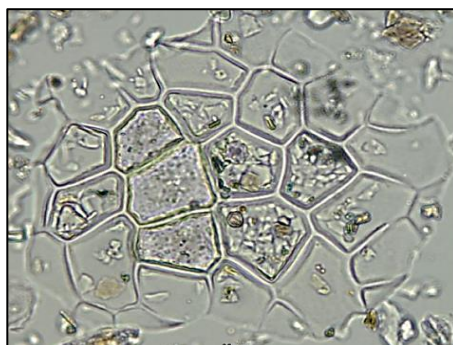
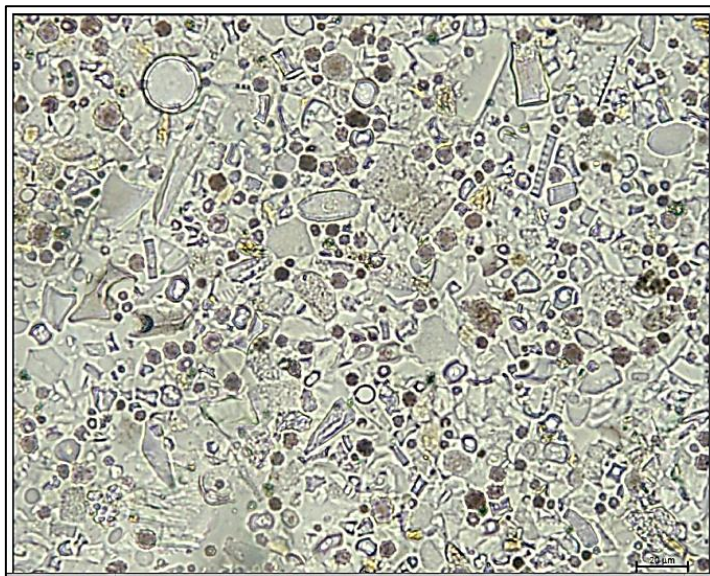
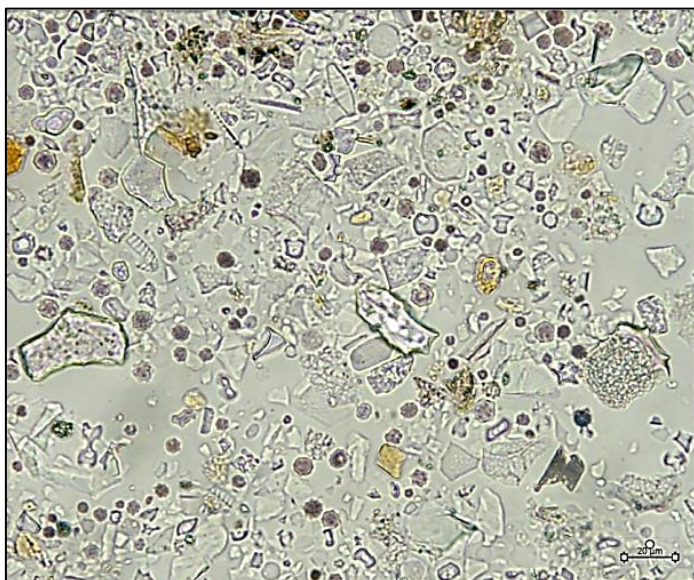




UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA – UFPB
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA – CCEN
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS - DGEOC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGG
TESE DE DOUTORADO



**ESTUDO PALEOAMBIENTAL EM ENCLAVES ÚMIDOS E
SUBÚMIDOS DO CARIRI PARAIBANO**

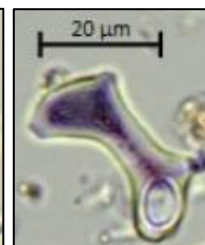
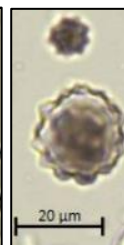


Christianne Farais da Fonseca

Orientador: Bartolomeu Israel de Souza

Coorientadores: José João Lelis L. Souza

Marcia Regina Calegari



Imagens de fitólitos de assembleia fóssil – solos do Cariri Paraibano

João Pessoa (PB), agosto 2023



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA – UFPB
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA – CCEN
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS - DGEOC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGG
TESE DE DOUTORADO**

CHRISTIANNE FARIAS DA FONSECA

ESTUDO PALEOAMBIENTAL EM ENCLAVES ÚMIDOS E SUBÚMIDOS DO CARIRI PARAIBANO

Tese elaborada junto ao Programa de Pós-graduação em Geografia – Território, Trabalho e Ambiente, com ênfase na Gestão do Território e Análise Geoambiental, como requisito para a conclusão do curso de doutorado em Geografia. – UFPB.

João Pessoa (PB), agosto 2023

Catálogo na publicação
Seção de catalogação e Classificação

F676e Fonseca, Christianne Farias da.

Estudo paleoambiental em enclaves úmidos e subúmidos
do Cariri Paraibano / Christianne Farias da Fonseca. -
João Pessoa, 2023.
208 f. : il.

Orientação: Bartolomeu Israel de Souza.

Coorientação: José João Lelis Leal de Souza, Marcia
Regina Calegari.

Tese (Doutorado) - UFPB/CCEN.

1. Pesquisa do solo - Paleoambientes. 2. Semiárido.
3. Caatinga. 4. Fitólito. 5. Lajedos - Borborema. I.
Souza, Bartolomeu Israel de. II. Souza, José João Lelis
Leal de. III. Calegari, Marcia Regina. IV. Título.

UFPB/BC

CDU 631.4(043)

Elaborado por Walqueline da Silva Araújo - CRB-15/514



Universidade Federal da Paraíba - UFPB
Centro de Ciências Exatas e da Natureza - CCEN
Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGG

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DA DEFESA DE TESE DE
DOUTORADO DA ALUNA CHRISTIANNE FARIAS DA
FONSECA, CANDIDATA AO TÍTULO DE DOUTORA EM
GEOGRAFIA, NA ÁREA DE TERRITÓRIO, TRABALHO E
AMBIENTE.

Aos 30 (trinta) dias do mês de agosto de 2023 (dois mil e vinte e três), às 14h00 (quatorze horas), no auditório do PPGG/CCEN, reuniram-se, em caráter de solenidade pública, os membros da comissão designada para avaliar **Christiannne Farias da Fonseca**, candidata ao grau de doutora em Geografia, na área de **Território, Trabalho e Ambiente**. Foram componentes da banca examinadora os professores **Bartolomeu Israel de Souza** (orientador) – Doutor em Geografia; **Eduardo Rodrigues Viana de Lima** (examinador interno) – Doutor em Geografia; **Jonas Otaviano Praça de Souza** (examinador interno) – Doutor em Geografia; **Lucas Costa de Souza Cavalcanti** (examinador externo) – Doutor em Geografia; **Maria Daniely Freire Guerra** (examinadora externa) – Doutora em Geografia. Em sendo o primeiro, o segundo, e o terceiro integrantes do corpo docente da UFPB, o quarto do corpo docente da UFPE, e o quinto integrante do corpo docente da URCA. Dando início aos trabalhos, o Presidente da banca, Prof. Bartolomeu Israel de Souza, após declarar os objetivos da reunião, apresentou a candidata **Christiannne Farias da Fonseca**, a quem concedeu a palavra para que defendesse, oral e sucintamente sobre o tema apresentado, intitulado: **“ESTUDO PALEOAMBIENTAL EM ENCLAVES ÚMIDOS E SUBÚMIDOS DO CARIRI PARAIBANO”**. Após discorrer sobre o referido tema, a candidata foi arguida pelos examinadores, na forma regimental. Ato contínuo, passou a comissão, em caráter secreto, a proceder à avaliação e julgamento do trabalho, concluindo por atribuir-lhe o conceito **Aprovada**. Face à aprovação, declarou o Presidente achar-se a avaliada legalmente habilitada a receber o Grau de doutora em Geografia, cabendo à Universidade Federal da Paraíba, providências, como de direito, à expedição do Diploma a que a mesma fez jus. Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a Ata, que segue assinada e aprovada pela Comissão Examinadora.

Prof. Dr. Bartolomeu Israel de Souza
Orientador (UFPB)



Documento assinado digitalmente
BARTOLOMEU ISRAEL DE SOUZA
Data: 31/08/2023 19:56:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana
Examinador interno (UFPB)



Documento assinado digitalmente
EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA
Data: 31/08/2023 19:48:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jonas Otaviano Praça de Souza
Examinador interno (UFPB)



Documento assinado digitalmente
JONAS OTAVIANO PRACA DE SOUZA
Data: 31/08/2023 14:59:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Lucas Costa de Souza Cavalcanti
Examinador externo (UFPE)



Documento assinado digitalmente
LUCAS COSTA DE SOUZA CAVALCANTI
Data: 31/08/2023 09:31:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Maria Daniely Freire Guerra
Examinador externo (URCA)



Documento assinado digitalmente
MARIA DANIELY FREIRE GUERRA
Data: 30/08/2023 19:14:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

“Aprender a começar e a recomeçar. Não há folhagem antes da semente, nem fruto, antes das flores!” – Mariano José Pereira da Fonseca

“O período de maior ganho em conhecimento e experiência é o período mais difícil da vida de alguém” – Dalai Lama

In memoriam de meu querido e amado Irmão, Cecivaldo Farias da Fonseca (16.06.76 – 02.04.2017). Lembro que você acompanhava meu desempenho nos estudos e me incentivava. Você segue vivo em nós.

Agradecimentos

Ao Professor Bartolomeu I. Souza, agradeço sinceramente pela oportunidade concedida ao ser acolhida pelo LAESA – Laboratório de Estudos do Semiárido (UFPB), com muito respeito, carinho, cumplicidade e parceria. Desde o início, senti receios e repetia para mim mesma: "preciso estudar mais", e essa busca constante pelo conhecimento continua. Afinal, o aprendizado é infinito, e na área da biogeografia, pretendo aprofundar meus estudos. Bartolomeu é chamado por muitos de Pai Bartô, ele é justo, respeitoso, apaziguador e muito humano.

Ao Professor Liovando Marciano da Costa: aguardei ansiosamente por conhecê-lo, pensando: "O que direi a esse pesquisador tão importante?" No entanto, ao bater à porta de seu gabinete, uma das primeiras frases que ouvi foi: "Como vai a família Felizmente, minha estadia em Viçosa - MG se prolongou, e pude ouvir várias outras expressões acolhedoras, como: "Vamos tomar um café, Menina!" e "*Você precisa de BHC – Bunda Hora Cadeira*"; além de ensinamentos valiosos, como: "*Um projeto é um documento de intenções*". "*E na pesquisa, nós temos o planejado, o ideal e o possível*". É admirável sua inteligência acadêmica e emocional, que considero hoje como um Pai para mim, com muito respeito e carinho. Professor, eu apenas consegui fazer o possível, porém com muita gratidão por tudo que me foi oferecido, por todas as experiências vividas, pelos desafios enfrentados e, principalmente, pelo apoio e confiança depositados em mim. Apesar dos obstáculos, cresci como pessoa, como pesquisadora e como ser humano.

À Professora Marcia R. Calegari: Ela me abraçou! Seu apoio e encorajamento foram fundamentais para mim. A estória do pintinho e da casca do ovo, compartilhada por sua mãe, Dona Aparecida, permanecerá gravada em minha memória – "*Ele precisa desse processo individual e talvez dolorido para fortalecer o bico, quebrar a casca e assim se desenvolver, se defender e crescer*". Essa narrativa ilustra vividamente a natureza única e pessoal de nossas jornadas. Nossas ações, mais do que nossas palavras, revelam quem somos. Com maestria, a Professora Marcia me instruiu em técnicas para estudos paleoambientais, ao mesmo tempo em que enfatizou a importância dos laços familiares e da amizade em nossa trajetória. Sou profundamente grata por tudo que aprendi com a Senhora.

Ao Professor José João Lelis Leal de Souza (JJ), que estabeleceu a conexão entre a UFPB e a Universidade Federal de Viçosa - UFV, a Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" -Universidade de São Paulo - Esalq/USP e a Universidade Estadual do Oeste do

Paraná - Unioeste, permitindo o acesso aos laboratórios e equipamentos necessários para a condução desta pesquisa. Sob sua orientação, adquiri conhecimentos valiosos sobre os solos do semiárido nordestino e ganhei experiência prática em laboratório. Ele também me ensinou a amar a cultura mineira e suas iguarias, como o torresmo, o pão de queijo e o doce de leite mais premiado do Brasil: o Viçosa, é uai!

Aos Professores Rubens Queiroz (UFPB) e Rafael Xavier (UEPB), bem como aos amigos doutores Débora Coelho (UFCG) e Marcondes Oliveira, sou grata pelo apoio nas discussões sobre ecologia e botânica das plantas da área de estudo, bem como durante o trabalho de campo.

Agradeço também aos Professores Rafael Bragança, Igor de Assis, Samuel Valadares e Maurício Fontes pelo acesso aos equipamentos e à infraestrutura dos laboratórios do Departamento de Solos (DPS) da UFV.

Ao Professor João Ker sempre me perguntando como eu estava e sendo receptivo comigo. Ele ganhava um pedacinho de bolo de rolo e dizia: “*vou comer logo agora, Menina!*”. Fui até apresentada com o livro: *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. O Senhor não sabe o quanto eu me sentia feliz e importante de estar ali, com pessoas tão admiráveis.

Aos Técnicos e funcionários do DPS: Adriana Gomes, Claudio Brustolini, Evandro (Física do Solo); Marcus Barros, Seu Paulo (Fertilidade do Solo); Seu Jorge Orlando, Ramon Prata e Josemar Barros (Geoquímica do Solo); José Maurício Lino (Mineralogia); Júlio Mesquita (Almoxarifado); João Milagres, Humberto Rosado (Isótopos Estáveis); Geovani, Seu Írio Fernando (Rotina do Solo); Adriana Mendonça e Carlos (ICP); Dona Lúcia Santos, Carina Antonellie; Alcione Pires, Nayan Andrade (Secretaria geral e pós-graduação).

Ao LEDA – Laboratório de Estudos da Dinâmica Ambiental – Unioeste, bem como aos Professores e Amigos que me receberam com hospitalidade: Elaine Muniz e Yolanda Lopes, Carlos Eduardo das Neves, Ericson Hayakawa; Oscar Fernandez; Vanda Martins; Mateus Pires. Expresso minha gratidão também aos funcionários do laboratório, sempre prestativos e simpáticos: Aline do setor de protocolo, Dona Maria, Dona Suely, Seu Olívio, Seu João e Altemar.

Aos companheiros de jornada da pós-graduação em Marechal Cândido Rondon/PR: ao amigo Altair Bennert pelas conversas, conselhos e apoio na elaboração dos mapas desta pesquisa. Descobri um grande amigo num Cara tão sério e dedicado; à Thairís Santos pelas discussões sobre fitólitos, pela companhia no LEDA e nos almoços improvisados de domingo;

à Bruna Botin pelo dicas na interpretação dos fitólitos e nos nossos estudos no Laboratório até de madrugada; à Carolina G. Benincá – Carol rim, rim, rim, Carol rim rim rá... inteligentíssima, gentil, honesta e discreta, além de ser uma grande amiga; ao Gustavo Schacht pela interação durante sua breve passagem pelo LEDA e a descontração que trouxe – “*Meu Deus, meu Senhor, nos ajuda, por favor!*”; ao Jonathan Mozer e à Amanda Dias pela parceria nos estudos sobre reconstituição paleoambiental.

À Ailson Marques que conheci em 2018 na disciplina de Marcia Calegari e nos tornamos amigos, discutimos questões acadêmicas e sobre a vida, somos apoio um do outro. Ressalto também a convivência com Thamyres Sabrina Gonçalves, Naelmo Oliveira, Eduardo C. Silva Neto, Maria Daniely Freire Guerra e Maiara Bezerra Ramos.

À Valéria Ramos, de personalidade forte, objetiva e muito prática, me ensinou e acompanhou nas primeiras análises de solos no laboratório de geoquímica – DPS/UFV com muita segurança e bondade. Cearense que é, representava o meu elo com o Nordeste. Valéria é batalhadora, inteligente e muito honesta. Agradeço imensamente por ter me recebido tão bem, minha amiga.

Aos amigos muito queridos que Viçosa/MG e a UFV me proporcionaram: Amanda Martins, Ana Paula Altoé, André Miranda, Arthur Stefanelli, Davi do Vale, Demetrio Lama, Expedito Cavalcante, Fernanda Valente, Francis Henrique, Gaston Rochebois, Geleandro S. Silva, Iorrana Sacramento, Raissa, Renan, Weldon, Ricardo Miranda e Saulo Barroso. Vocês foram minha família em Viçosa/MG. Lá, desenvolvi sentimentos de irmã, de mãe, de filha e de amiga, onde fui acolhida com muito apreço.

À Priscila Angonesi, minha vizinha de Viçosa/MG, por um tempo fomos três piscianos numa casa: Davi, seu filho, que faz aniversário no dia de São José, 19 de março, um dia antes de mim. Muito representativo para um sertanejo. E as companheiras felinas: Ninika (a brabinha) e Ninidrina (a manhosa).

Aos companheiros de jornada do grupo de pesquisa LAESA e das atividades de campo/coletas: Inocêncio Oliveira, Joseilson Araújo, Stephanie Lima, Helder Oliveira e Eini Moraes, expresse meu sincero agradecimento pelo apoio contínuo. Aos amigos da turma de doutorado em Geografia, Janaína Oliveira – a mineira mais nordestina que já vi, José Marcos Rodrigues, Leandro Félix e Andreia Medeiros, agradeço pelas conversas construtivas e pelas reflexões acadêmicas e pessoais compartilhadas.

Às minhas amigas de infância: Érica e Elicássia Lira, Liliane Estevão, e às amigas que conquistei lecionando no ensino básico em Recife, Daniela Bruto, Verônica Cabral, Michelle e Polly, expresso meu profundo agradecimento. Aos meus eternos amigos da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE: Cacau, Débora Virgínia, Keilha Silveira, Priscila Batista, Felipe Maciel, Lucas e Nayane Cavalcanti, Bruno Tavares e Larissa Rafael me acompanharam e apoiaram ao longo da jornada acadêmica. Aos amigos do Herbário UFP, em especial à Professora Marlene Barbosa, Kátia Pôrto, Cybelle Brito, Diane Ribeiro, Djanira Alencar, João Amazonas, Juliana Cavalcanti, Lucineia Avelino e Lucas Costa, agradeço a colaboração e troca de conhecimentos.

Aos companheiros de jornada do IFSERTÃO/PE, Clécia Pacheco, Taty Keyty, Jaderlany, Aziel Arruda e Andrea Santos, meu sincero reconhecimento pela jornada compartilhada. Aos meus familiares, ex-alunos e demais amigos que torceram por mim e me enviaram energias positivas para a conclusão deste trabalho, expresso minha mais profunda gratidão.

Sim, existe vida fora da academia e eu quero levar os ensinamentos de todos vocês para minha VIDA!

E ao Divino, às energias da natureza, GRATIDÃO, abraços fraternos e obrigada a todos!

ESTUDO PALEOAMBIENTAL EM ENCLAVES ÚMIDOS E SUBÚMIDOS DO CARIRI PARAIBANO

Resumo

Os estudos de reconstituição paleoambiental contribuem para a compreender a trajetória de cenários relacionados à evolução da vegetação, do solo e dos demais elementos que compõem a paisagem. As técnicas para conhecer paleoambientes são diversas, sendo as mais utilizadas, a datação por ^{14}C e por Luminescência Opticamente Estimulada - LOE, análises isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$), palinológica e de biomineralizações de sílica (fitólitos, diatomácea, esponjas) preservados em sedimentos e solos. Elas ajudam a compreender a evolução da paisagem, dos processos pedogenéticos e arqueológicas em diferentes escalas temporais e espaciais. A Caatinga, é um bioma que possui inúmeros mosaicos de paisagens e abriga uma rica biodiversidade, de grande importância geoambiental, ecoturística, econômica e cultural. Além disso, apresenta maciços cristalinos conhecidos como lajedos e serras que formam enclaves úmidos em meio à Caatinga típica. Apesar dos avanços recentes, o conhecimento sobre o referido bioma, ainda é incipiente, especialmente em relação aos solos e a vegetação da região da Borborema. Este trabalho se propõe a investigar a evolução ambiental nos enclaves úmidos e subúmidos do Cariri Paraibano, para isto, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre estudos de reconstituição paleoambiental no Brasil, que evidenciou a escassez desse tipo de pesquisas na região Nordeste. Trabalhos de campo foram realizadas para coleta de solos, em área de influência da Província da Borborema, no Cariri Oriental e na porção Centro-Occidental para fins de caracterização dos solos e reconstituição paleoambiental. Foram realizadas análises de rotina do solo e análises isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$), datação ^{14}C e análise de fitólitos para reconstituir as condições paleoambientais holocênicas. Os resultados obtidos demonstram que a presença/ausência de outras biomineralizações de sílica, como diatomácea, espículas de esponjas e gemoscleras contribuíram para explicar os momentos ambientais, inclusive, para inferir momentos de maior/menor umidade no Holoceno; a ocorrência de fitólitos com tafonomia âmbar, queimados, submetidos a altas temperaturas, associados a táxons utilizados como fonte alimentar e a presença de pinturas rupestres, sítios arqueológicos sinalizam ocupação humana antiga no Lajedo Salambaia e na Serra da Paula, no Holoceno Inferior (8.199 anos AP) e no H. Médio (3.498 anos AP), respectivamente; além disso, os pedobioindicadores analisados revelaram períodos de ressecamento e umedecimento em todos os perfis desde o Holoceno Inferior até os dias atuais. Diante destas informações foi possível aplicar a hipótese de corredores de troca biótica entre diferentes floras nas áreas do P2, P3, P4 e P7, localizados na encosta e sopé do cristalino, sendo o P2 e o P4 classificados com base na WRB/FAO como *Umbrisols*, ricos em carbono orgânico, acredita-se que climas mais úmidos e frios que o atual ocasionaram a formação desses solos. Sobre os Vertissolos, embora possuam pH entre 6 – 9 foram eficientes para a preservação dos fitólitos. Os sinais de quebra e corrosão nos fitólitos desses solos refletem a posição na paisagem em fundo de vale e a sazonalidade de umidade que acaba por, de certa forma, minimizar o ataque químico aos morfotipos, preservando os fitólitos, visto que o sódio não estará dissolvido e disponível para a corrosão ocorrer. Os resultados obtidos nesta pesquisa indicam que os fitólitos são bons bioindicadores e se preservam bem nos solos estudados podendo ser aplicados em novos estudos paleoambientais no semiárido nordestino para um melhor entendimento da dinâmica e evolução da paisagem local, uma vez que, diferentes fatores físicos influenciam na configuração do Ecossistema Caatinga, sendo um mosaico vegetacional de importância socioeconômica e histórica.

Palavras - chave: Paleoambientes; Semiárido; Caatinga; Fitólito; Lajedos; Borborema.

PALEOENVIRONMENTAL STUDY IN HUMID AND SUB-HUMID ENCLAVES OF CARIRI PARAIBANO

Summary

Paleoenvironmental reconstruction studies contribute to understanding the trajectory of scenarios related to the evolution of vegetation, soil and other elements that make up the landscape. The techniques for understanding paleoenvironments are diverse, the most used being ^{14}C and Optically Stimulated Luminescence - LOE dating, isotopic analyzes ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$), palynological and silica biomineralizations (phytoliths, diatoms, sponges) preserved in sediments and soils. They help to understand the evolution of the landscape, pedogenetic and archaeological processes at different temporal and spatial scales. The Caatinga is a biome that has countless mosaics of landscapes and is home to rich biodiversity, of great geoenvironmental, ecotouristic, economic and cultural importance. Furthermore, it presents crystalline masses known as slabs and mountains that form humid enclaves in the middle of the typical Caatinga. Despite recent advances, knowledge about this biome is still incipient, especially in relation to the soils and vegetation of the Borborema region. This work aims to investigate environmental evolution in the humid and sub-humid enclaves of Cariri Paraibano. For this purpose, a bibliographical survey was carried out on paleoenvironmental reconstruction studies in Brazil, which highlighted the scarcity of this type of research in the Northeast region. Field work was carried out to collect soil, in the area of influence of the Province of Borborema, in Cariri Oriental and in the Central-Western portion for the purpose of soil characterization and paleoenvironmental reconstitution. Routine soil analyzes and isotopic analyzes ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$), ^{14}C dating and phytolith analysis were carried out to reconstruct Holocene paleoenvironmental conditions. The results obtained demonstrate that the presence/absence of other silica biomineralizations, such as diatoms, sponge spicules and gemosclera contributed to explaining environmental moments, including to infer moments of greater/lower humidity in the Holocene; the occurrence of phytoliths with amber taphonomy, burned, subjected to high temperatures, associated with taxa used as a food source and the presence of cave paintings, archaeological sites indicate ancient human occupation in Lajedo Salambaia and Serra da Paula, in the Early Holocene (8,199 years BP) and in the Middle H. (3,498 years BP), respectively; Furthermore, the pedobioindicators analyzed revealed periods of drying and moistening in all profiles from the Early Holocene to the present day. Given this information, it was possible to apply the hypothesis of biotic exchange corridors between different floras in the areas of P2, P3, P4 and P7, located on the slope and foot of the crystalline, with P2 and P4 classified based on the WRB/FAO as Umbrisols, rich in organic carbon, it is believed that wetter and colder climates than the current one caused the formation of these soils. Regarding Vertisols, although they have a pH between 6 – 9, they were efficient for preserving phytoliths. The signs of breakage and corrosion in the phytoliths of these soils reflect the position in the landscape at the bottom of the valley and the seasonality of humidity, which ends up, in a certain way, minimizing the chemical attack on the morphotypes, preserving the phytoliths, since the sodium will not be dissolved. and available for corrosion to occur. The results obtained in this research indicate that phytoliths are good bioindicators and are well preserved in the soils studied and can be applied in new paleoenvironmental studies in the semiarid northeastern region for a better understanding of the dynamics and evolution of the local landscape, since different physical factors influence the configuration of the Caatinga Ecosystem, being a vegetation mosaic of socioeconomic and historical importance.

Keywords: Paleoenvironments; Semi-arid; Caatinga; Phytolith; Lajedos; Borborema.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1: Exemplos de morfotipos com significado taxonômico e ambiental.....	35
Figura 2: Total de trabalhos com o bioindicador fitólito no Brasil por grupos a partir de seus objetivos aplicados entre 1957 e 2022.....	40
Figura 3: Estudos fitolíticos e suas aplicações. Trabalhos sobre o bioindicador fitólito no Brasil sistematizados por grupos (1957 a 2022).	41
Figura 4: Estudos fitolíticos e suas aplicações: sistematizados por grupos/ano de publicação (1957 a 2022).....	43
Figura 5: Distribuição espacial das pesquisas com o proxy fitólito na região Nordeste do Brasil (2010 a 2022).....	44

CAPÍTULO II

Figura 1: Área de estudo na mesorregião da Borborema, PB/PE.....	72
Figura 2 A e B: Vista geral da paisagem das áreas de estudo e seus respectivos solos: (A) P1 - Lagoa de Zabê, Monteiro/PB; Vertissolo Ebânico Sódico típico e seus <i>slikensides</i> no horizonte Cv1. (B) P6 – Lagoa da Craibeira, Fazenda Salambaia, Cabaceiras/PB, Vertissolo Ebânico Sódico típico.....	73
Figura 2 C e D: Vista geral da paisagem das áreas de estudo e seus respectivos solos: (C) P2 - Serra da Engabelada, Congo/PB. Local de coleta do Neossolo Regolítico Distrófico típico. (D) P4 – Serra da Paula, APA das Onças, São João do Tigre/PB, Organossolo Fólico Sáprico típico.....	74
Figura 2 E e F: Vista geral da paisagem das áreas de estudo e seus respectivos solos: (E) P3 - Distrito de Guati, Poção/PE (Cambissolo). (F) P5 - Lajedo do Bravo, Boa Vista/PB (Cambissolo).....	75
Figura 2G: Vista geral da paisagem da área de estudo e seu solo: P7 Lajedo da Salambaia, Cabaceiras/PB (Cambissolo).	76
Figura 3: Diagramas ombrotérmicos com dados de temperatura e precipitação médias mensal, 1994 – 2020. 3A – Monteiro/PB; 3B – Congo/PB; 3C – Poção/PE e 3D - São João do Tigre (SJT/PB).....	77

Figura 3. Diagramas ombrotérmicos com dados de temperatura e precipitação médias mensal, 1994 – 2020. 3E – Boa Vista/PB; 3F – Cabaceiras/PB. Fonte: AESA, IPA e APAC – 1994/2020.....	78
---	----

CAPÍTULO III

Figura 1: Presença de <i>slickensides</i> no Cv1 do perfil.....	98
Figura 2: Classes texturais dos diferentes perfis dos solos estudados, conforme Santos <i>et al.</i> (2015).....	99
Figura 3: Perfis dos solos estudados: P01 - Vertissolo; P02 - Neossolo; P03 - Cambissolo; P04 - Organossolo; P05 - Cambissolo; P06 - Vertissolo; P07 - Cambissolo.....	100
Figura 4: Difração de raio-X da fração argila dos pedons da Borborema Central Ocidental, Unt. Clay - Argila natural; K - saturação de K ⁺ (tratamento térmico de K ⁺ a 25, 350 e 550°C); Mg - saturação com Mg ²⁺ ; Glicerol - saturado por Mg ²⁺ e solvatado com glicerol.....	101
Figura 5: Difração de raio-X da fração argila dos pedons da Borborema Central Oriental, Unt. Clay - Argila natural; K - saturação de K ⁺ (tratamento térmico de K ⁺ a 25, 350 e 550°C); Mg - saturação com Mg ²⁺ ; Glicerol - saturado por Mg ²⁺ e solvatado com glicerol.....	102
Figura 6: Características químicas dos solos da Borborema Central (P01 – P04)	105
Figura 7: Características químicas dos solos da Borborema Oriental (P05 – P07)	106
Figura 8: Vista geral da paisagem dos Vertissolos, com detalhe da variação do nível de água marcado nas rochas. A) P01, 05/06/19 e, B) P06, 07/02/2018.....	109
Figura 9: Esquema representando atualmente os <i>Vertisols</i> - <i>Vertissolos</i> em <i>toeslope</i> do P01 (A) e P06 (B).....	110

CAPÍTULO IV

Figura 1: Bloco diagrama e perfil topográfico representando a posição topográfica dos perfis na paisagem e a direção dos fluxos nas áreas dos perfis P1 e P6.....	123
Figura 2: Bloco diagrama e perfil topográfico representando a posição topográfica dos perfis na paisagem e a direção dos fluxos nas áreas dos perfis P2 e P4.....	125
Figura 3: Bloco diagrama e perfil topográfico representando a posição topográfica dos perfis na paisagem e a direção dos fluxos nas áreas dos perfis P3, P5 e P6.....	126
Figura 4: Variação de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, relação C/N e datação de ^{14}C de amostras de Vertissolos dos perfis P1 e P6.....	128

Figura 5: Indicação de fonte da matéria orgânica dos perfis P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7 por meio das relações $\delta^{15}\text{N}/\delta^{13}\text{C}$ (A – conforme modelo de Peterson; Howarth, 1987) e $\delta^{13}\text{C}/\text{CN}$ (B – conforme modelo de Meyers, 2003)	129
Figura 6: Variação de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, relação C/N e datação de ^{14}C de amostras de Cambissolos dos perfis P3, P5 e P7.....	132
Figura 7: Variação de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, relação C/N e datação de ^{14}C de amostras de Organossolos dos perfis P2 e P4.....	133
Figura 8: Distribuição da assembleia de fitólitos (%), índices fitolíticos e momentos ambientais do perfil P1 e P6.....	135
Figura 9: A) Análise dos Componentes Principais - PCA dos Vertissolos Ebânicos P1 e P6; B) Círculo de Correlação da PCA P1 e P6. Relação da umidade na fitofisionomia da vegetação.....	139
Figura 10: Distribuição vertical da assembleia de fitólitos (em %), índices fitolíticos, dados isotópicos $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e Momentos ambientais do Cambissolo Háplico (P3)	145
Figura 11: Distribuição vertical da assembleia de fitólitos (em %), índices fitolíticos, dados isotópicos $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e Momentos ambientais do Cambissolo Háplico (P5)	147
Figura 12: Distribuição vertical da assembleia de fitólitos (em %), índices fitolíticos, dados isotópicos $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e Momentos ambientais do Cambissolo Háplico (P7)	147
Figura 13: A) PCA Geral com profundidades a cada 10 cm e as variáveis correspondentes – P3, P5 e P7; B) Círculo de correlação a cada 10 cm com as variáveis correspondentes aos Cambissolos P3, P5 e P7.....	148
Figura 14: Distribuição vertical da assembleia de fitólitos (em %), índices fitolíticos, dados isotópicos $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e Momentos ambientais do Neossolo (P2) e do Organossolo (P4)	158
Figura 15: A) Análise dos Componentes Principais - PCA do Neossolo (P2) e do Organossolo (P4); B) Círculo de Correlação da PCA P2 e P4. Relação da umidade na fitofisionomia da vegetação.....	160
Figura 16: Esquema sobre os eventos marcantes do Holoceno no semiárido do nordeste brasileiro – Cariri Paraibano.....	165
Figura 17A - E: Fitólitos articulados de cor âmbar – (A) ELO_SIN observados no P1 (40cm); (B) BIL (P1-80cm); (C) BUL_FLA (P7 (110cm); (D) SPH_PSI (P1 – 110cm); (E) Fitólito de Marantaceae (P1 – 100cm)	170

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO I

Quadro 1: Principais morfotipos de fitólitos identificados com significado taxonômico e ecológico. Adaptado de Calegari (2008) e de Rasbold (2013). Atualizado para o ICPN 2.0.	33
Quadro 2: Comparativo com as informações gerais dos trabalhos sobre fitólito no Nordeste brasileiro.....	45

CAPÍTULO II

Quadro 1: Principais morfotipos de fitólitos identificados com significado taxonômico. Complementado e adaptado de Calegari (2008) e de Rasbold (2013). Atualizado para o ICPN 2.0.....	83
--	----

CAPÍTULO III

Quadro 1: Descrição geral da paisagem e dos solos estudados (P01 – P07)	97
--	----

CAPÍTULO IV

Quadro 1: Informações gerais dos solos estudados	122
Quadro 2: Tafonomizados e carvões – indícios de incêndio nos sete perfis estudados.	171

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 1: Dados de precipitação e de temperatura dos últimos 27 anos (1994 – 2020) com destaque para os dias com chuva $\geq 100\text{mm}$	76
---	----

CAPÍTULO III

Tabela 1: Propriedades físicas e morfológicas dos solos estudados.....	103
Tabela 2: Teores de Fe e Al nos extratos de ditionito-citrato-bicarbonato (Fed e Ald) e Oxalato de amônio (Feo e Alo) nos horizontes dos perfis dos solos estudados.....	107

CAPÍTULO IV

Tabela 1: Idade 14C de humina de solos em diferentes profundidades dos perfis P2, P5 e P6.....	127
Tabela 2: Composição da assembleia fitolítica em porcentagem (média de frequência) por família e subfamília de plantas dos perfis de Vertissolos (P1 e P6)	136
Tabela 3: Valores médio por perfil dos índices fitolíticos dos Vertissolos (P1 e P6)	137
Tabela 4: Composição da assembleia fitolítica em porcentagem (média de frequência) por família e subfamília de plantas dos perfis de Cambissolos (P3, P5 e P7)	144
Tabela 5: Valores médios dos índices fitolíticos dos Cambissolos (P3, P5 e P7)	146
Tabela 6: Composição da assembleia fitolítica em porcentagem (média de frequência) por família e subfamília de plantas dos perfis Neossolo (P2) e Organossolo (P4)	157
Tabela 7: Valores médio por perfil dos índices fitolíticos do P2 e P4	157

LISTA DE SIGLAS

Amb_Quei_ID – Âmbar e queimado não identificados

AMS - Massa Acoplada a Acelerador de Partículas

Anonna – Annonaceae

AP – Antes do Presente

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima

Artic – Articulado

Astera – Asteraceae

BP – Antes do presente, sigla mais utilizada em publicações em inglês.

BUL_FLA – *Bulliform flabellate*

BURSE – Burseraceae

C/N – Carbono/Nitrôgenio

CAM - Metabolismo Ácido das Crassuláceas

CENA - Centro de Estudos Nuclear na Agricultura

CNH – Carbono Não Hidrolisável

COHEMAZI – Commelinaceae, Heliconiaceae, Marantaceae, Zingiberaceae

COMAZI – Costaceae, Marantaceae, Zingiberaceae

Comme_Heli – Commelinaceae e Heliconiaceae

Commelina - Commelinaceae

CORROÍ_ID – Corroído identificado

COT – Carbono Orgânico Total

D/P – Densidade Arbórea

DCB – Ditionito-Citrato-Bicarbonato

DIATO – Diatomácea

DSS – Depressão Setentrional Sertaneja

EUDI ou EUDICOTI – Eudicotiledônea

EUDICOTI_IND – Eudicotiledônea identificada

EUDICOTI_NID – Eudicotiledônea não identificada

FAO – *Food and Agriculture Organization*

Heli_Maranta – Heliconiaceae e Marantaceae
Heli_Zingibera – Heliconiaceae, Zingiberaceae
HZ ou Hz- Horizonte
ID – Identificado
ID/T – Identificados/Tafonomizados
LAdh - Latossolos Amarelo Distróficos húmicos
LEDA – Laboratório de Estudos da Dinâmica Ambiental
LOE - Luminescência Opticamente Estimulada
MOS – Matéria Orgânica do Solo
NEB – Nordeste Brasileiro
NOT – Nitrogênio Total
PCA – Análise de Componentes Principais
Piper – Piperaceae
POA – Poaceae
POA_IND – Poaceae Indefinida
PSI - Porcentagem de sódio intercambiável
Quebr_NID ou Quebra_NID – Quebrado não identificado
Quebra_ID – Quebrados identificados
SAD – *SADDLE*
SFD – Sem família definida
SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SJT – São João do Tigre
T/C – Tafonomizados/Corroídos
T/Q – Tafonomizados/Quebrados
Tafono ou Tafo - Tafonomizado
TFSA – Terra Fina Seca ao Ar
WRB – *The World Reference Base*
ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

Introdução Geral	27
------------------------	----

CAPÍTULO I

FITÓLITOS “JOIA DAS PLANTAS DO NORDESTE”: REVISÃO SOBRE SEU USO EM ESTUDOS AMBIENTAIS NO NORDESTE BRASILEIRO

Introdução	31
1 Materiais e Métodos	37
1.2 Resultados e Discussão	38
1.2.1 Aplicabilidade do bioindicador fitólito em estudos no Brasil (1957 – 2022)	39
1.2.2 Estudos Fitolíticos no Nordeste Brasileiro	44
1.3 Considerações Finais sobre os trabalhos no Nordeste	52
Referências Bibliográficas	54

CAPÍTULO II

METODOLOGIA UTILIZADA NO ESTUDO DE RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL: ENCLAVES ÚMIDOS E SUBÚMIDOS DO CRISTALINO DA BORBOREMA, CARIRI PARAIBANO

Introdução	70
2 Caracterização da área de estudo	71
2.1 Solos: amostragem e classificação	79
2.1.1 Solos: análises físicas e químicas	80
2.1.2 Solos: análises mineralógicas	80
2.2 Fitólitos:	81
2.2.1 Extração	81
2.2.2 Identificação, contagem e classificação dos fitólitos	82
2.2.3 Índices Tafonomizados - interpretação das condições de preservação dos fitólitos	84
2.2.4 Índices Fitolíticos para Interpretações Ambientais	85
2.3 Análise Isotópica estáveis ¹³ C, ¹⁵ N, Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio Total (NOT)	86
2.4 Datação ¹⁴ C da MOS via Espectrometria de Massa Acoplada a Acelerador de Partículas – MAS	87
2.5 Mapeamento de direção de fluxo e perfis verticais: programas utilizados: <i>Qgis 3.18.1</i> e <i>Surfer 23.3</i>	88
2.6 Análise Estatística	89
Referências Bibliográficas	90

CAPÍTULO III

SOLOS COM INFLUÊNCIA DE EMBASAMENTOS CRISTALINOS DA BORBOREMA, NORDESTE DO BRASIL

Introdução	95
3 Resultados	96
3.1 Caracterização morfológicas, físicas e químicas	96
3.1.1 Caracterização mineralógica.....	100
3.2 Discussão.....	108
3.2.1 Implicações climáticas no desenvolvimento dos solos.....	108
3.2.2 Processos pedogenéticos.....	111
3.2.3 Classificação de solos	112
3.3 Conclusões	113
Referências Bibliográficas	115

CAPÍTULO IV

ESTUDO PALEOAMBIENTAL DA HISTÓRIA LOCAL DOS ENCLAVES ÚMIDOS E SUBÚMIDOS DO CARIRI PARAIBANO

Introdução	119
4.1 Caracterização dos solos	121
4.2 Relação C/N e Razão isotópica ($\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ ‰) e datação ^{14}C	127
4.3 Assembleia Fitolítica e outros corpos silicosos	134
a) Vertissolos Ebânicos	134
b) Cambissolos Hápicos e Cambissolo Húmico	143
c) Neossolo e Organossolo.....	156
4.4 Discussão dos Resultados	164
4.4.1 O Holoceno no semiárido do Nordeste brasileiro.....	164
4.4.2 Possível Ocupação Humana em Área de Lajedo no Cariri Paraibano	167
4.4.3 Considerações sobre possível corredor de troca biótica no passado	174
4.5 Conclusões	175
Referências Bibliográficas	178
APÊNDICE	187

Introdução Geral

No Nordeste brasileiro, situa-se a Caatinga, exclusivamente nacional, é o quarto bioma com o maior número de espécies ameaçadas de extinção, perdendo apenas para a Mata Atlântica, a Amazônia e o Cerrado, respectivamente (IBGE, 2023). Ocupa aproximadamente 10,1% do território nacional com uma população de 27 milhões de habitantes, é considerada uma das zonas semiáridas mais populosa do mundo, exigindo uma elevada demanda por recursos naturais, como os energéticos e de uso e ocupação do solo, levando a degradação ambiental da Caatinga (Silva *et al.*, 2017). Associado a isto, tem-se a problemática da desertificação e das poucas áreas conservação que equivalente a 9%, sendo pouco mais de 2%, apenas, de proteção integral, nesta categoria se comparado com 9,9% da Amazônia brasileira (Blackie, *et al.*, 2014; Banda *et al.*, 2016; MMA, 2016; IBGE, 2023).

