRYDAGHS, L.; SWENNEN, R. L.; SWENNEN, R. J.; BEECKMAN, H.; LANGHE, E.; DE MARET, P. First archaeological evidence of banana cultivation in central Africa during the third millennium before present. **Vegetation History and Archaeobotany**, v. 10, p. 1-6, 2001.

MCMICHAEL, C. H.; PIPERNO, D.; NEVES, E. G.; BUSH, M. B.; ALMEIDA, F. O.; MONGELÓ, G.; EYJOLFSDOTTIR, M. B. Assembleias Fitolíticas ao longo de um gradiente de distúrbios humanos antigos na Amazônia Ocidental. **Frente Ecol. Evol**. 3, 2015.

MEDEIROS, V. B. **Microfósseis em depósitos quaternários de megafauna no Nordeste do Brasil e seu significado paleoambiental**. Tese (Doutorado em Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

MOTA, L. A. D. **Paleoambiente e arqueologia no nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Tomar – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2012.

MOTOMURA, H.; FUJII, T.; SUSUKI, M. Silica deposition in relation to ageing of leaf tissues in Sasa veichii (Carriere) Rehder (Poaceae, Bambusoideae). **Annals of Botany**, v. 93, p. 235–248, 2004.

NASCIMENTO, L. R. D. S. L.; OLIVEIRA, P. E.; BARRETO, A. M. F. Reconstrução paleoambiental holocênica da Caatinga, região do Parque Nacional do Catimbau, nordeste do Brasil. **Resúmenes**, 188, 2009.

NEUMANN, K., STROMBERG, C.A.E., BALL, T., ALNBERT, R.M., VYDAGHS, L., CUMMINGS, L.S. International code for phytolith nomenclature 2.0. **Ann. Bot.** 124, 189–1, 2019.

ORTEGA, D. D. **Microvestígios botânicos em artefatos líticos do sítio Lapa do Santo (Lagoa Santa, Minas Gerais)**. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo (USP). Museu de Arqueologia e Etnologia (MAE) São Paulo, 2019.

PAISANI, S. D. L., PAISANI, J. C., OSTERRIETH, M. L., PONTELLI, M. E. Significado Paleoambiental de Fitólitos em Registro Pedoestratigráfico de Paleocabeceira de Drenagem – Superfície de Palmas – Água Doce (Sul do Brasil). São Paulo, UNESP, **Geociências** 35 (3): 429-445, 2016.

PATTERSON, W.A.; EDWARDS, K.J.; MAGUIRE, D.J. (1987). Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire. **Quaternary Science Reviews** 6, 3 –23.

PEARSALL, D. M.; TRIMBLE, M. K. Identifying past agricultural activity through soil phytolith analysis: a case study from the Hawaiian Islands. **Journal of Archaeological Science**, V. 11, N. 2, P. 119-133, 1984.

PEREIRA, G. L. **Ocupação pré-histórica do litoral norte gaúcho: um olhar sobre o invisível**. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre. PUC do Rio Grande do Sul, 2013.

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

PIAUÍ. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Banco de dados pluviométricos do Estado do Piauí**, 2019.

PIMENTEL, V. M. P; ARAÚJO, J. C. S. V.; LUSTOSA, N. G. A.; MELO, L. F. S. Representatividade do bioma caatinga nas unidades de conservação do estado do Piauí. **VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. Porto Alegre/RS, 2015.

PIPERNO, D. R.; McMICHAEL, C. N. H.; BUSH, M. B. Finding forest management in prehistoric Amazonia. **Anthopocene**., [S. l.], v. 26, p. 1-14, 2019.

PIPERNO, D. R. **Phytoliths: a comprehensive guide for archaelogists and paleoecologists**. New York: Altamira press, 2006.

PIPERNO, D. R., & PEARSALL, D. M. Os corpos de sílica de gramíneas tropicais americanas: morfologia, taxonomia e implicações para a sistemática de gramíneas e identificação de fitólitos fósseis. **Contribuições Smithsonianas para a botânica**, 1998.

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** 45:202-209, 1996.

PIPERNO, D. R. Phytolith analysis and tropical paleoecology: Production and taxonomic significance of siliceous forms in new world plant domesticates and wild species. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 45, n.3-4, p. 185-228, 1985.

PROUS, A. **Arqueologia brasileira**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1991.

PROUS, A.; LIMA, T. A. (org.) **Os Ceramistas Tupiguarani** – Volume I: **Sínteses Regionais**. Belo Horizonte: Sigma, 2008.

RAMOS, D. A. M. C. **Contribuição da análise de fitólitos para a reconstrução paleoambiental na Lagoa do Uri, semiárido de Pernambuco**. 2019. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

REGO, L. F.; VALLADARES, G. S.; AQUINO, R. P.; COELHO, R. M.; COELHO, M. F. C.; CABRAL, L. J. R. S. Teor de Carbono Orgânico nos Horizontes Superficiais de Solos do Sertão Central do Ceará. **XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Santa Catarina, 2013.