A biota da Caatinga é rica, abrangendo 3.347 variedades de espécies de plantas, destas 526 são consideradas endêmicas. Possui configuração muito diversa de qualquer outra no mundo, se condicionados aos mesmos tipos de solos e elementos climáticos, além da alta diversidade florística, superando, em algumas características, até a Floresta Amazônica. Vale ressaltar que a maior parte da flora da Caatinga é compartilhada por outras florestas tropicais sazonalmente secas inferindo áreas de transição entre seco e úmido, além de ser apontada como a floresta seca mais rica do mundo (Fernandes *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2017; Tabarelli, *et al.*, 2018). Muito se tem, ainda, para conhecer desse Ecossistema, segundo Moro *et al.* (2015) é a flora do Brasil menos protegida e mais ameaçada.

A variabilidade é tamanha que muitos autores a consideram um mosaico de arbustos e de florestas sazonalmente secas sujeitas a grande variação anual de chuva e longos períodos de seca, com diferentes altitudes e solos com distintas texturas, profundidades e granulometrias. Em certas situações o Ecossistema é tratado no plural, as Caatingas, devido a sua diversidade na composição e fisionomia da flora (Andrade-Lima, 1957, 1981; Romariz, 1973; Lyra, 1984; Rodal, 1992; Velloso *et al.*, 2002; Prado, 2003; Santos, 2003; Leal *et al.*, 2005; Gariglio *et al.*, 2010).

Dentre as áreas que abrigam a Caatinga, o Cariri Paraibano possui importância biológica extrema em relação à flora. Faz parte de um conjunto de 17 áreas de ações prioritárias para a conservação da Caatinga. Essa classificação levou em consideração o alto grau de diversidade, endemismo, a ocorrência de eventos biológicos especiais e sua interação com os componentes abióticos, principalmente a disponibilidade hídrica (Giulietti, 2002, Leal *et al.*, 2003; 2005;

Tabarelli *et al.*, 2018).

Segundo o mais recente levantamento de espécies da flora da Caatinga realizado por Fernandes *et al.* (2020) as famílias mais representativas e por ordem de importância de espécies são: Fabaceae, Euphorbiaceae, Poaceae, Asteraceae, Malvaceae, Rubiaceae, Convolvulaceae, Bignoniaceae, Malpighiaceae, Apocynaceae e Myrtaceae. Algumas áreas da Caatinga possuem indivíduos característicos de ambientes de maior umidade, como espécies de Myrtaceae (88 sp.) sendo sete endêmicas, Rubiaceae (112 sp.) com 15 sp. endêmicas e Piperaceae (14 sp.), por exemplo (Fernandes *et al.* 2020). Admitindo-se que a presença dessas espécies nas áreas dos lajedos são heranças de processos paleoclimáticos e ecológicos, estudos reconstituição paleoambientais são extremamente importantes para se conhecer o surgimento e a evolução destes enclaves de maior umidade no semiárido.

Esta pesquisa foi desenvolvida em áreas de relevo cristalino granítico conhecidas popularmente como lajedos e serras, sendo um dos principais elementos que influenciam na formação de uma Caatinga com táxons adaptados a ambientes mais úmidos, com uma fitofisionomia mais densa, diferente da Caatinga propriamente dita (Lunguinho, 2018). Esses lajedos e serras possuem diferentes dimensões e extensões no planalto da Borborema, no Cariri Paraibano.

Essas superfícies de topografia elevada funcionam como captadores de água, decorrente da variação de umidade, de temperatura e de pressão local diária e que proporciona a formação de neblina, nevoeiros, além de obterem maior capacidade de interceptação de precipitação por conta de exposição, posição do relevo que ocasiona o escoamento superficial, permitindo a formação de uma vegetação mista e mais diversa com exemplares xeromórficos, adaptados à estiagem, com estratégias para evitar perda de água (Belnap *et al.*, 2005; Lunguinho, 2018). Esta, pode escoar para área mais abaixo da encosta e/ou sopé ou infiltrar, levando consigo nutrientes propiciando o estabelecimento de táxons que ocorrem na Mata Atlântica-Cerrado-Caatinga, com diversos tipos de frutos sendo secos, carnosos e de dispersão abiótica e zoocórica. Todos estes eventos biogeográficos tornam esses ambientes de grande interesse científico, socioambiental e econômico (Tabarelli *et al.*, 2018).

Estes lajedos e serras apresentam melhores características pedológicas, microclimáticas e hidrológicas que o seu entorno. Os solos situados na encosta e no sopé dos lajedos, geralmente, possuem maior concentração de nutrientes, visto que a cobertura vegetal propicia a retenção de umidade do solo ocasionada pelo sombreamento das plantas e pela serrapilheira (Souza & Oliveira, 2006; Pôrto, *et al.*, 2004; Ruiz, *et al.*, 2010; Gois *et al.*, 2019;

Jatobá *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2022; 2023). Consequentemente, esses fatores contribuem formação da pedogênese, no estabelecimento e na manutenção dos enclaves úmidos e subúmidos do Cariri Paraibano.

Apesar dos avanços nas pesquisas paleoambientais das últimas décadas no país, poucas foram desenvolvida no Nordeste, principalmente em Caatinga de cristalino, sendo de extrema relevância científica nestes enclaves, visto que 70% dessa Caatinga é pouco protegida (Silva *et al.* 2017). Essas características aqui apresentadas associadas a uma alta variância nos resultados destes estudos, acaba por dificultar o entendimento, a comparação e a dialética para se entender a dinâmica de formação destes ambientes (Auler & Smart, 2001; Pessenda *et al.*, 2010).

Os marcadores utilizados nos estudos ambientais podem ser as biomineralizações de sílica (espículas de esponjas, diatomáceas, silicofitólito), o polen, etc, porém é preciso avaliar qual(is) dele(s) se adequa melhor ao local e a escala da pesquisa. Em condições semiáridas do Nordeste, o isótopo de Carbono (C) nem sempre é possível ser aplicado, isto porque, em algumas situações não houve incorporação suficiente de matéria orgânica do solo – MOS.

Com relação ao proxy pólen, nem todas as circunstâncias são propícias para sua preservação, porque este bioindicador tem necessidade de estar em ambiente que permita a manutenção de seu revestimento, no caso, o hidromorfismo (Moore *et al.*, 1991). Embora, no presente estudo, alguns perfis de solo se localizem em posição de fundo de vale, não estão sob condição hidromórfica suficiente para preservação dos grãos de pólen, pois apresentam encharcamento sazonal decorrente da estação chuvosa e restrição temporária a percolação de água, no período de estiagem, sendo assim, essa condição afeta a integridade dos grãos. Sob essa condição o conjunto de grãos de pólen preservado é de difícil identificação ou estão em quantidade insuficiente para sustentar uma análise polínica que forneça informações confiáveis para uma melhor interpretação ambiental.

Diante desse cenário, o fitólito é o proxy que melhor se adequa ao ambiente semiárido. Fitólitos são corpúsculos microscópicos de sílica opalina produzida por plantas ao longo de seu desenvolvimento (Epstein, 2001). As plantas absorvem, algumas de maneira passiva, outras ativas, a sílica disponível no solo na forma do ácido monossilícico (H_4SiO_4) que é depositado dentro e entre as células do tecido das plantas (Epstein, 1999). Com a morte da planta ou de parte dela, e a decomposição do material orgânico, os fitólitos são liberados e incorporados aos solos e sedimentos, passando a fazer parte da matriz mineral do solo, predominantemente na fração silte, podendo ocorrer também na areia muito fina (Strömberg *et al.*, 2018; Costa, *et al.*, 2019; Calegari *et al.*, 2022), onde podem permanecer por longo tempo.

Com o intuito de contribuir para ampliar o conhecimento sobre paleoambientes das áreas úmidas e subúmidas do Cariri Paraibano, o trabalho aqui exposto empregou uma abordagem multiproxy (isótopos estáveis, fitólitos e os atributos pedológicos) para investigar os momentos paleoambientais ocorridos no Quaternário com base em amostras de sete perfis de solos, sendo três destes datados a partir do sinal da MOS, com a técnica do ^{14}C por massa acoplada a acelerador de partículas – AMS, no P2 (Neossolo Regolítico, Serra da Engabelada, Congo-PB), no P5 (Cambissolo Háplico, Lajedo do Bravo, Boa Vista-PB) e no P6 (Vertissolo Ebânico, Lajedo Salambaia, Cabaceiras – PB). Neste estudo, o solo é entendido como o reservatório de indicadores biológicos que permitem acessar as “memórias” de eventos ocorridos na paisagem local.

Assim, esta pesquisa teve como objetivos específicos:

- a) Caracterizar os solos representativos das áreas úmidas e subúmidas do Cariri Paraibano;
- b) Investigar a ocorrência de mudanças (paleo)ambientais e sua respectiva trajetória evolutiva ao longo do Holoceno;
- c) Inferir cenários de evolução paleobiogeográficas e paleoclimáticas para o bioma Caatinga do Cariri Paraibano.

Tendo em vista o grau de fragilidade ambiental destes enclaves úmidos e subúmidos, torna-se expressamente importante estudos deste cunho, pois as informações podem auxiliar na gestão e planejamento territorial, uso e ocupação do solo. São informações que podem subsidiar os gestores na elaboração e criação de áreas de conservação e proteção ambiental, tendo importância socioeconômica, biogeográfica, pedagógica e, principalmente, de convivência local com o semiárido (Gonçalves, *et al.*, 2021).

Sendo assim, este documento que expressa a pesquisa realizada foi estruturado a partir de três eixos norteadores, a saber: capítulos, a saber: 1 - Fitólitos “Joia das plantas do Nordeste”: revisão sobre seu uso em estudos ambientais no Nordeste brasileiro; 2 – Solos com influência de embasamentos cristalinos da Borborema, Nordeste do Brasil e, 3 – Estudo paleoambiental nos enclaves úmidos e subúmidos no Cariri Paraibano, Nordeste do Brasil.

CAPÍTULO I

FITÓLITOS “JOIA DAS PLANTAS DO NORDESTE”: REVISÃO SOBRE SEU USO EM ESTUDOS AMBIENTAIS NO NORDESTE BRASILEIRO

Resumo

Os silicofitólitos são biomineralizações bastante resistentes, sendo por isso considerado um importante proxy em estudos arqueobotânicos e paleoambiental. Devido ao seu alto potencial para de aplicação em estudos paleoambientais no Nordeste semiárido do Brasil, foi elaborado um levantamento bibliográfico exaustivo sobre o uso desse proxy em pesquisa no Brasil entre os anos de 1957 e 2022, com ênfase na Região Nordeste. O objetivo é identificar onde se concentram esses estudos e como a região nordeste está inserida no processo de expansão do uso da análise fitolítica no Brasil. Para tal, foram acessadas as plataformas online: *Periódicos Capes*, *Science direct*, *Google Escolar*, além dos currículos *Lattes*, em busca de informações sobre publicações - monografias, dissertações, teses, artigos, resumo em eventos. No total foram reunidos 302 trabalhos que foram agrupados por similaridade a partir de seus objetivos centrais, a saber: G1 (28%) abordam a morfologia dos fitólitos em plantas, coleção de referência moderna e, *fingerprinting* que é a assinatura fitolítica de uma vegetação ou atividade G2; (50%) estão relacionados à aplicabilidade do fitólito associados a outros proxies para estudos ambientais; G3 (11%) foram produzidos em áreas de sítios arqueológicos; G4 (3%) envolvem processos tafonômicos e a preservação dos fitólitos; G5 (2%) propõem aprimoramentos nos protocolos de procedimentos em laboratório; G6 (5%) são sínteses de revisões bibliográficas com o bioindicador e o G7 (1%) abordam a sílica biogênica e sua interação com metais e semimetais. No Nordeste foram realizados apenas 16 trabalhos, além disso, não houve registro de publicações para os estados da Bahia, Sergipe e Alagoas. Os fitólitos se mostraram eficientes, frente ao pólen, em estudos no Nordeste, salvo em sedimentos cársicos, na Serra da Capivara/PI. As informações obtidas nestes estudos podem auxiliar na gestão e planejamento territorial, uso e ocupação do solo, bem como, servir de base para elaboração e criação de áreas de conservação e proteção ambiental, tendo importância socioeconômica, biogeográfica, pedagógica.

Palavras-chave: Corpos silicosos; Assembleia fitolítica; Estudos Paleoambientais; semiárido; multiproxies ambiental.

Introdução

De origem grega, o termo “fitólito” significa pedra de planta. Elas foram chamadas de “joias do reino vegetal” por Fredlund (2001, p. 335), isto porque fitólitos são corpúsculos de sílica opalina (SiO_2), amorfos ao raio-x, produzidos por plantas ao longo de seu ciclo vegetativo (Piperno, 2006). Sua forma reproduz espaços celulares e intercelulares dos vasos condutores das plantas, onde a sílica foi depositada. São biomineralizações resistentes, que podem ser incorporadas ao solo e sedimentos e ali permanecerem após a decomposição do tecido vegetal. Os silicofitólitos podem ser utilizados como um marcador biológico, um *proxy*, para a compreensão da dinâmica da vegetação, sendo possível inferir informações sobre as condições (paleo)ambientais e a configuração da paisagem local. Já outros *proxies*, como o carbonato e o

pólen, trazem informações sobre climas regionais passados (Piperno, 1988; 2006; Rosen & Weiner, 1994).

A formação de fitólitos é parte do ciclo do silício. O processo de intemperismo das rochas e a dissolução de minerais, primários e secundários silicatados, associados à decomposição vegetal e à liberação de Si de FeO e de Al_2O_3 , disponibiliza a sílica para serem absorvidas pelas plantas por meio da absorção da água pelas raízes (Lepsch, 2021). A partir da morte das plantas, o material orgânico entra em decomposição e os restos vegetais são incorporados ao solo para formar o húmus. Neste processo, os fitólitos são liberados e parte se dissolvem sendo reciclados pela biota, sendo que uma fração dos silicofitólitos são preservados, como microrrestos que podem se tornar fósseis, e serem utilizados para estudos paleoetnobotânicos, arqueológicos e de reconstituição paleoambiental, pois registram alterações no clima e na fitofisionomia da paisagem local (Borba-Roschel *et al.*, 2006; Calegari *et al.*, 2013a; Coe *et al.*, 2014 a-d; Strömberg *et al.*, 2018).

Em solos e sedimentos continentais, os corpos silicosos, em maior abundância, são as silicofitólitos, espículas de esponjas e frústulas de diatomáceas - ambiente aquático, os fitólitos - silicofitólitos e calcifitólitos (Costa *et al.*, 2019). Enquanto os corpos de opala biogênica possuem grande estabilidade em depósitos terrestres, os calcifitólitos e os grãos de pólen possuem restrições como bioindicadores, em virtude de sua fácil destruição em ambientes de oxirredução, pela variabilidade de produção e ampla distribuição das espécies botânicas (Alexandre *et al.*, 1997; Bremond *et al.*, 2005; Aguiar, *et al.*, 2019; Costa *et al.*, 2019).

Outro *proxy* que pode ser utilizado em associação ao silicofitólitos é a análise $\delta^{13}C$ da matéria orgânica do solo (MOS). Isso pode ajudar a discriminar plantas de ciclo fotossintético C_3 , C_4 e/ou CAM – Metabolismo Ácido das Crassuláceas, e contribuir para a inferência de vegetação e ambientes menos ou mais secos que o presente, com aspectos relacionados ao uso e ocupação do solo (Pessenda *et al.*, 2004; 2008; Amorim *et al.*, 2009).

Para as plantas, as funções da sílica são diversas, pois funcionam desde apoio mecânico para as células fornecendo sustentação, forças aos órgãos e estruturas para a planta, assim como também, serve para defesa frente aos ataques herbívoras (Paviani, 1977), de fungos e de parasitas, além de neutralizar toxinas do solo e reduzir a perda de água (Piperno *et al.*, 2002; Epstein, 1994; Sangster *et al.*, 2001; Madella, 2008). Os fitólitos podem ser encontrados nas folhas, no tronco e nas raízes das plantas, porém são mais facilmente encontrados na epiderme, no mesófilo das gramíneas e no xilema secundário das Eudicotiledôneas lenhosas (Coe, 2014c, d; Motomura *et al.*, 2004; Welle, 1976).

A capacidade de produção e de diagnóstico taxonômico do fitólito varia de forma significativa nas plantas. Piperno (2006), elaborou um sistema de classificação a partir das famílias botânicas separados por diferentes níveis, a saber: 1 – Família com elevada densidade e produção de fitólitos e com distinção entre subfamília e gênero, como, por exemplo as Poaceae; 2 - Família em que a produção de fitólito pode não ser elevado em algumas espécies, no entanto, podem ocorrer tipos de fitólitos específicos para família e gênero botânico; 3 - Famílias para as quais a produção de fitólito pode ser frequente, em alguns gêneros, porém, a distinção entre as formas é limitada; 4 – Famílias que apresentam a produção de fitólitos variável entre as subfamílias e distinção entre as formas é limitada; 5 – Famílias em que a produção de fitólito é incomum e as formas não apresentam significado taxonômico (Quadro 1; Figura 1).

Quadro 1: Principais morfotipos de fitólitos identificados com significado taxonômico e ecológico. Adaptado de Calegari (2008) e de Rasbold (2013). Atualizado para o ICPN 2.0.

Famílias		Morfotipos
POACEAE (Mono.) BUL_FL, ELONGATE, ACU_BUL,	Panicoideae	Produzem sobretudo <i>BILOBATE</i> (BIL), <i>POLYLOBATE</i> (POL) e <i>CROSS</i> (CRO)
	Chloridoideae	<i>SADDLE</i> (SAD)
	Pooideae	<i>CRENATE</i> (CRE), <i>TRAPEZOID</i> (TRZ) e <i>RONDEL</i> (RON)
	Arundinoideae	<i>RON</i> , <i>BIL</i> , <i>POL</i> e <i>CRO</i>
	Bambusoideae	<i>BLOCKY</i> (BLO_VEL), <i>TRZ_BIL_ECH</i> , <i>BIL</i> , <i>POL</i> , <i>CRO</i> e <i>SAD_COLAPSED</i>
Poaceae (Geral)		<i>CYLINDRIC</i> (CYL), <i>ELOGATE_DENTATE</i> (ELO_DTT)
Arecaceae e Bromeliaceae (Mono.)		<i>SPH_ECH</i> e <i>CRENATE SPHERICAL</i> (CRE_SPH)
Cyperaceae (Mono.)		<i>POLYGONAL SCROBICULATE</i> (POL_SCR), <i>CONICAL</i> (CON)
Araucariaceae (Gymnosperma.)		<i>CRATER SHAPE</i>
Commelinaceae (Mono)		<i>PRI_ORN</i>
Heliconiaceae (Mono)		<i>FUSIFORM</i> , <i>FUSÃO SPH_ORN</i> ; <i>TABULAR GRANULATE</i>
Marantaceae (Mono)		<i>KNOBBY</i> (NODULAR)
Pinaceae (Mono.)		<i>SPH_ with sockets</i> (spiny body, spiked)
Classe Eudicotyledoneae (hábito arbóreo e arbustivo)	Geral	<i>SPH_PSI</i> , <i>SPH_ORN</i> , <i>BLO_</i> (<i>POLYHEDRAL</i> , <i>POLYGONAL</i>); <i>CARENATE</i>
	Annonaceae	<i>POLYGONAL FACETED</i> (PLG_FAC)
	Asteraceae	<i>PERFORATED OPAQUE PLATELETS</i> (PER_OPA)
	Burseraceae	<i>Flower</i> (morfotipo que se assemelha a uma flor longa tipo tubo - ornitófilas)
	Fabaceae	<i>ELLIPSOIDE PSILATE</i> (ELL_PSI)
	Piperaceae	<i>AMOEBOID ORNATE</i> (AMO_ORN); <i>BLO_POL_ORNA</i> ; <i>RET_ORN</i>

FONTE: Baseado em Bozarth (1992); Piperno (2006); Montii *et al.* (2009); nas amostras de referência de Mozer (2021); Souza (2019); Raitz (2012); complementado a partir das observações em microscópio das amostras de solo da tese de Fonseca, C.F. (2023). ACUTE BULBOSUS (ACU_BUL); BLOCKY VELLOATE (BLO_VEL); BULLIFORM FLABELLATE (BUL_FL). (Grass silica short cell phytolith – GSSCP: SAD, BIL, POL, CRO, CRE, RON, TRZ); RETANGULAR_ORNADO (RET_ORN); PRISMATIC_ORNATE (PRI_ORN).

As Monocotiledôneas produzem uma quantidade maior de fitólitos do que as Eudicotiledôneas. Na família Poaceae, essa produção pode chegar a 5% de SiO₂ do peso seco (Webb & Longstaffe, 2000). Um fitólito só pode ser considerado como diagnóstico, se for exclusivo de um táxon, como por exemplo o morfotipo *SPHEROID ECHINATE* que é produzido pelas palmeiras - Arecaceae (Huisman; Raczka; MCMichael, 2018; Morcote-Ríos; Bernal; Raz, 2016; Witteveen *et al.*, 2022) e, o *SPHEROID ORNATE* (*SPH_ORN*) por Eudicotiledôneas lenhosas (Bremond *et al.*, 2017), e o *POLYGONAL SCROBICULATE* (*POL_SCR*) é característico de Cyperaceae (Honaine; Zucol; Osterrieth, 2009).

A utilização dos fitólitos como diagnóstico taxonômico e ambiental requer critérios a serem seguidos devido a:

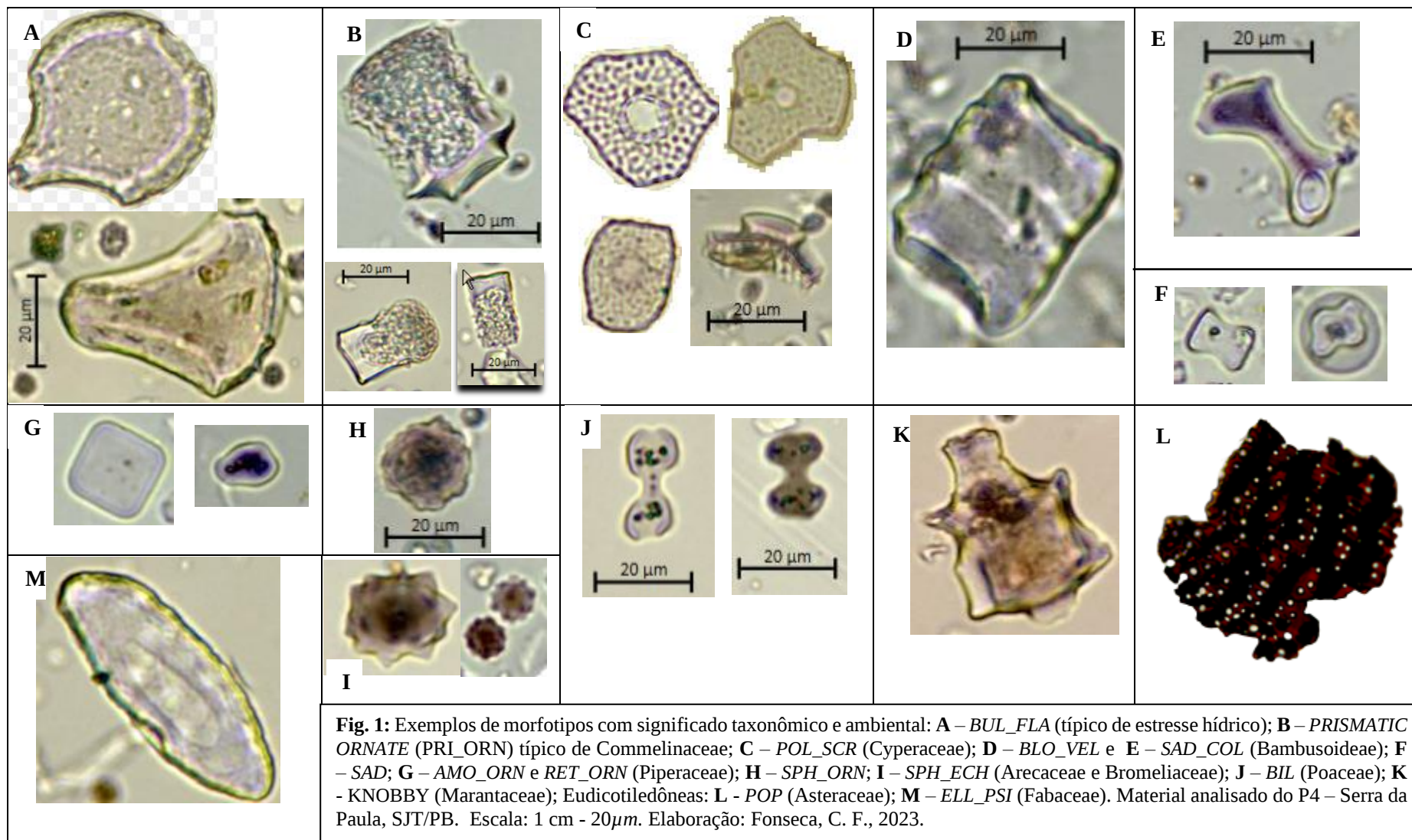
a) Possível contaminação de amostras durante a coleta e em procedimentos de laboratório;

b) Multiplicidade e redundância na produção de diferentes tipos de fitólitos por plantas da mesma família e do mesmo gênero, e a capacidade de diferentes famílias produzirem os mesmos tipos de fitólitos (Rovner, 1971). Isso torna difícil correlacionar um morfotipo a uma espécie ou gênero específico. Portanto, para fins de diagnóstico taxonômico, é imprescindível conhecer a assembleia fitolítica moderna e a elaboração de coleções de referência compostas por morfotipos de sílica biogênica a partir das plantas locais, para estudos futuros com mais comunidades e *taxa* a serem analisados e comparados (Bremond *et al.*, 2005).

Fatores ambientais, como, o clima, a temperatura, pH, umidade e concentração de ácido monossilícico no solo, podem influenciar na produção e conservação dos fitólitos, constituindo um indicador importante de processos pedogenéticos, assim como tafonômicos (Piperno, 1988; Madella *et al.*, 2002; Tsartsidou *et al.*, 2007; Osterrieth *et al.*, 2009; Luz, *et al.*, 2015) e para se entender a evolução da paisagem local.

Além disso, é preciso considerar os aspectos relacionados ao treinamento e experiência nos protocolos de extração, contagem e identificação de fitólitos, uma vez que, podem surgir inúmeras formas e morfotipos de difícil identificação. Por isso, é necessário seguir a descrição e nomenclatura adotada internacionalmente pelo ICPN 1.0 e 2.0 (*International Code for Phytolith Nomenclature*) de Madella *et al.* (2005) e Neumann *et al.* (2019), respectivamente e, o Comitê Internacional de Taxonomia de Fitólitos – ICPT (2019).

Figura 1: Exemplos de morfotipos com significado taxonômico e ambiental



Algumas ações em conjunto podem facilitar os estudos com o bioindicador fitólito. Uma delas é a elaboração de uma coleção de referência das comunidades vegetais atuais. Ademais é imprescindível adotar protocolos mais rigorosos em relação à coleta e, ao processamento em laboratório do material botânico e/ou do solo. Também é necessário buscar entender o que ocorreu com o objeto e a área de estudo para obter um conhecimento mais abrangente da tafonomia da assembleia fitolítica (Santos, *et al.*, 2008; 2010; 2012; Costa *et al.*, 2010a; 2010b; 2010c; 2019; Rodrigues, 2019) e garantir a continuidade de estudos futuros na área. Outra medida interessante é a revisão e atualização do sistema de classificação de fitólitos, a partir do compartilhamento de dados e informações com grupos de pesquisas em nível internacional e nacional (Madella & Lancelotti, 2012; Neumann *et al.*, 2019).

As características marcantes em relação a diferentes *táxons* de produção de fitólitos, proporciona a utilização deste proxy, para estudos paleoecológicos com reconhecimento das plantas produtoras em nível de família e de comunidade, seja de assembleia moderna ou fóssil. Quando associado à datação do ^{14}C , análise do $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, a análise fitolítica pode contribuir para os estudos de reconstituição paleoambiental, permitindo inferir mudanças na estrutura da vegetação, da paisagem, estabilidade e deposição de sedimentos (Twiss, 1992; Alexandre *et al.*, 1997; Albert & Weiner, 2001; Piperno, 2006) e a cronologia dos processos e eventos ambientais.

Diante do grande potencial de preservação em sedimento e solos, devido às inúmeras características intrínsecas relacionadas às questões fisiológicas das plantas e às condições ambientais locais, os estudos com o bioindicador fitólito vem sendo desenvolvidos em diversas áreas do conhecimento, neste sentido, torna-se importante destacar a crescente produção de publicações no Brasil nos últimos anos (Aguiar *et al.*, 2019; Calegari, *et al.*, 2022; Machado *et al.*, 2022).

Nesse contexto, apresenta-se uma breve explanação sobre as pesquisas realizadas com fitólitos no país, com ênfase para a região Nordeste – que tem sido pouco contemplada, apesar de sua importância para entender a evolução da paisagem. Vale ressaltar que a análise fitolítica é mais indicada em clima semiárido, complementado ou, na maioria das vezes, substituindo a análise polínica, uma vez que a ocorrência de grãos de pólen em solos bem drenados e antigos é muito baixa. Ademais, a sílica é mais bem preservada em ambiente quente e seco (Silva-Listo, 2013; 2022; Ranulpho, 2016; Galvão, 2019; Ramos, 2019).

Sendo tão eficiente, por que o fitólito ainda é pouco usado em estudos paleoambientais no Nordeste do Brasil? dois fatores principais podem ser apontados como hipótese para essa questão:

a) A técnica ainda não é amplamente conhecida e dominada por pesquisadores dessa Região. Isso se deve ao fato de que os estudos envolvendo fitólitos têm uma história relativamente recente no Brasil, abrangendo cerca de duas décadas, durante as quais o enfoque estava primordialmente na produção e identificação de fitólitos em plantas e reconstituição paleoambiental em áreas das regiões Sul e Sudeste do país;

b) a concentração de trabalhos pioneiros nessa área foi notavelmente maior nas regiões Sul e Sudeste e somente a partir da década de 2010 é que o uso dos fitólitos passa a ganhar visibilidade e aplicabilidade no Nordeste, após alguns pesquisadores buscarem qualificação na temática no eixo Sul-Sudeste inicialmente, e em seguida, no exterior como na Argentina, Espanha e Reino Unido.

Considerando esses motivos, esta parte da pesquisa tem como objetivo realizar um levantamento bibliográfico geral sobre a evolução das pesquisas no Brasil com fitólito, com destaque para as produções da região Nordeste.

1 Materiais e Métodos

Foi realizado um levantamento bibliográfico em revistas indexadas e não indexadas, publicações em eventos locais, regionais e (inter)nacionais utilizando o buscador de periódicos da CAPES, o *Google Scholar*, o *Science Direct*, bem como acessando o currículo na plataforma *Lattes* dos principais pesquisadores brasileiros e estrangeiros sobre o tema no Brasil. Além disso, os artigos de Luz *et al.* (2015), Aguiar *et al.* (2019), Calegari *et al.* (2022) e de Machado *et al.* (2022) foram consultados para o inventário das bibliografias.

Estabeleceu-se o intervalo temporal compreendido entre os anos de 1957 e 2022 para o levantamento bibliográfico. Com base nos resultados obtidos e na comparação das ênfases presentes nos estudos, foi possível identificar três fases distintas na trajetória da análise de fitólitos no contexto brasileiro, apresentadas e contextualizadas no próximo item.

Para uma compreensão mais abrangente e estruturada nessas fases, considerou essencial organizados os resultados em sete grupos distintos de trabalhos, conforme a análise dos títulos e objetivos de cada estudo. São eles:

Grupo 1 (G1) – Reúne os estudos dedicados à investigação da morfologia e caracterização de fitólitos presentes em plantas modernas, bem como à criação de coleção de referência para esse fim;

Grupo 2 (G2) – Composto por trabalhos que se voltam para a aplicação da análise de fitólitos na reconstituição paleoambiental, muitas vezes em associação com outros indicadores ambientais;

Grupo 3 (G3) – Abrange os estudos fitolíticos no contexto arqueológicos e arqueobotânicos, explorando suas implicações nessas áreas;

Grupo 4 (G4) – Representa os trabalhos focados nos processos tafonômicos e preservação das assembleias de fitólitos, compreendendo sua formação e conservação ao longo do tempo;

Grupo 5 (G5) – Reúne os estudos que se dedicam a desenvolver protocolos de pré-tratamento extração, contagem e identificação de fitólitos, visando estabelecer metodologias robustas;

Grupo 6 (G6) – Este grupo concentra-se na realização de revisões bibliográficas abrangendo os estudos fitolíticos conduzidos no contexto brasileiro;

Grupo 7 (G7) – Envolve os estudos que exploram a geoquímica da sílica e suas interações com metais e semimetais, adicionando uma dimensão química às análises fitolíticas.

1.2 Resultados e Discussão

A partir do levantamento bibliográfico identificou-se 302 trabalhos entre 1957 e 2022. Esses estudos refletem três fases distintas na trajetória da evolução do uso e da análise de fitólitos no contexto brasileiro:

Período I – 1957 a 2000: Agrupa os estudos que representam, principalmente, a introdução da técnica aplicada em grupos botânicos com o intuito de verificar a produção dos tipos de fitólitos gerados por essas plantas, ocorrendo a elaboração de coleção de referência;

Período II – 2001 a 2011: Marcado pela aplicação da técnica em estudos paleoambientais, principalmente, no Sudeste e Sul do país. Os trabalhos de coleção de referência continuam sendo desenvolvidos, sobretudo, na região Sul;

Período III – 2012 a 2022: Assinala a expansão da utilização da técnica no Brasil e para estudos em outras regiões do país, contudo os trabalhos direcionados à região Nordeste, ainda, são limitados.

Com isso, apresenta-se uma breve exposição acerca dos estudos de fitólitos realizados no Brasil e, em seguida, os que foram desenvolvidos na região Nordeste do país.

1.2.1 Aplicabilidade do bioindicador fitólito em estudos no Brasil (1957 – 2022)

Período I – 1957 – 2000: introdução da análise fitolítica

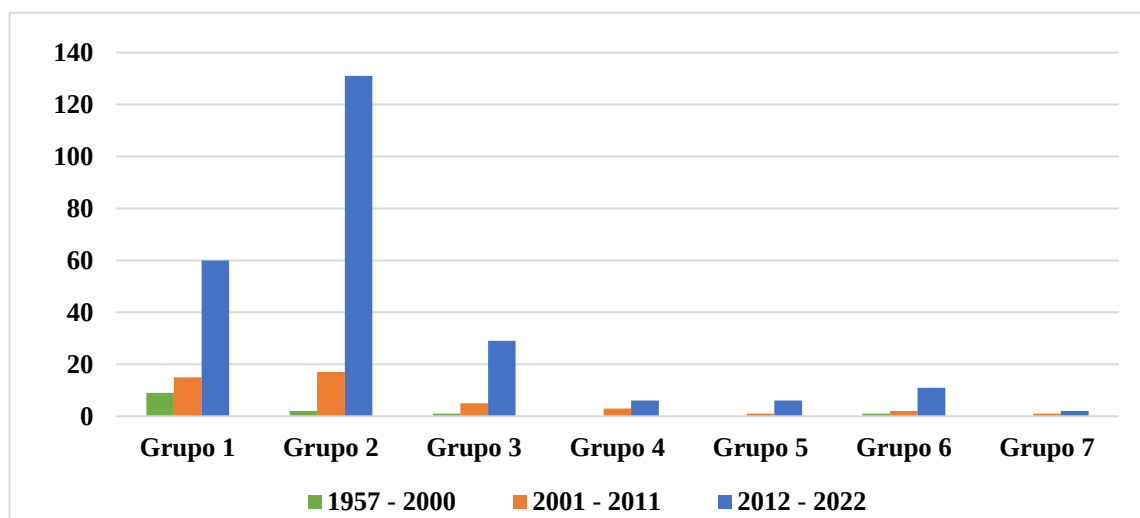
Estes estudos tiveram início no Brasil com as pesquisas sobre a morfologia e estrutura dos corpos silicosos em gramíneas, realizada por Fontana Jr & Muth (1957). Labouriau e colaboradores deram continuidade ao tema com a produção de seis trabalhos até 1973 sobre a produção de fitólitos em mais de 90 espécies de gramíneas do Cerrado brasileiro. Na mesma década, Paviani (1977) abordou a descrição morfológica da flora do Cerrado, a importância e as funções da sílica biogênica para essas plantas. Na década seguinte, apenas dois trabalhos foram registrados, o de Kondo & Iwana (1981) sobre a opala biogênica presente em latossolos da região amazônica e o de Labouriau (1983), que compilou os estudos de fitólitos realizados no Brasil até então (Figura 2).

Treze anos depois, iniciara-se os estudos com o *proxy* fitólito para estudos paleoambientais no Brasil. A pesquisa de Piperno & Becker (1996), realizada em solos de Terra Firme, na Amazônia Central, foi marco nesse sentido. Em seguida, Alexandre *et al.* (1999) investigaram a dinâmica da vegetação tropical e sua relação com os incêndios no Holoceno, na Serra de Salitre em Minas Gerais.

Período II – 2001 a 2011: Aplicação de análise fitolítica em estudos ambientais

Para este período foram identificados 44 trabalhos dos quais 15 (34%) apresentam ênfase voltada para a aplicação dos fitólitos associado a outros *proxies* ambientais. Além disso, constatou-se o predomínio de estudos realizados por pesquisadores brasileiros, voltados a identificação e caracterização de morfotipos de fitólitos em plantas (17 trabalhos - 39%), de fitofisionomias, especialmente, na região Sul do país. Durante esse período, também foram desenvolvidas discussões importantes sobre protocolos de análises de extração, quantificação e contagem de fitólitos, com apenas dois trabalhos, que representam 2% do total de estudos identificados no levantamento realizado. É importante notar que o último triênio deste período foi responsável por 64% (28) das produções, com Calegari (2008) e Coe (2009) sendo as pioneiras na retomada da técnica no Brasil, sendo com um enfoque para a compreensão da gênese e significado paleoambiental de horizonte pedogenético e a segunda para estudo de reconstituição de paleoambientes (Figura 2).

Figura 2: Total de trabalhos com o bioindicador fitólito no Brasil por grupos a partir de seus objetivos aplicados entre 1957 e 2022



Fonte: Listagem baseada em 302 trabalhos buscados em plataformas online. Elaboração: Fonseca, C.F., 2023.

Período III – 2012 a 2022: Expansão e aceitação da análise fitolítica no Brasil

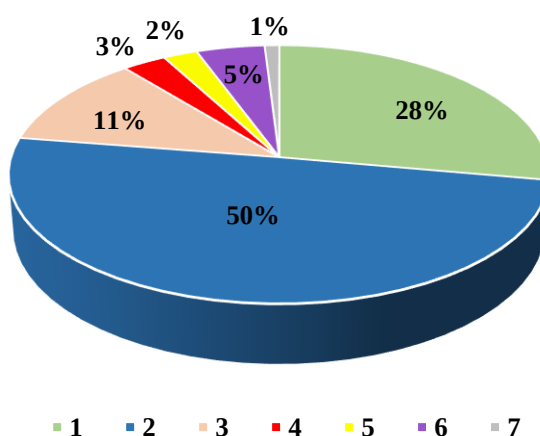
Este período reflete a aceitação da técnica como ferramenta para estudos paleoambientais. Os resultados permitem constatar ocorreu um aumento significativo na

produção de pesquisas envolvendo silicofitólitos no Brasil, representando cerca de 81% do total pesquisado desde 1957. Nesse tempo, a análise de fitólitos foi aplicada em estudos em todas as regiões do país, com destaque para as regiões Sul e Sudeste. As pesquisas nas áreas arqueológicas, com estudos microarqueobotânicos, em grutas, em Terra Preta de Índio – TPI e Sambaquis também apresentaram um crescimento expressivo, com destaque para o Grupo de Pesquisa do Museu Nacional, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Boyadijian, 2019) (Figura 2).

Mais da metade (53%) das pesquisas realizadas com fitólitos, nesse período, se dedicaram a reconstituição paleoambiental, enquanto, 25% consistiram na elaboração de coleções de referência. É importante ressaltar que esses estudos são cruciais para obtenção de informações sobre a vegetação atual, servindo como pontos de comparação com os morfotipos encontrados em amostras de sedimentos e solos, possibilitando a identificação botânica.

A fim de proporcionar uma análise aprofundada dos estudos realizados ao longo desses períodos distintos, uma abordagem criteriosa foi adotada para categorizar os trabalhos de acordo com seus objetivos específicos. Sete grupos temáticos emergiram dessa classificação, delineando as diferentes abordagens e enfoques empregados nos estudos fitolíticos, a saber (Figura.3):

Figura 3: Estudos fitolíticos e suas aplicações. Trabalhos sobre o bioindicador fitólito no Brasil sistematizados por grupos (1957 a 2022).



Fonte: Listagem baseada em 302 trabalhos* buscados em plataformas online. Elaboração: Fonseca, C.F., 2023. * Apenas parte dos trabalhos constam na referência bibliográfica, favor consulta o apêndice 1.

G1: Representa 28% das publicações e reúne os estudos fitolíticos sobre morfologia e caracterização de fitólitos presentes em plantas modernas, elaboração de coleção de referência e fingerprinting¹, com destaque para as seguintes publicações: Barroso *et al.*, 2021; Brustolini & Calegari, 2013; Calegari *et al.*, 2014; Campos & Labouriau, 1969; Casallas, 2012; Cavalcante, 1968; Coe *et al.*, 2017a; Costa, 2011; Dias, *et al.*, 2019a; Figueiredo & Handro, 1971; Fontana Jr. & Muth, 1957; Lima & Medeanic, 2007; Martins, 2012; Medeanic *et al.*, 2008; 2009; Monteiro *et al.* 2012a; Montii *et al.*, 2009; Morcote-Ríos *et al.*, 2016; Mozer, *et al.*, 2019; Mozer, 2021; Pereira *et al.*, 2011; 2013; 2014; Raitz, 2012; Raitz, *et al.*, 2015; Ramos, 2014; Rasbold *et al.* 2010; 2011b; 2012; Ricardo, 2016; Ricardo *et al.*, 2018; Sendulsky & Labouriau, 1966; Silva & Labouriau, 1970; Söndahl & Labouriau, 1970; Stevanato *et al.*, 2019);

G2: Agrupa 50% dos trabalhos das publicações e representa os estudos fitolíticos para reconstituição paleoambiental associada a outros *proxies*, como os isótopos de C e N, datação por LOE e/ou ¹⁴C: Alexandre *et al.*, 1999; Augustin *et al.*, 2014; Barros *et al.* 2016; Borba-Roschel *et al.*, 2006; Calegari, 2008; Calegari *et al.*, 2013a; 2015; 2017a; 2017b; Calegari & Vidal-Torrado, 2020; Chueng, 2012; 2016; Coe, 2009; Coe *et al.*, 2012a; 2012b; 2013a; 2013b; 2014a; 2014b; 2014c; 2015a; 2015b; 2018; Dias *et al.*, 2018; 2019b; Edwald, 2015; Gomes, 2012; 2013; Gomes *et al.*, 2014; Gonçalves, 2021; Leal, 2017; Lorente *et al.* 2015; Lucena, 2014; Luz *et al.*, 2019; Marques, 2019; Monteiro, 2012; Monteiro *et al.*, 2011; 2015; Paisani *et al.*, 2013; 2016; 2017; Parolin *et al.*, 2011; 2017; Paula & Silva, 2006; Pereira, 2010; Pessenda *et al.*, 2015; Piperno & Becker, 1996; Raitz *et al.*, 2015; Ramos, 2016; Ranulpho, 2016; Rasbold, 2013; Rasbold *et al.*, 2011a; 2016; Reis, 2021; Rocha, 2014; Santos, 2013; Santos, 2018; Seixas, 2015; 2017; Silva, 2013; Silva-Neto *et al.*, 2018; 2020; Souza, 2019);

G3: Abrange 11 das publicações e concentra os estudos fitolíticos aplicados a questões arqueológicas/arqueobotânicas (Terra Preta de Índio, área de ocupação pré-histórica, sambaquis, mesmo que a associação com os eventos sobre ocupação humana e a interação com o ambiente, seja superficial e/ou, praticamente, inexistente): Boyadijian, 2007; Boyadijian *et al.*, 2012; 2016a, 2016b; Boyadijian & Eggers, 2014; Bozarth *et al.*, 2009; Cascon, 2009, 2010; Chueng *et al.*, 2018; 2020ab; Coe *et al.*, 2017b; 2020; Corteletti, 2012; Corteletti *et al.*, 2016; Flores, 2015; Freitas *et al.*, 2018; Galvão, 2019; Gardiman *et al.*, 2016; Gomes, 2008; 2010; Hilbert *et al.*, 2017; Kondo & Iwana, 1981; Macedo, 2014; McMichael, 2013; 2015; Ortega,

¹ Termo que se refere a assinatura fitolítica de uma vegetação preservada no solo. Este termo foi introduzido no Brasil no trabalho de Mozer *et al.*, 2019.

2019; Pereira, 2010; 2013; Ramos, 2019; Schneider, 2014; Sianto, 2013; Souza, 2011; Watling *et al.*, 2015, 2017, 2018; Wesolowski *et al.* 2007;

G4: Representa apenas 3% dos trabalhos identificados e agrupa os estudos sobre os processos tafonômicos e as implicações na preservação das assembleias fitolíticas: Costa *et al.*, 2010a; 2010b; 2010c; 2019; Rodrigues, 2019; Santos, *et al.*, 2008; 2010; 2012;

G5: Grupo pouco expressivo, representa apenas 2% dos trabalhos. Porém reúne estudos importantes dedicados a discussão sobre os protocolos de pré-tratamento de extração, contagem e identificação de fitólitos em plantas e amostras de solo, sedimentos: Calegari *et al.* 2013b; 2016; Coe *et al.*, 2021; Costa, *et al.*, 2016; Parolin *et al.*, 2013; Santos, *et al.*, 2012;

G6: Reúne trabalhos de revisão bibliográfica sobre a distribuição geográfica e temáticas dos estudos fitolíticos no Brasil e representa 5% dos trabalhos identificados: Aguiar *et al.*, 2019; Calegari *et al.*, 2022; Coe; Osterrieth & Honaine, 2014; Labouriau, 1983; Luz *et al.*, 2015; Machado *et al.*, 2022; Santos, G. M. *et al.*, 2016; 2017; 2018;

G7: Representa apenas 1% dos trabalhos. Envolve os estudos que exploram a geoquímica da sílica biogênica e sua interação com metais e semimetais (Al e Cd): Costa, L.R.T., 2012; Farnezi, 2020; Oliveira, 2009.

Uma outra forma de analisar as produções científicas é comparar cada grupo e o ano de produção do trabalho (Figura 4), assim, percebe-se que os grupos G1, G3 e G6 passaram por mais de 20 anos de hiato de publicações, que se concentram em parte da década de 1980 e, totalmente, na de 1990.

Figura 4: Estudos fitolíticos e suas aplicações: sistematizados por grupos/ano de publicação (1957 a 2022).



Fonte: baseado em 302 trabalhos identificados sobre fitólitos produzidos no Brasil (1957-2022). **Elaboração:** Fonseca, C. F., 2023.

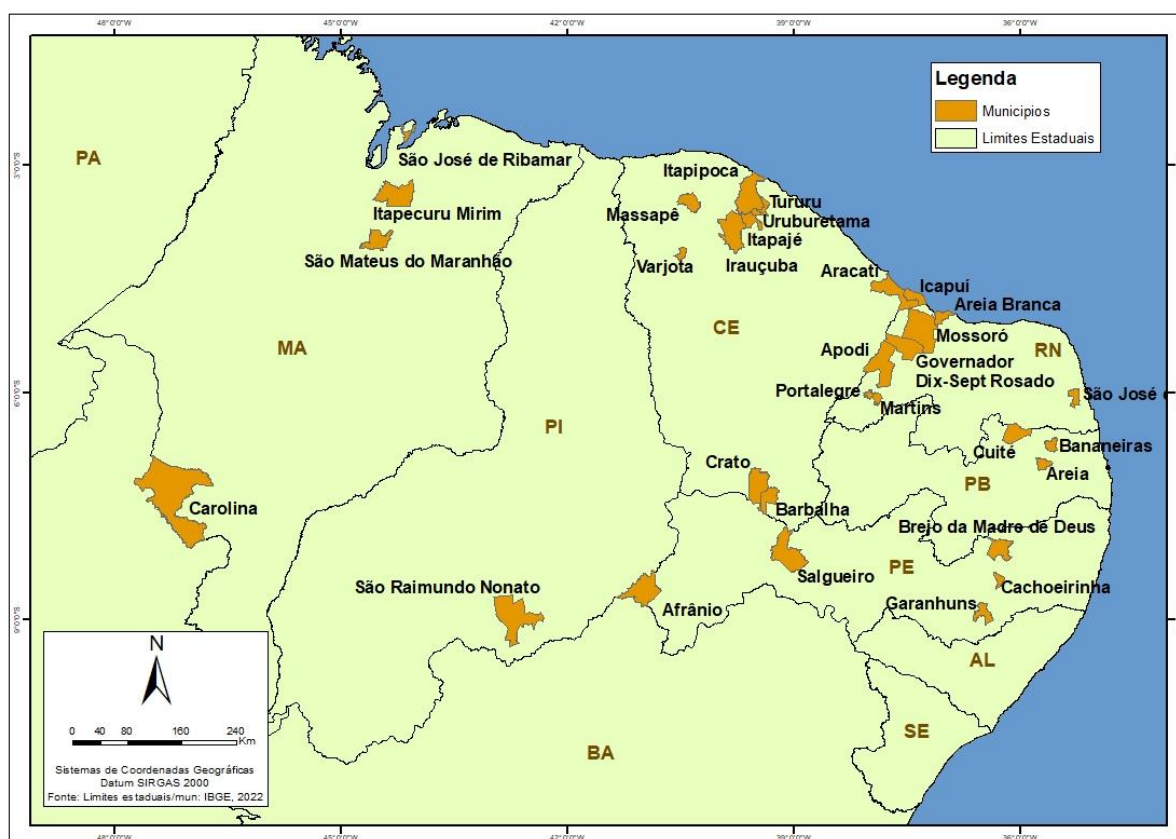
Os grupos G4 e G7 iniciaram seus estudos em 2006 e 2009, respectivamente. Nos anos de 2010 e 2012 houve a participação em publicações de pelo menos seis dos sete grupos. A concentração em elaboração de trabalhos ocorrem a partir de 2009, sendo os anos de 2012 e 2013 o destaque com 64 estudos.

Em suma, do universo total de 302 trabalhos, apenas 16 (5,3%) foram produzidos no Nordeste, sendo a maioria relacionados à aplicabilidade dos fitólitos para estudos ambientais, conforme será detalhado a seguir.

1.2.2 Estudos Fitolíticos no Nordeste Brasileiro

Do total de trabalho levantados, apenas 5,3% (16) foram realizados no Nordeste, sendo a maioria deles em estudos ambientais a partir de 2010, nos quais são utilizadas técnicas complementares desde isótopos estáveis, datações por Massa Acoplada a Acelerador de Partículas (MAS), por Luminescência Opticamente Estimulada (LOE) e análise granulométrica do solo. Muito ainda se tem que trilhar nesta jornada do conhecimento paleoambiental para a Região (Figura 5; Quadro 2).

Figura 5: Distribuição espacial das pesquisas com o proxy fitólito na região Nordeste do Brasil (2010 a 2022).



Fonte: baseado em referências bibliográficas (2010 a 2022). **Elaboração:** Rodrigo Ranulpho, 2023.

Quadro 2: Comparativo com as informações gerais dos trabalhos sobre fitólito no Nordeste brasileiro

Autor/ ano	Técnicas	Área de estudo	Grupo	Observações
COSTA <i>et al.</i> , 2010	AFMS (0-30cm); Gr.	Crato/CE e Cac_Gar_PE	G1	Caatinga; Sedimentar; ecótono com Cerrado
LISTO-SILVA, (2013; 2022)	AF; Sed.; Micr.; Min_arg.; ¹⁸ O, ¹⁴ C; LOE	BMD e AF PE	G2	Caatinga; Cristalino; Pleistoceno Superior/Holoceno
SIANTO, <i>et al.</i> (2013)	Análise paleoparasitológicos e parasitológicos, ¹⁴ C; LOE	Salgueiro/PE	G3	Caatinga; Cristalino; 34Ka – 690 anos; P. Superior, H. Médio/Infer.
RANULPHO, 2016	Sed.; AF e LOE	Chapada do Araripe/CE	G2	Ecótono; Sedimentar; Pleistoceno Superior/ Holoceno
COE <i>et al.</i> , 2017	AFMS e AFMP; Gr.	Eco_DS_ RN e CE	G1	Caatinga; Cristalino e Sedimentar.
RICARDO <i>et al.</i> , 2018	AF; CREF.	Eco_DS_ RN e CE	G1	Caatinga; Cristalino e Sedimentar
DIAS <i>et al.</i> , 2018	AF.; APed.; ¹³ C, ¹⁴ C, Gr.; Corg, pH - Perfil solo	Eco_DS_ RN e CE	G2	Caatinga; Cristalino e Sedim; 9 ka Holoceno Médio/Inferior
DIAS <i>et al.</i> , 2019	AFMP; Gr.; espículas; ¹³ C; ¹⁴ C - Perfil solo	Aracati/CE	G2	Caatinga; Sedimentar; H. Superior; biomineralizações
MARQUES, 2019	AF; Qui/Fís do Solo, ¹³ C, ¹⁴ C - Perfil solo	Serra dos Martins/PB	G2	Brejo - Caatinga e Mata Atlântica; Sedim; 6ka H. Médio
GALVÃO, 2019	Sed.; Morf.; Geoq.; AF; Geoarq.; LOE	Sudeste PI - PNSC	G3	Caatinga-Cerrado; Sedimentar; Pleistoceno/Holoceno; Younger Dryas; Teoria dos refúgios Ab'Saber (1992)
RAMOS, 2019	Sed.; Morf.; Min_arg.; AF; espículas, LOE	Salgueiro/PE	G3	Caatinga; Cristalino; 34 - 4 ka Pleisto. Superior, H. Médio/Infer
CALEGARI & V. TORRADO, 2020	AF; Qui/Fís - 4 Perfis de solo	Maranhão	G2	Ecótono com Caatinga, Cerrado; Sedimentar
BARROSO, 2021	AFMS	Massapê e Varjota/CE	G1	Caatinga; Cristalino; açude.
DOCIO, 2020	AF; Sed.; Gr.; ¹³ C, ¹⁴ C e ¹⁵ N; COT; espículas esponjas	São José do Mipibu/RN	G2	Evolução de sistema lumínicos costeiros e interioranos; Sedim
AGUIAR, 2022	F.; Gr.; COT, ¹⁴ C – 12 perfis	Serra de Uruburetama/CE	G2	Brejo – Mata Atlântica – Caatinga arbustiva densa – Carrasco; Cristalino 9 ka – 3.664 ka; Holoceno Inf., Médio e Superior

Legenda: Técnicas: AF – Análise Fitolítica; AFMP – Análise Fitolítica Moderna da Plantas; AFMS – Análise Fitolítica Moderna do Solo; APed – Análise Pedológica; CREF– Coleção de Referência de plantas; Geoq – Geoquímica; Geoarq – Geoarqueológica; Gr – Granulometria; Micr – Micromorfologia; Min_arg – Mineralogia da argila; Morf – Morfoestratigráfica; LOE – Luminescência Opticamente Estimulada; Qui/Fís – análise Química e Física do solo; Sed – Sedimentologia; Sedim – Sedimentar; TOC – Carbono Orgânico Total. Área de estudo: Cac – Cachoeirinha; Gar – Garanhuns; BMD – Brejo da Madre de Deus; AF – Afrânio; Eco_DS: Ecorregião da Depressão Sertaneja.

Em um estudo pioneiro para o Nordeste Costa, *et al.* (2010a), investigaram a distribuição e a estabilidade de corpos silicosos em solos de diferentes Ecossistemas. Foram examinados horizontes superficiais de 10 perfis, sendo três deles no NE (Figura 5): dois Latossolo Amarelo (Crato/CE e Garanhuns/PE) e, um Vertissolo (Cachoeirinha/PE). Ao analisar a fração silte, onde os fitólitos são mais encontrados, foram identificados os morfotipos *CROSS*, *ELONGATE* e algumas formas irregulares em Latossolos, enquanto no Vertissolo foram observados *ELONGATE* e *BILOBATE*. Os autores ressaltam a pobreza em sílica disponível nos solos estudados, cuja abundância variou de pouca a rara.

Por sua vez Silva-Listo (2013; 2022) desenvolveu a primeira tese do Nordeste sobre reconstituição paleoambiental, numa perspectiva *multiproxy*. Ao investigar eventos deposicionais em marmitas de dissolução em Fazenda Nova, distrito de Brejo da Madre de Deus e, em Afrânio/PE, ambas áreas com precipitação média anual inferior a 560 mm, autora revelou um ambiente caracterizado por vegetação aberta, sugerindo condições quentes e secas, evidenciando estresse hídrico através da presença abundante de *BULLIFORMS*, que marca a silicificação de células da epiderme de gramíneas. Entretanto, a detecção de espículas de esponjas, sugeriu a ocorrência de períodos mais úmidos com a formação de lâmina d'água. Observou-se também sinais de transporte de sedimentos e variação de pH acima de 8, evidenciados pela quebra e corrosão dos biominerais de sílica, impactando na dissolução da mesma e explicando a escassez de fitólitos de células curtas. Os morfotipos mais relevantes foram os *BULLIFORM* e *ELONGATE* (Poaceae), *SPHEROID* (palmeira e bromélia) e, *ACUTE*.

A assembleia fitolítica de Afrânio uma predominância de morfotipos típicos de Poaceae, com elementos arbustivos e arbóreos, como *SPHEROID* e *BLO_POL*. Apresentando diferenças significativas em relação à vegetação atual. A análise geomorfológica de detalhe associada a uma abordagem *multiproxies*, contribui para a compreensão da evolução da paisagem e das mudanças ambientais, especialmente na formação dos depósitos e marmitas de dissolução, datadas do Pleistoceno tardio (40.200 a 15.400 anos cal. AP) até o Holoceno (13.000 a 470 anos cal. AP) no cristalino da Província da Borborema (Silva-Listo, 2013; 2022).

Com o propósito de explorar as interações entre hospedeiro e as mudanças ambientais, Sianto *et al.*, (2013), analisaram coprólitos, sedimentos e fezes de animais do Sítio Arqueológico Lagoa do Uri de Cima, em Salgueiro/PE. Cinco coprólitos foram identificados, incluindo dois de origem herbívora, nos quais foram encontrados fitólitos de Poaceae e Asteraceae. A datação das amostras variou de 34.600 ± 690 anos BP e outra mais recente, de

4.600 $\pm$ 900 anos BP. Além disso, no sedimento da área foram observados grânulos de amido de batata, mandioca e milho, bem como diatomáceas, esporos de fungo e, possivelmente, pólen.

O estudo de Ranulpho (2016), trouxe contribuições sobre a dinâmica geomorfoestratigráfica, vegetacional e ambiental da Chapada do Araripe/CE desde o Pleistoceno superior até o presente. O autor analisou dois colúvios, CSA - B em Santo André - Barbalha e o CEPS - C na Estrada Ponta da Serra - Crato, com 4,35 m de profundidade, revelou uma vegetação aberta e alto estresse hídrico há cerca de 30.550 e 13.100 anos AP. Já o CSA - B, com 2,91 m, apresentou três fases ambientais: (i) base 53.850 anos AP; (ii) cerca de 52.000 anos AP; (iii) 50 cm de profundidade ~30.120 anos AP. O morfotipo *SPHEROID ORNATE* foi destaque, sugerindo um período mais úmido que o atual após os 10 cm a partir da superfície. Esses resultados indicam um ambiente de muita energia e de baixa seleção de material, influenciando na baixa concentração de fitólitos e na dissolução das partículas, com idade do material superior ao CEPS - C.

Em linhas gerais, os resultados de Ranulpho (2016), apontam que houve deposição de fitólitos provenientes de uma vegetação arbórea/arbustiva, que hoje é substituída, em superfície, por vegetação de gramíneas. Durante o Último Máximo Glacial - UMG o clima foi mais seco, promovendo a formação de uma vegetação mais aberta, com presença de gramíneas e eventos de formação de relevo menos intensos.

A primeira coleção de referência de fitólitos em plantas da Caatinga foi realizada na Ecorregião da Depressão Sertaneja Setentrional (EDSS), do RN e do CE (Coe *et al.*, 2017a; Ricardo *et al.*, 2018). Amostras superficiais de solo foram analisadas para determinar a assinatura fitolítica (*fingerprinting*) em diferentes fitofisionomias da Caatinga, resultando em uma Coleção de 33 espécies de 16 famílias botânicas, sendo constatada alta produção e diversidade de fitólitos, principalmente *TRACHEARY*, *POLYHEDRAL*, *SPHEROID ORNATE* e *ACUTE*, com exceção da catingueira (*Poincianella bracteosa* (Tul.) L. P. Queiroz que não produziu corpos silicosos. A adaptação das plantas ao clima quente e seco (Epstein, 1999; Souza, 2020) é evidenciada pela abundância do morfotipo *ACUTE*, como *Licania rigida* Benth (Oiticica), produzindo-o em grande quantidade, enquanto duas espécies de *Croton* - Euphorbiaceae, estavam associadas ao *ELONGATE*. Outros táxons, como as Marantaceae, também produziram morfotipos diagnósticos.

Ainda nesta pesquisa, as autoras (Coe *et al.*, 2017a; Ricardo *et al.*, 2018) identificaram que mais de 80% dos fitólitos estavam bem preservados, variando conforme a vegetação local e a granulometria do solo. Nos pedons arenosos, a quantidade de fitólitos foi menor devido ao

tamanho dos grãos (Costa, *et al.*, 2010a, 2019), facilitando sua percolação e dissolução durante chuvas intensas no semiárido. Os principais morfotipos foram o *SPHEROID ORNATE*, *SPHEROID ECHINATE* e *ELONGATE*. Em resumo, os fitólitos mostraram-se úteis para estudos da vegetação da Caatinga e para pesquisas de reconstituição paleoambiental no Nordeste.

Dando continuidade aos estudos na EDSS, Dias *et al.* (2018), coletaram vinte amostras de solo em três perfis: P1 - Mossoró, P2 - Areia Branca e P3 - Apodi/RN e, P4 - Aracati/CE. Observou-se uma tendência de diminuição do estoque de carbono orgânico e de fitólitos no solo em direção à base do perfil, embora alguns horizontes mais profundos apresentassem maior abundância de corpos silicosos, possivelmente devido à fração mais fina e/ou acúmulo de matéria orgânica em períodos mais úmidos que o atual (Mossoró/RN e Aracati/CE). O pH das amostras variou entre 4,5 e 7, faixa propícia para a preservação dos fitólitos.

De modo geral, segundo os autores (Dias *et al.*, 2018), os fitólitos predominantes nos perfis foram os de gramíneas, especialmente os morfotipos *BULLIFORM* e *ACUTE*, e ocasionalmente o tipo *SADDLE*, associado a gramíneas xerófitas. O índice de densidade arbórea (D/P) foi baixo, exceto no perfil P1, indicando um ambiente mais seco devido à atividade agropastoril. Evidenciou-se uma tendência de aumento da densidade arbórea e redução do estresse hídrico com a profundidade, sugerindo um clima pretérito mais úmido em determinados períodos em torno de 2.200 anos cal AP no perfil P4, ~ 465 anos cal AP no P1 e um período anterior a 9.000 anos cal AP no P2.

Prosseguindo com os estudos, na Depressão Sertaneja Setentrional, Dias *et al.* (2019) analisaram o perfil P4 de Aracati/CE, correlacionando os dados de biomineralizações de sílica, com amostras de oito espécies de plantas e suas respectivas assembleias modernas. Constatou-se que todas as espécies examinadas produziram fitólito, indicando presença de plantas de ciclo fotossintético C₃, principalmente arbustivas e arbóreas. Os fitólitos *BULLIFORM*, *ACUTE* e *SPHEROID* obtiveram destaque, sendo os dois primeiros característicos de ambiente com pouca disponibilidade de água. Percebeu-se que por volta de 2.283 e 721 anos cal AP, houve aumento de densidade arbórea, sugerindo condições climáticas mais úmidas que as atuais.

Marques (2019) buscou compreender a evolução da paisagem, associada à ocorrência de Latossolos Amarelo Distróficos húmicos (LAdh) em brejos de altitude da Paraíba (Pôrto *et al.*, 2004; Medeiros & Cestaro, 2018; 2019) numa abordagem *multiproxies*. Três perfis de LAdh – P1 localizado em Areia/PB, P2 em Bananeiras e, P3 em Cuité foram analisados e inferiu-se que fatores como paleoclima, vegetação, incêndios florestais passados e conservação das litologias locais contribuíram para a formação desses solos. A análise de fitólitos indicou

similaridade entre os perfis estudados, com maior diversidade no LAdh de Areia. O sinal isotópico $\delta^{13}\text{C}$ e a presença de fragmentos de carvão sugerem incêndios florestais passados, corroborando estudos anteriores. Esses processos contribuíram para a formação do horizonte húmico desses solos.

Galvão (2019) investigou a evolução paleoambiental de quatro sítios arqueológicos no Sudeste do Piauí, utilizando uma abordagem multiproxies embasada na geoarqueologia. Os resultados deste trabalho indicaram que os depósitos coluviais do Parque Nacional da Serra da Capivara (PNSC) foram influenciados por eventos climáticos globais e regionais. No Sítio da Toca do Sítio do Meio, foram identificados momentos de semiaridez intercalados por chuvas torrenciais, refletidos nos morfotipos predominantes: *SADDLE* (30%), *SPHEROID* (26%) e *BULLIFORM* (20%). O sítio do Gongo III sugeriu vegetação mais densa durante a transição Pleistoceno/Holoceno, corroborando a teoria dos refúgios de Ab'saber (1992; 2002; 2003). Os principais morfotipos de fitólitos encontrados foram: *SPHEROID* (33%), *BULLIFORM* (30%), *ELONGATE* (15%) e *SADDLE* (10%), indicando momentos de semiaridez contínua intercalado por eventos de grande magnitude e baixa recorrência, como as chuvas torrenciais. Galvão (2019) destaca, ainda, desafios na pesquisa, como fitólitos fragmentados e a falta de estudos sobre questões paleoambientais na Caatinga.

Ainda em 2019, Ramos, estudou as biomineralizações de sílica no Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima, inserido numa mega marmita de dissolução, em Salgueiro/PE. Os sedimentos analisados abrangiam um período de cerca de 34 a 4 mil anos AP (Pleistoceno/Holoceno). Os principais morfotipos encontrados foram *SPHEROID*, *ELONGATE*, *BILOBATE*, *RONDEL* e *SADDLE*, sendo os dois primeiros, em maior número. A presença frequente de fragmentos de corpos silicosos indica transporte pela água das chuvas e as oscilações na expansão e contração das argilas atuando na tafonomização dos fitólitos. Mudanças ambientais foram inferidas por volta de 18.600 ± 2.300 anos AP, com indicativo de chuvas torrenciais (Wang *et al*, 2002).

Segundo Ramos (2019), essa condição pode ter influenciado na conexão da lagoa com a rede de drenagem local, resultando na perda parcial de sílica do sistema. A transição do Holoceno inferior para o Holoceno médio foi marcada pelo aumento de fitólitos de palmeira, sugerindo um ambiente mais úmido. No entanto, a transição do Holoceno médio para o H. superior foi caracterizada pela entrada da circulação atmosférica contemporânea (~5 mil anos AP), trazendo uma alternância de períodos de seca severa, o que corresponde à atual paisagem de Caatinga hiperxerófila aberta.

O capítulo 18 do e-book da XIII Reunião de Classificação e Correlação de Solos - RCC 2019, realizado no Maranhão, traz estudos fitolíticos conduzidos por Calegari & Vidal-Torrado (2020) em quatro perfis distintos: MA-04 Planossolo Háptico, MA-06 Latossolo Vermelho, MA-12 Plintossolo Pétrico e MA-14 Antropossolo. Os resultados revelam mudanças na estrutura vegetacional nos perfis analisados, mas a falta de datação do material impossibilita estabelecer a geocronologia. No perfil MA-04, foram observadas variações nas condições de umidade e temperatura, sem evidências de mudança no material de origem ou coluvionamento. Nos perfis MA-06 e MA-12, não foram encontrados fitólitos abaixo dos horizontes plínticos, sugerindo uma alteração abrupta no ambiente e forte ataque geoquímico na sílica biogênica. Já no MA-14, o morfotipo predominante foi o *SPHEROID*, em suas variações *PSILATE* e *ORNATE*, além do *ECHINATE*, indicando estabilidade de um ambiente florestado em todo o perfil.

Barroso *et al.* (2021) estudaram a assinatura fitolítica da vegetação atual e a sua relação com a cobertura vegetal no bioma Caatinga, no Ceará. Para isto, foram coletadas amostras em três fitofisionomias distintas: Caatinga arbustiva aberta, Caatinga arbustiva densa e Caatinga arbórea, além de sedimentos de dois açudes em Massapê e Varjota. A pesquisa identificou 26 morfotipos, com destaque para a presença de Poaceae, Arecaceae e Cyperaceae. Nos açudes, o morfotipo *SPHEROID ECHINATE* foi predominante, indicando a presença de palmeiras na mata ciliar e Caatinga arbustiva aberta nos arredores. Já na superfície do solo, o morfotipo *SADDLE* foi mais comum, refletindo o clima quente e seco da região semiárida. Na Caatinga arbustiva densa, o morfotipo *BILOBATE* dominou, sugerindo um ambiente quente e úmido. O morfotipo *SPHEROID ORNATE* foi encontrado em abundância em áreas preservadas, correspondendo à vegetação atual. Nas amostras dos açudes, foram registradas alterações na vegetação, possivelmente relacionadas a fenômenos naturais e atividades humanas, como estiagens e abandono de terras cultivadas.

Dócio *et. al.* (2021) realizaram a primeira análise de reconstituição paleoambiental *multiproxy* do RN. Os resultados revelaram que a região dos lagos de Fumo e de Urtiga, em São José do Mipibu, permaneceu constantemente submersa, abrigando uma variedade de plantas C3, C4 e algas. Fitólitos diagnósticos de Poaceae, Cyperaceae e de Arecaceae/Bromeliaceae foram identificados, assim como espículas de esponjas de água doce e marinhas. Esses achados sugerem uma conexão com o ambiente litorâneo há aproximadamente 2.080 anos Cal. AP.

Aguiar (2022) conduziu o estudo mais recente no Nordeste, visando compreender os fatores paleobiogeoclimáticos que moldaram a paisagem dos Brejos de Altitude da Serra de

Uruburetama, no Ceará, ao longo do Quaternário. Os resultados revelaram uma estabilidade ambiental durante o Holoceno, caracterizada pela alternância entre períodos secos e episódios de chuvas torrenciais, com predominância de uma vegetação aberta, composta por herbáceas e poucas espécies lenhosas. A maior densidade arbórea, identificada por meio dos morfotipos de fitólitos, correspondeu às datações de 5.022-4.417 anos cal AP e 4.241-3.664 anos cal AP.

Esses estudos proporcionaram uma melhor compreensão das mudanças paleoambientais no Nordeste brasileiro ao longo do tempo, utilizando uma variedade de abordagens e técnicas para decifrar a história da vegetação, clima e ocupação humana na Região. Após uma análise abrangente dos estudos de fitólitos realizados no Brasil, especialmente na região Nordeste, tornou-se evidente a escassez de informações sobre a produção dessas estruturas e suas aplicações, especialmente nas áreas de Mata Atlântica e Caatinga.

Em relação às produções a nível de país, a maior parte das pesquisas está concentrada nas regiões Sul e Sudeste do país. Os primeiros estudos sobre a coleta de referência, que se dedicaram principalmente às gramíneas, foram conduzidos por Labouriau e colaboradores, seguidos por trabalhos mais recentes de Monteiro *et al.* (2012a; 2013ac), Pereira (2011; 2012; 2014ab), Rasbold (2010; 2011; 2012) e Calegari *et al.* (2017). Destacam-se também os estudos voltados para as Eudicotiledôneas, como os de Brustolin & Calegari (2013), Felipe (2012), Monteiro (2013b), Mozer (2021), Raitz (2012) e Souza (2019).

No entanto, no Nordeste (Quadro 2), em particular nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte, apenas três trabalhos foram desenvolvidos até o momento (Coe *et al.*, 2017; Ricardo *et al.*, 2018; Dias *et al.*, 2018).

Em geral, o bioindicador fitólito demonstrou ser eficaz em estudos realizados na Região Nordeste (NE), exceto em sedimentos cársicos encontrados na Serra da Capivara/PI. A maioria das pesquisas consultadas foi disponibilizada em formato de artigo, enquanto 40% ainda estão disponíveis apenas como dissertações e teses nas plataformas online das respectivas universidades, o que, de certa forma, restringe sua divulgação no âmbito científico. Ao analisar os trabalhos realizados no Nordeste, observou-se:

- a) Dos 16 trabalhos analisados, seis deles foram desenvolvidos em área de formação cristalina, sete em sedimentar e três em ambas as áreas. As datações abrangem desde a transição Pleistoceno/Holoceno até o Holoceno Superior (Quadro 2);
- b) A ocorrência frequente dos seguintes morfotipos: *SPHEROID ORNATE*, *SPH_ECHI*, *ELONGATE*, *BUL_FLA* e *ACUTE*;

- c) As áreas de marmitas (cacimbas de dissolução), exibem um pH próximo a 9, considerado crítico para a corrosão dos fitólitos. No entanto, surpreendentemente, demonstraram elevadas taxas de preservação dos morfotipos. Isso pode ser atribuído aos períodos de escassez de água, típicos do clima semiárido, que favoreceram a conservação da assembleia fitolítica. Esses achados sugerem que as pretéritas áreas alagadas com acúmulo de sedimentos constituem locais propícios para estudos fitolíticos de reconstituição paleoambiental;
- d) O estado do Ceará se destaca pelo maior número de publicações, especialmente no contexto do Ecossistema Caatinga, dentro da Ecorregião da Depressão Sertaneja Setentrional, que abrange os estados do Rio Grande do Norte e Ceará. Essa região possui uma importância biológica significativa devido à sua alta diversidade, ocorrência de endemismos e eventos biológicos especiais, os quais estão diretamente ligados aos fatores abióticos, sobretudo à disponibilidade de água (LEAL *et al.*, 2003; 2005);
- e) Cinco municípios de Pernambuco em área de Agreste e Sertão foram contemplados com trabalhos, e estão associados ao grupo de pesquisa da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), e suas colaborações com pesquisadores do Sul;
- f) O Maranhão, o Piauí e a Paraíba foram representados com apenas um trabalho, cada. Bahia, Sergipe e Alagoas ainda não apresentam estudos com o bioindicador fitólito, caracterizando-se como potenciais áreas para estudos futuros.

1.3 Considerações Finais sobre os trabalhos no Nordeste

O levantamento bibliográfico sobre o bioindicador fitólito no Nordeste revelou que há poucos trabalhos que abordam a análise da assinatura fitolítica da serrapilheira do solo, também conhecida como *fingerprinting*, assim como a criação de coleções de referência de plantas modernas. Essa lacuna de informações reflete na escassez de dados sobre os morfotipos presentes nas espécies mais representativas das vegetações da Região, dificultando assim a comparação entre as assembleias modernas e fósseis. Isso, por sua vez, limita nossa compreensão das mudanças fitofisionômicas e paleoambientais locais.

A maioria dos estudos analisados para o Nordeste brasileiro foi desenvolvido em áreas de Caatinga, enquanto os demais foram realizados em ecótonos vegetacionais, caracterizados pela transição entre Caatinga, Cerrado e Brejo. Destacam-se nesse contexto a Chapada do Araripe/CE, a Serra da Capivara/PI e os Brejos de PB/CE. Apesar de amplamente estudada nas

regiões Sul e Sudeste do Brasil, a Mata Atlântica dessa região ainda não foi contemplada com estudos fitolíticos.

As datações pelo método LOE foram empregadas em áreas de depósitos sedimentares, preferencialmente, desprovidas de restos orgânicos, como é o caso de estudos em marmitas de dissolução em Pernambuco e em formações sedimentares no Piauí e no Ceará. A utilização da datação por ^{14}C da matéria orgânica do solo (MOS), embora uma técnica mais dispendiosa que o LOE, é limitada em sua aplicação nas pesquisas. Quanto às idades das áreas estudadas, as mais antigas foram datadas do Pleistoceno Superior, aproximadamente 34 mil anos cal. AP, sendo duas delas em áreas de relevância arqueológica, no Sudeste do Piauí e em Salgueiro, Pernambuco. No entanto, apenas o estudo de Galvão (2019) faz considerações superficiais sobre o uso e a ocupação dessas áreas pelas populações locais.

A técnica isotópica $\delta^{13}\text{C}$ poderia ser mais frequentemente empregada em estudos paleoambientais no Nordeste, pois ela complementa as informações fitolíticas relacionadas às mudanças na vegetação, tanto em sua estrutura quanto em sua aparência. No entanto, isso nem sempre é viável devido à possível escassez de carbono no solo, o que inviabiliza a análise, especialmente considerando as condições climáticas e edáficas desfavoráveis à incorporação da matéria orgânica do solo (MOS).

Portanto, para aprimorar os estudos de reconstituição paleoambiental no Nordeste, sugere-se a criação e a coordenação de grupos de pesquisa capazes de trabalhar em conjunto em diversas áreas, incluindo geomorfologia, geoarqueologia, arqueobotânica e ambiental, de maneira interdisciplinar. Os principais objetivos desses grupos seriam:

- a) Elaborar coleções de plantas modernas representativas dos diferentes grupos vegetacionais encontrados na Região;
- b) Padronizar as metodologias e a seleção de bioindicadores a serem utilizados em pesquisas;
- c) Disponibilizar os resultados em plataformas científicas amplamente acessíveis;
- d) Promover a troca de informações com pesquisadores de outras regiões do País por meio de encontros e simpósios, visando aprimorar conhecimentos e técnicas relacionadas à coleta, extração e análise de fitólitos, além da reconstituição paleoambiental.