RICARDO, S. D. F. **Caracterização de fitólitos de plantas e solos superficiais da Caatinga na Depressão Sertaneja Setentrional**. Monografia (Licenciatura em Ciências Biológicas) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Formação de Professores. 131f., 2016.

RODRIGUES, A. C. N. & DE TOLEDO, M. B. Distribuição de microcarvões em sedimentos da laguna de Maricá e Itaipuaçu como registro de queimadas em seu entorno. **Anais do XII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**: 139-148, 2009.

ROSEN, A. M.; WEINER, S. Identifying ancient irrigation: a new method using opaline phytoliths from emmer wheat. Journal of archaeological **Science**, v. 21, n. 1, p. 125-132, 1994.

ROUND, F.E. Diatoms in river water-monitoring studies. **Journal of Applied Phycology**, Washinghton, D.C., v. 3, p. 129-145, 1991.

RUNGE, F. The opal phytolith inventory of soils in central Africa —quantities, shapes, classification, and spectra. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v.107, n.1-2, p.23-53, 1999.

SANTOS, G. B.; CASTRO, P. T. A.; PAROLIN, M.; DOCIO, L.; COSTA, D. H. Análise de espículas de esponjas como indicadores paleoambientais em sedimentos lacustres no oeste da Bahia. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 19, p. 439-448, 2017.

SCHEEL-YBERT, R. Considerações sobre o método de datação pelo carbono-14 e alguns comentários sobre a datação de sambaquis. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, n. 9, p. 297-301, 1999.

SCHEEL-YBERT, R.; CAROMANO, C.; CASCON, L.; BIANCHINI, G; BEAUCLAIR, M. Estudos de paleoetnobotânica, paleoambiente e paisagem na Amazônia Central e o exemplo do sudeste-sul do Brasil. In: Edithe Pereira & Vera Guapindaia (eds.) **Arqueologia Amazônica**. Vol. 2. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi. pp. 909-935, 2010.

SCURFIELD, G.; ANDERSON, C. A.; SEGNIT, E. R. Silica in wood stems. **Aust. J. Bot**., v.22, p.211-229, 1978

SEIXAS, A. P.; COE, H. H. G.; SILVA, A. L. C.; LEPSCH, I.F.; PAROLIN, M.; MACARIO, K. D. Reconstituição das Condições Paleoambientais relacionadas à Ocorrência de Linhas de Pedra em Latossolo no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (RJ). **Revista da ANPEGE**, v.15, p.29 – 53, 2019.

SHILLITO, L. M. Grains of truth or transparent blindfolds? A review of current debates in archaeological phytolith analysis. **Vegetation History and Archaeobotany**, 22(1), 71-82, 2013.

SHILLITO, L-M. Simultaneous thin section and phytolith observations of finely stratifie d deposits from Neolithic, Turkey: implications for paleoeconomy and Early Holocene paleoenvironment. **J Quat Sci** 26:576–588, 2011.

SHOCK, M. P.; MORAES, C. DE P. A floresta é o domus: a importância das evidências arqueobotânicas e arqueológicas das ocupações humanas amazônicas na transição Pleistoceno/Holoceno. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 14, n. 2, p. 263–289, 2019.

SILVA, R. R. **Fitólitos em depósitos de colúvio do Quaternário Superior na face nordeste da Bacia Sedimentar do Araripe/CE: significado paleoambiental**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

SOUSA, D. V.; KER, J. C.; PROUS, A.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L.M.; TEIXEIRA, W. G.. Pedoarqueologia em ambiente carstico, sítio arqueológico Samambaia, região de Lagoa Santa, Minas Gerais, Brasil. In: XX Congreso Latinoamericano y XVI Congreso Peruano de la Ciencia del Suelo, 2014, Cuzco. **XX Congreso Latinoamericano y XVI Congreso Peruano de la Ciencia del Suelo**, 2014. V. 1. P. 1-7.

SOUZA, T.; CHUENG, K.; RIZZI, C. A. Paleoambiente do sudeste paulista: contribuições do refúgio Itapeva para uma discussão sobre inserção antrópica e natural. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, [S. l.], n. 39, p. 260-279, 2022.

STEVENSON, R.J. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habitats. In: STEVENSON, R.J; BOTHWELL, M.L; LOWE, R.L. (Ed.). **Algal ecology: freshwater benthic ecosystems**. San Diego: Academic Press. Section one: Patterns of benthic algae in aquatic ecosystems, cap. 1, p. 3-30, 1996

STRÖMBERG, C. A. E. The origin and spread of grass-dominated ecosystems in the late Tertiary of North America: 115iddle115on115 results concerning the 115iddle115on of hypsodonty. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** 177, 59-75, 2002.

TAVARES, B. A. C. **Evolução morfotectônica dos pedimentos embutidos no planalto da Borborema, Nordeste do Brasil**. 251 f. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2015.