Essas informações podem contribuir para a gestão e o planejamento do território, bem como para o uso e ocupação sustentável do solo. Além disso, são fundamentais para embasar a criação de áreas de conservação e proteção ambiental, dada sua relevância socioeconômica, biológica, educacional e, principalmente, para a convivência com o semiárido.

Referências Bibliográficas

- AB'SABER, A. N. A teoria dos refúgios: origem e significado. **Anais 2º Congresso Nacional sobre Essências Nativas**. 1992.
- AB'SÁBER, A. N. O Nordeste Brasileiro e a Teoria dos Refúgios, Trópico e Meio Ambiente, **Anais do Seminário de Tropicologia**, Recife, Massangana, 2002.
- AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 159p. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- AGUIAR, A. E. X. *et al.* O Uso do bioindicador fitólito em estudos ambientais e arqueológicos no Brasil. **Revista GeoNordeste**, São Cristovão, Ano XXX, n.1, p.80-104, jan./jun.2019.
- AGUIAR, A. E.X. **Reconstituição paleobiogeoclimática dos brejos de altitude do Ceará: um estudo de caso da Serra de Uruburetama (CE)**. 2022.Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Estadual do Ceará – UECE.
- ALBERT, R. M. & WEINER, S. Study of phytoliths in prehistoric ash layers using a quantitative approach. In: MEUNIER, J. D., COLIN, F. (Org.). **Phytoliths: applications in Earth sciences and human history**. Lisse: Balkema, p. 251–266, 2001.
- ALEXANDRE, A. *et al.* Phytoliths: Indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 136 (1 - 4), 213-229, 1997.
- ALEXANDRE, A. *et al.* Late Holocene Phytolith and Carbon-Isotope Record from a Latosol at Salitre, South-Central Brazil. **Quaternary Research**, San Diego, v. 51, p.187 – 194, 1999.
- AMORIM, M. A. *et al.* Origem e dinâmica da deposição dos sedimentos superficiais na Várzea do Lago Grande de Curuai, Pará, Brasil. **Acta Amazônica**, v.39, n.1, p.165-172, 2009.
- ANDRADE-LIMA, D. **Estudos fitogeográficos de Pernambuco**. Recife: Instituto de Pesquisas Agronômicas de Pernambuco - IPA, 45 p., 1957.
- _____. **Domínio das caatingas**. Recife: UFRPE, Instituto de Pesquisas Agronômicas – IPA & Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq. 50 p., 1981.
- AUGUSTIN, C. H. R. R. *et al.* Analysis of geomorphic dynamics in ancient quartzite landscape using phytolith and carbon isotopes, Espinhaço Mountain Range, Minas Gerais, Brazil. **Géomorphologie** (Paris), v.4, p.355 - 376, 2014.
- AULER, A. S.; SMART, P. L. Late Quaternary paleoclimate in semiarid northeastern Brazil from U-Series dating of travertine and water-table speleothems. **Quaternary Research** 55: 159-167, 2001.
- BANDA, R. K. *et al.* Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications. **Science**, v. 353, p. 1383-1387, 2016.
- BARROS, L.F.P.*et al.* Paleobiogeoclimatic scenarios of the Late Quaternary inferred from fluvial deposits of the Quadrilátero Ferrífero (Southeastern Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, 67, 71 - 88, 2016. DOI: 10.1016/j.jsames.2016.02.004
- BARROSO, F. R. G. *et al.* Phytoliths from soil surfaces and water reservoirs of the Brazilian semi-arid Caatinga. **Journal of South American Earth Sciences**,108, 103180, 2021.
- BELNAP, J. *et al.* Linkages between microbial and hydrologic processes in Arid and semiarid watersheds. **Ecology**, v. 86, 2005.

- BLACKIE, R. *et al.* Tropical dry forests: The state of global knowledge and recommendations for future research. **Cifor**, 2014.
- BORBA-ROSCHER, M. *et al.* Phytoliths as indicators of pedogenesis and paleoenvironmental changes in the Brazilian cerrado. **Journal of Geochemical Exploration**, 88:172-176, 2006.
- BOYADJIAN, C. H.C. Microfósseis contidos no cálculo dentário como evidência do uso de recursos vegetais os sambaquis de Jabuticabeira II (SC) e Moraes (SP). Dissertação de Mestrado. São Paulo, Universidade de 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. Tese de Doutorado. São Paulo, Universidade de São Paulo. 2012.
- BOYADJIAN, C. H. C. & EGGERS, Sabine. Micro-Remains Trapped in Dental Calculus Reveal Plants Consumed by Brazilian Shell Mound Builders. In: Roksandic, M., Mendonça de Souza, S.M.F., Eggers, S., Burchell, M. & Klöckler, D. (Eds.) The cultural dynamics of shell-matrix sites. University of New Mexico Press.179-188, 2014.
- BOYADJIAN, C. H.C.*et al.* Dieta no sambaqui Jabuticabeira II: consumo de plantas revelado por microvestígios provenientes de cálculo dentário. **Cadernos do LEPAARQ** 13:132-161, 2016a.
- BOYADJIAN, C. H.C. *et al.* Micro-remains trapped in dental calculus from Lapa do Santo, Brazil. Workshop on the Analysis of Microscopic Particles in **Archaeological Samples** (WAMPAS) 6-8 December, Leipzig, Alemanha.2016b.
- BOYADJIAN, C. *et al.* **Microarqueobotânica no Museu Nacional, UFRJ: estado da arte de uma disciplina inovadora e primeiros resultados de estudos recentes**. Revista de Arqueologia, Edição especial do Museu Nacional (Volume 1): V. 32, nº2, 2019.
- BOZARTH, S. R. Classification of opal phytoliths formed in selected dicotyledons native to the great plains. In: GEORGE RAPP, J. S. C. M. (Ed.). **Phytolith Systematics Emerging Issues**. 1. ed. [s.l.] Springer Science, 193–214, 1989.
- BOZARTH, S. R. *et al.* Phytoliths and Terra Preta: the Hatahara site example. In: **Amazonian dark earths**. Dordrecht: Springer. 2009.
- BREMOND, L. *et al.* A phytolith index as a proxy of tree cover density in tropical areas: calibration with Leaf Area Index along a forest-savanna transect in southeastern Cameroon. **Global and Planetary Change**, v. 45, n. 4, p. 277-293, 2005.
- BREMOND, L.; BODIN, S. C.; BENTALEB, I.; FAVIER, C.; CANAL, S. Past tree cover of the Congo Basin recovered by phytoliths and $\delta^{13}\text{C}$ along soil profiles. **Quaternary International**, [S. l.], 2017. DOI: 10.1016/j.quaint.2015.11.150.
- BRUSTOLIN L.T. & CALEGARI, M.R. Coleção de referência de fitólitos de Eudicotiledôneas da floresta ombrófila densa: subsídios para reconstrução paleoambiental. **VIII Semana Acadêmica e VIII Expedição Geográfica**, 2013.
- CALEGARI, M. R. **Ocorrência e significado paleoambiental do horizonte A húmico em latossolos**. 2008, 259 f. Tese (doutorado em Agronomia), Programa Pós-Graduação em Agronomia. Piracicaba: ESALQ. Univ. de São Paulo.
- CALEGARI, M. R. *et al.* 2013a. Combining phytoliths and $\delta^{13}\text{C}$ matter in Holocene palaeoenvironmental studies of tropical soils: An example of an Oxisol in Brazil. **Quaternary international**. v. 287, p. 47-55, 2013a.

- CALEGARI, M.R. *et al.* 2013b. Opal phytolith extraction in oxisols. **Quaternary International**, 287: 56-62, 2013b. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.11.005>
- CALEGARI, M. R. *et al.* Phytolith Signature from Grassland and Araucaria Forest in Southern Brasil. In: COE, H.H.G.; OSTERRIETH, M. (Org.). **Synthesis of Some Phytolith Studies in South America (Brazil and Argentina)**. 1ed. New York: Nova publishers, p. 91-120, 2014.
- CALEGARI, M.R. *et al.* 2015. Holocene Vegetation and Climate inferences from Phytoliths and Pollen from Lagoa do Macuco, North Coast of Espírito Santo State (Brazil). **Quaternary and Environmental Geosciences**, 06(1): 01-10, 2015.
- CALEGARI, M.R.; MUSAUBACH, M.G.; HONAINÉ, M.F. 2016. Protocolos de muestreo y extracción de fitolitos y almidones utilizados por grupos de investigación en Sudamérica. In: **CONICET**, Taller de Micropaleontobotánica, 2: Relevancia de una Red Interdisciplinaria de Investigaciones en Fitólitos y Almidones, Entre Ríos, Argentina, Libro de Resúmenes, p. 10-11, 2016.
- CALEGARI, M.R. *et al.* Potential of soil phytoliths, organic matter and carbon isotopes for small-scale differentiation of tropical rainforest vegetation: a pilot study from the campos nativos of the Atlantic Forest in Espírito Santo State (Brazil). *Quaternary International*, 437(B): 156-164, 2017a.
- CALEGARI, M. R. *et al.* Phytolith signature on the Araucarias Plateau – Vegetation change evidence in Late Quaternary (South Brasil). **Quaternary International**. v. 434, parte B. p. 117-128, 2017b.
- CALEGARI, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. Memórias bióticas de solos selecionados da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: condições ambientais e pedogênese. In: **Guia de campo da XIII RCC e Correlação de Solos: Maranhão**. SILVA, *et al.* (Org.). Brasília, DF: Embrapa, p. 546 – 565, 2020.
- CALEGARI, M. R.; SOUZA, E. de; MOZER, J. H.; MARCOLIN, L., & FONSECA, C. F. da. Fitólitos – Uma ferramenta para estudos de reconstituição paleoambiental: Conceitos e revisão sobre aplicações no Brasil. **Derbyana**, 43, e778, 2022.
- CAMPOS, A. C. & LABOURIAU, L. G. Corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados. II. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 4: p.143-151, 1969.
- CASALLAS, J. M. M. **Constituição de uma coleção de referência arqueobotânica: o estudo de fitólitos como janela para o passado**. 2012. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- CASCON, L. M. **Pequenas Grandes Permanências: métodos e técnicas para a construção de coleções de referência e extração de grãos de amido e outros microvestígios de diversos contextos**. 2009. Monografia de conclusão de curso. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- CASCON, L. M. **Alimentação na floresta tropical: Um estudo de caso no sítio Hatahara, Amazônia Central, com base em microvestígios botânicos**. 2010. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 203p.
- CAVALCANTE, P.B. Contribuição ao Estudo dos Corpos Silicosos das Gramíneas Amazônicas I. Panicoideae (Melinideae, Andropogoneae e Tripsaceae). **Botânica**, 80:1-11, 1968.
- CHUENG, K. F. **Inferência da Cobertura Vegetal e das Condições Climáticas no Espinhaço Meridional, MG, durante o Quaternário, através dos Indicadores Fitólitos e**

Isótopos de Carbono. 2012. Curso (Geografia) - Faculdade de Formação de Professores da UERJ.

CHUENG, K. F. **Reconstituição paleoclimática da geodinâmica quaternária na Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, através dos indicadores fitólitos e isótopos de carbono.** 2016. Dissertação (Mestrado em Dinâmica da Terra e dos Oceanos) - Universidade Federal Fluminense.

CHUENG, K. F. *et al.* Reconstituição Paleoambiental da Área Arqueológica de Serra Negra, Face Leste do Espinhaço Meridional (Minas Gerais), através da Análise de Fitólitos. **Rev. Bras. Geografia Física**, v. 11, p. 2260-2275, 2018.

CHUENG, K.F. *et al.* Reconstituição paleoambiental em sítios arqueológicos através da análise de fitólitos: estudos de caso no Brasil. In: **Geografia Física: Estudos Teóricos e Aplicados**. 1 ed.: Atena Editora, 84-97, 2020a.

CHUENG, K.F. *et al.* Utilização de fitólitos para inferências paleoambientais na área arqueológica de Serra Negra, Minas Gerais. In: **Arqueologia e Patrimônio: Experiências, Métodos e Teorias**. 1 ed. São Raimundo Nonato: Laboratório de Preservação Patrimonial da Universidade Federal do Vale do São Francisco, v.1, 8-22, 2020b.

COE, H. H. G. **Fitólitos como indicadores de mudanças na vegetação xeromórfica da região de Búzios/Cabo Frio, RJ, durante o Quaternário.** 2009, 340 f. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha. Rio de Janeiro: Univ. Fed. Fluminense.

COE, H. H. G.; CHUENG, K.; GOMES, J. G. Mudanças possivelmente antrópicas na cobertura vegetal na região de Búzios, Rio de Janeiro, identificadas através de análises de fitólitos. **Revista Tamoios** (Online), Ano VII, p.60 - 76, 2012a.

COE, H. H. G.; CHUENG, K.; GOMES, J. G. Reconstituições da Vegetação e Inferências de Paleoclimas através da Utilização dos Indicadores Fitólitos e Isótopos de carbono – Exemplos de Estudos no Brasil. **Revista GeoNorte**, v. 1, p. 248 - 261, 2012b.

COE, H. H. G. *et al.* Changes in Holocene tree cover density in Cabo Frio (Rio de Janeiro, Brazil): Evidence from soil phytolith assemblages. **Quaternary International**, v. 287, p. 63 - 72, 2013a.

COE, H. H. G.; GOMES, J. G.; CHUENG, K. Exemplos de reconstituições da vegetação e inferências de paleoclimas no Estado do Rio de Janeiro através da utilização de biomineralizações de sílica (fitólitos) e isótopos de carbono. **Revista Tamoios** (Online), v. 9, p. 1 - 21, 2013b.

COE, H.H.G.; OSTERRIETH, M.; HONAINÉ, 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, 2014a.

COE, H.H.G.; GOMES, J.G.; MACARIO, K. Understanding the Origin and Evolution of Soil Profiles in the São João River Basin, Rio de Janeiro, Brazil 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 Publishers, 171-192, 2014b.

COE, H.H.G. *et al.* Understanding Holocene variations in the vegetation of Sao Joao River basin, southeastern coast of Brazil, using phytolith and carbon isotopic analyses. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 415, 59 - 68, 2014c. DOI: 10.1016/j.palaeo.2014.01.009

COE, H.H.G.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; CHUENG, K.F. Applications of Phytolith Studies in a Geomorphic Sequence in the Espinhaço Mountains Range, Brazil. 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 Publishers, 193-213, 2014d.

COE, H. H. G. *et al.* F. Dynamics of production and accumulation of phytolith assemblages in the Restinga of Maricá, Rio De Janeiro, Brazil. **Quaternary International**, v. 388- 89, p. 1 - 12, 2015a.

COE, H. H. G. *et al.* Reconstituição Paleobiogeoclimática através de Fitólitos e Isótopos de Carbono no Quadrilátero Ferrífero, MG. **Revista Equador**, v. 4, p. 1439 - 1447, 2015b.

COE, H. H. G. *et al.* Caracterização de fitólitos de plantas e assembleias modernas de solo da caatinga como referência para reconstituições paleoambientais. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 8, p. 9 - 21, 2017a.

COE, H.H.G. *et al.* 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. *et al.* Paleovegetação da Ilha Grande (Rio de Janeiro) no Holoceno através do estudo de fitólitos e isótopos do carbono. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, p. 456 - 476, 2018.

COE, H.H.G. *et al.* Reconstituição paleoambiental através de fitólitos no Sambaqui Casa de Pedra, São Francisco do Sul-SC, Brasil. In: **Paleontologia Contemporânea: Diferentes Técnicas e Análises**. 1 ed.: Atena Editora, 61-85, 2020.

COE, H.H.G. *et al.* Gênese de linhas de pedra através de inferências paleoambientais no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, Sudeste do Brasil. In: **Ciências Exatas e da Terra: Aprendizado, Integração e Necessidades do País 2.1** ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 84-102, 2021. DOI: 10.22533/at.ed.6152114049

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

CORTELETTI, R. *et al.* 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 d Lepaarq**. v. XIII, n. 25, p. 35, 2016.

COSTA, F.G.C.M. *et al.* Silica Bodies and their Systematic Implications at the Subfamily Level in Podostemaceae. **Rodriguésia**. 62(4): 937-942. 2011.

COSTA, F. G. C. M. *et al.* Application of acetolysis in phytoliths extraction. **Review of Palaeobotany and Palynology**, 228: 93-97. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2016.01.001>

COSTA, L. M. *et al.* Ocorrência de corpos silicosos em horizontes superficiais de solos de diferentes ecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Impresso), v. 34, p. 871-879, 2010a.

COSTA, L.M. *et al.* Estabilidade físico-química e fracionamento de sílica biogênica. V **Simpósio Brasileiro sobre Silício na Agricultura**. Capítulo 5, 2010b.

COSTA, L. M.; MOREAU, A. M. S. S.; MOREAU, M. S. Estabilidade da sílica biogênica extraída de capim jaraguá (*Hyparrhenia rufa*) em solução de NaOH. **Química Nova**, v. 33, p. 1658-1663, 2010c.

COSTA, L. M. *et al.* Estabilidade de biominerais com ênfase em sílica biogênica e sua importância em estudos do Quaternário. **Rev. de Ciências Humanas**. ISSN 2236-5176, Vol. 19, n. 1, 2019.

COSTA, L.R.T. **Resposta de cultivares de milho ao alumínio sob doses de silício em solução nutritiva**. 2012, 85f. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, Dissertação de Mestrado. <http://hdl.handle.net/11449/99983>

DIAS, R. R. *et al.* Utilização de fitólitos e isótopos de Carbono para reconstituição paleoambiental de áreas de Caatinga na Depressão Sertaneja Setentrional. **Anais do XII Sinageo - paisagem e geodiversidade: a valorização do patrimônio geomorfológico brasileiro**. Crato/CE, 2018.

DIAS, R. R. *et al.* Morphological variation of Phytoliths according to leaf senescence and position in the organs of *Brachiaria decumbens*. **Flora**, v. 260, nov 2019a, 151478.

DIAS, R.R. *et al.* Reconstituição paleoambiental de dunas vegetadas na Caatinga, em Aracati, Ceará, através de biomineralizações de sílica. **Rev. GeoUECE**, 8, 193–208, 2019b.

DÓCIO, L. *et al.* An assessment of the wealth of information given by sponge spicules as a paleoenvironmental tool: The case of two lakes in northeast (Brazil), **Journal of South American Earth Sciences**, 2021: 107,103099.

ECHHORN, B. *et al.* Seed phytoliths in West African Commelinaceae and their potential for palaeoecological studies. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 298 (3 - 4), 300-310, 2010.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 91, 11-17. 1994.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual review of plant biology**, 50:641-664, 1999.

EPSTEIN, E. Silicon in plants: Facts vs. Concepts, In: Datnoff L.E., Snyder G. H., Korndörfer G.H. (Ed.), *Silicon in Agriculture*. Elsevier, **Amsterdam**, 1-15, 2001.

EWALD, P. L. L. F. **Análise da assembleia fitolítica do solo aplicada no Holoceno médio: caso da Estação Ecológica da Mata Preta – Abelardo Luz, SC**. 2015, 11f. Dissertação de Mestrado em Geografia - Unioeste, Campus Francisco Beltrão, PR.

FARNEZI, M.M.M. *et al.* Potential of grasses in phytolith production in soils contaminated with cadmium. **Plants**, 9(1): 1-11, 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9010109>

FELIPE, P. L. L. **Coleção de Referência de Fitólitos de Eudicotiledoneae da Floresta Ombrófila Densa: Subsídios Para Estudos Paleoambientais em Regiões Tropicais**. 2012, 72 f. Monografia (Licenciatura em Geografia), Marechal Candido Rondon, PR, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

FERNANDES, M. *et al.* An updated plant checklist of the Brazilian Caatinga seasonally dry forests and woodlands reveals high species richness and endemism. **Journal of Arid Environments** V. 174, March 2020.

FIGUEIREDO, R.C.L. & HANDRO, W. Corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados V. In: III Simpósio sobre o Cerrado. **Anais...** p. 215-231, 1971.

FLORES, R. A. Uso de recursos vegetais em Lapa Grande de Taquaraçu: evidências macro e microscópicas. 2015. Dissertação de Mestrado. São Paulo, Universidade de São Paulo.

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

- FREDLUND, G.G. Inferring vegetation history from phytoliths. Pp. 335-366 In: D. Egan and E.A. Howells (eds.), **The Historical Ecology Handbook: A Restorationist's Guide to Reference Ecosystems**. Island Press, Washington, D.C. 2001.
- FREITAS, A. *et al.* Piauí de plantas e gentes: construção de coleções de referência de plantas úteis / econômicas como base para estudos arqueobotânicos. **Revista do Laboratório de Arqueologia e Paleontologia da UEPB**. ISSN 2179 – 8168, 2018.
- GALVÃO, D. C. **Evolução do Paleoambientes e da Paisagem Quaternária no Sudeste do Piauí**. 2019, 151 f. Tese (Doutorado em Arqueologia), UFPE, Recife/PE.
- GARDIMAN, G. G. *et al.* A morfologia dos vasos Jê na produção de cauim de milho em Vereda III: uma proposição. **Revista do Museu Arqueologia e Etnologia**, 27: 111-120, 2016.
- GARIGLIO, M. A. *et al.* **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 368 p., 2010.
- GIULIETTI, A.M. Espécies endêmicas da caatinga. In: SAMPAIO, E. V. S. B.; GIULIETTI, A. M.; VÍRGINIO, J.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L. **Vegetação e flora da caatinga**. Recife: APNE e CNIP, 103-115, 2002.
- GOIS, L. S. S.; CORRÊA, A. C. B.; MONTEIRO, K. A. Análise Integrada dos Brejos de Altitude do Nordeste do Brasil a partir de Atributos Fisiográficos. **Espaço Aberto**, PPGG - UFRJ, Rio de Janeiro, V. 9, N.2, p. 77-98, 2019.
- GOMES, D. M.C. O Uso Social da Cerâmica de Parauá, Santarém, Baixo Amazonas: uma análise funcional. **Arqueología Suramericana**, 4: 4-33, 2008.
- GOMES, D.M.C. Os contextos e os significados da arte cerâmica dos Tapajó. In: **Arqueologia amazônica**. Organizado por PEREIRA, E & GUAPINDAIA, V. 213-234. Belém: MPEG/IPHAN/SECULT, 2010.
- GOMES, J. G. **Contribuição para a Compreensão da Gênese e Evolução de Solos na Bacia do São João, RJ, através de Análises Fitolíticas**. 2012. Curso (Geografia) - Faculdade de Formação de Professores da UERJ.
- GOMES, J. G. **Reconstituições paleoambientais do uso do solo e da cobertura vegetal nas bacias dos rios Macacu e Caceribu, RJ, através de biomineralizações de sílica**. 2013. Dissertação (Geologia e Geofísica Marinha) - Universidade Federal Fluminense.
- GOMES, J. G.; COE, H. H. G.; MACARIO, K. D. Uso do Bioindicador Fitólitos na Compreensão da Gênese de Solos na Bacia do Rio São João, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Tamoios** (Online), v. 10, p. 128 - 150, 2014.
- GONÇALVES, T. S. **Origem e evolução fitogeográfica dos capões de mata associados aos Ecossistemas de turfeiras da serra do Espinhaço Meridional/MG**. Tese de doutorado, UFMG, 227p., 2021.
- HILBERT, L. *et al.* Evidence for Mid-Holocene Rice Domestication in the Americas. **Nature Ecology & Evolution**, 1: 1693-1698, 2017.
- HONAI, M. F.; ZUCOL, A. F.; OSTERRIETH, M. L. Phytolith analysis of Cyperaceae from the Pampean region, Argentina. **Australian Journal of Botany**, [S. l.], v. 57, n. 6, p. 512, 2009. DOI: 10.1071/BT09041.
- HUISMAN, S. N., RACZKA, M. F., & MCMICHAEL, C. N. H. Palm Phytoliths of Mid-Elevation Andean Forests. **Frontiers in Ecology and Evolution**, 6, Article 193, 2018. <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00193>

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Contas de Ecossistemas: espécies ameaçadas de extinção no Brasil**. Rio de Janeiro, 2023.

ICPT, I. C. FOR P. T. *et al.* International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) 2.0. **Annals of Botany**, v. 124, n. 2, p. 189–199, set. 2019.

JATOBÁ, L.; SILVA, H. J.; SILVA, A. F. Caracterização geoambiental da área de exceção do Brejo da Madre de Deus – PE. **Ciência Geográfica** - Bauru - Ano XXIII - Vol. XXIII - (2): Janeiro/Dezembro – 2019.

KONDO, R.; IWANA, Y. Biogenic opals of humic yellow latosol in the Amazon region. **Research Bulletin Obihiro University**, v. 12, p. 231 – 239, 1981.

LABOURIAU, L.G., P.R. Mosquim, and L. Morhy. Deposição de sílica nas folhas de *Casearia grandiflora* St. Hil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências** 45(3-4):545-563. 1973.

LABOURIAU, L.G. Phytolith work in Brazil: A minireview. **The Phytolitharien Newsletter** 2(2):6-10. 1983.

LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Editora Universitária UFPE. 2003.

LEAL, I. R. *et al.* Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. In: **Conservação Internacional do Brasil. Megadiversidade**. Belo Horizonte, v. 1, 139-146, 2005.

LEAL, M. G. **Inventário fitolítico e ensaios sobre a relação solo x vegetação na Ilha da Trindade, Atlântico Sul**. 2017. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia.

LEPSCH, I. F. **19ª Lições de Pedologia**. São Paulo. Oficina de Textos. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021, 310p.

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

LORENTE F. L. *et al.* Phytoliths as indicators of environmental changes during the Holocene in the northern coast of the Espírito Santo State (Brazil). **Quaternary and Environmental Geosciences**, 06(1): 01-15.

LUCENA, U. P. **Reconstrução da paleovegetação e suas implicações para a dinâmica geomorfológica no Parque Estadual Veredas do Peruaçu, MG, através de indicadores fitolíticos**. 2014. Dissertação (Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais.

LUNGUINHO, R.L. **Nos caminhos dos relevos residuais: contribuição à ecohidrologia de encostas no semiárido brasileiro**. 2018. Tese de doutorado em Geografia. Universidade Federal da Paraíba, UFPB. João Pessoa.

LUZ, L. D. *et al.* Estágio atual do conhecimento sobre fitólitos no Brasil. **Terra e Didática**, 11(1):52-64, 2015.

LUZ, L.D. *et al.* Multiproxy analysis (phytoliths, stable isotopes, and C/N) as indicators of paleoenvironmental changes in a Cerrado site, southern Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, 22(1): 15-29, 2019. <http://dx.doi.org/10.4072/rbp.2019.1.02>

- LYRA, A. L. R. T. A condição de “brejo”; efeito do relevo na vegetação de duas áreas do município de Brejo da Madre de Deus (PE) - I, II e III. Porto Alegre, **Anais do XXXIV Congresso Nacional de Botânica**, vol. II, comunicações. 1984.
- MACEDO, R. S. **Pedogênese e indicadores pedoarqueológicos em Terra Preta de Índio no município de Iranduba - AM**. 2014. 177 f. Tese (Doutorado em Ciência) - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.
- MACHADO, D. O. B. F. *et al.* Fitólito como proxy para estudos paleoambientais. V.1, n.1, 2022. **Anais do evento em comemoração aos 20 anos do programa de pós-graduação em Geografia** (IG-Unicamp). 66-88p., 2022
- MADELLA, M. *et al.* The exploitation of plant resources by Neanderthals in Amud Cave (Israel): the evidence from phytolith studies. **Journal of Archaeological Science**, v, 29, 703 – 719, 2002.
- MADELLA, M.; ALEXANDRE, A.; BALL, T. International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN 1.0). **Annals of Botany**, Oxford, v. 96, n.2, pp. 253–260, 2005.
- MADELLA, M. Physiology of silica deposition. Curso 7th International Meeting on Phytolith Research, Mar del Plata, 2008.
- MADELLA, M.; LANCELOTTI, C. Taphonomy and phytoliths: A user manual. **Quaternary International**, v. 275, p. 76–83, 2012.
- MARQUES, A. L. **Evolução da Paisagem e Ocorrência de Latossolos Húmicos nos Brejos de Altitude da Paraíba**. 2019, 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Areia/PB.
- MARTINS, C. M. **Genesis, forms of carbon and biogenic sílica of soils below semiarid stationary formations of Minas Gerais and Bahia**. 2012. 126f. Tese (Doutorado em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas; Gênese, Morfologia e Classificação, Mineralogia, Química). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG, 2012.
- MCMICHAEL, C. H. *et al.* Historical fire and bamboo dynamics in western Amazonia. **Journal of Biogeography**. v. 40, p. 299-309, 2013.
- MCMICHAEL, C. H. *et al.* Assembleias fitolíticas ao longo de um gradiente de distúrbios humanos antigos na Amazônia Ocidental. **Frente Ecol. Evol.** 3, 2015: 141.
- MEDEANIC, S. *et al.* Os fitólitos em gramíneas de Dunas do extremo Sul do Brasil: variabilidade morfológica e importância das reconstruções paleoambientais costeiras. **Gravel**, Porto Alegre: ISSN 1678-5975, v. 6, nº2, 1 – 14, dez 2008.
- MEDEANIC, S. *et al.* Nota sobre fitólitos em *Androtrichum trigynum* (Spr.) Pfeiffer no extremo Sul do Brasil: tipos morfológicos e uso nas paleoreconstruções costeiras. **Gravel**, Porto Alegre: ISSN 1678-5975, v. 7, nº1, 31 – 36, jul 2009.
- MEDEIROS, J. F. & CESTARO, L. A. C. Os Brejos de Altitude no contexto das áreas de exceção do Nordeste brasileiro. **Revista de Geociências do Nordeste**, 2018. DOI: 10.21680/2447-3359.2018v4n0id16088
- MEDEIROS, J. F. & CESTARO, L. A. C. Diferentes abordagens utilizadas para definir Brejos de Altitude, áreas de exceção do nordeste brasileiro. **Sociedade e Território** – Natal. Vol. 31, N. 2, p. 97–119 Jul./Dez. de 2019 / ISSN: 2177-8396
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA, Portaria nº223, de 21 de junho de 2016.- resultados da 2ª Atualização do Cerrado, Pantanal e Caatinga.

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

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

MONTEIRO, M. R. *et al.* Morfologia de fitólitos característicos de duas espécies de Arecaceae do bioma Mata Atlântica: *Bactris setosa* Mart. e *Geonoma schottiana* Mart. **Revista de Biologia Neotropical**, Goiânia - GO, v. 9, p. 10-18, 2012.

MONTEIRO, M. R., PAROLIN, M., CAXAMBU, M. G. Analysis of phytoliths assembly in topsoil and litter in two Cerrado fragments in urban area of Campo Mourão – Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 08, n. 04, p. 1256-1272, 2015.

MONTIL, L. Phytolith analysis of *Chusquea ramosissima* Lindm. (Poaceae: Bambusoideae) and associated soils. *Quaternary International*, v. 193, Issues 1 – 2, 80-89, 1 january 2009.

MOORE, P. D. *et al.* **Pollen Analysis**. Oxford Blackwell Scientific Publications. 2^a ed., 1991.

MORCOTE-RÍOS, G.; BERNAL, R.; RAZ, L. Phytoliths as a tool for archaeobotanical, palaeobotanical and palaeoecological studies in Amazonian palms. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 182, p. 348-360, 2016.

MORO, M. F. *et al.* Síntese dos estudos florísticos e fitossociológicos realizados no semiárido brasileiro. N: EINSENLOHR, P. V. *et al.* **Fitossociologia do Brasil: métodos e estudos de caso**. Volume II. Viçosa: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 412-451, 2015.

MOTOMURA, H.; FUJII, T; SUZUKI, M. Silica deposition in relation to ageing of leaf tissues in *Sasa veichii* (Carriere) Rehder (Poaceae, Bambusoideae). **Annals of Botany**, 93, 3, p.235-248, 2004.

MOZER, J. H. *et al.* Fingerprinting Fitolítico de Fitofisionomias Florestadas do Bioma Mata Atlântica. **Revista Perspectiva Geográfica-Campus Marechal Cândido Rondon**, v. 14, n° 20, p. 84-95, jul.-dez., 2019.

MOZER, J. H. **Coleção de Referência de Fitólitos e Reconstituição Paleoambiental da Floresta Ombrófila Densa Altomontana no Parque Estadual Carlos Botelho - SP**. 2021, 222f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná-Campus Marechal Cândido Rondon.

NEUMANN, K. *et al.* International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) 2.0. *Annals of Botany*, v. 124, 2, p. 189–199, jul.2019.

OLIVEIRA, L. A. **Silício em plantas de feijão e arroz: absorção, transporte, redistribuição e tolerância ao cádmio**. 2009. Tese (Doutorado – Programa de Pós-graduação em Ciências, área de concentração: energia nuclear na agricultura e meio ambiente), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, ESALQ.

ORTEGA, D. D. **Microvestígios botânicos em artefatos líticos do Sítio Lapa do Santo (Lagoa Santa, Minas Gerais)**. 2019, 244 f. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-graduação em Arqueologia), Museu de Arqueologia e Etnologia, Universidade de São Paulo.

OSTERRIETH, M. *et. al.*, Taphonomical aspects of silica phytoliths in the loess sediments of the Argentinean Pampas. **Quaternary International**. 193, 70-79, 2009.

PAISANI, J. C. *et al.* The Role of Late Quaternary Climate Change in the Evolutionary Dynamic of Second-Order Paleovalley (Southern Brazil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, nº 1, 2013.

PAISANI, S. D. L. *et al.* Significado paleoambiental de fitólitos em registro pedoestratigráfico depaleocabeceira de drenagem, superfície de palmas, água doce, Sul do Brasil. **Geociências**, v. 35, n. 3, p. 429-445, 2016.

PAISANI, J. C. *et al.* Dinâmica de rampa de colúvio na superfície de Palmas/Água Doce durante o quaternário tardio – bases para compreender a evolução das encostas no planalto das Araucárias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília - DF, v. 18, p. 783-799, 2017. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1247>. Acesso em: 02 ago. 2022.

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

PAROLIN, M. *et al.* Significado paleoambiental dos fitólitos em sedimentos lacustres na região noroeste do Paraná. *Paleontologia em Destaque*, 66: 103, 2013.

PAROLIN, M. *et al.* A. P. Considerações Paleoambientais do Holoceno Médio por Meio de Fitólitos na Serra do Cadeado, Paraná. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, v. SBGFA, p. 96 - 103, 2017.

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

PAVIANI, T.I. Estudo morfológico e anatômico de *Brasilia sickii* G.M. Barroso. II. Anatomia da raiz, do xilopódio e do caule. **Revista Brasileira de Biologia**, São Paulo, v.37, n. 2, p. 307-324, 1977.

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

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

PEREIRA, J. S. *et al.* Caracterização morfológica dos fitólitos de *Butia microspadix* Burret (Arecaceae). *Revista de Ciências Ambientais*, Canoas – RS, v. 7, n. 1, p. 59-66, 2013.

PESSEDA, L. C. R. *et al.* Vegetation dynamics during the Late Pleistocene in the Barreirinhas region, Maranhão state, northeastern Brazil, based on carbon isotopes in soil organic matter. **Quaternary Research**, v.62, p.183-193, 2004

PESSEDA, L. C. R. *et al.* Interdisciplinary paleovegetation study in the Fernando de Noronha Island (Pernambuco State), Northeastern Brazil. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v.80, n.4, p.677-691, 2008.

PESSEDA, L.C.R. *et al.* Late Pleistocene and Holocene vegetation changes in northeastern Brazil determined from carbon isotopes and charcoal records in soils. **Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.** 297 (3-4), 597–608, 2010.

PESSEDA, L. *et al.* Estudos Paleoambientais Interdisciplinares Dinâmica da Vegetação, do Ambiente Marinho e Inferências Climáticas Milenares a Atuais na Costa Norte do Espírito Santo, Brasil. **Ciência & Ambiente**, 49. 181, 2015.

PIPERNO, D. R. **A phytolith analysis: an archaeological and geological perspective**. London: Academic Press, 280 p., 1988.

PIPERNO, D. R. & BECKER, P. Vegetational history of a site in the central amazona basic derived from phytolith and charcoal records from natural soils. **Quaternary Research**. San Diego, v. 5, p.202-209, 1996.

PIPERNO, D. R. *et al.* Evidence for the controlo f phytolith formation in Curcubita fruits by the hard rind (Hr) genetic locus: Archaeological and ecological implications. **Proceedings of the National Academy of Science**, v.99, n. 16, p. 10923 – 10928, 2002.

PIPERNO, D. R. **Phytoliths: A comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists**. Lanham, MD: AltaMira Press. 2006.

PORTO, K.C.; CABRAL, J.J.S.P. & TABARELLI, M. (Orgs.). **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 324 p.

PRADO, D. E. As Caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Universitária UFPE, 03-73, 2003.

RAITZ, E. **Coleção de referência de silicofitólitos da flora do Sudoeste do Paraná: subsídios para estudos paleoambientais**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Francisco Beltrão, 2012.

RAITZ, E. *et al.* Inventário de fitólitos da floresta ombrófila mista: subsídios para estudos paleoambientais. **Quaternary and Environmental Geosciences**, 6(2): 18-35. 2015.

RAMOS, D. A. M. C. **Contribuição da análise de fitólitos para a reconstrução paleoambiental na Lagoa do Uri, semiárido de Pernambuco**. 124f., 2019. Tese (Doutorado em Geografia), UFPE, Recife/PE.

RAMOS, Y. B. M. **Estabelecimento de coleções de referência de assembleias fitolíticas modernas para fins de reconstituição paleoambiental da Planície Costeira de Maricá, Rio de Janeiro**. 2014. Curso (Geografia) - Faculdade de Formação de Professores da UERJ.

RAMOS, Y. B. M. **Reconstituição paleoambiental na Ilha Grande através do estudo de fitólitos e isótopos do carbono**. 2016. Dissertação (Dinâmica dos Oceanos e da Terra) - Universidade Federal Fluminense

RANULPHO, R. **Fitólitos em Depósitos de Colúvio do Quaternário Superior na face Nordeste da Bacia Sedimentar do Araripe/CE: Significado Paleoambiental**. 101 f., 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Recife/PE.

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

RASBOLD, G.G. *et al.* Utilização de fitólitos em reconstrução paleoambiental do Holoceno Tardio no noroeste do estado do Paraná. **Paleontologia em Destaque**, 64:12, 2011a.

RASBOLD G.G. *et al.* Caracterização dos Tipos Morfológicos de Fitólitos Presentes em *Butia paraguayensis* (Barb. Rodr.) L. H. Bailey (Arecaceae). **Iheringia**, 66(2):265-270. 2011b.

RASBOLD, G.G. *et al.* Avaliação e Quantificação dos Fitólitos Presentes em *Chloris elata* Desv., *Chloris gayana* Kunth e *Tripogon spicatus* (Ness) Ekman (Chloridoideae). **Iheringia**, 67(2):137-148, 2012.

- RASBOLD, G.G.; PAROLIN, M. 2013. Extração de fitólitos da camada superficial de depósitos turfosos e sua relação com a florística local. **Paleontologia em Destaque**, 66: 18-19, 2013.
- RASBOLD, G.G.; PAROLIN, M.; CAXAMBU, M.G. Reconstrução paleoambiental de um depósito sedimentar por análises multiproxy, Turvo, Estado do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, 19(2): 315-324, 2016.
- REIS, A. D. **Caracterização pedológica, fitolítica e isotópica de um testemunho de uma turfeira do Alto Iguaçu-PR.** - Curitiba, 2021. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.
- RICARDO, S. D. F. **Caracterização de fitólitos de plantas e solos superficiais da Caatinga na Depressão Sertaneja Setentrional.** 2016. Curso (Biologia) - Faculdade de Formação de Professores da UERJ.
- RICARDO, S.D.F. *et al.* Reference collection of plant phytoliths from the Caatinga biome, Northeast Brazil. **Flora** 249, p.1–8, 2018.
- ROCHA, A. P. **Reconstituição Paleobiogeoclimática da Depressão de Gouveia, Minas Gerais, durante o Pleistoceno Superior/ Holoceno, através da Análise de Fitólitos Extraídos de Sedimentos de uma Voçoroca.** 2014. Curso (Geografia) - Faculdade de Formação de Professores da UERJ.
- RODAL, M. J. N. **Fitossociologia da vegetação arbustivo-árborea em quatro áreas de caatinga em Pernambuco.** 1992. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Universidade de Campinas, Campinas, SP.
- RODRIGUES, B.M. **Bioturbação e distribuição de fitólitos em Latossolos da Depressão Periférica Paulista.** 2019, 80 f. Escola Superior de Agricultura – ESALQ/USP, Dissertação de Mestrado em Ciências.
- ROMARIZ, Dora A. **Aspectos da vegetação do Brasil.** São Paulo. 60 p., 1973.
- ROSEN, A. M. & WEINER, S. Identifying ancient irrigation: A new method using opaline phytoliths from emmer wheat. **Journal of Archaeological Science**, 21(1), 125– 132, 1994.
- ROVNER, I. **Potential of opal phytoliths for use in paleoecological reconstruction.** University of Washington, v. 1, n. 3, p. 323–359, 1971.
- RUIZ, H. *et al.* Transporte de solutos no solo. In: **Física do Solo.** Viçosa – MG: Ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010.
- SALGADO-LABOURIAU, M. L. **História ecológica da Terra.** 2ª Ed. Edgar Blücher Ltda. 10ª reimpressão. 307 p., 2017.
- SANGSTER, A. G.; HODSON, M. J.; TUBB, H. J. Chapter 5 Silicon deposition in higher plants. DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. *Studies in Plant Science*, Elsevier, v.8, p. 85-113, 2001.
- SANTOS, A. L. **Estudos fitofisionômicos por classe de solos na Estação Ecológica de Xingó.** Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 130p., 2003.
- SANTOS, C. P. **Reconstituição Paleoambiental da Planície Costeira de Maricá, RJ, com base em Bioindicadores de Sílica.** Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, Universidade Federal Fluminense, 2018.

SANTOS, G. M. *et al.* **11th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry, September 2008**, Rome, Italy. The Phytolith C puzzle: a tale of background determinations and accuracy tests". p.93, 2008.

SANTOS, G. M. *et al.* The phytolith 14c puzzle: a tale of background determinations and Accuracy tests. **Radiocarbon**, v. 52, n. 1, pp. 113–128, 2010.

SANTOS, G.M. *et al.* Interactive comment to reply the “Comment on: “Possible source of ancient carbon in phytolith concentrates from harvested grasses”. **Biogeosciences Discuss.**, 9, 6114–6124, 2012.

SANTOS, G.M.; ALEXANDRE, A.; PRIOR, C.A. From radiocarbon analysis to interpretation: A comment on “Phytolith radiocarbon dating in archaeological and paleoecological research: A case study of phytoliths from modern neotropical plants and a review of the previous dating evidence”, **Journal of Archaeological Science** (2015), doi: 10.1016/j.jas.2015.06.002.” by Dolores R. Piperno. *Journal of Archaeological Science*, 71: 51-58, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2016.04.015>

SANTOS, G.M. & ALEXANDRE, A. The phytolith carbon sequestration concept: Fact or fiction? A comment on "Occurrence, turnover and carbon sequestration potential of phytoliths in terrestrial ecosystems by Song et al. doi: 10.1016/j.earscirev.2016.04.007". **Earth-Science Reviews**, 164: 251- 255, 2017.

SANTOS, G.M.; MASION, A.; ALEXANDRE, A. When the carbon being dated is not what you think it is: Insights from phytolith carbon research. **Quaternary Science Reviews**, 197(1): 162-174, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.08.007>

SANTOS, J.C.A.; PAROLIN, M.; GASPARETTO, N.V.L. 2012. Método para aumentar a recuperação de fitólitos em solo. **Paleontologia em Destaque**, 65: 55, 2012.

SANTOS, J.C.A.; PAROLIN, M.; GASPARETTO, N.V.L. Condições ambientais do início do Holoceno indicadas por fitólitos e análises de $\delta^{13}C$ na região de Douradina/PR. **Paleontologia em Destaque**, 66: 37-38, 2013.

SCHNEIDER, F. **Interpretação do espaço Guarani: um estudo de caso no Sul da bacia hidrográfica do Rio Forqueta, RS, Brasil**. Dissertação (mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento do Centro Universitário UNIVATES, Lajeado/RS. 2014.

SEIXAS, A. P. **Identificação de Mudanças Ambientais no Quadrilátero Ferrífero, MG, através do estudo de fitólitos e isótopos do carbono**. 2015. Curso (Geografia) - Faculdade de Formação de Professores da UERJ.

SEIXAS, A. P. **Condições Paleoambientais associadas à ocorrência de stone-lines em Latossolo no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul-RJ**. 2017. Dissertação (Dinâmica dos Oceanos e da Terra) - Universidade Federal Fluminense.

SENDULSKY, T.S. & LABOURIAU L.G. Corpos silicosos de gramíneas dos Cerrados. I. In: Simp. Sobre Cerrado, 1. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, RJ, v. 38, p. 159 - 170, 1966.

SIANTO, L. *et al.* Coprólitos, sedimentos e fezes de animais do Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima: Análise Preliminar. **Fundamentos** - Volume 1 – Número 10 – Ano 2013. Fundação Museu do Homem Americano, São Raimundo Nonato - Piauí ISSN - 0104 – 351 X.

SILVA NETO, E.C. *et al.* Phytoliths as indicators of pedogenesis and paleoenvironmental changes in Spodosols of the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Science of The Total Environment**, 636: 1070-1080, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.313>

- SILVA NETO, E.C. *et al.* Phytoliths as paleopedological records of an histosolcambisol-ferralsol sequence in Southeastern Brazil. **Catena**, 193, 2020, 104642.
- SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. **Caatinga. The largest tropical dry forest region in South America**. Cham: Springer International Publishing, 2017.
- SILVA, M. B. **Caracterização pedológica e gênese em duas toposequências no sistema cárstico da Serra da Bodoquena (MS)**. 2013. Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-graduação em Agronomia, Ciência do Solo.
- SILVA, S.T.; LABOURIAU, L.G. Corpos Silicosos de Gramíneas dos Cerrados III. **Pesq. Agrop. Brasileira**, 5:167-182, 1970.
- SILVA-LISTO, D. G. **Reconstrução da dinâmica geomorfológica do semiárido brasileiro no Quaternário superior a partir de uma abordagem multiproxy**. 277f., 2013. Tese (Doutorado em Geografia). Recife/PE, UFPE.
- SILVA-LISTO, D.G.S. *et al.* Weathering pits as a geochronometer of environmental changes in the State of Pernambuco, Northeastern Brazil. **Quaternary International**, (In Press) 2022. DOI: 10.1016/j.quaint.2022.10.004
- SÖNDAHL, M.R.; LABOURIAU, L.G. Corpos Silicosos de Gramíneas dos Cerrados IV. **Pesq. Agrop. Brasileira**, 5: p.183-207, 1970.
- SOUZA, D. D. **Adaptações de plantas da Caatinga**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.
- SOUZA, E. **Reconstituição paleoambiental a partir do sinal fitolítico na ESEC Caetetus – Gália (SP)**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, PR, 2019.
- SOUZA, J. J. L. L *et al.* Organic carbon rich-soils in the Brazilian semiarid region and paleoenvironmental implications. **Catena** 106101, v. 212, maio de 2022.
- SOUZA, J. J. L. L *et al.* Brazilian semiarid soils formed during the last glacial maximum. **Catena** 106899, v. 223, abril de 2023. ISSN 0341-8162.
- SOUZA, J. M. N. & OLIVEIRA, V. P. V. Os Enclaves Úmidos e Subúmidos do Semiárido do Nordeste Brasileiro. *Mercator* (Fortaleza. Online), v. I, p. 85-102, 2006.
- SOUZA, R. C. C. L.; LIMA, T. A.; SILVA, E. P. **Conchas marinhas de sambaquis do Brasil**. 1ª ed. Rio de Janeiro, Brasil: Technical Books. p. 165, 2011
- STEVANATO, M. *et al.* New characteristics of the papillae phytolith morphotype recovered from eleven genera of Cyperaceae. **Flora** [online] v.253, p. 49-55, 2019.
- STRÖMBERG, C. A. E.; DUNN, R. E.; CRIFÒ, C.; HARRIS, E. B. Phytoliths in Paleoecology: Analytical Considerations, Current Use, and Future Directions. *In*: D. A. CROFT ET AL. (org.). **Methods in Paleoecology: Reconstructing Cenozoic Terrestrial Environments and Ecological Communities**. [s.l.] : Springer International Publishing AG, 2018. p. 235–287. DOI: 10.1007/978-3-319-94265-0_12. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-94265-0_12.
- TABARELLI, M. *et al.* Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. **Revista Ciência e Cultura**: Caatinga artigos. vol.70, 4, São Paulo Oct./Dec.2018. Print version ISSN 0009-6725 On-line version ISSN 2317-6660.

- TSARTSIDOU, G. *et al.* The phytolith archaeological record: strengths and weaknesses evaluated based on a quantitative modern reference collection from Greece. **Journal of Archaeological Science**, 34(8), 1262–1275, 2017.
- TWISS, P.C. Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. In: RAPPS Jr. G. & MULHOLLAND, S. C. (Org.), **Phytolith Systematic**, Plenum Press, p.113-128, 1992.
- VELLOSO, A. L. *et al.* **Ecorregiões: propostas para o bioma Caatinga**. Recife: APNE - Associação Plantas do Nordeste, TNC. 2002.
- WANG, X. *et al.* Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies. **Nature** 432, 740–743, 2004.
- WATLING, J. *et al.* Subsistence practices among earthwork builders: Phytolith evidence from archaeological sites in the southwest Amazonian interfluvies. **Journal of Archaeological Science: Reports**, 4:541-551, 2015.
- WATLING, J. *et al.* Impact of pre-Columbian “geoglyph” builders on Amazonian forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 114:1868-1873, 2017.
- WATLING, J. *et al.* Direct archaeological evidence for Southwestern Amazonia as an early plant domestication and food production centre. **PloS ONE**, 13(7): 2018, e0199868.
- 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. DOI: 10.1016/S0016-7037(99)00374-9
- WELLE, B.J.H. Silica Grains in Woody Plants of the Neotropics, Especially Surinam. **Leiden Botanical Series**, Leiden, v. 3, n.1, p.107-142, 1976.
- WESOLOWSKI, V. *et al.* 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. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, São Paulo, 17:191-210, 2007.
- WITTEVEEN, N. *et al.* The variability of Amazonian palm phytoliths. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 300, 104613, maio/2002.

CAPÍTULO II

METODOLOGIA UTILIZADA NO ESTUDO DE RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL: ENCLAVES ÚMIDOS E SUBÚMIDOS DO CRISTALINO DA BORBOREMA, CARIRI PARAIBANO

Introdução

Para compreender a evolução da paisagem nos enclaves úmidos e subúmidos do Cariri Paraibano, situados no cristalino da Borborema, foi imprescindível realizar uma caracterização detalhada da área de estudo, assim como adotar procedimentos técnicos e realizar análises de campo. Isso exigiu o levantamento de dados abrangendo questões relacionadas ao clima, à vegetação e ao relevo, além da coleta de amostras em perfis de solo. O objetivo dessa coleta foi classificar e caracterizar os solos e identificar os corpos silicosos neles presentes, os quais armazenam informações valiosas sobre a evolução da paisagem local.

Parte da área de estudos já havia sido explorada em pesquisas anteriores (Lunguinho, 2018) pelo Laboratório de Estudos do Semiárido (LAESA, UFPB). Elas foram escolhidas por estarem situadas no Cariri com influência do cristalino da Borborema e do clima semiárido, sendo a porção oriental mais seca que a ocidental, porém, ambas apresentam processos erosivos e de fitofisionomia e ocorrência de espécies botânicas que possam classificá-las hoje como áreas úmidas e subúmidas.

Estas paisagens ocorrem em meio as Caatingas, de forma dispersa, mas sob influência de relevo serrano, caracterizado por lajedos e serras. Elas apresentam melhores características pedológicas, mesoclimáticas e hidrológicas que seu entorno, além de uma grande importância hídrica, como recarga d'água, ecológico como apoio à fauna e flora e, benefícios socioeconômicos para a população local (Souza & Oliveira, 2006; Medeiros & Cestaro, 2018; 2019). Vale ressaltar que algumas dessas áreas podem ter sido habitadas por povos antigos, como os Kariris (Bueno *et al*, 2013).

Esses ambientes singulares no Nordeste incluem os Brejos (altimetria e/ou exposição), também conhecidos como Enclaves do Brejo da Borborema, bem como as Serras úmidas (Souza & Oliveira, 2006), geralmente localizadas a uma altitude superior a 500 metros. Considerados relictos plúvio-nebulares, essas áreas experimentam precipitações orográficas e formação de nevoeiro, o que contribui para a preservação de florestas estacionais isoladas

dentro do bioma Caatinga, no semiárido, em uma forma de disjunção ecológica da Mata Atlântica.

Os 64 Brejos do Nordeste estão distribuídos pelo Agreste e Sertão de Alagoas, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, abrangendo uma diversidade geológica que varia desde rochas magmáticas até sedimentares. Essas áreas apresentam uma variedade de formas de relevo, incluindo chapadas, mesetas, morros e maciços residuais graníticos, com a presença predominante de solos como Latossolos, Argissolos, Cambissolos, Neossolos e Plintossolos (Ab'Saber, 2002; Pôrto *et al.*, 2004; Gois *et al.*, 2019; Marques, 2019; Medeiros & Cestaro, 2018; 2019).

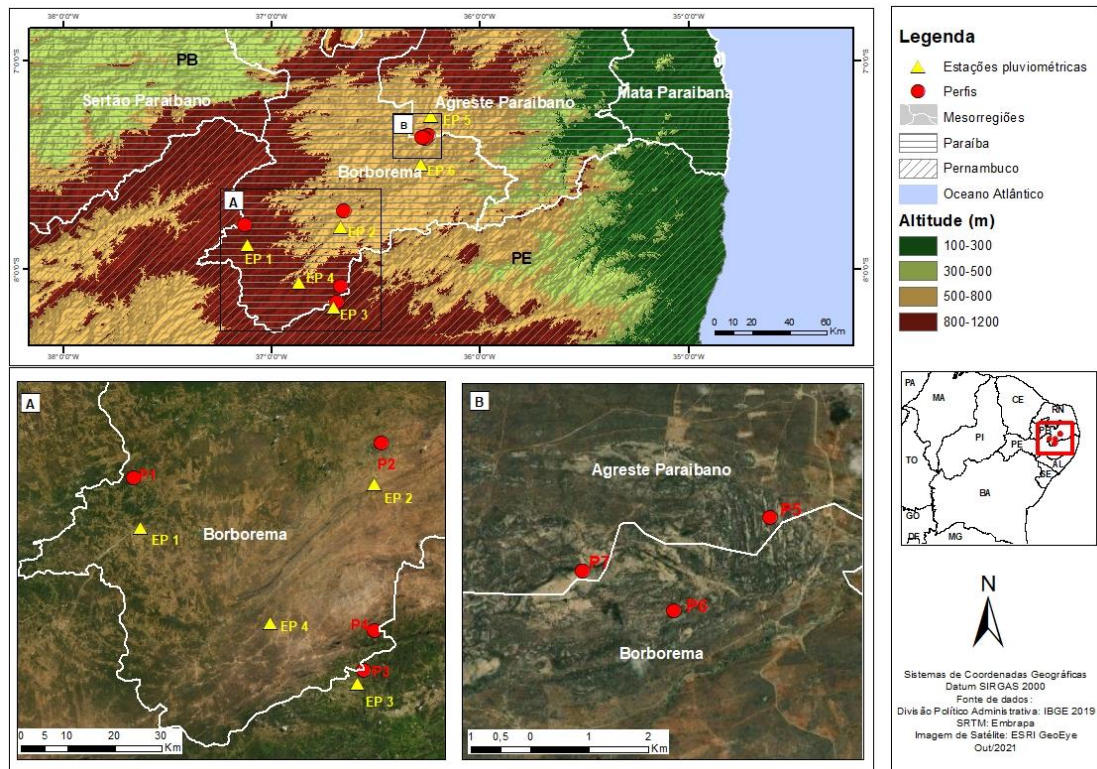
Os solos situados na encosta e no sopé dos lajedos geralmente exibem uma maior concentração de nutrientes. Isso ocorre devido à presença da cobertura vegetal, que promove a retenção de umidade no solo por meio do sombreamento das plantas e da camada de serrapilheira (Souza & Oliveira, 2006; Pôrto, *et al.*, 2004; Gois *et al.*, 2019; Jatobá *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2022; 2023). Consequentemente, esses fatores contribuem para a formação da pedogênese e para o estabelecimento e a manutenção dos enclaves úmidos e subúmidos em meio à Caatinga.

Considerando o interesse (paleo)ambiental, socioeconômico e cultural desses enclaves, buscou-se compreender o processo de formação dessas áreas de exceção inseridas no cristalino do Cariri Paraibano por meio de observações de campo e coletas de solo em diferentes pontos do relevo, como no sopé, no ombro das encostas e em lagoas. A seguir, serão descritos os procedimentos e técnicas utilizados para a análise dos solos, a investigação fitolítica e a interpretação dos dados no decorrer desta pesquisa.

2 Caracterização da área de estudo

A área de estudo localiza-se na zona fisiográfica do Planalto da Borborema, nos municípios de Boa Vista, Cabaceiras - Cariri Oriental, Congo, Monteiro e São João do Tigre - Cariri Ocidental, na Paraíba, e no município de Poção, em Pernambuco, Nordeste do Brasil (Figura 1). A área encontra-se assentada sobre extensas coberturas fanerozoicas (Mabesoone & Castro, 1975) com presença de corpos plutônicos, conhecidos localmente como lajedos, serras, e matacões, expostos pela denudação das antigas áreas orogênicas (Corrêa *et al.*, 2010) associadas a uma sequência de alçamentos tectônicos, marcada por fases de intemperismo e erosão (Figura 2 A – G) (Lages *et al.*, 2013).

Figura 1: Área de estudo na mesorregião da Borborema, PB/PE.



Fonte: FONSECA, C. F. Dados de coleta de campo, 2018. Elaborado por Rodrigo Ranulpho, 2021.

Esta região integra o Polígono das Secas, caracterizando-se por um regime de chuvas irregulares e mal distribuídas, com evapotranspiração potencial quatro vezes superior à precipitação, o que resulta em longos períodos de escassez de água (Kayano & Andreoli, 2009). Além disso, essa Região sofre os efeitos da dinâmica do *El Niño* e da *La Niña* (Lunguinho, 2018). De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante é o BShw', caracterizado por chuvas de verão-outono, destacando-se os meses de março e abril como períodos de pico de precipitação e chuvas torrenciais $\geq 100\text{mm/dia}$. (Tabela 1).

As estações pluviométricas da área de estudo (Figura 1; Tabela 1), de 1994 a 2020, registraram períodos úmidos mais prolongados e significativos nas porções mais elevadas do relevo, localizadas na parte ocidental da região, compreendendo os municípios de Monteiro, Congo, Poção/PE e São João do Tigre. Por outro lado, a porção oriental, abrangendo os municípios de Boa Vista e Cabaceiras, apresentou os menores índices de precipitação, inferiores a 400mm, e um período seco variando de 7 a 8 meses (Figura 3 A – F) (Aesa, 2020).

Figura 2 A e B Vista geral da paisagem das áreas de estudo e seus respectivos solos: **(A) P1** - Lagoa de Zabê, Monteiro/PB; Vertissolo Ebânico Sódico típico e seus *slikensides* no horizonte Cv1. **(B) P6** – Lagoa da Craibeira, Fazenda Salambaia, Cabaceiras/PB, Vertissolo Ebânico Sódico típico.

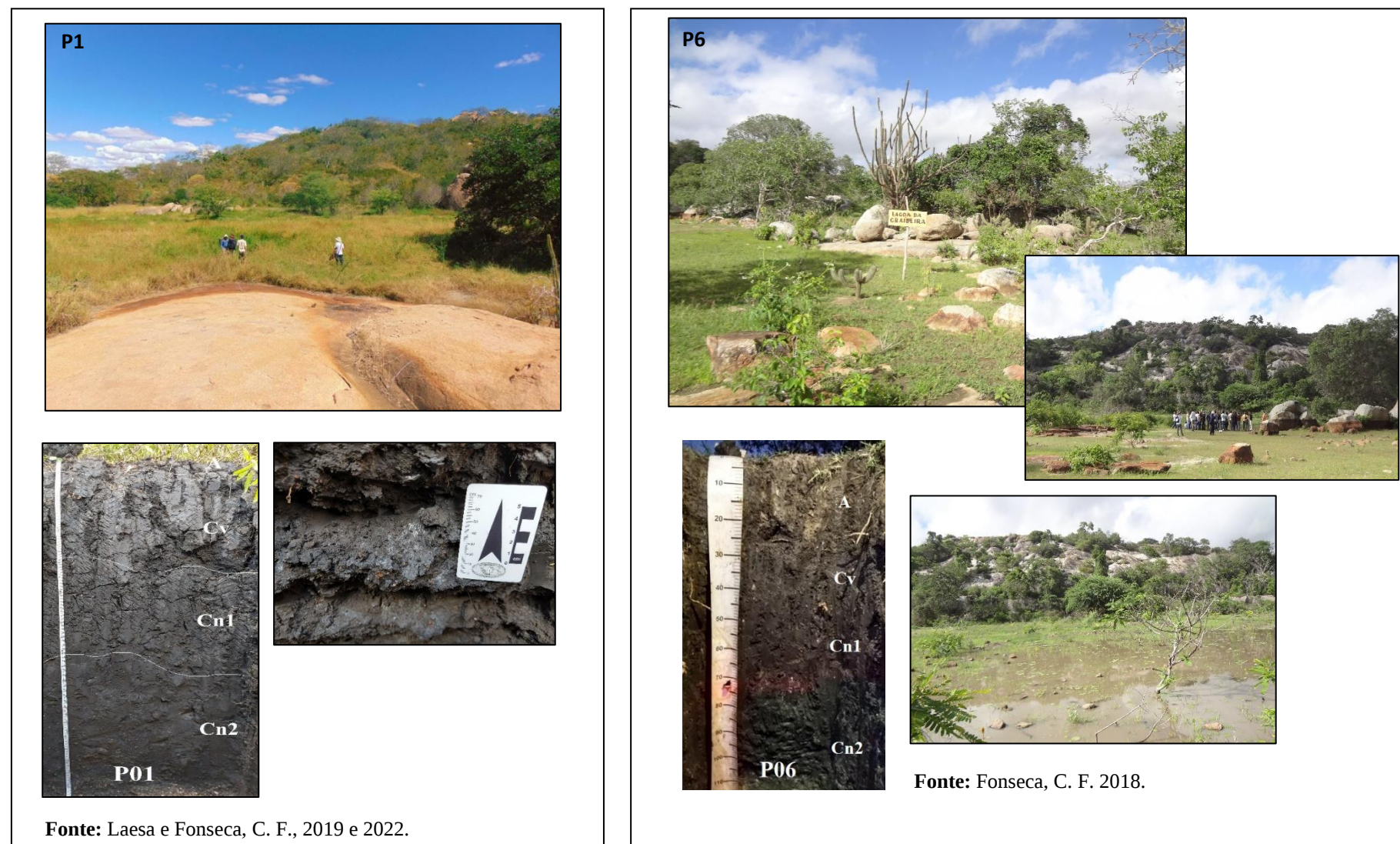


Figura 2 C e D: Vista geral da paisagem das áreas de estudo e seus respectivos solos: **(C) P2** - Serra da Engabelada, Congo/PB. Local de coleta do Neossolo Regolítico Distrófico típico. **(D) P4** – Serra da Paula, APA das Onças, São João do Tigre/PB, Organossolo Fólico Sáprico típico.



Figura 2 E e F: Vista geral da paisagem das áreas de estudo e seus respectivos solos: **(E) P3** - Distrito de Guati, Poção/PE (Cambissolo). **(F) P5** - Lajedo do Bravo, Boa Vista/PB (Cambissolo).

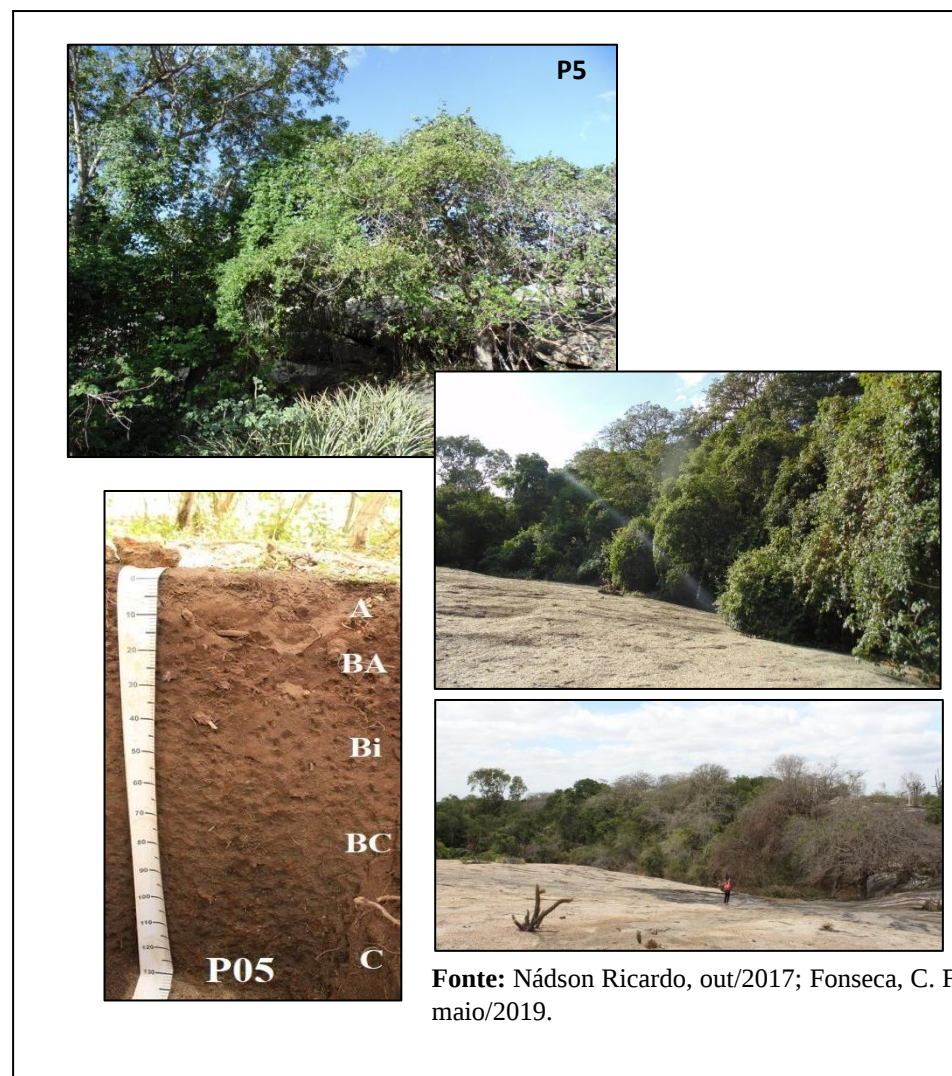
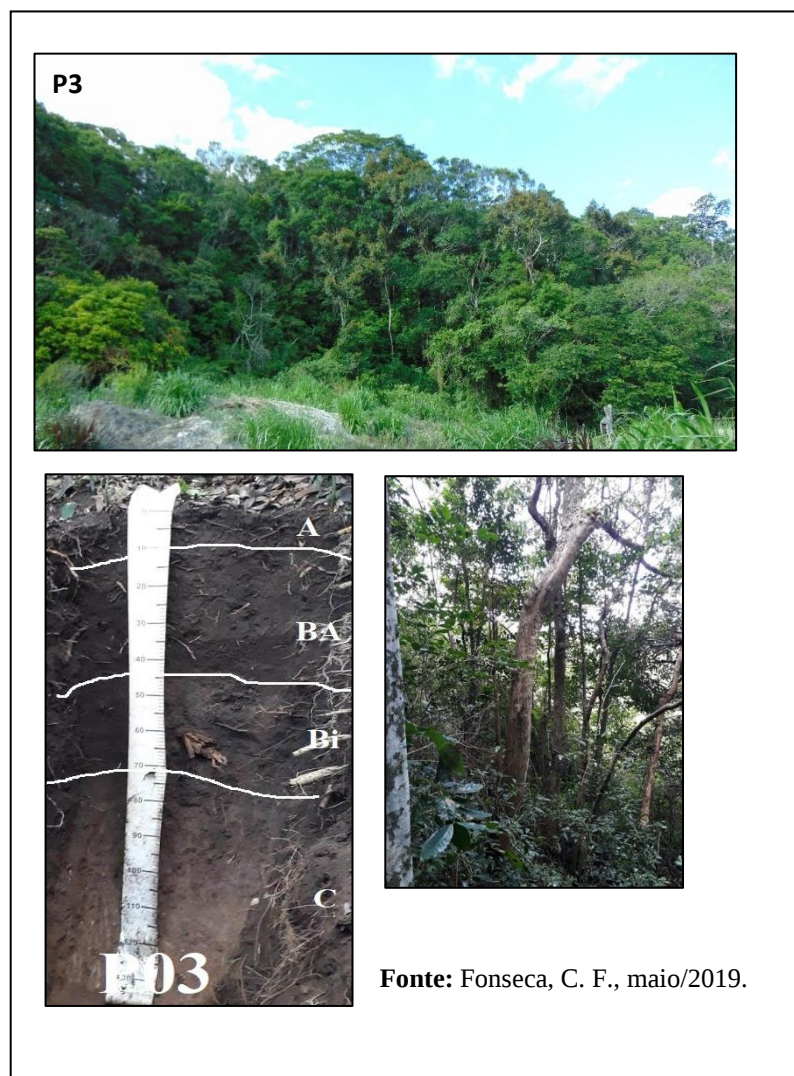


Figura 2G: Vista geral da paisagem da área de estudo e seu solo: **P7** Lajedo da Salambaia, Cabaceiras/PB (Cambissolo).

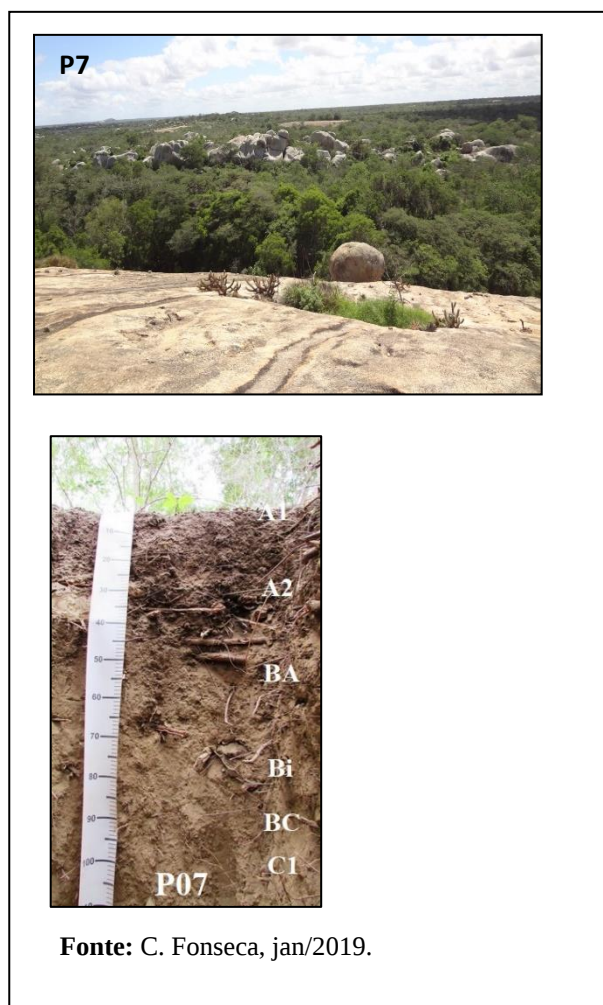
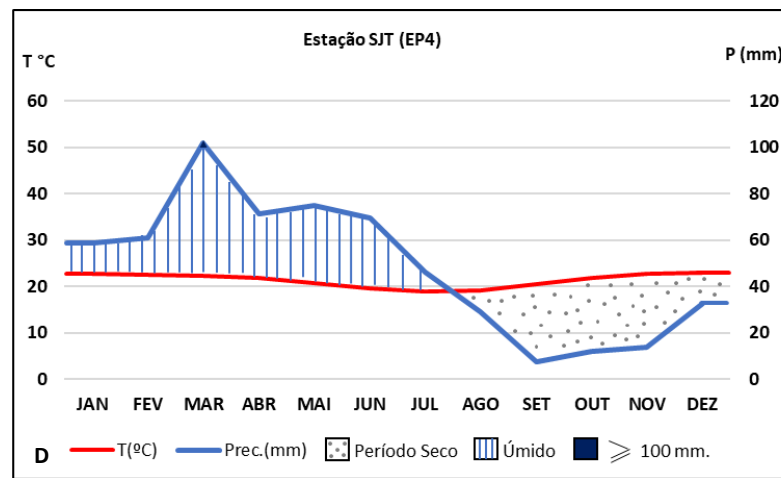
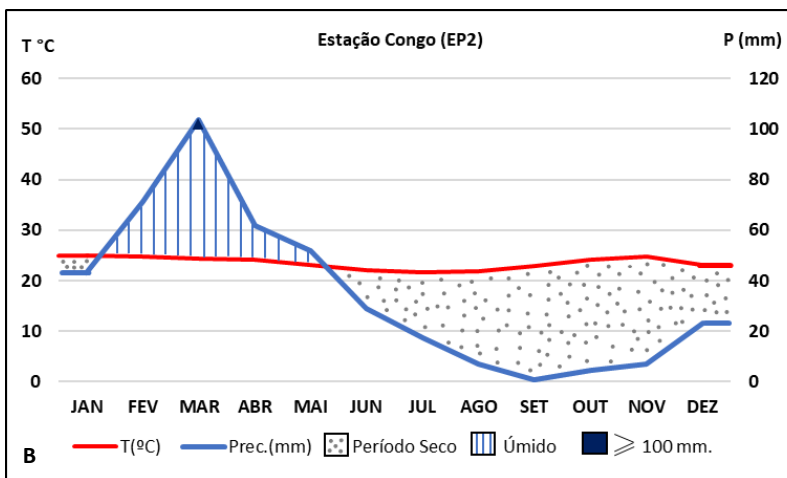
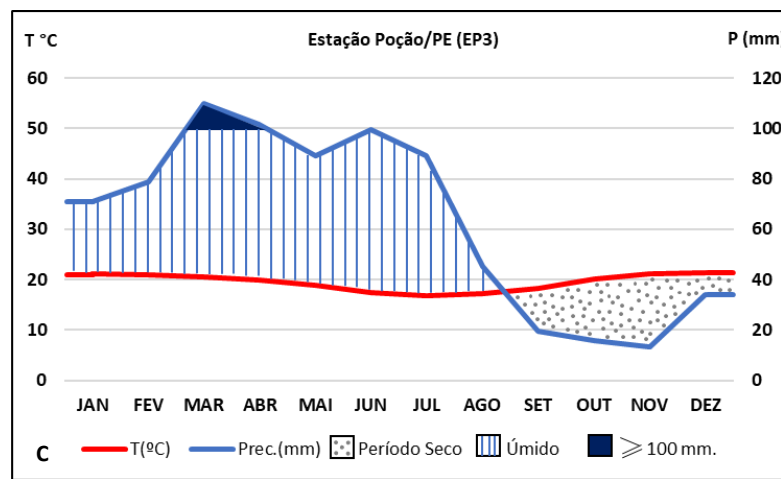
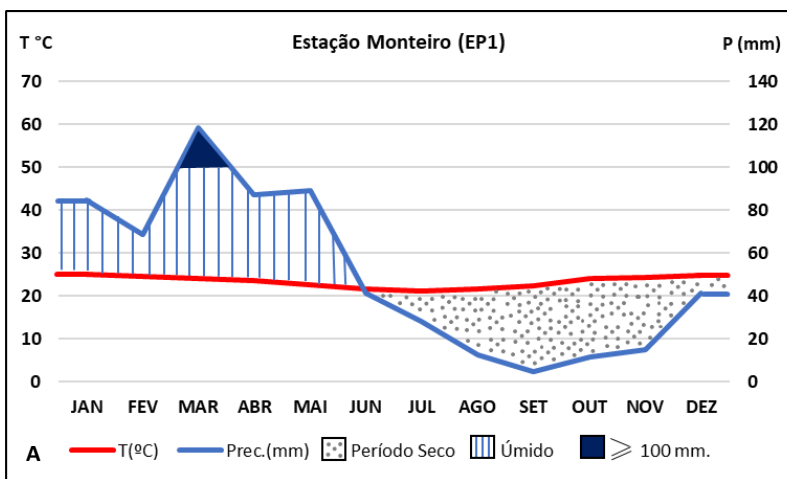


Tabela 1: Dados de precipitação e de temperatura dos últimos 27 anos (1994 – 2020) com destaque para os dias com chuva ≥ 100 mm.

Município	P (mm /ano)	T°C*	Período seco	Período úmido	≥ 100 mm/dia (1994 – 2020)
Monteiro/PB	602,22	32,9-20	jun-dez	jan-mai	31/12/97 – 105 mm; 13 e 14/05/06 – 103mm, 100mm; 31/05/08 – 108,2 mm; 02/04/17 – 120 mm.
Congo/PB	420,67	33-20,3	jun-jan	fev-mai	25/01/05 – 130 mm; 25/03/05 – 170,2 mm.
S. João do Tigre/PB	578,69	30-18,5	ago-dez	jan-jul	10/03/2006 – 141 mm.
Poção/PE	766,60	26,4-16,9	set-dez	jan-jul	14/02/94 – 134 mm; 24/05/95 – 128 mm; 11/03/06 – 100 mm. Obs.: 525 mm em março/2020.
Boa Vista/PB	379,87	32-20,2	ago-fev	fev-jun	22/02/00 – 136,6 mm; 07/04/18 – 119,2 mm.
Cabaceira /PB	399,23	33-16,9	jul-fev	mar-jul	15/02/02 – 172 mm; 18/03/08 – 218,2 mm.

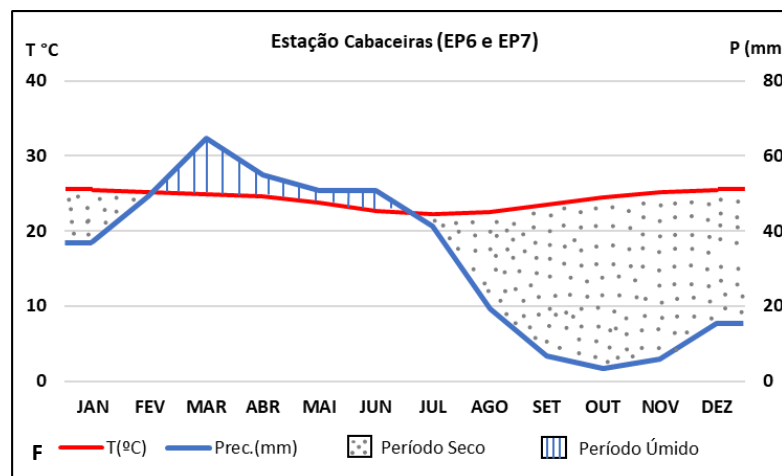
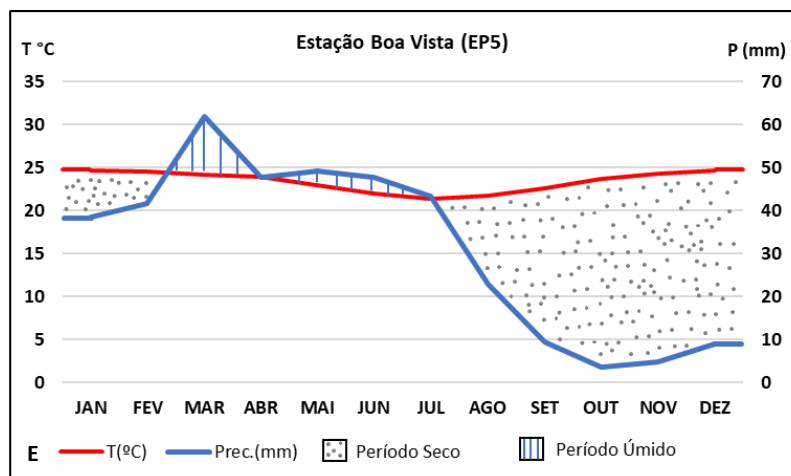
Fonte: AESA, IPA e APAC – 1994/2020. *média máxima e mínima no mês mais quente, dezembro.