TAVARES, H. L. **Estudo geoarqueológico da formação das terras pretas e da paisagem no sítio arqueológico Terra Preta do Mangabal, região do alto rio Tapajós**. 2022. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) – Museu de Arqueologia e Etnologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

TEIXEIRA, W. G**. Terra Preta de Índio: fatos e mitos dos solos antrópicos da Amazônia,** disponível em https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/186295/1/Teixeira-2008-Terra-Preta-Fatos-e-mitos.pdf, acesso 22/04/2024.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo / editores técnicos**. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TEIXEIRA-SANTOS, I. **Alimentação de grupos humanos pré-históricos do sítio arqueológico Furna do Estrago, Pernambuco – Brasil**. Tese (Doutorado). 2014 – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro.

TROMBOLD, C. D.; ISRADE-ALCANTARA, I. Paleoenvironment and plant cultivation on terraces at La Quemada, Zacatecas, Mexico: the pollen, phytolith and diatom evidence. **Journal of Archaeological Science**, v. 32, n. 3, p. 341-353, 2005.

TROUFLLARD, J.; ALVES, D. T. Uma abordagem interdisciplinar do sítio arqueológico Cedro, baixo Amafases. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, Belém, v. 14, n. 2, p. 553-580, maio-ago. 2019.

UTIDA, G. **Variações paleoambientais e paleoclimáticas durante o Holoceno no Rio Grande do Norte a partir do estudo de registros**

geoquímicos de sedimentos de lagos e cavernas. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2016.

VILLWOCK, F. H. **Identificação da paleovegetação associada as áreas de cerrado na mesorregião centro oriental paranaense**. 2018. 70 f. Dissertação (mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018.

VILLWOCK, F. H.; PAROLIN, M.; PARELLADA, C. I. O que Fitólitos, Espículas de Esponjas e Conchas nos "contam" sobre o passado do Sambaqui da Foz do Rio Poruquara, Guaraqueçaba, Paraná. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 24, n. 94, p. 99–117, 2023.

VOLKMER-RIBEIRO, C.; PAROLIN, M. As esponjas. In: PAROLIN, M., VOLKMER-RIBEIRO, C., LEANDRINI, J. A. (Orgs.). **Abordagem ambiental interdisciplinar em bacias hidrográficas no Estado do Paraná**. Campo Mourão: Editora da Fecilcam, p. 105-130, 2010.

VOLKMER-RIBEIRO, C; PAULS, S.M. Esponjas de agua Dulce (Porifera Demospongiae) de Venezuela. **Acta Biologica Venezuelica**, v. 20, n. 1, p. 1-28, 2000.

VRYDAGHS, L.; DOUTRELEPONT, H. Analyses phytolithariennes: acquis et perspectives. In: (EDITORS), S. S.-V. M. S. (Ed.). **Dynamiques à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux**. Paris: UNESCO, 2000.

WATLING, J.; SAUNALUOMA, S.; PÄRSSINEN, M.; SCHAAN, D. Subsistence practices among earthwork builders: Phytolith evidence from archaeological sites in the southwest Amazonian interfluves. **Journal of Archeological Science: Reports**, v. 4, p. 541-551, 2015.

WATLING, J. **Human-environment interactions at the Teotônio site, Upper Madeira basin, Amazonia.** Scientific Report detailing post-doctoral research conducted between. FAPESP. São Paulo: MAE/USP, 2016.

WATLING, J.; IRIARTE, J.; MAYLE, F. E.; SCHAAN, D.; PESSENDA, L. C.; LOADER, N. J.; STREET-PERROTT, F.A.; DICKAU, R.E.; DAMASCENO, A.; RANZI, A. Impact of pre-Columbian "geoglyph" builders on Amazonian forests. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 114(8), 1868–1873, 2017.

WATLING, J.; SHOCK, M. P.; MONGELÓ, G. Z.; ALMEIDA, F. O.; KATER, T.; OLIVEIRA, P. E.; NEVES, E. G. Direct archaeological evidence for Southwestern Amazonia as ver early plant domestication and food production centre. **PLOS ONE**, v. 13, p. e0199868, 2018.

WATLING, J.; ALMEIDA, F. O.; KATER, T.; ZUSE, S.; SHOCK, M. P.; MONGELÓ, G. Z.; BESPALEZ, E.; SANTI, J.; NEVES, E. G. Arqueobotânica das ocupações ceramistas na Cachoeira do Teotônio. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 15, p. e20190075, 2020.

WEBB, E.A.; LONGSTAFFE, F.J. The oxygen isotopic compositions of silica phytoliths and plant water in grasses: implications for the study of

paleoclimate. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.64, n.5, p.767-780, 2000.

WELLE, B.J.H. On the occurence of silica grains in the secondary xylem of the Chrysobalanaceae. **Iawa Bull**., v.2, p.19-29, 1976.

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. **Ver. Mus. Arq. Etn**., 17:191-210, 2007.

WHITLOCK, C.; LARSEN, C. Charcoal as a fire proxy. **Tracking environmental change using lake sediments: terrestrial, algal, and siliceous indicators**, p. 75-97, 2001.

ZHAO, Z., PIPERNO, D. R. Late Pleistocene/Holocene environments in the 117iddle Yangtze Valley, China and rice (*Oryza sativa* L.) domestication: the phytolith evidence. **Geoarchaeology** 15(2): 203-222, 2000.