Figura 3: Diagramas ombrotérmicos com dados de temperatura e precipitação médias mensais, 1994 – 2020. **3A** – Monteiro/PB; **3B** – Congo/PB; **3C** – Poção/PE e **3D** - São João do Tigre (SJT/PB).



Fonte: AESA, IPA e APAC – 1994/2020. Elaboração: Fonseca, C. F., 2021.

Figura 3: Diagramas ombrotérmicos com dados de temperatura e precipitação médias mensal, 1994 – 2020. **3E** – Boa Vista/PB; **3F** – Cabaceiras/PB. **Fonte:** AESA, IPA e APAC – 1994/2020.



Fonte: AESA, IPA e APAC – 1994/2020. **Elaboração:** Fonseca, C. F., 2021.

A hidrografia da região é dominada pela bacia do rio Paraíba, caracterizada por uma drenagem intermitente que inclui os rios Soledade, Boa Vista, Taperoá e Paraíba, além de inúmeros açudes. No município de Poção/PE, localiza-se a nascente do rio Capibaribe, cujo curso superior e médio exibem um regime temporário, enquanto o curso inferior torna-se perene (Mascarenhas, 2005). É importante ressaltar que as áreas de enclaves apresentam um bom potencial hídrico superficial devido ao escoamento de água sobre o cristalino, que pode ser interceptada e reter a umidade pela serrapilheira e/ou pelas plantas.

A área de estudo está localizada em uma região influenciada pelo cristalino, composta por formações rochosas denominadas lajedos, serras e serrotes, na província da Borborema. Formada por granitos e granitoides do Neoproterozoico, rochas plutônicas ricas em quartzo, feldspato potássico de caráter cálcio-alcalino com alto – K. Esses granitos são responsáveis pelo aporte, próximo à superfície, de elementos químicos como o K, Na, P e Cl (Neves, 2012). A altitude na área varia de 478 a 1.136 metros, com os solos das áreas mais baixas, como o Cariri Oriental, apresentando condições mais secas em comparação com as áreas mais elevadas do relevo.

A configuração da encosta no cristalino, aliada à topografia e à dinâmica hídrica, revela informações cruciais sobre a distribuição das espécies típicas da Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga em áreas de enclaves úmidos e subúmido (Belnap *et al.*, 2005; Fernandes *et al.*, 2020; Lunguinho, 2018). Na área de estudo, a vegetação predominante é a Caatinga hiperxerófila, hipoxerófila, com a presença de espécies da Mata Atlântica e Campos rupestres (Queiroz, *et al.*, 2021). Quanto aos solos, os principais tipos no Cariri Paraibano são *Leptosols*, *Luvisols*, *Planosols* e *Vertisols* (Gardi *et al.*, 2014); especificamente na área estudada, foram identificados *Cambisols*, *Umbrisols* e *Vertisols* (Souza *et al.*, 2020; 2022; 2023).

2.1 Solos: amostragem e classificação

Sete perfis de solos foram selecionados no estudo (Figura 1). Os horizontes foram descritos e coletados seguindo os procedimentos de Santos *et al.* (2015) e classificados pela WRB/FAO (Iuss Working Group, 2014) e pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al.*, 2018). As cores foram obtidas de acordo com a caderneta de Munsell (Munsell Color, 2012). As análises físico-químicas e mineralógicas foram realizadas no Departamento de Solos (DPS) da Universidade Federal de Viçosa – UFV.

2.1.1 Solos: análises físicas e químicas

O teor de areia grossa, areia fina, silte e argila, foram determinados pelo método da peneira – pipeta após agitação por 16h em NaOH 1 mol L⁻¹ (Ruiz, 2005). Determinou-se o pH em água e em solução de KCl 1,0 mol L⁻¹, em suspensão solo/solução 1:2,5 devidamente calibrado com soluções padrão de pH 4,0 e 7,0. Quantificou-se Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺, via extração com KCl 1,0 mol L⁻¹, sendo o Ca²⁺ e Mg²⁺ dosados por espectrometria de absorção atômica e o Al por titulação com solução de NaOH 0,025 mol L⁻¹. Extraíu-se Na⁺, K⁺ e P disponíveis com Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹), onde o Na⁺ e K⁺ foram determinados por fotometria de chama e o P por colorimetria utilizando ácido ascórbico como redutor (Embrapa, 2017).

Determinou-se o teor de carbono orgânico (CO) conforme Walkley & Black (1934). Quantificou-se o fósforo adsorvido a partir do fósforo remanescente (P-rem) após agitação durante 1h da TFSA com solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação 1:10 (Alvarez *et al.*, 2000). Com base nos resultados obtidos, foram calculados: soma de bases (SB = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺); capacidade de troca de cátions (T = SB + Al+H); saturação por bases (%V = 100SB/T); saturação por alumínio (%m = 100Al³⁺ / (SB + Al³⁺)).

Foram realizadas análises de dissolução seletiva: (1) compostos de Fe e Al cristalinos e não cristalinos na fração argila, extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) (Fe_d e Al_d) (Mehra & Jackson, 1958) (2) compostos de Fe e Al associados à constituintes de baixa cristalinidade, extraídos por solução de oxalato ácido de amônio (OAA) a pH 3 (Fe_o e Al_o) (McKeague & Day, 1966).

2.1.2 Solos: análises mineralógicas

Foram realizadas análises mineralógicas com uso de técnicas de difração de raios-X (DRX) da fração areia e argila (Embrapa, 2017). Previamente removeu-se a matéria orgânica com uso de hipocloreto de sódio 10% (p/v) a pH 9,5 (Anderson, 1961). Lâminas de argila foram confeccionadas com os seguintes tratamentos: a) argila natural; b) remoção de óxidos de Fe e Al com ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) (Mehra & Jackson, 1958); c) saturação com 1 mol L⁻¹ de MgCl₂; d) saturação com 1 mol L⁻¹ de MgCl₂ e solvatação com glicerol; e) saturação com 1 mol L⁻¹ de KCl sob diferentes temperaturas (25, 350 e 550 °C).

As amostras foram submetidas a análise por difratometria de raios X (DRX) no aparelho Panalytical X'Pert PRO (radiação de Co α) com configuração de 4° a $70^\circ 2\theta$, a uma velocidade de varredura de $1^\circ 2\theta \text{ min}^{-1}$, com um potencial gerador de 40kV e um gerador de corrente de 40 mA. Os difratogramas foram interpretadas pelo uso das tabelas de Chen (1977).

2.2 Fitólitos:

2.2.1 Extração

A extração dos fitólitos preservados no solo se deu a partir de 5g de solo (fração TFSA $< 2 \text{ mm}$) de cada amostra. Seguiu-se o método 2 descrito em Calegari *et al.* (2013a, 2013b) caracterizado pela junção de procedimentos de Mehra & Jackson (1960) e Madella *et al.* 1998.

As amostras do Neossolo (P2) e do Organossolo (P4) em razão da presença de raízes e maior quantidade de MOS e Ca^+ em relação às outras, foram calcinadas em mufla a 500°C/h . Após foram colocados em chapa aquecedora com HCl a 5% a 75°C/h para a remoção de carbonatos e resíduos gerados pela calcinação. Ao esfriar, foram lavadas três vezes com água deionizada em centrífuga, sempre mantendo o cuidado para a rotação não ultrapassar 1.500 Rpm/3 min. O material recuperado foi seco em estufa a 100°C (modificado de Costa, 2004) por uma noite.

As etapas relacionadas à remoção dos recobrimentos de matéria orgânica (H_2O_2 35% a frio e, após, em chapa aquecedora a 75%) e ferro livre (DCB: ditionito-citrato-bicarbonato de sódio) foram realizadas no Laboratório de Geoquímica do Departamento de Solos (DPS) na Universidade Federal de Viçosa – UFV.

As etapas a seguir ocorreram no Laboratório de Estudos da Dinâmica Ambiental – LEDA, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Campus Marechal Cândido Rondon/PR:

- a) Eliminação dos carbonatos dos Vertissolos (P1 e P6) com HCl a 5% em chapa aquecedora a 75°C até reduzir de 1:1. Esse procedimento é obrigatório para evitar contaminação do politungstato de sódio ($\text{Na}_6(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40})\text{H}_2\text{O}$ - PTS), visto que ele pode ser reaproveitado ao final de cada procedimento;
- b) Separação dos fitólitos por flutuação, utilizando-se solução de PTS com densidade $2,35 \text{ g cm}^{-3}$ (Madella *et al.* 1998);
- c) A fração recolhida ao final da extração, incluindo fitólitos, diatomáceas e demais corpos

silicosos, é conhecida como fração insolúvel ao ácido (FIA). Uma alíquota da FIA foi pesada e montada em lâminas para microscópio em óleo de imersão para observações em 3D para identificação e classificação dos morfotipos e em Entelan® para elaboração da coleção de referência permanente e contagem dos fitólitos.

2.2.2 Identificação, contagem e classificação dos fitólitos

A assembleia de fitólitos preservada no solo foi classificada em nível de significância taxonômica pelo uso do conjunto de material de referência (Piperno, 2006). Os fitólitos foram observados em microscópio petrográfico trinocular Axioscope 5 (Zeiss®) com aumento de 40x no LEDA, Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon/PR. Foi estabelecido a contagem mínima de 200 morfotipos identificáveis com significado taxonômico nas 80 amostras analisadas. Somente para algumas amostras dos Cambissolos P3 (120cm) e P5 (100cm de profundidade) e dos Vertissolos (P1 e P6) foram necessárias a confecção de várias lâminas para atingir a contagem mínima necessária, possivelmente, como uma resposta ambiental local – períodos mais secos, de estiagem, hiato deposicional ou por condição física/química do solo.

Os fitólitos identificados foram nomeados conforme o *International Code for Phytolith Nomenclature* – ICPN 2.0 (ICPT *et al.*, 2019). Para fins de interpretação do significado ambiental da assembleia fitolítica preservada no solo, os morfotipos foram agrupados de acordo com o significado taxonômico de cada grupo, baseado em inúmeros autores, como por exemplo: Alexandre *et al.* (1997a, b, 1999), Barboni & Bremond (2009), Bozarth, 1992, Chen *et al.* (2013), Coe *et al.* 2017a; Fredlund & Tieszen (1997), Eichhorn *et al.* (2010), ICPT *et al.* (2019) Mercader *et al.* (2009), Montti *et al.* (2009), Mulholland (1989), Piperno (1988; 2006), Raitz (2012), Runge (1999), Sánchez *et al.* (2010), Souza (2019) e Twiss (1992). No quadro 1 a seguir, os morfotipos apresentam-se agrupados conforme os grupos taxonômicos.

Os resultados da contagem dos fitólitos são apresentados em tabela (em porcentagem) e em pranchas com as imagens das principais categorias de morfotipos. As unidades de medida estão em μm . A porcentagem de cada morfotipo foi estabelecida no programa Excel®, considerando a assembleia de morfotipos classificados taxonomicamente.

Quadro 1: Principais morfotipos de fitólitos identificados com significado taxonômico. Complementado e adaptado de Calegari (2008) e de Rasbold (2013). Atualizado para o ICPN 2.0.

Famílias		Morfotipos
POACEAE (Mono.) <i>BUL_FLA, ELONGATE, ACU_BUL,</i>	Panicoideae	Produzem sobretudo <i>BILOBATE (BIL)</i> , <i>POLYLOBATE (POL)</i> e <i>CROSS (CRO)</i>
	Chloridoideae	<i>SADDLE (SAD)</i>
	Pooideae	<i>CRENATE (CRE)</i> , <i>TRAPEZOID (TRZ)</i> e <i>RONDEL (RON)</i>
	Arundinoideae	<i>RON</i> , <i>BIL</i> , <i>POL</i> e <i>CRO</i>
	Bambusoideae	<i>BLOCKY (BLO_VEL)</i> , <i>TRZ_BIL_ECH</i> , <i>BIL</i> , <i>POL</i> , <i>CRO</i> e <i>SAD_COLAPSED</i>
Arecaceae e Bromeliaceae (Mono.)		<i>SPH_ECH</i> e <i>CRENATE SPHERICAL (CRE_SPH)</i>
Arecaceae (Mono.)		<i>ELL_ECH</i> ; <i>CONICAL ARECACEAE</i>
Araucariaceae (Mono.)		<i>CRATERSHAPE</i>
Cyperaceae (Mono.)		<i>POLYGONAL SCROBICULATE (POL_SCR)</i> , <i>CONICAL (CON)</i>
Commelinaceae (Mono.)		<i>PRISMATIC ORNATE (PRI_ORN)</i>
Costaceae (Mono.)		<i>POLYGONAL COLUMELLATE (PLG_COL)</i>
Heliconiaceae (Mono.)		<i>FUSÃO SPH_ORN (FUS_SPH_ORN)</i> , <i>FUSIFORM (FUS)</i> , <i>TAB_GRANULATE</i>
Marantaceae (Mono.)		<i>KNOBBY (NODULAR)</i>
Pinaceae (Mono.)		<i>SPH_ with sockets (spiny body, spiked)</i>
Zingiberaceae (Mono.)		<i>ELLIPSOID ORNATE GRANULATE (Globba maculata)</i> , <i>TAB_COL</i>
Classe Eudicotyledoneae (hábito arbóreo e arbustivo)	Geral	<i>AMOEBOID (AMO)</i> , <i>CIRCULAR (CIR)</i> , <i>CRENATE (CRE)</i> , <i>ELLIPSOID ORNATE (ELL_ORN)</i> , <i>ELL_SCR</i> , <i>ELL_PSI</i> , <i>OVATE (OVA)</i> , <i>POLYEDRAL (PLD)</i> , <i>SPH_PSI</i> , <i>SPH_ORN</i> , <i>SPH_SCR</i> , <i>SPH_CAVATE (SPH_CAV)</i> , <i>BLO_ (POLYHEDRAL, POLYGONAL)</i> ,
	Annonaceae	<i>POLYGONAL FACETADO (PLG_FAC)</i>
	Asteraceae	<i>PERFORATED OPAQUE PLATELETS (PER_OPA)</i>
	Burseraceae	"Flower"* - simbólica, pois não há nomenclatura para este morfotipo
	Fabaceae	<i>ELLIPSOIDE PSILATE (ELL_PSI)</i>
	Piperaceae	<i>AMOEBOID ORNATE (AMO_ORN)</i> ; <i>BLO_POL_ORNA</i> ; <i>RET_ORN</i>
MONO/EUDICOTILEDÔNEA (Sem família definida - SFD)		<i>ARCUATE (ARC)</i> , <i>BRACHIATE (BRA)</i> , <i>CLAVATE (CLA)</i> , <i>CYLINDRIC (CYL)</i> , <i>ELONGATE (ELO)</i> , <i>FLAVOIDE (FLA)</i> , <i>GENICULATE (GEN)</i> , <i>STELLAR (STE)</i> , <i>TABULAR (TAB)</i> , <i>TRACHEARY (TRA)</i> .

Fonte: FONSECA, C. F. 2023. *ACUTE BULBOSUS (ACU_BUL)*; *BLOCKY VELLOATE (BLO_VEL)*; *BULLIFORM FLABELLATE (BUL_FLA)*. (Grass sílica short cell phytolith – GSSCP: *SAD*, *BIL*, *POL*, *CRO*, *CRE*, *RON*, *TRZ*); *RETANGULAR_ORNADO (RET_ORN)*.

Para a avaliação das condições de preservação dos fitólitos, considerando-se os pontos de coleta e o fato de algumas amostras apresentarem elevada quantidade de fitólitos tafonomizados, buscou-se na literatura corrente formas de interpretar o significado dos ataques tafonomônicos. Fitólitos tafonomizados são aqueles com sinais de corrosão, quebra ou alguma alteração em suas propriedades, como a cor âmbar ou queimado. Eles foram agrupados em duas categorias: tafonomizados ID – identificados e tafonomizados NID – Não identificados.

As comparações de cada índice podem ser realizadas intraperfil ou interperfil, de preferência de mesmas classes. Para isto, alguns índices aqui são propostos:

2.2.3 Índices Tafonomizados - interpretação das condições de preservação dos fitólitos

a) O **Índice de T/Q** está relacionado ao processo de movimentação, de transporte dos sedimentos/solos e os sinais que permanecem nos silicofitólitos até seu assentamento para formar a assembleia. Esse transporte causa quebra, arestas nos morfotipos. Desta forma, pode-se calcular a correlação deste evento baseado na fórmula abaixo. Quanto maior for resultado da equação, menor é a influência do transporte na formação da assembleia fitolítica.

$$\text{T/Q} = \frac{\text{Total de Tafonomizados}}{\text{Total de Quebrados}}$$

b) O **Índice T/C** corresponde à influência de fator(es) como a variação de pH, presença/ausência da água, bioturbação e/ou tempo transcorrido de assentamento do morfotipo no ambiente. Quanto maior o resultado do cálculo, menor a participação dos corroídos na formação da assembleia fitolítica local.

$$\text{T/C} = \frac{\text{Total de Tafonomizados}}{\text{Total de Corroídos}}$$

c) O **Índice de Mistura** representa a relação do total de identificados e o total de tafonomizados (ID/T). O que pode trazer informações sobre translocação vertical, mistura entre os fitólitos mais antigos e os mais recentes, sobre a magnitude da pedogênese. De modo geral, os tafonomizados aumentam sua ocorrência quanto maior for a profundidade.

$$\text{ID/T} = \frac{\text{Total de Identificados}}{\text{Total Tafonomizados}}$$

Este índice foi proposto por Marcolin (2022) em sua tese de doutorado ao estudar uma paleovoçoroca no Paraná. Segundo a autora, uma configuração desigual desses valores ao longo do perfil, aponta uma movimentação descendente de fitólitos frescos, sinalizando translocação vertical, que pode estar relacionada a inúmeros fatores como: textura, macro ou microporosidade, circulação de água ou atividade biológica no perfil (Fishkis *et al.*, 2009;

Madella & Lancelotti, 2012; Jouquet *et al.*, 2020). Quanto maior o resultado, menor será o efeito de mistura no perfil.

2.2.4 Índices Fitolíticos para Interpretações Ambientais

Para auxiliar na interpretação dos momentos ambientais a partir da assembleia fitolítica foram utilizados índices relacionados aos aspectos locais de vegetação e umidade já consagrados na literatura corrente. O Índice Climático não foi usado, devido à baixa ou nula ocorrência do morfotipo *RONDEL* de gramíneas C3 foi considerada baixa e/ou inexistente em algumas profundidades e limitada aos perfis P3, P4, P5, P6 e P7.

a) Índice de Adaptação à Aridez – Iph (%) (Diester-Hass *et al.*, 1973; Twiss, 1992) analisa a umidade local referente ao período em que os fitólitos foram produzidos. Baseia-se na relação entre o número de fitólitos Chloridoid (*SADDLE*) dividido pela soma dos morfotipos de Chloridoid (*SAD*) e Panicoid (*BILOBATE (BIL)*, *CROSS (CRO)* e *POLYLOBATE (POL)*).

$$I_{ph} = \frac{SADDLE}{SAD + CRO + BIL + POL} \times 100$$

Resultados com altas porcentagens apontam ambiente aberto e seco, de maior insolação com predomínio de Chloridoid (C4 e C3), já as porcentagens baixas indicam dominância de Panicoid (C4) sob influência de umidade, sendo um ambiente, provavelmente mais fechado (Twiss, 1992; Alexandre *et al.*, 1997; Fredlund & Tieszen, 1997; Barboni *et al.*, 2007; Bremond *et al.*, 2008).

b) Índice de Estresse Hídrico – Bi (%) (Bremond *et al.*, 2005) avalia a quantidade de morfotipos de *BULLIFORMS (BUL)* em relação a soma de todos os fitólitos de Poaceae com significado taxonômico, com exceção dos *ELONGATE (ELO)*, *RONDEL (RON)*, *ACUTE (ACU)* e os morfotipos diagnósticos de Bambusoideae.

$$Bi = \frac{BULLIFORM}{SAD + CRO + BIL + POL + BUL} \times 100$$

Quanto mais as plantas transpiram, maior a produção de células *BULLIFORMS*. Quanto maior a temperatura e menor a umidade do solo, maior o estresse hídrico, o que acarreta a uma maior concentração de sílica, principalmente nas bordas das folhas das Poaceae.

c) O Índice de Cobertura Arbórea (D/P), elaborado de início por Alexandre *et al.* (1997),

calcula a relação de fitólitos de Eudicotiledôneas (arbóreas e arbustivas) dividido pela soma dos fitólitos de Poaceae. O D/P leva em consideração a cobertura arbórea local, permitindo diferenciar sua estrutura vegetacional. Em zonas tropicais, valores baixos indicam vegetação mais aberta/esparsa, valores altos, próximo a 100 apontam vegetação mais densa/florestada. Sendo assim, quanto maior a quantidade de morfotipos de Eudicotiledôneas inseridos no cálculo, maior a quantidade de arbóreas.

Em estudos na África Ocidental e Central, Alexandre *et al.* (1997) estabeleceu que resultados > 150 referem-se a Floresta Equatorial, de 7 – 10 Floresta Perene, já segundo Bremond (2008) valores de 0,33 a 1,16 estão relacionados à Savana Alta, e de 0 a 0,1 à Savana Baixa, Estepes.

Neste trabalho optou-se por uma adaptação da equação proposta por Strömberg (2007), levando-se em consideração os resultados das coleções de referências produzidas no Brasil (Rasbold, 2010, 2011, 2012; Raitz, 2012; Montti, 2009; Felipe, 2012; Coe *et al.*, 2017a; Souza, 2019; Mozer, 2021). Tomou-se o cuidado de não adicionar os seguintes morfotipos de Poaceae: Bambusoideae (*SAD_COLAPSAD*, *BLO_VELLOATE*) e os *BLO* de Poaceae, isto porque são monocotiledôneas não arbóreas.

$$(D/P) = \frac{AMO + CIR + ELL_{ORN} + ELL_{PSI} + NOD + PLG + PLG_{CAV} + PLD + SPH_{ORN} + SPH_{PSI}}{BIL + CRE + CRO + POL + SAD + TRZ}$$

2.3 Análise Isotópica estáveis ^{13}C , ^{15}N , Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio Total (NOT)

Foram selecionadas 80 amostras de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) de sete perfis de solos selecionados, a partir de coleta sistemática de 10 cm em 10 cm da base para o topo do perfil. As amostras foram enviadas ao Centro de Isótopos Estáveis Carlos Ducatti da Universidade Estadual Paulista (UNESP, Campus Botucatu/SP) e, após a trituração, foram utilizadas as partículas mais finas que 0,210 mm para a determinação da $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio Total (NOT) utilizando um espectrômetro de massa de razão isotópica de fluxo contínuo.

Os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ foram expressos em relação ao padrão *Vienna Pee Dee Belemnite* - VPDB usando as notações convencionais δ (‰), com precisão analítica de $\pm 0,15\%$. Estes dados serviram de base para selecionar as amostrar para a datação da MOS por

^{14}C . Os resultados de COT e NOT, posteriormente utilizados para a relação Carbono/Nitrogênio (C/N), foram apresentados com uma precisão de $\pm 0,20\%$. A apresentação dos dados foi realizada com números absolutos e a média deles. Ressalta-se que para os perfis P2 e P4, não foi possível estabelecer a relação C/N, devido à falta de dados do COT.

2.4 Datação ^{14}C da MOS via Espectrometria de Massa Acoplada a Acelerador de Partículas – MAS

Para a datação de ^{14}C da MOS foram escolhidas as amostras de interesse a partir dos resultados do $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, sendo as seguintes: P2 Neossolo Regolítico (20, 50 e 70 cm de profundidade), P5 Cambissolo Háplico (70, 110 e 150 cm) e P6 Vertissolo Ebânico (20, 70 e 110 cm) (Figura. 1, 2B, 2C e 2F deste capítulo; capítulo III: Figura 3 e Quadro 1).

As amostras foram pré-tratada fisicamente para remover fragmentos vegetais, raízes, carvão, insetos. Os detritos vegetais remanescentes foram retirados por flotação em 0,01 mol/L HCl, depois as amostras foram secas. Em seguida, 4g de cada amostra pré-tratada foram colocados em *becker* de 250 ml, sendo adicionados 150 ml de HCL 1 mol/L para isolar o carbono não hidrolisável (NHC). O material seguiu para chapa aquecedora por 2h/90 °C, até que o sobrenadante estivesse límpido ou até cinco vezes. É essencial que os utensílios sejam de vidro e que o material seja agitado com bastão sem tocar o fundo do *becker* a cada 15 minutos. Após a sucção do sobrenadante, o sedimento foi lavado H₂O destilada para remoção dos cloretos, atingindo o pH entre 5-6. Por fim, o sedimento foi seco em estufa a 60°C (método adaptado de Paul *et al.*, 2001).

Logo depois o material (humina) foi enviado para o Laboratório de ^{14}C do Centro de Estudos Nuclear na Agricultura – CENA/USP em Piracicaba/SP, para a confecção de nove grafites para análise via AMS no Laboratório de Carbono (LAC) da Universidade Federal Fluminense (UFF), dentro do programa de colaboração científica entre laboratórios. Os resultados estão corrigidos para o fracionamento isotópico natural (-25‰), apresentados em idade ^{14}C convencional, anos antes do presente (AP) em 1σ (68,3% de probabilidade) e calibração (cal) em anos de calendário, 2σ . O tempo médio de residência foi estabelecido através do programa Programa CALIB 8.2 (referências de calibrações: curva SHcal20 Southern Hemisphere calibration, 0-55,000 years cal BP. Radiocarbon 62. doi: 10.1017/RDC.2020.59).

2.5 Mapeamento de direção de fluxo e perfis verticais: programas utilizados: Qgis 3.18.1 e Surfer 23.3.

Considerando que muitos perfis foram amostrados em posição de fundo de vale, tornou-se necessário conhecer as possíveis rotas de chegada de sedimentos contendo fitólitos. Neste caso, a assembleia de fitólitos é composta pelos morfotipos produzidos pelas plantas locais e uma parte pode ser oriunda das encostas a montante do ponto de coleta. Para isso, foram elaborados mapas de direção de fluxo nas vertentes para indicar as possíveis áreas fonte de sedimentos.

Os seguintes procedimentos foram realizados para a produção dos dados a serem utilizados na elaboração do mapeamento de direção de fluxo, e perfis topográficos. De início, os pontos do estudo (P1 ao P7) foram determinados no Sistema de Informações Geográficas (SIG) *software Qgis 3.18.1* no formato de *shapefile* (.shp) de ponto tendo como base a imagem online do Google.cn Satellite para a localização deles. Em seguida, foi utilizada uma imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) – 1 arco por segundo (~30 m de resolução), disponível no site: <https://earthexplorer.usgs.gov> que serviu de base para extração dos valores de Z (altitude). Na sequência, confeccionou-se outro *shapefile* no formato de polígono, determinando a amplitude da área de interesse que se pretende extrair as informações.

Após a determinação da área de interesse (polígono) para cada uns dos pontos, se utilizou da ferramenta “Pontos Regulares”, utilizando-se como extensão o polígono de interesse com espaçamento entre os pontos de 30 metros - a mesma resolução da imagem SRTM. Resultando numa camada com pontos espalhados de forma regular e retangular em toda a extensão da camada com espaço de 30 m entre cada um dos pontos. A partir disto, procedeu-se com a ferramenta “Adicionar campos X/Y à camada” que adiciona dois campos na tabela da camada dos pontos regulares com as coordenadas geográficas. A última etapa realizada neste procedimento é acrescentar a informação de altitude (Z) a camada que contém as coordenadas geográficas, para isto usa-se o plugin Point Sampling Tool (Jurgiel, 2020), previamente instalado, a partir dos complementos do aplicativo. Neste procedimento são selecionados os campos da camada referentes a X, Y e a imagem SRTM que fornecem a informação da altitude (Z), sendo salva como tabela (*.cvc) para, posteriormente, ser utilizada em outro aplicativo. Este procedimento é repetido para cada ponto e área do estudo.

Na sequência do procedimento, realizou-se com o *software Surfer 23.3 (Golden Software Surfer)*, no menu superior em *Grid* seleciona-se a opção “Data” e importa-se a tabela com as informações (Longitude, latitude e Altitude), sendo utilizado o método de *Krigagem* –

geostatística com erro médio quadrático - e salva-se o arquivo (.grd). Na elaboração das imagens usou-se as ferramentas 3D *Surfer*, para gerar o modelo 3D, *Grid Vector Map* para gerar o mapa de vetores de fluxo, sempre selecionando o arquivo de saída (.grd). Após, seleciona-se o modelo 3D e os vetores de sentido do fluxo, e no menu Map usou-se a função *Overlay Map* para sobrepor os vetores ao modelo 3D.

Outro procedimento consistiu em utilizar os pontos vetorizados no software *Qgis 3.18.1* de cada coleta de amostras em todas das áreas de estudo. Esses dados são utilizados na elaboração das figuras 3D e direção de fluxo no software *Surfer 23.3* para representar os pontos de coletas nas imagens.

Os procedimentos de elaboração dos perfis topográficos foram realizados também no aplicativo *Surfer 23.3* utilizando a ferramenta *Profile* na aba *Map Tools*, com está ferramenta foi traçado uma linha (perfil) seguindo o sentido do fluxo, o qual passava pelo ponto de coleta, gerando-se a figura do perfil topográfico ao longo da linha. Em seguida, o perfil topográfico é editado no próprio programa. A figura final elaborada foi exportada com o perfil topográfico, a imagem 3 D (altitude) e direção (vetores) do fluxo. Esse procedimento foi realizado para todos os pontos de coleta do estudo (P1 ao P7).

2.6 Análise Estatística

Para a análise e a interpretação da assembleia fitolítica, o resultado da contagem dos fitólitos foi organizado em tabelas com valores absolutos. Essas tabelas foram utilizadas para determinar as porcentagens de cada morfotipo em relação a assembleia total e a classes taxonômicas de fitólitos. Os diagramas de porcentagem e a análise de agrupamentos hierárquicos, utilizada na determinação dos momentos e interpretação paleoambiental, foram obtidos através dos programas Tilia, TiliaGraph e CONISS (Grimm, 1987). Os dados foram submetidos à estatística descritiva e à análise multivariada de componentes principais (PCA), para isto, utilizou-se o software R[®], para explicação dos agrupamentos.

O *software* geoestatístico R (R Core Team, 2019) foi utilizado para as análises, sendo aplicado para a PCA o pacote *factormine*. A Correlação Pearson foi aplicada com um *corrplot* e para correlações com valores de probabilidade foi seguido o critério de Kaiser com autovalores ≥ 1 (Field, 2009; Matos & Rodrigues, 2019). A primeira componente (CP) é a de maior informação (variância) e corresponde ao eixo X, a segunda CP corresponde ao eixo Y, as demais CPs não foram empregadas nesta pesquisa.

Referências Bibliográficas

- AB'SÁBER, A. N. O Nordeste Brasileiro e a Teoria dos Refúgios, Trópico e Meio Ambiente, **Anais do Seminário de Tropicologia**, Recife, Massangana, 2002.
- AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DE ÁGUAS DA PARAÍBA - AESA.
- ALEXANDRE, A. *et al.* Phytoliths: Indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 136 (1 - 4), 213-229, 1997a.
- ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J-D. COLIN, F.; OUD, J-M. Plant impact on the biogeochemical cycle of silicon and related weathering processes. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 61, n. 3, p. 677–682, 1997b.
- ALEXANDRE, A. *et al.* Late Holocene Phytolith and Carbon-Isotope Record from a Latosol at Salitre, South-Central Brazil. **Quaternary Research**, San Diego, v. 51, p.187 – 194, 1999.
- ALVAREZ V. *et al.* **Determinação e uso do fósforo remanescente**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, v.25, p.27- 33. (Boletim Informativo).
- ANDERSON, J. U. Anderson, J. U., 1963. An improved pretreatment for mineralogical analysis of samples containing organic matter. In: Swineford, A. & Franks, P. C. (Eds.) **Proceedings 10th National Conference on Clays and Clay Minerals**, pp. 380–388. 1963. Pergamon Press, Oxford.
- APAC – **Agência Pernambucana de Águas e Clima**. Precipitação do município de Poção/PE. Dados de precipitação de 1994/2020.
- BARBONI, D.; BREMOND, L.; RAYMONDE, B. **Comparative study of modern phytolith assemblages from inter-tropical Africa**. **Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology**, 246(2-4):454-470, 2007.
- BARBONI, D.; BREMOND, L. Phytoliths of East African grasses: An assessment of their environmental and taxonomic significance based on floristic data. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 158, n. 1–2, p. 29–41, 2009.
- BELNAP, J. *et al.* **Linkages between microbial and hydrologic processes in Arid and semiarid watersheds**. **Ecology**, v. 86, 2005.
- BOZARTH, S. R. Classification of opal phytoliths formed in selected dicotyledons native to the Great Plains. In: RAPP, G. and MULHOLLAND, S. C. (Ed.). **Phytolith Systematic Advances in Archaeology and Museum Science**. New York: Plenum Press, 193-214, 1992.
- BREMOND, L. *et al.* Phytolith indices as proxies of grass subfamilies on East African tropical mountains. **Global and Planetary Change**, v. 61, n. 3–4, p. 209–224, 2008.
- BUENO, L. *et al.* O registro arqueológico do final do Pleistoceno/Início do Holoceno no Brasil: um banco de dados georreferenciado. **Quaternary Int.** 301, 74–93, 2013.
- CALEGARI, M. R. *et al.* 2013a. Combining phytoliths and $\delta^{13}\text{C}$ matter in Holocene palaeoenvironmental studies of tropical soils: An example of an Oxisol in Brazil. **Quaternary international**. v. 287, p. 47-55, 2013a.
- CALEGARI, M.R. *et al.* 2013b. Opal phytolith extraction in oxisols. **Quaternary International**, 287: 56-62, 2013b. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.11.005>

CHEN, P. Y. **Table of Key Lines in X-ray Powder Diffraction Patterns of Minerals in Clays and Associated Rocks**. Bloomington, Indiana: Department of Natural Resources, 1977. (Geological survey occasional paper 21).

CHEN, S. T. & SMITH, S. Y. Phytolith variability in Zingiberales: A tool for the reconstruction of past tropical vegetation, **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, vol. 370, 1-12p., 2013.

COE, H. H. G. *et al.* Caracterização de fitólitos de plantas e assembleias modernas de solo da caatinga como referência para reconstituições paleoambientais. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 8, p. 9 - 21, 2017a.

CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, [S. l.], v. 31, n. 1-2, p. 35-52, 2010. DOI: 10.5935/0100-929x.20100003.

COSTA, L.M. **Biogeoquímica do silício: Morfologia e composição química de fitólitos relacionados a solos ácidos com alta saturação em alumínio trocável**. 2004. 23p (Relatório Final de Estágio Pós-Doutorado).

DIESTER-HAAS L.; SCHRADE, H.J.; THIEDE, J. Sedimentological and paleoclimatological investigations of two pelagic ooze cores off Cape Barbas, North-West Africa. **Meteor Forschungsergebnisse: Reihe C, Geologie und Geophysik**: 19-66, 1973.

EICHHORN, B. *et al.* Seed phytoliths in West African Commelinaceae and their potential for palaeoecological studies. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Vol. 298, 34, 300-310p., 2010.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises**. Brasília, DF. Embrapa, 3ª ed. A,piada e revisada. 2017.

FELIPE, P. L. L. **Coleção de Referência de Fitólitos de Eudicotiledoneae da Floresta Ombrófila Densa: Subsídios Para Estudos Paleoambientais em Regiões Tropicais**. 72 f., 2012. Monografia (Licenciatura em Geografia), Marechal Candido Rondon, PR, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

FERNANDES, M. *et al.* An updated plant checklist of the Brazilian Caatinga seasonally dry forests and woodlands reveals high species richness and endemism. **Journal of Arid Environments** V. 174, March 2020.

FIELD, A. **Descobrimos a Estatística usando o SPSS**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

FISHKIS, O.; INGWERSEN, J.; STRECK, T. Phytolith transport in sandy sediment: Experiments and modeling. **Geoderma**, v. 151, n. 3-4, p. 168-178, 2009.

FREDLUND, G. G. & TIESZEN, L. L. Phytolith and carbon isotope evidence for late quaternary vegetation and climate change in the southern black hills, South Dakota. **Quaternary Research**, v. 47, n. 2, p. 206-217, 1997.

GARDI, C. *et al.* **Atlas de suelos de América Latina y el Caribe**. Luxembourg: Comisión Europea, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, 2014.

GOIS, L. S. S.; CORRÊA, A. C. B.; MONTEIRO, K. A. Análise Integrada dos Brejos de Altitude do Nordeste do Brasil a partir de Atributos Fisiográficos. **Espaço Aberto**, PPGG - UFRJ, Rio de Janeiro, V. 9, N.2, p. 77-98, 2019.

GRIMM, E.C. Coniss: A Fortran 77 Program for Stratigraphically Constrained Cluster Analysis by the Method of the Incremental Sum of Squares. **Computer and Geosciences**, 13, 13-35, 1987.

- SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF. Embrapa, 2018.
- ICPT, I. C. FOR P. T. *et al.* International Code for Phytolith Nomenclature (ICPN) 2.0. **Annals of Botany**, v. 124, n. 2, p. 189–199, set. 2019.
- IPA – **Instituto Agrônomo de Pernambuco**. Precipitação do município de Poção/PE. Dados de precipitação de 1994/2020.
- JOUQUET, P. *et al.* The distribution of Silicon in soil is influenced by termite bioturbation in South Indian Forest soils. **Geoderma**, v. 372, p. 114362, ago. 2020.
- JURGIEL, B. **Point Sampling Tool**- Samples polygon attributes and raster values from multiple layers at specified sampling points. Versão 0.5.3. 05/01/2020.
- KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Clima da região Nordeste do Brasil. In: **Tempo e clima no Brasil**. CAVALCANTI, I. F. de A. (Org). São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- LAGES, G.A. *et al.* **Mar de Bolas do Lajedo do Pai Mateus, Cabaceiras, PB: Campo de matações graníticas gigantes e registros rupestres de civilização pré-colombiana**. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil, 2013
- MABESOONE, J. M. & CASTRO, C. Desenvolvimento geomorfológico do Nordeste Brasileiro. **Boletim do Núcleo Nordeste da Sociedade Brasileira de Geologia**. 3: 3-5, 1975.
- MADELLA, M. & LANCELLOTTI, C. Taphonomy and phytoliths: A user manual. **Quaternary International**, v. 275, p. 76-83, 2012.
- MADELLA, M.; POWERS-JONES, A. H.; JONES, M. K. A Simple Method of Extraction of Opal Phytoliths from Sediments Using a Non-Toxic Heavy Liquid. **Journal of Archaeological Science**, v. 25, n. 8, p. 801–803, ago. 1998.
- MARCOLIN, L. **Reconstituição paleoambiental em feição anômala no relevo no noroeste do Paraná** (no prelo) Universidade Federal do Paraná. 2022. Tese de Doutorado
- MARQUES, A. L. **Evolução da Paisagem e Ocorrência de Latossolos Húmicos nos Brejos de Altitude da Paraíba**. 2019, 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Areia/PB.
- MASCARENHAS, J. C. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Poção, estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.
- MATOS, D. A. S. & RODRIGUES, E. C. **Análise fatorial**. Brasília: Enap, 2019.
- MCKEAGUE, J. A.; DAY, J. H. Dithionite-and Oxalate-Extractable Fe and al as Aids in differentiating various classes of soils. **Canadian Journal of Soil Science**, [S. l.], v. 46, n. 1, p. 13–22, 1966. DOI: 10.4141/cjss66-003.
- MEDEIROS, J. F. & CESTARO, L. A. C. Os Brejos de Altitude no contexto das áreas de exceção do Nordeste brasileiro. **Revista de Geociências do Nordeste**, 2018. DOI: 10.21680/2447-3359.2018v4n0id16088
- MEDEIROS, J. F. & CESTARO, L. A. C. Diferentes abordagens utilizadas para definir Brejos de Altitude, áreas de exceção do nordeste brasileiro. **Sociedade e Território** – Natal. Vol. 31, N. 2, p. 97–119 Jul./Dez. de 2019 / ISSN: 2177-8396
- MEHRA, O. P. & JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: **Clay and Clay minerals**. V. 7, 317-327, 1958

- MEHRA, O. P.; JACKSON, M. .. Iron Oxide Removal from Soils and Clays by a Dithionite-Citrate System Buffered with Sodium Bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 317–327, 1960. DOI: 10.1346/CCMN.1958.0070122. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1346/CCMN.1958.0070122>.
- MERCADER, J. *et al.* Phytoliths In woody plants from the Miombo woodlands of Mozambique. **Annals of Botany**, v. 104, n. 1, p. 91–113, jul. 2009.
- MONTIL, L. Phytolith analysis of *Chusquea ramosissima* Lindm. (Poaceae: Bambusoideae) and associated soils. *Quaternary International*, v. 193, Issues 1 – 2, 80-89, 1 january 2009.
- MULHOLLAND, S.C. Phytolith shape frequencies in North Dakota grasses: a comparison to general patterns. **Journal of Archeological Science**, 16: 489-511, 1989.
- MUNSELL SOIL COLOR COMPANY, Munsell soil color charts, **Munsell color**, Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, Baltimore, Maryland, USA. 1950, revised 2012.
- PAUL, E. A.; MORRIS, S. J.; BOHM, S. The determination of soil C pool sizes and turnover rates: biophysical fractionation and tracers. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLET, R. F.; STEWART, B. A. (Ed.). *Assessment methods for soil carbon*. Boca Raton: Lewis, 193 – 206, 2001.
- PIPERNO, D. R. **A phytolith analysis: an archaeological and geological perspective**. London: Academic Press, 280 p., 1988.
- PIPERNO, D. R. **Phytoliths: A comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists**. Lanham, MD: AltaMira Press. 2006.
- PORTO, K.C.; CABRAL, J.J.S.P. & TABARELLI, M. (Orgs.). **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. 324 p.
- QUEIROZ, R. T. *et al.* Extending the limits of Campos Rupestres in Brazil. **Caminhos da Geografia** (UFU. Online), v. 22, p. 115-137, 2021.
- RAITZ, E. **Coleção de referência de silicofitólitos da flora do Sudoeste do Paraná: subsídios para estudos paleoambientais**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Francisco Beltrão, 2012.
- RASBOLD, G.G. *et al.* Avaliação das formas de fitólitos presentes em *Cyperus giganteus* Vahl (Cyperaceae). In: Enc. Prod. Científica Tecnológica, 5, 2010, **Anais.**, Fac. Est. Ciências Letras Campo Mourão, Campo Mourão, PR.
- RASBOLD G.G. *et al.* Caracterização dos Tipos Morfológicos de Fitólitos Presentes em *Butia paraguayensis* (Barb. Rodr.) L. H. Bailey (Arecaceae). **Iheringia**, 66(2):265-270. 2011.
- RASBOLD, G.G. *et al.* Avaliação e Quantificação dos Fitólitos Presentes em *Chloris elata* Desv., *Chloris gayana* Kunth e *Tripogon spicatus* (Ness) Ekman (Chloridoideae). **Iheringia**, 67(2):137-148, 2012.
- RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Rev. Bras. Ciência do Solo**, [S. l.], v. 29, n. 2, p. 297–300, 2005. DOI: 10.1590/s0100-06832005000200015.
- 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.

SÁNCHEZ, V. M. *et al.* Phytolith analysis of *Coprinisphaera*, unlocking dung beetle behaviour, herbivore diets and palaeoenvironments along the Middle Eocene–Early Miocene of Patagonia, **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Volume 285, Issues 3–4, 224–236, 2010. ISSN 0031-0182.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF. Embrapa, 2018.

SANTOS, R. D. *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7.ed. Viçosa: SBCS, 101p., 2015.

SOUZA, E. **Reconstituição Paleoambiental a partir do sinal fitolítico na ESEC Caetetus – Gália (SP)**. 2019. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Dissertação de Mestrado em Geografia.

SOUZA, J. J. L. L.; SOUZA, B. I.; XAVIER, R. A.; PACHECO, A. A.; PESSENDA, L. C. R.; DOS SANTOS BRITO, Edson. Archaeoanthrosol formation in the Brazilian semiarid. **Catena**, [S. l.], v. 193, n. March, p. 104603, 2020. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104603.

SOUZA, J. J. L. L. *et al.* Organic carbon rich-soils in the brazilian semiarid region and paleoenvironmental implications. **Catena** 106101, v. 212, maio de 2022.

SOUZA, J. J. L. L. Brazilian semiarid soils formed during the last glacial maximum. **Catena**, v. 223, p. 106899, 2023.

STRÖMBERG, C. A. E. **Can slide preparation methods cause size biases in phytolith assemblages?: results from a preliminary study**. Oxford: Oxbow Books, 2007.

TWISS, P.C. Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. In: RAPPS Jr. G. & MULHOLLAND, S. C. (Org.), **Phytolith Systematic**, Plenum Press, p.113-128, 1992.

WALKLEY, A. & BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Sci.**, 37:29-38, 1934.

CAPÍTULO III

SOLOS COM INFLUÊNCIA DE EMBASAMENTOS CRISTALINOS DA BORBOREMA, NORDESTE DO BRASIL

Introdução

As regiões áridas e semiáridas do mundo são caracterizadas pela baixa precipitação anual e pela elevada evapotranspiração, cobrindo aproximadamente 30% da superfície da terrestre (Wang *et al.*, 2014). No Nordeste brasileiro, está inserida a região semiárida tropical mais úmida e maior do mundo (Bezerra *et al.*, 2018), com cerca de 1.182.697 km² (Sudene, 2021) e domínio do bioma Caatinga. Com uma população de 27 milhões de habitantes, é a terceira mais populosa do mundo, perdendo apenas para a Índia, com 341 milhões, e para a Nigéria, com 42.6 milhões de habitantes. (Giulietti *et al.*, 2004; Patil, *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2017).

Na atualidade, a vegetação nativa de Caatinga sofre intensas alterações devido às mudanças climáticas, além da aceleração desse processo pelas fortes ações antrópicas (Beuhle *et al.*, 2015; Ribeiro *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2020 e 2020a), como o desmatamento para dar lugar à agricultura de subsistência familiar, à pecuária extensiva e ao extrativismo vegetal para a produção de combustível (Souza, 2012; Souza *et al.*, 2015). Por outro lado, a agricultura de subsistência é prejudicada pelos severos períodos de seca, levando ao abandono dessa prática e à transição para a pecuária extensiva, além da migração da população rural para as áreas urbanas do país. Esses fatores podem resultar na perda de biodiversidade das espécies vegetais (Mamede & Araújo, 2008) causando mudanças no microclima e nas características do solo (Silva *et al.*, 2021) o que favorece a expansão da desertificação (Souza, 2012; Souza *et al.*, 2015) e afeta as condições socioeconômicas locais (Silva *et al.*, 2020 e 2020a).

Nas diversas paisagens da Caatinga, encontram-se extensos afloramentos rochosos que constituem grandes maciços cristalinos de granito ou granitoides, isoladamente observados também nas áreas da Costa Atlântica (Porembski & Barthlott, 2000; Medeiros & Cestaro, 2018; 2019; Jatobá *et al.*, 2019). Quando apresentam um formato horizontal, são denominados popularmente de lajedos. Estes apresentam condições ecológicas particulares, com solos pouco desenvolvidos, principalmente *Regosols* (Souza *et al.*, 2020), com diversidade florística, sobretudo, de espécies herbáceas que formam grandes tapetes sobre a rocha, além da ocorrência de espécies características de ambientes mais úmidos, como as famílias Erythroxylaceae, Myrtaceae, Rubiaceae (Lopes-Silva *et al.*, 2019). Outras espécies arbóreas e arbustivas são

encontradas, em menor proporção, desenvolvidas nas fissuras e fendas das rochas, onde há maior quantidade de substrato e água (Porembski & Barthlott, 2000).

Sabe-se que a vegetação de Caatinga e o relevo cristalino, representado por lajedos, matacões e serras, desempenham um papel fundamental na biodiversidade de plantas (Hmeljevski *et al.*, 2014; Lopes-Silva *et al.*, 2019; Mamede & Araújo, 2008; Souza *et al.*, 2015; Fernandes *et al.*, 2020 e 2022) crucial na regulação do clima, na dinâmica dos ciclos biogeoquímicos, na produção de gases de efeito estufa e na conservação dos solos (Ribeiro *et al.*, 2016). Portanto, as áreas de cristalino são importantes unidades de paisagem (Pereira-Neto & Silva, 2012) que permitem elucidar a história da evolução do ambiente, por meio de elementos multiproxies de reconstituição paleoambiental (Migoñ, 2021), além de auxiliar no acúmulo de umidade e no transporte de água para a vegetação mais densa do seu entorno (Lunguinho, 2018; Jatobá *et al.*, 2019) e representar um grande potencial turístico (Mariano *et al.*, 2020), educativo e cultural (Olímpio *et al.*, 2021). No entanto, apesar da grande importância do bioma da Caatinga, ainda existem grandes lacunas no conhecimento relacionado à interação e evolução solo-vegetação-paisagem.

Com base no exposto, o objetivo desse estudo foi identificar os solos com influência do cristalino da Borborema em área de lajedos e serra, a partir das suas características, físicas, químicas e mineralógicas. Os resultados obtidos contribuirão para aprofundar os conhecimentos desta área de extrema importância biológica, que abriga inúmeras espécies endêmicas, mas que vem enfrentando degradação do solo e processos de desertificação. Espera-se que essas informações possam orientar futuras decisões de planejamento, gestão e manejo florestal e territorial, promovendo uma melhor convivência com o semiárido brasileiro (Silva *et al.*, 2004; 2017).

3 Resultados

3.1 Caracterização morfológicas, físicas e químicas

Os solos foram classificados de acordo com o SiBCS como: P01 e P06 – Vertissolo, P02 Neossolo e P04 – Organossolo e, P03, P05 e P07 – Cambissolo. Os perfis foram escavados dentro da área de influência de lajedos, exceto o P03 (Quadro 1), na província da Borborema formada por granitos e granitoides, rochas plutônicas ricas em quartzo, feldspato potássico de caráter cálcio-alcalino com alto – K. Esses granitos são responsáveis pelo aporte, próximo à superfície, de elementos químicos como o K, Na, P e Cl (Neves, 2012).

Quadro 1: Descrição geral da paisagem e dos solos estudados (P01 – P07)

Perfil	Coordenadas	WRB/FAO	SiBCS	Altitude (m)	Descrição
1	7°47'9.00"S 37° 7'51.00"O	<i>Pellic Sodic Vertisol</i> (<i>Hypereutric, Epic, Mazic, Ochric</i>)	Vertissolo Ebânico Sódico típico	750	Solo descrito no <i>toeslope</i> dentro de um lajedo de granito. Solo mal drenado, com ligeira erosão laminar. A vegetação dominante é composta por gramíneas, com presença de alguns arbustos espaçados. Foram identificados horizonte vértico (WRB e SiBCS) e sódico (WRB) ou horizonte com caráter sódico (SiBCS).
2	7°43'8.54"S 36°39'9.25"O	<i>Haplic Umbrisol</i> (<i>Loamic, Eutric, Humic, Novic</i>)	Neossolo Regolítico Distrófico típico	567	Solo descrito no <i>footslope</i> dentro de um lajedo de granito. Solo bem drenado, com ligeira erosão laminar e presença de fragmentos grosseiros dentro do perfil. A vegetação é composta por Caatinga arbórea arbustiva. Foram identificados horizonte A moderado (SiBCS)
3	8° 9'25.13"S 36°41'14.86"O	<i>Dystric Sideralic Cambisols</i> (<i>Loamic, Humic</i>)	Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico	1140	Solo descrito no <i>backslope</i> num planalto de relevo ondulado. Solo mal drenado, com ligeira erosão laminar. A vegetação esta composta por Caatinga arbórea com ocorrência de espécies de mata atlântica. Horizonte câmbico (WRB) ou horizonte incipiente e horizonte A moderado (SiBCS) foram identificados.
4	8° 4'49.50"S 36°40'2.60"O	<i>Haplic Umbrisol</i> (<i>Loamic, Humic</i>)	Organossolo Fólico Sáprico típico	1070	Solo descrito no <i>backslope</i> num planalto. Solo bem drenado, com moderada erosão laminar e presença de fragmentos grosseiros dentro do perfil e alto teor de CO. Vegetação composta de Caatinga arbórea arbustiva densa. Horizonte A moderado (SiBCS) foi identificado.
5	7°21'27.20"S 36°15'1.10"O	<i>Dystric Cambisol</i> (<i>Loamic, Humic</i>)	Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico	490	Solo descrito dentro do lajedo de granito. Solo bem drenado, com ligeira erosão laminar. Composta por vegetação Caatinga arbórea arbustiva. Horizonte cambico (WRB) ou horizonte incipiente e horizonte A moderado (SiBCS) foram identificados.
6	7°22'17.58"S 36°15'53.28"O	<i>Pellic Sodic Vertisol</i> (<i>Hypereutric, Humic</i>)	Vertissolo Ebânico Sódico típico	482	Solo descrito no <i>toeslope</i> dentro de um lajedo de granito. Solo mal drenado, com ligeira erosão laminar. A vegetação dominante é composta por gramíneas, halófitas e alguns arbustos espaçados. Foram identificados horizonte vertico (WRB e SiBCS) e sódico (WRB) ou horizonte com caráter sódico (SiBCS).
7	7°21'55.33"S 36°16'43.79"O	<i>Dystric Sideralic Cambisol</i> (<i>Loamic, Humic</i>)	Cambissolo Húmico Distrófico típico	480	Solo descrito no <i>toeslope</i> dentro de um lajedo de granito. Solo bem drenado, com ligeira erosão laminar. Composta por vegetação Caatinga arbórea arbustiva. Horizonte câmbico (WRB) ou horizonte incipiente e horizonte A moderado (SiBCS) foram identificados.

Fonte: Dados obtidos através da observação e coleta de campo e das análises físicas e químicas dos perfis de solos P01 – P07. Consultar figuras 2A – 2F, capítulo II.

Obs.: De início o P04 foi classificado como Neossolo, por este motivo na análise estatística, ele encontra-se junto ao P02. Porém em razão de maior concentração de Carbono Orgânico, ele se enquadrou em Organossolo.

A altitude nos pedons varia de 478 a 1.136 m., cujo solos das posições mais baixas, apresentam condições mais secas – Cariri Oriental, comparado as posições mais altas do relevo.

A vegetação de Caatinga predomina na área de estudo, variando entre arbustiva e arbórea densa. No *toeslope* da paisagem – P01 e P06, foi possível encontrar halófitas e gramíneas, sendo um ambiente com alto teor de sódio e argila. O P03 e P4 estão associados ao *backslope*, o Cambissolo, P03, apresentou os maiores valores de MOS, Corg., e P. O Cambissolo P05 foi o mais profundo com 1,6 m, em contrapartida o P04 obteve apenas 0,7 m de profundidade. A sequência mais comum dos horizontes (Hz) é A1 – A2, somente os P03 e P07 apresentam Hz B.

Os perfis P01 e P06 apresentaram coloração escura (10YR 2/1) em todo o perfil, com estrutura de bloco angular a prismático médio a muito grande, de grau forte (Tabela 1), com evidência de *slickensides* no horizonte Cv (Fig. 1), de textura franco argilosa a muito argilosa (Figura 2). O pH destes solos variou de ligeiramente ácido a muito fortemente alcalino, cujos valores bem mais altos foram observados em profundidade, com altos níveis de Na^+ variando de 4,90 a 33,07 $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$, acarretando valores de $\text{PSI} \geq 15\%$, principalmente no P06 (Tabela 2). Teores mais altos de Ca^{2+} foram observados em todo o perfil do P01, variando de 24,32 no A a 31,25 $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ no Cv. Ambos pedons, mostraram uma saturação por bases $\geq 90\%$, com argila de atividade alta ($> 24 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$). Os teores de CO no P06, foram mais altos em maior profundidade (Figs. 3, 6 e 7).



Fig. 1: Presença de *slickensides* no Cv1 do perfil 01. **Fonte:** E. Morais, 05/06/19, Lagoa do Zabê, Monteiro/PB.

Os pedons P02 e P04 (Fig. 3), sem horizonte de diagnóstico, apresentaram horizontes superficiais de coloração bruno escuro (7.5YR 3/2) a cinza muito escuro (5YR 3/1), de textura franco a franco argilo arenosa, estrutura granular pequeno a grande, moderado a forte, ligeiramente dura (Fig.2). Os horizontes mais profundos, variaram de franco arenoso a franco argilo arenoso, de coloração cinza muito escuro (5YR 3/1) a bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2), sem estrutura - “grãos simples”, macio a solto (Tabela 1). Cascalhos subangular de 5 a 15 cm, foram observados dentro dos perfis, a profundidade de 45 a 70 cm no P02 e, 20 a 40 cm, no P04 (Fig.3). O pH variou de muito forte a fortemente ácido, com valores mais altos em superfície (Fig. 6), com saturação por bases $< 50\%$ com teores mais altos de Al^{3+} trocável em profundidade (Tabela 2). A atividade da argila desses pedons é acima de $> 24 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ com teores de CO mais altos nos horizontes superficiais (Fig. 6).

Os solos P03, P05 e P07 (Fig. 3) de coloração preto (10YR 2/1) a bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2) no A, de textura franco argila arenoso a franco argiloso (Fig.2; Tabela 1), com estrutura granular pequena a média, fraco a moderado, ligeiramente duro. O horizonte B desses pedons mostra coloração bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2) a bruno amarelado escuro (10YR 3/4), de textura franco argilo arenosa a argilosa, com estrutura em blocos subangular médio, moderado (Tabela 1). O pH destes solos variou de extremadamente a fortemente ácido, com saturação por bases < 50%, e valores mais altos de Al^{3+} no P05 (Tabela 2). O P03 possui argila de atividade alta (>24 $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$) (Figs.6 e 7). Os valores de Ca^{2+} , P e CO foram mais altos em superfície (Figs.3, 6 e 7).

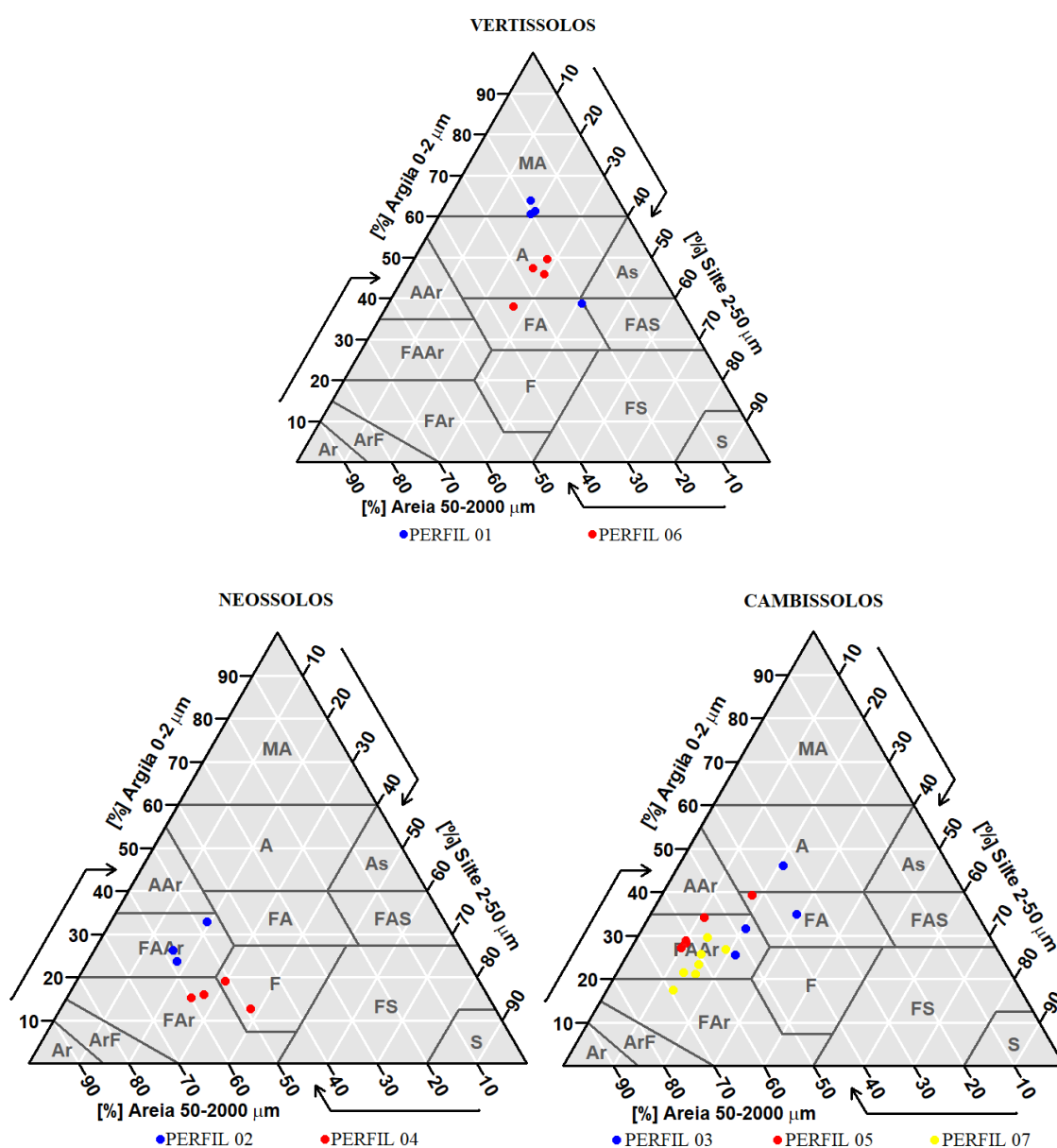


Figura 2: Classes texturais dos diferentes perfis dos solos estudados, conforme Santos *et al.* (2015).

Fonte: Dados obtidos através de análises físicas dos P01 – P07 realizadas no DPS, UFV/2019.

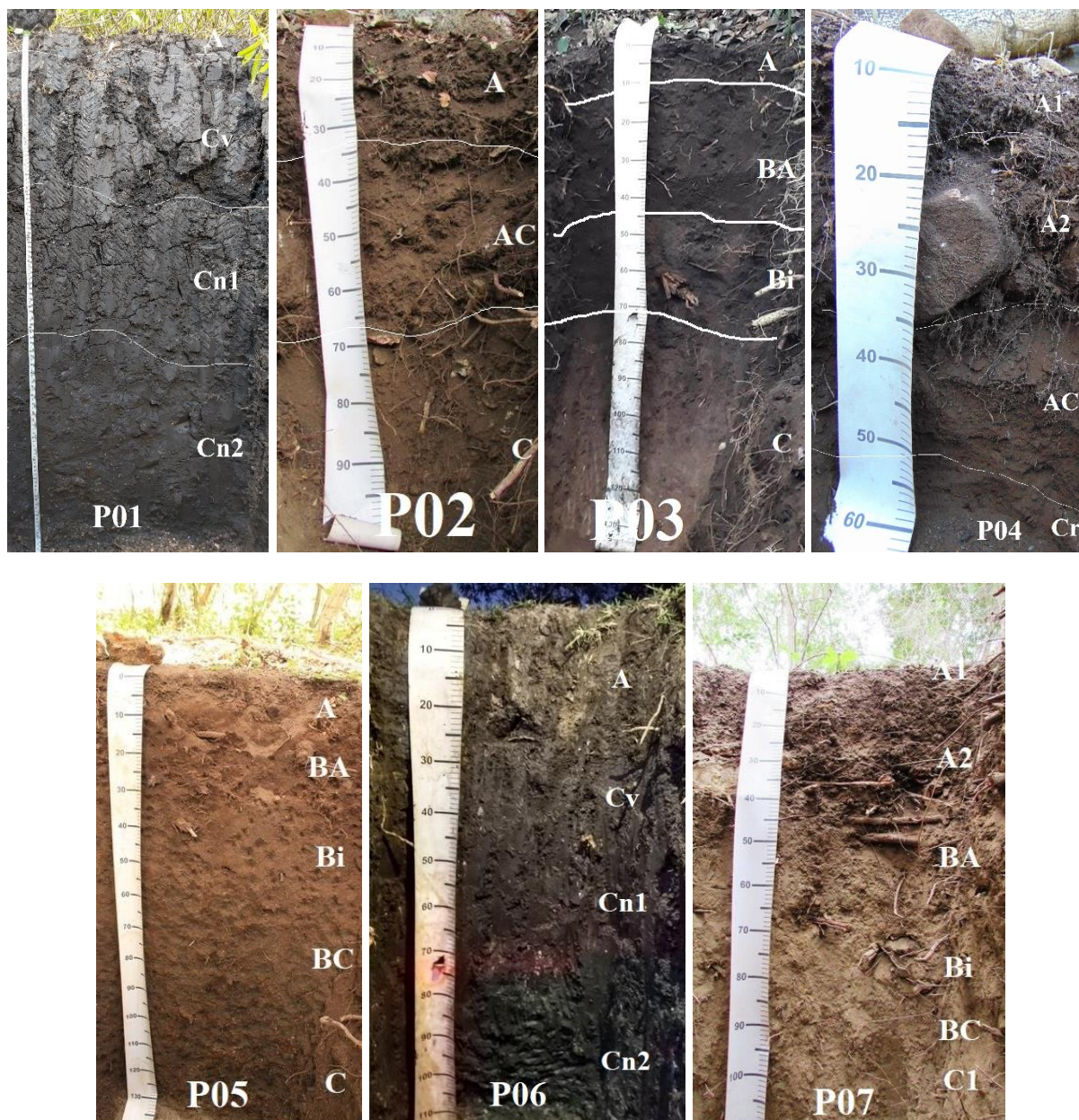


Figura 3: Perfis dos solos estudados: P01 – Vertissolo; P02 – Neossolo; P03 – Cambissolo; P04 – Organossolo; P05 – Cambissolo; P6 – Vertissolo; P07 – Cambissolo. **Fonte:** E. Morais; Souza, J.; Fonseca, C., 2018/2019.

3.1.1 Caracterização mineralógica

Os difratogramas de raio -X (DRX) mostraram a predominância de minerais primários e silicatos secundários na composição mineral do solo. Quartzo e feldspato foram identificados na fração areia de todos os solos (Apêndice 2 e 3). Illita e caulinita foram observadas na fração argila em todos os perfis dos solos estudados (Figuras 4, 5, 6 e 7), enquanto a esmectita foi identificada apenas nos pedons P01 e P06, Vertissolos. A presença de caulinita foi confirmada pelos picos de 0,71 e 0,35 nm, desaparecendo após tratamento a 550 °C. A intensidade dos

picos de illita nos horizontes diagnósticos dos P03, P06 e P07, Cambissolos (Figs.3, 4 e 5), foi sensivelmente menor em comparação com os mesmos picos nos demais perfis. Por outro lado, a largura a meia altura dos picos de caulinita nos perfis de Cambissolos foi menor em relação às outras classes. Observou-se a maior intensidade de picos de caulinita no P03, possivelmente devido ao maior intemperismo dos silicatos em comparação com os outros pedons. A baixa intensidade de reflexão dos picos dos minerais, observada fortemente no P04, indica a presença de minerais de baixa cristalinidade

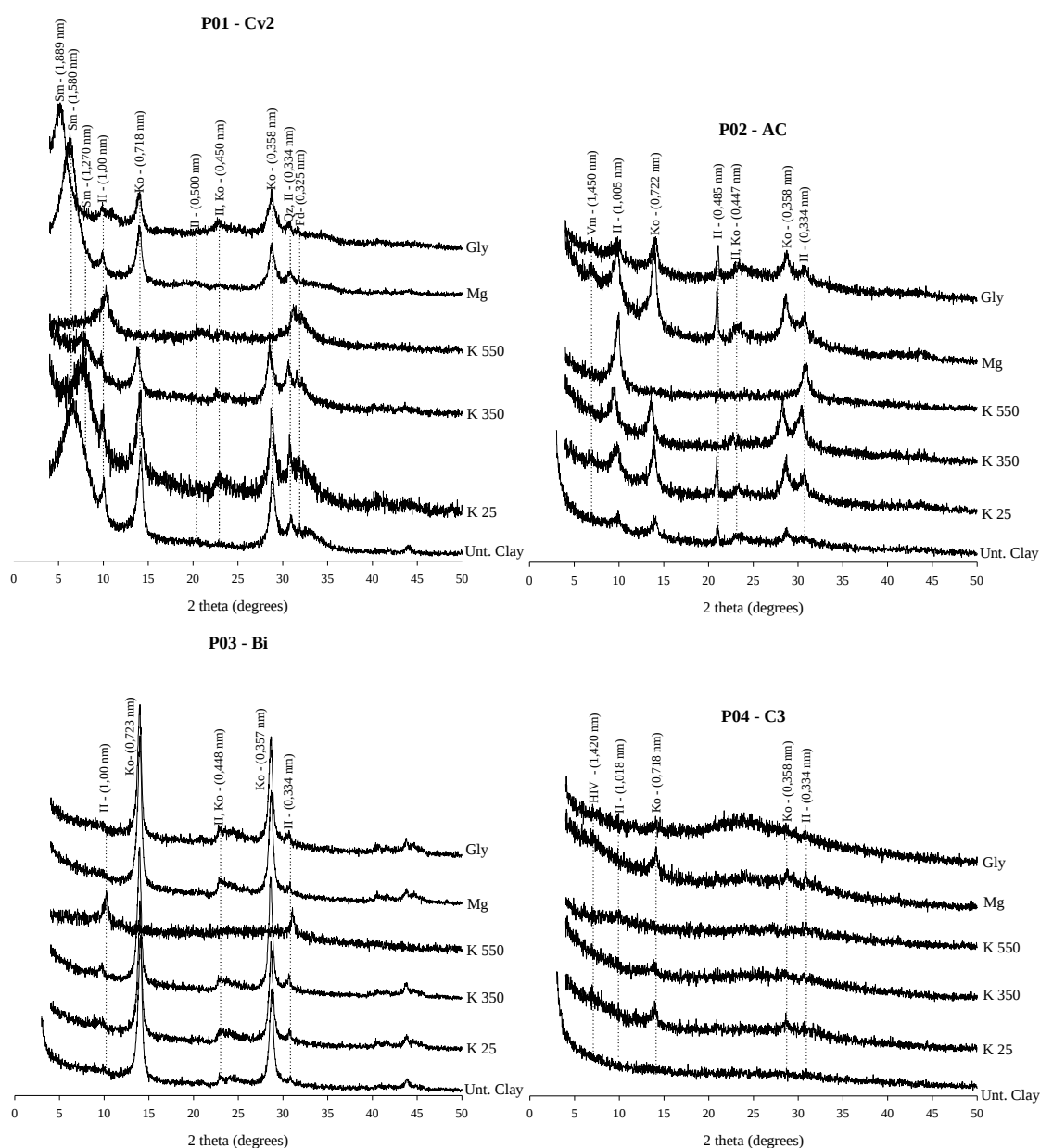


Figura 4: Difração de raios-X da fração argila dos pedons da *Borborema Central Ocidental*, Unt. Clay - Argila natural; K - saturação de K⁺ (tratamento térmico de K⁺ a 25, 350 e 550 °C); Mg-saturação com Mg²⁺; Glicerol - saturado por Mg²⁺ e solvatado com glicerol. **Fonte:** Dados obtidos através do DRX P01 – P04, 2019.

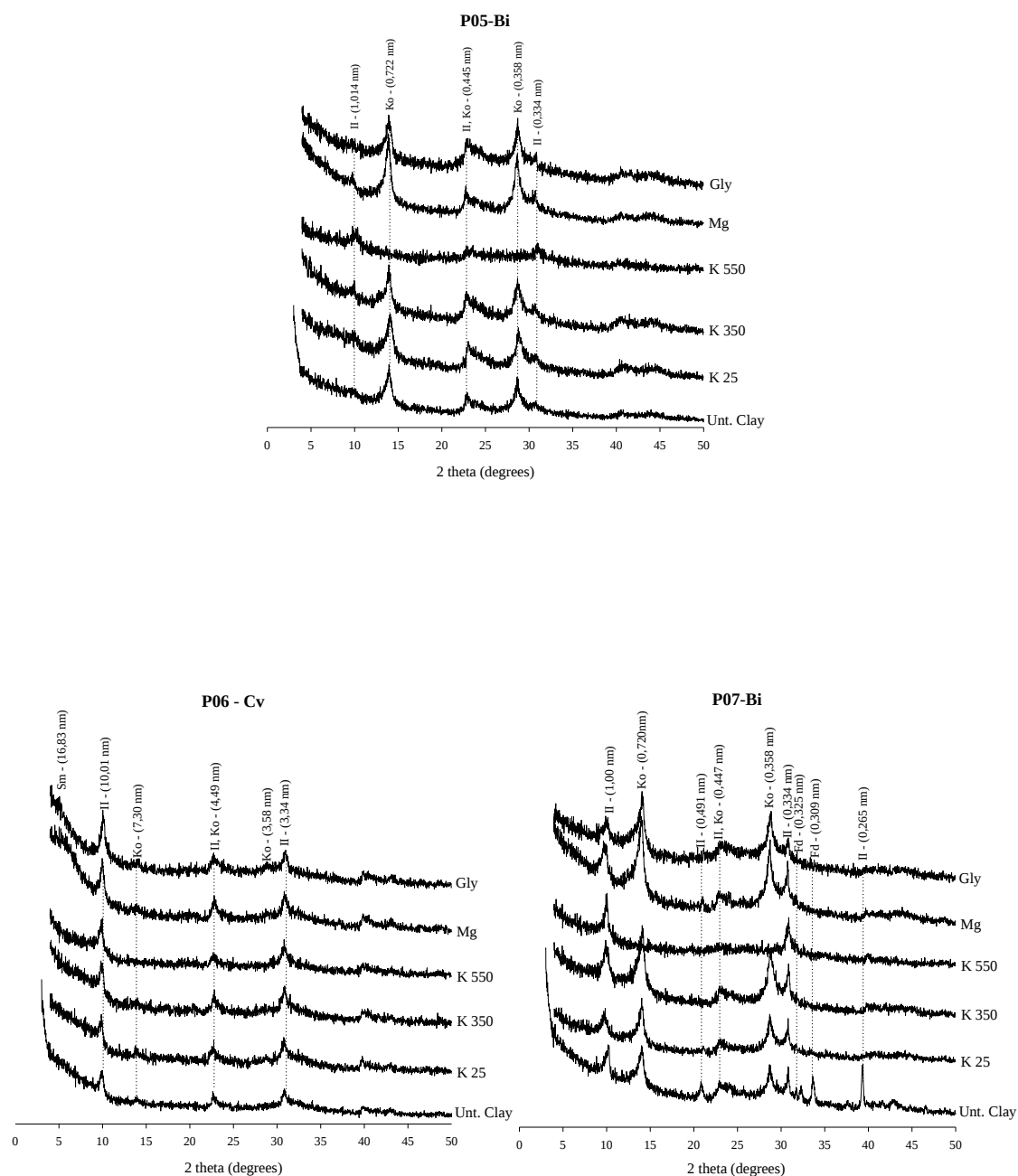


Figura 5: Difração de raios-X da fração argila dos pedons da *Borborema Central Oriental*, Unt. Clay - Argila natural; K – saturação de K⁺ (tratamento térmico de K⁺ a 25, 350 e 550 °C); Mg-saturação com Mg²⁺; Glicerol – saturado por Mg²⁺ e solvatado com glicerol. **Fonte:** Dados obtidos através do DRX P01 – P04, 2019

Tabela 1: Propriedades físicas e morfológicas dos solos estudados (P01 – P07)

Perfil	Profundidade (cm)	Cor (Munsell)		Transição (nitidez, forma)	Estrutura (grau, tamanho, tipo)	Consistência (seca, úmida)	Raízes (quantidade, tamanho)	Poros (quantidade, tamanho, tipo)	Areia grossa	Areia fina	Silte	argila	Textura
		Seco	úmido										
		%											
P1 - Pellic Sodic Vertisol (Hyperutric, Epic, Mazic, Ochric) / Vertissolo Ebânico Sódico típico													
Av	0 - 10	10YR 3/1	10YR 2/1	C - S	3 g abk	ld fr	2 mf, f	3 m, g	11,6	8,7	19,1	60,6	C
Cv	10 - 50	10YR 3/1	10YR 2/1	G - S	3 mg pr; 3 m abk	d fi	1 mf, f	2 m g	9,6	9,3	19,7	61,4	C
Cn1	50 - 90	10YR 3/1	10YR 2/1	G - S	0 m	d fi	1 mf	1 m	12,4	7,9	40,9	38,8	CL
Cn2	90 - 120	10YR 3/1	10YR 2/1	-	0 m	md fi	-	1 m	11,0	7,6	17,4	64,0	C
P2 - Haplic Umbrisol (Loamic, Eutric, Humic, Novic) / Neossolo Regolítico Distrófico típico													
A	0 - 35	7.5YR 3/2	5YR 3/1	C - S	3 m, g gr	ld fr	3 f, m	3 p m g	35,4	12,3	19,4	33	SCL
AC	35 - 65	7.5YR 3/2	5YR 3/1	C - S	0 - gs	so so	3 f, m	3 m	42,0	15,9	15,8	26,4	SCL
C	65 - 80	10YR 4/4	10YR 4/4	-	0 - gs	so so	2 f, m	3 m	44,3	14	17,9	23,8	SCL
P3 - Dystric Sideralic Cambisol (Loamic, Humic) / Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico													
A	0 - 10	10YR 5/3	10YR 3/2	G - S	2 p gr	ld fr	3 mf, f, m	3 p mp, dt	40,0	12,9	21,4	25,6	SCL
BA	10 - 45	10YR 5/3	10YR 3/2	G - S	2 p sbk	ld fr	1 mf, f, m	2 p mp, tu	35,0	12,8	20,6	31,6	SCL
Bi	45 - 70	10YR 5/3	10YR 3/2	G - S	2 m sbk	ld fr	2 f, g, mg	2 p mp m, tu	22,5	10,6	20,8	46,1	C
BC	70 - 130	10YR 6/3	10YR 4/4	-	2 m sbk	md fi	1 f, mg	1 p mp m, tu	25,0	10,9	29,1	35,0	CL
P4 – Haplic Umbrisol (Loamic, Humic) / Organossolo Fólico Sáprico típico													
A1	0 - 15	10YR 3/2	5YR 3/1	G - S	2 p gr	ld fr	3 mf, f	3 m g, dt	34,6	16,4	29,8	19,2	L
A2	15 - 40	10YR 2/2	5YR 2/1	G - S	2 m gr	ld fr	3 mf, f	2 p m, dt	34,5	14,6	38,1	12,8	L
AC	40 - 65	5YR 2/2	5YR 2/1	G - S	0 gs	so so	2 f, m, g	1 m, dt	37,7	22,0	25,0	15,3	SL
Cr	65 - 70	5Y 2/2	5Y 2/1	-	0 gs	so so	2, f, m, g	1 m, tu	35,7	21,1	27,2	16,0	SL
P5 – Dystric Cambisol (Loamic, Humic) / Cambissolo Háptico Tb Distróficos típico													
A	0 - 5	10YR 5/3	10YR 3/2	C - S	1 p gr	ld fr	2 mf, f, m	3 m gr, dt	24,40	18,30	18,00	39,30	CL
BA	5 - 25	10YR 5/3	10YR 3/2	G - S	2 m sbk	ld fr	2, mf, m	2 m, tu	47,90	15,00	9,90	27,20	SCL
Bi	25 - 60	7.5YR 5/2	7,5YR 4/4	G - S	2 m sbk	ld fr	1, mf, m	2 m, tu	47,70	13,40	10,10	28,80	SCL
BC	60 - 94	10YR 4/2	10YR 3/2	C - S	2 m sbk	md fi	1, mf	2 p, v	46,50	8,20	11,00	34,30	SCL
C	94 - 130	-	-	-	0 - m	d mfi	1, mf	2 p, v	49,20	12,10	10,30	28,30	SCL

Continuação...

Transição: Contraste: C=claro, G=gradual; Topografia: S=plana, O=ondulada, I=irregular, B=quebrada; **Estrutura:** Grau: 0=sem estrutura, 1=fraca, 2=moderada, 3=forte; tamanho:p=pequeno, m=médio, g=grande, mg=muito grande, eg=extremamente grande, tipo= gr=granular, abk=bloco angular, sbk=bloco subangular, pr=prismático, gs=grãos simples, m=maciça; **Consistência:** Seca: solto=so, ma=macia, ld=ligeiramente duro, md=moderadamente duro, d=duro; úmida: so=solto, mfr=muito friável, fr=friável, fi=firme, mfi=muito firme; **Raízes:** quantidade: 1=poucos, 2=comuns, 3=abundantes; tamanho: mp=muito pequeno, p=pequeno, m=médios, g=grandes, mg=muito grandes; **Poros:** quantidade: 1=poucos, 2=comuns, 3=abundantes; tamanho: mp=muito pequeno, p=pequeno, m=médios, g=grandes, mg=muito grandes, tipos: tu=tubular, v=vesicular, dt=dendrítrico tubular, irr=irregular; **Textura:** SL=franco arenoso, SCL= franco argilo arenoso, CL=franco argilosa, C=argila;

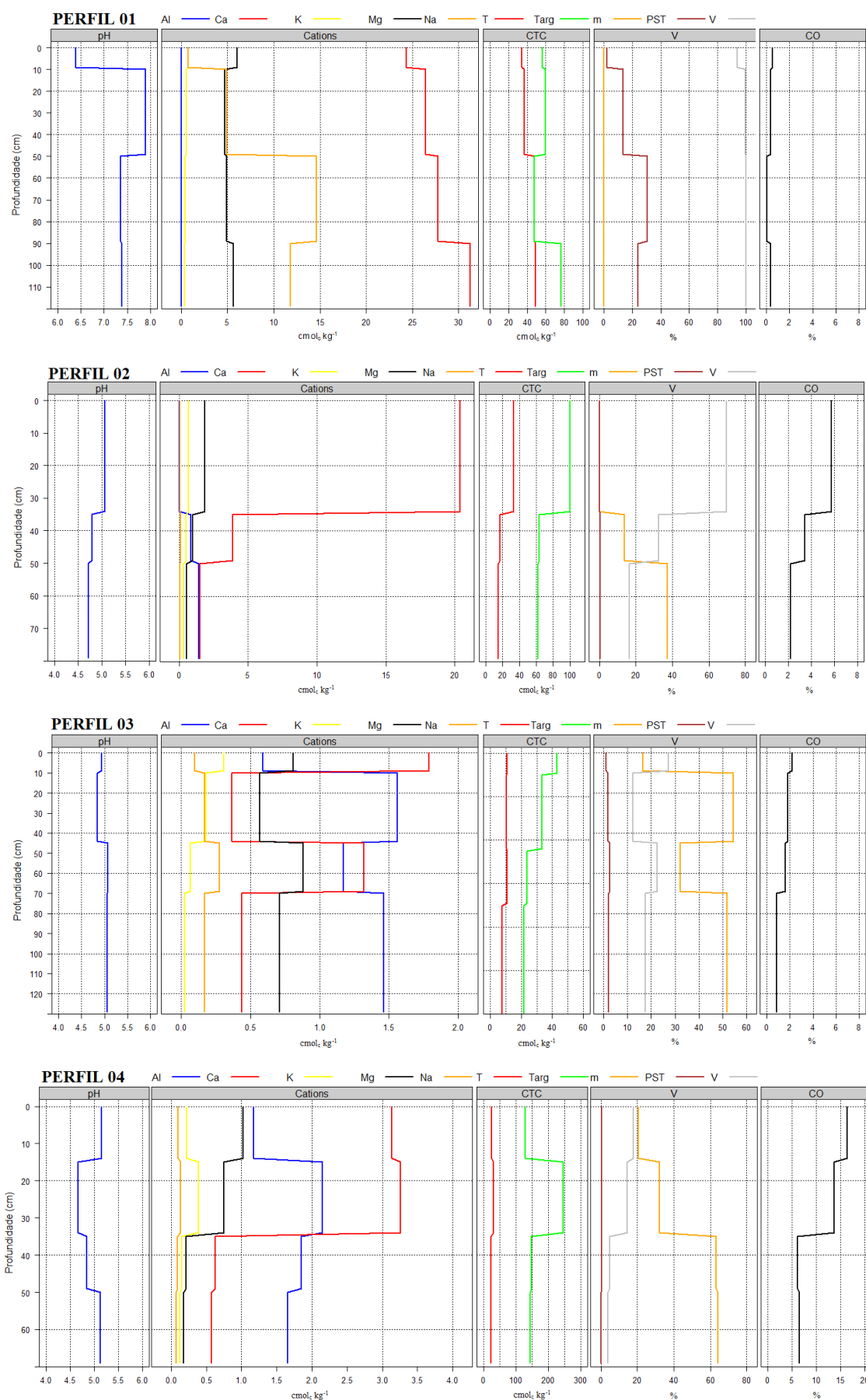


Figura 6: Características químicas dos solos da Borborema Central (P01 – P04). **Fonte:** Fonseca, 2021.

Fonte: Dados obtidos através da análise dos perfis de solos (P01 ao P04) – Laboratório de rotina do Departamento de solos – DPS, UFV, Viçosa/MG.

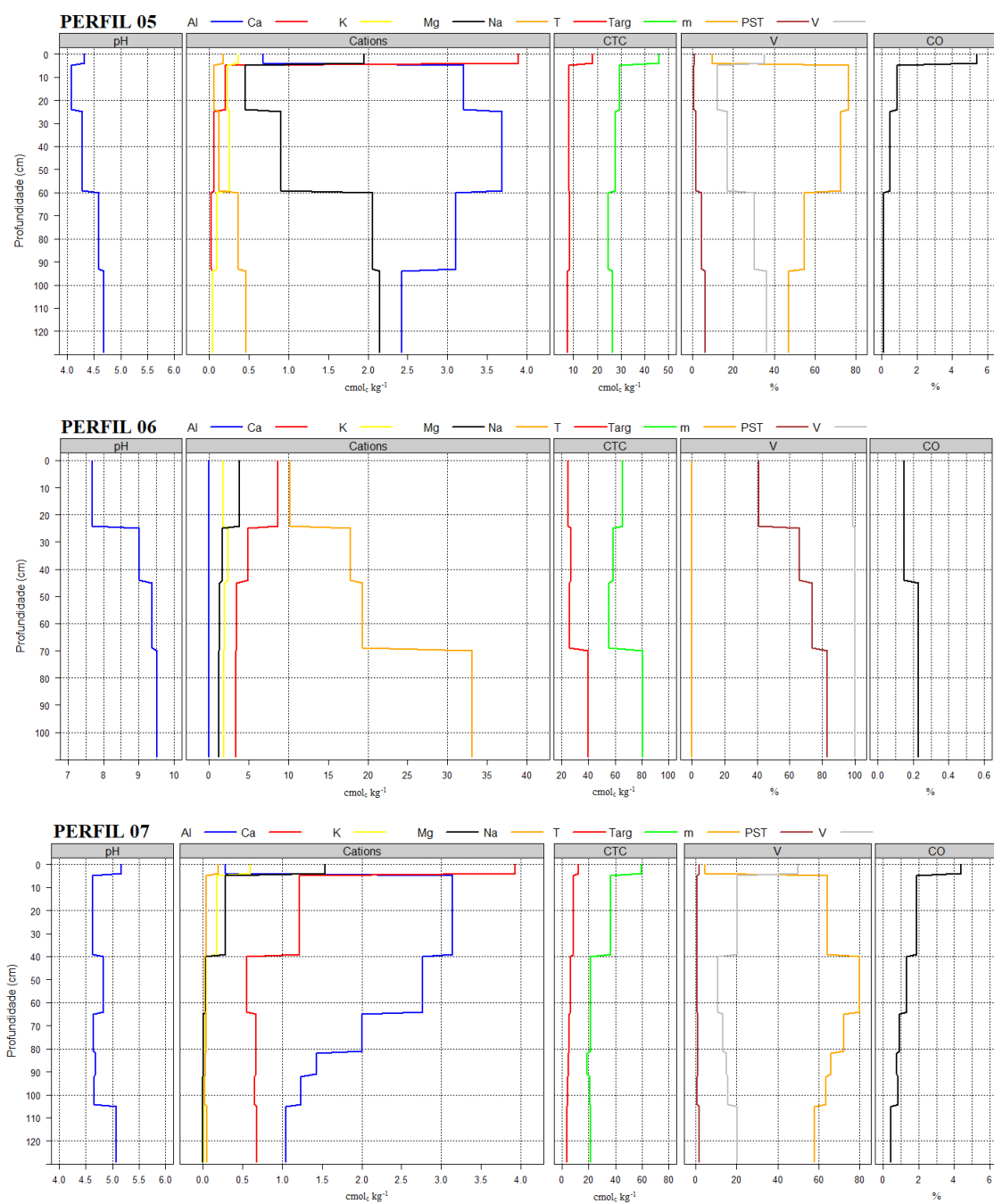


Figura 7: Características químicas dos solos da Borborema Oriental (P05 – P07). **Fonte:** Fonseca, 2021.

Fonte: Dados obtidos através da análise dos perfis de solos (P05 ao P07) – Laboratório de rotina do Departamento de solos – DPS, UFV, Viçosa/MG.

Tabela 2: Teores de Fe e Al nos extratos de ditionito-citrato-bicarbonato (Fed e Ald) e Oxalato de amônio (Feo e Alo) nos horizontes dos perfis dos solos estudados

Horizonte	Profundidade	Fe _d	Al _d	Fe _o	Al _o	Fe _o /Fe _d
cm		%				
P01 – Pellic Sodic Vertisol (Hyperutric, Epic, Mazic, Ochric) / Vertissolo Ebânico Sódicos típicos						
Av	0 - 10	0,33	0,04	0,2	0,23	0,61
Cv	10 - 50	0,15	0,03	0,12	0,23	0,8
Cn1	50 - 90	0,21	0,03	0,09	0,22	0,43
P02 – Haplic Umbrisol (Loamic, Eutric, Humic, Novic) / Neossolo Regolítico Distróficos típico						
A	0 - 35	3,07	0,69	0,43	0,47	0,14
AC	35 - 65	3,1	0,57	1,37	3,57	0,44
C	65 - 80	3,46	0,53	1,39	3,34	0,4
P03 – Dystric Sideralic Cambisol (Loamic, Humic) / Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico						
A1	0 - 10	1,79	0,18	0,25	0,49	0,14
A2	10 - 45	1,59	0,15	0,29	0,52	0,18
AB	45 - 70	1,27	0,08	1,21	2,68	0,95
Bi	70 - 130	2,62	0,18	0,47	0,54	0,18
P04 – Haplic Umbrisol (Loamic, Humic) / Organossolo Fólico Sáprico típicos						
A1	0 - 15	1,18	0,27	0,87	1,12	0,74
A2	15 - 40	3,28	0,61	2,23	2,72	0,68
AC	40 - 65	4,08	0,77	3,63	3,95	0,89
Cr	65 - 70	3,44	0,85	2,95	4,95	0,86
P5 – Dystric Cambisol (Loamic, Humic) / Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico						
A	0 - 5	0,44	0,06	0,42	0,49	0,95
BA	5 - 25	0,36	0,07	0,85	0,58	2,36
Bi	25 - 60	0,42	0,07	0,35	0,59	0,83
BC	60 - 94	0,63	0,08	0,53	0,47	0,84
C	94 - 130	0,98	0,08	0,52	0,47	0,53
P06 – Pellic Sodic Vertisol (Hyperutric, Humic) / Vertissolo Ebânico Sódico típico						
Av	0 - 25	0,12	0,01	0,1	0,18	0,83
Cv	25 - 45	0,06	0,01	0,09	0,18	1,5
Cn1	45 - 70	0,04	0,01	0,07	0,2	1,75
P07 – Dystric Sideralic Cambisol (Loamic, Humic) / Cambissolo Húmico Distrófico típico						
A1	0 - 5	0,96	0,05	0,23	0,31	0,24
A2	5 - 40	1,06	0,06	0,2	0,38	0,19
BA	40 - 65	1,17	0,08	0,27	0,43	0,23
Bi	65 - 82	0,85	0,03	0,09	0,43	0,11
BC	82 - 92	0,83	0,04	0,08	0,36	0,1
C1	92 - 105	1,31	0,31	0,69	2,13	0,53
C2	105 - 130	2,14	0,33	0,71	2,08	0,33

Fonte: Fonseca, C. F., 2021.

Fonte: Dados obtidos através da análise dos perfis de solos (P01 ao P07) – Teores de Fe e Al realizado no Laboratório de Geoquímica do Departamento de solos – DPS, UFV, Viçosa/MG.

3.2 Discussão

3.2.1 Implicações climáticas no desenvolvimento dos solos

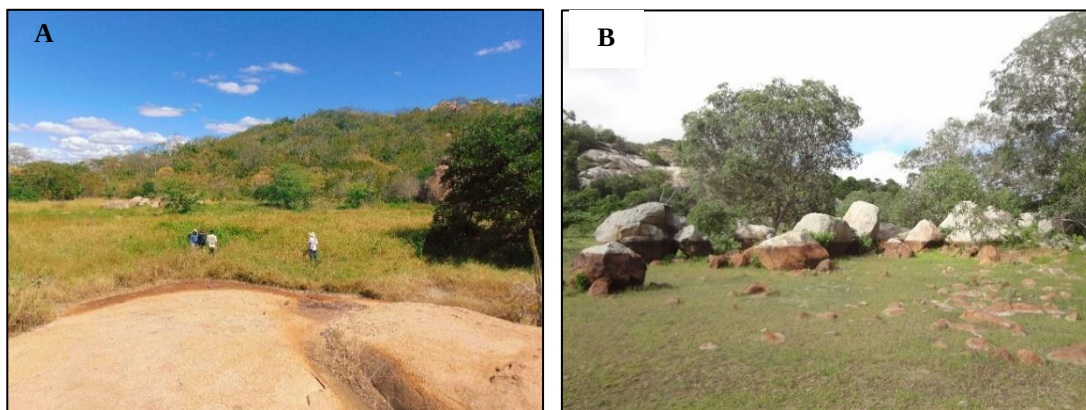
Os solos estudados (Fig. 3, Quadro 1, Tabs. 1 e 2), estão associados à variações climáticas e vegetacionais desde o início do Holoceno (Pessenda *et al.*, 2010), que influenciaram a modelagem do relevo através dos processos erosivos e a consequente deposição de sedimentos, conforme observado em campo. Essa deposição de sedimentos resultou dos ciclos de intemperismo/erosão das rochas (Guimarães *et al.*, 2004; Oliveira & Medeiros, 2012; Lages *et al.*, 2013). As mudanças no Holoceno foram impulsionadas por alterações circulação atmosférica, como a célula de Hadley e a estabilização da célula de Walker por volta de 5 mil anos AP, resultando em fases de menor umidade e ciclos repetitivos de semiaridez severa e moderada, relacionados aos eventos do El Niño/ La Niña. Há aproximadamente 2 mil anos AP ocorreu a reumidificação no ambiente de Caatinga, embora atualmente, o clima se apresente mais seco (Lira, 2014; Medeiros *et al.*, 2018; Medeiros, 2019). Todos estes fatores desempenham um papel determinante no grau de desenvolvimento dos solos (consultar as datações dos P02, P05 e P06 no capítulo IV).

Os pedons P01 e P06, localizados no *toeslope* dentro dos lajedos (Figura 8; Quadro 1) estão associados a ambientes temporariamente alagados (Figura 9), resultantes da deposição de sedimentos compostos por materiais capazes de produzir propriedades vérticas (Figura 1). Essas propriedades foram mais expressivas no P01, devido à maior presença de argilominerais 2:1 do tipo esmectita (Figuras 4 e 5), conferindo valores mais altos de Capacidade de Troca Catiônica (CTC) da argila (Figs. 6 e 7), embora localizado numa área bem mais confinada. A ocorrência desses solos é favorecida pelas condições climáticas mais secas atualmente (Figura 9), em consonância com a posição na paisagem. De acordo com Pessenda *et al.* (2010), que estudaram as mudanças vegetacionais no semiárido do Piauí e da Paraíba, há indicações de períodos mais úmidos durante o Pleistoceno Tardio, com predomínio de planta C₃, mudando para um período mais seco no Holoceno, com indícios de expansão de plantas C₄.

Valores elevados de pH, em comparação com os demais pedons, foram observados no P01 e P06, sendo este mais pronunciado no P06, influenciado pelos altos teores de Na⁺ (Figs. 6 e 7) e argila (Tabelas 1 e 2), porém com alta saturação por bases, atribuídos ao clima mais seco e à baixa precipitação (Figura 8). Esses altos valores de Na⁺, influenciam na morfologia do solo (Pal *et al.*, 2009; 2012), resultando numa consistência mais dura (Tabelas 1 e 2), o que

promove uma maior densidade (Jean Pierre *et al.*, 2019). Solos com altos teores de Na^+ , também foram relatados por Oliveira-Filho *et al.* (2020) no semiárido do Ceará, Nordeste do Brasil.

Figura 8: Vista geral da paisagem dos Vertissolos, com detalhe da variação do nível de água marcado nas rochas. A) P01, 05/06/19 e B) P06, 07/02/2018.



Fonte: Eini Morais & Christianne F. Fonseca

Embora P01 e P06 compartilhem praticamente as mesmas características físicas, químicas e mineralógicas, o Vertissolo P01 exibe concentrações mais elevadas de cátions, especialmente Ca^{2+} e Mg^{2+} em todo o perfil (Fig. 9), resultado do intenso intemperismo das rochas durante períodos mais úmidos (Lima, 2008; Pessenda *et al.*, 2010). Acredita-se que essas condições climáticas tenham facilitado o transporte desses cátions, inicialmente presentes nas áreas mais elevadas do relevo, sendo subsequentemente lixiviados lateralmente em direção às áreas mais baixas (Figs. 8 e 9).

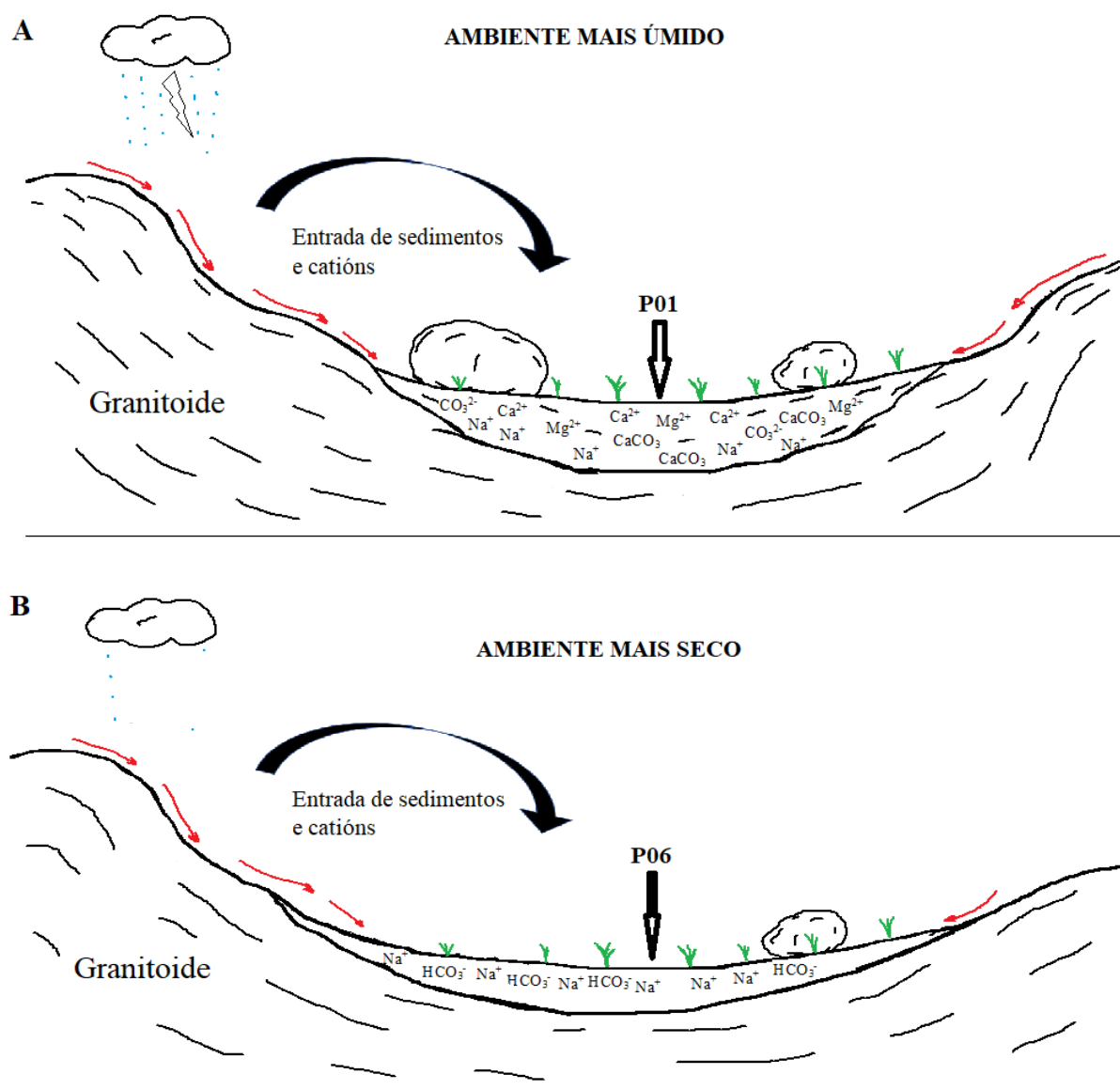
Os significativos processos erosivos ocorridos no passado (Lages *et al.*, 2013), aliados à elevada pluviosidade, influenciaram no desenvolvimento dos pedons P02 e P04. Esses pedons exibem fragmentos angulosos ao longo do perfil, evidenciando a intensa dinâmica erosiva coluvial, o que sugere solos menos desenvolvidos em comparação com os demais pedons estudados. A vegetação presente, desde o Pleistoceno (Pessenda *et al.*, 2010), contribuiu para a estabilização desses solos e o aumento do teor de CO (Figs. 8 e 9), devido à adição e transformação da matéria orgânica proveniente das plantas locais.

Esses altos valores de CO no P02 e P04 (Fig. 3 e 6) foram identificados também nos horizontes bem mais profundos, provavelmente influenciados pela textura franco a franco argilo arenosa, conforme observado também por Souza *et al.*, (2020) na mesma área de estudo. A baixa intensidade de reflexão nos difratogramas desses solos indica a presença de minerais

de baixa cristalinidade (Fig. 4), possivelmente devido ao baixo intemperismo e aos teores mais elevados de CO (Fig. 6) e valores altos da razão Feo/Fed (Tabela 2), principalmente no P04.

Em relação aos pedons P03, P05 e P07 (Fig.3), classificados como Cambissolos, observa-se maior intemperismo em relação aos demais pedons, o que é ser corroborado por suas características mineralógicas (Figs. 4 e 5), químicas (Fig. 6 e 7) e valores baixos da razão Fe_o/Fe_d (Tabela 2), provavelmente favorecidos pelas condições da drenagem local. Com exceção do P03, os demais estão localizados na base dos lajedos.

Figura 9: Esquema representando atualmente os *Vertisols* - *Vertissolos* em *toeslope* do P01 (A) e P06 (B).



Fonte: Fonseca, C. F., 2023.

Os picos intensos de caulinita observadas no P03 (Figura 4), favorecidos pelas condições mais úmidas do ambiente (Figura 2C, Capítulo II), contribuíram para a formação de um horizonte B com características latossólicas. No entanto, apesar da presença de minerais 2:1 parece conferir valores da CTC da argila $\geq 17 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Santos *et al.*, 2018), estes não atendem ao requisito para horizonte latossólico. Skorupa *et al.* (2017) destacam que o caráter latossólico em *Cambisols*, sugere o desenvolvimento dos latossolos a partir de materiais retrabalhados, desde que o clima seja tropical e úmido. Porém, o processo de pedogênese do P03, é de menor intensidade, devido ao clima atual mais seco (Pessenda *et al.*, 2010), o que cria um ambiente mais conservado.

3.2.2 Processos pedogenéticos

Todos os pedons evidenciaram processos de *melanização* nos horizontes superficiais, em diferentes graus (Figura 3; Tabelas 1 e 2). Este atributo pode ser explicado pela presença de vegetação de Caatinga arbórea arbustiva densa, associada à baixa precipitação e à alta evapotranspiração, favorecendo a formação desses solos com altos teores de carbono orgânico, principalmente no P02 e P04 (Figs. 3 e 6). Em relação aos pedons P01 e P06 (Fig. 3), a melanização foi observada com intensidade em todo o perfil, satisfazendo o caráter *ebânico* (Santos *et al.*, 2018), resultado da combinação dos constituintes orgânicos e dos minerais argilosos (Arnold, 1983; Maranhão *et al.*, 2020), formando complexos argilo-húmico (Soil Survey Staff, 2017), não necessariamente indicando altos teores de CO (Figs. 6 e 7).

Processos de *vertização* foram observadas no P01 e P06 (Fig. 3), Vertissolos, resultantes da sazonalidade entre os períodos secos e úmidos, que originam superfícies de fricção, *slickensides* (Figura 1), indicando uma forte presença do mineral esmectita (Figuras 4 e 5), associado a argila de atividade alta (Fig. 6 e 7). Os *slickensides* são comuns em *Vertisols*, sendo relatados por inúmeros autores (Ahmad, 1996; Dudek *et al.*, 2019; Jean Pierre *et al.*, 2019; Pal *et al.*, 2009). Além dos fatores ambientais observados na área de estudo, a formação dessas características vérticas - fendas e, *slickensides*, requer uma textura extremamente argilosa com presença de esmectita e mudanças significativas na umidade, como sugerido por Eswaran & Cook (1988) e por Pierre *et al.* (2018), observadas com maior intensidade no P01.

Por outro lado, nos horizontes subsuperficiais, do P01 e P06, foi identificada uma forte acumulação de Na^+ (Figs. 6 e 7; Tabela 2), indicando processos de *sodificação*, ($\text{ISNa} > 15\%$) com valores de pH, favorecido pelas condições climáticas com longos períodos secos, de 7 a 8

meses (Figs. 2 A e 2F, Capítulo II), típico de regiões áridas e semiáridas. No P06, devido a sua localização em uma área com períodos secos mais prolongados em comparação ao P01 (Figs. 8 e 9), os teores de Na^+ foram bem mais altos (Figs. 6 e 7). No P01, a reação moderada com HCl (10%) provavelmente indica o processo de carbonatação, especialmente nos horizontes mais profundos.

3.2.3 Classificação de solos

Devido ao incipiente desenvolvimento dos solos causado pelas condições climáticas típico das regiões semiáridas, cinco dos sete solos em estudo apresentaram horizontes de diagnóstico subsuperficiais.

Os horizontes vérticos foram identificados pelos sistemas de classificação da WRB (*Pellic Sodic Vertisols* (P1 - *Hypereutric, Epic, Mazic, Ochric*; P6 - *Hypereutric, Humic*)) e pelo SiBCS (Vertissolos Ebânicos Sódicos típicos) para os pedons P01 e P06. Durante o estudo de campo, foram observados horizontes com fendas abertas e *slickensides*, com espessura ≥ 25 cm, evidenciando a presença de um horizonte vértico. De modo geral, os valores de ESP (*Exchangeable Sodium Percentage*) foram acima de 15%, justificando a presença de horizonte sódico (WRB) ou caráter sódico (SiBCS). Para ambos pedons, o qualificador *Pellic* (WRB) denota o processo de melanização intenso em todo o perfil desses solos, satisfazendo o caráter Ebânico (SiBCS). Além disso, o qualificador *Hypereutric* considerado pelo sistema WRB (WRB, 2015) que indica a presença de saturação por bases acima de 80%, não é considerado pelo SiBCS.

Os pedons P02 e P04 (Fig. 5) foram classificados como *Haplic Umbrisol* (*Loamic, Eutric, Humic, Novic* – P2; *Loamic, Humic* – P4) (WRB) e Neossolo Regolítico Distrófico típico (P02) e Organossolo Fólico Sáprico típico (P04) pelo SiBCS. Esses pedons são caracterizados pela ausência de horizonte diagnóstico subsuperficial, a presença de cascalhos angulosos dentro do perfil e alta concentração de Corg.

Em relação aos pedons P03, P05 e P07 (Fig. 5), estes foram classificados como *Cambisols* pelo WRB e Cambissolos de acordo com o SiBCS (Santos *et al.*, 2018). A saturação por bases $< 50\%$ denotam o qualificador *Dystric* pela WRB e o atributo de diagnóstico distrófico pelo SiBCS encontrados no P03, P05 e P07. Já as propriedades siderálicas da WRB é atribuído aos pedons P03 e P07 por apresentarem argila de atividade baixa ($\text{CTC} \leq 24 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$), atribuindo o qualificador *Sideralic*. No caso do SiBCS, todos os Cambissolos

atendem a argila de atividade baixa (Tb), por apresentarem valores inferiores a ($CTC \leq 27 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$). Por outro lado, o P03 atinge até o nível subgrupo com horizonte B “latossólico” do WRB, por apresentar características morfológicas similares às do B latossólico (Santos *et al.*, 2013), porém não indicando a presença de um horizonte latossólico ou um horizonte ferrálico, de acordo com WRB.

De modo geral, os pedons P03 e P07 (Fig. 5) foram classificados como *Dystric Sideralic Cambisols* (*Loamic, Humic*), enquanto o P05 foi classificado como *Dystric Cambisols* (*Loamic, Humic*) de acordo ao WRB. Com relação ao SiBCS, o P03 foi classificado como Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico, o P05 Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico e o P07 Cambissolos Húmico Distrófico típico (Santos *et al.*, 2018).

3.3 Conclusões

1) A sazonalidade das chuvas e os prolongados períodos secos, a disposição do relevo, a vegetação e o padrão de drenagem local influenciam na formação dos solos do cristalino da Borborema;

2) Devido ao incipiente desenvolvimento dos solos ocasionado pelas condições climáticas típico das regiões semiáridas, cinco dos sete solos em estudo apresentaram horizontes de diagnóstico subsuperficiais;

3) Os pedons P01 e P06 são caracterizados por coloração escura, argilosos, apresentando estrutura maciça e pH ligeiramente ácido a fortemente alcalino. Esses pedons mostram altos valores em PSI, principalmente P06, devido à sua localização num ambiente com períodos de seca mais prolongados;

4) Quanto à mineralogia, o P03 revelou picos intensos de caulinita, sugerindo um maior intemperismo devido à sua localização em um ambiente mais úmido em comparação com demais pedons. Apresenta características morfológicas semelhantes ao horizonte B latossólico, porém não se classifica como um Latossolo devido a uma CTC acima de $17 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$.

5) O P04, em termo de mineralogia, exibe maior intensidade de minerais mal cristalizados, provavelmente devido à presença de altos teores de carbono orgânico em todo o perfil;

6) Os principais processos pedogenéticos identificados incluem melanização, vertização e sodificação;

7) Os solos identificados pela WRB/FAO foram: *Umbrisols*, *Vertisols* e *Cambisols*, equivalente a Organossolos, Vertissolos e Cambissolos, vale ressaltar que o P02 foi classificado pelo como Neossolo de acordo a SiBCS.

Referências Bibliográficas

- AHMAD, N. Chapter 1 occurrence and distribution of vertisols. **Developments in Soil Science**, [S. l.], v. 24, n. C, p. 1–41, 1996. DOI: 10.1016/S0166-2481(96)80003-1.
- ARNOLD, R.W. Conceitos of Soils and Pedology. In: WILDING, L.P.; SMECK, N.E. & HALL, G.F. **Pedogenesis and Soil Taxonomy-I. Concepts and Interactions**. Volume 11, Part A, Pages iii-x, 304p., 1983.
- BEUCHLE, R. *et al.* Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, [S. l.], v. 58, p. 116–127, 2015. DOI: 10.1016/j.apgeog.2015.01.017.
- BEZERRA, B. G.; LUCIO, P. S.; BARBOSA, L. M. Characterization of Rainfall Patterns in the Semiarid Brazil. Caracterização dos Padrões de Precipitação no Semiárido Brasileiro Izabelly Cristina Mendes Tinôco ; 1 Introduction semiarid region of the world. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**. even. [S. l.], v. 41, p. 397–409, 2018.
- DUDEK, M. *et al.* Vertisols properties and classification in relation to parent material differentiation near strzelin (sw Poland). **Soil Science Annual**, [S. l.], v. 70, n. 2, p. 158–169, 2019. DOI: 10.2478/ssa-2019-0014.
- ESWARAN H. & COOK, T. Classification and management properties of vertisols. S.C. 731 Jutzi, I. Haque, J. McIntire and Jes Shares (Eds). **Management of Vertisols in Sub-Saharan Africa**, ILCA-Addis Abbaba, Ethiopia, 64 – 84, 1988.
- FERNANDES, M.F.; CARDOSO, D.; QUEIROZ, L.P. An updated plant checklist of the Brazilian Caatinga seasonally dry forests and woodlands reveals high species richness and endemism. **Journal of Arid Environments** 174, 104079. 2020.
- FERNANDES, M.F.; CARDOSO, D.; PENNINGTON, R.T. QUEIROZ, L.P. The origins and historical assembly of the Brazilian Caatinga Seasonally Dry Tropical Forests. **Frontiers in the Ecology and Evolution**, v. 10, 723286. 2022.
- GIULIETTI, A.M. *et al.* 2004. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. In: J.M.C. Silva, M. Tabarelli, M.T. Fonseca & L.V. Lins (orgs.). Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. pp. 48-90. Ministério do Meio Ambiente, Brasília
- GUIMARÃES, I. P. *et al.* Brasileiro (Pan-African) granitic magmatism in the Pajeú- Paraíba belt, Northeast Brazil: An isotopic and geochronological approach. **Precambrian Research**, [S. l.], v. 135, n. 1–2, p. 23–53, 2004. DOI: 10.1016/j.precamres.2004.07.004.
- HMELJEVSKI, K. V. *et al.* Conservation assessment of an extremely restricted bromeliad highlights the need for population-based conservation on granitic inselbergs of the Brazilian Atlantic Forest. **Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, [S. l.], v. 209, n. 5–6, p. 250–259, 2014. DOI: 10.1016/j.flora.2014.03.004.
- IPA – **Instituto Agrônomo de Pernambuco**. Precipitação do município de Poção/PE. Dados de precipitação de 1994/2020.
- IUSS WORKING GROUP. **World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports 106**. [s.l.: s.n.].
- JATOBÁ, L.; SILVA, H. J.; SILVA, A. F. Caracterização geoambiental da área de exceção do Brejo da Madre de Deus – PE. **Ciência Geográfica** - Bauru - Ano XXIII - Vol. XXIII - (2): Janeiro/Dezembro – 2019.
- JEAN PIERRE, T. *et al.* Characteristics, classification and genesis of vertisols under seasonally

contrasted climate in the Lake Chad Basin, Central Africa. **Journal of African Earth Sciences**, [S. l.], v. 150, p. 176–193, 2019. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2018.11.003.

LAGES, G.A. *et al.* **Mar de Bolas do Lajedo do Pai Mateus, Cabaceiras, PB: Campo de matações graníticas gigantes e registros rupestres de civilização pré-colombiana**. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil, 2013

LIMA, M.G. **A história do intemperismo na Província Borborema Oriental, Nordeste do Brasil: implicações climáticas e tectônicas**. Tese de Doutorado em Geodinâmica, Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN, 251p., 2008.

LIRA, D.R. **Evolução geomorfológica e paleoambiental das Bacias do Riacho do Pontal e GI-8 no Sub-Médio São Francisco**. 2014. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Recife.

LOPES-SILVA, R. F. *et al.* Composição florística de um inselberg no semiárido paraibano, Nordeste brasileiro. **Rodriguésia**, [S. l.], v. 70, 2019. DOI: 10.1590/2175-7860201970079.

LUNGUINHO, R.L. **Nos caminhos dos relevos residuais: contribuição à ecohidrologia de encostas no semiárido brasileiro**. 2018. Tese de doutorado em Geografia. Universidade Federal da Paraíba, UFPB. João Pessoa.

MAMEDE, M. A. & ARAÚJO, F. S. Effects of slash and burn practices on a soil seed bank of caatinga vegetation in Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, [S. l.], v. 72, n. 4, p. 458–470, 2008. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2007.07.014.

MARANHÃO, D. D. C. *et al.* Pedogenesis in a karst environment in the Cerrado biome, northern Brazil. **Geoderma**, [S. l.], v. 365, n. December 2019, p. 114169, 2020. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.114169.

MARIANO, E. F.; MEDEIROS, F. S.; ARAUJO, M. F. Afloramentos rochosos com potencial turístico e educacional no Município de Patos, Sertão da Paraíba, Nordeste do Brasil. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 7, p. 51702–51717, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n7-714.

MEDEIROS, J. F. & CESTARO, L. A. C. Os Brejos de Altitude no contexto das áreas de exceção do Nordeste brasileiro. **Revista de Geociências do Nordeste**, 2018. DOI: 10.21680/2447-3359.2018v4n0id16088

MEDEIROS, J. F. & CESTARO, L. A. C. Diferentes abordagens utilizadas para definir Brejos de Altitude, áreas de exceção do nordeste brasileiro. **Sociedade e Território** – Natal. Vol. 31, N. 2, p. 97–119 Jul./Dez. de 2019 / ISSN: 2177-8396

MEDEIROS, V. B. **Microfosseis em depósitos quaternários de magafauna no Nordeste do Brasil e seu significado paleoambiental**. 2019. Tese (Doutorado - Programa de Pós-graduação em Geoquímica e Geotectônica) - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

MEDEIROS, V. B. *et al.* New Holocene pollen records from the Brazilian Caatinga: **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, p. 2011 – 2023, 2018.

MIGÓN, Piotr. Granite landscapes, geodiversity and geoheritage-global context. **Heritage**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 198–219, 2021. DOI: 10.3390/heritage4010012.

MUNSELL SOIL COLOR COMPANY, Munsell soil color chats, **Munsell color**, Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, Baltimore, Maryland, USA. 1950, revised 2012.

NEVES, S. P. **Granitos orogênicos: da geração dos magmas à intrusão e deformação**. Rio de Janeiro: Synergia, 2012.

OLÍMPIO, J. L. S. *et al.* What Do We Know About the Inselbergues of Quixadá and Quixeramobim, Northeast of Brazil?/O Que Sabemos Sobre Os Inselbergues De Quixadá E Quixeramobim, Nordeste Do Brasil? **William Morris Davis – Revista de Geomorfologia**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 19–42, 2021. DOI: 10.48025/issn2675-6900.v2n1.2021.110.

OLIVEIRA, R. G. & MEDEIROS, W. E. Evidences of buried loads in the base of the crust of Borborema Plateau (NE Brazil) from Bouguer admittance estimates. **Journal of South American Earth Sciences**, [S. l.], v. 37, p. 60–76, 2012. DOI: 10.1016/j.jsames.2012.02.004.

OLIVEIRA-FILHO, J.S. *et al.* Sodification and solodization processes: Pedogenesis or natural soil degradation? **Journal of South American Earth Sciences**, [S. l.], v. 104, n. June, 2020. DOI: 10.1016/j.jsames.2020.102909.

PAL, D. K.; BHATTACHARYYA, T.; CHANDRAN, P.; RAY, S. K.; SATYAVATHI, P. L. A.; DURGE, S. L.; RAJA, P.; MAURYA, U. K. Vertisols (cracking clay soils) in a climosequence of Peninsular India: Evidence for Holocene climate changes. **Quaternary International**, [S. l.], v. 209, n. 1–2, p. 6–21, 2009. DOI: 10.1016/j.quaint.2008.12.013.

PAL, D. K.; WANI, S. P.; SAHRAWAT, K. L. Vertisols of tropical Indian environments: Pedology and edaphology. **Geoderma**, [S. l.], v. 189–190, p. 28–49, 2012. DOI: 10.1016/j.geoderma.2012.04.021.

PATIL, N.G.; SINGH, S.K.; CHATTERJI, S. Issues and Strategies of Natural Resource Management and Land Use Planning in Semi-arid Regions of India **Annals of Arid Zone** 53(3):211-223, 2013.

PEREIRA NETO, M. C.; SILVA, N. M. Relevos Residuais (Maciços , Inselbergues E Cristas) Como Refúgios da Biodiversidade no Seridó Potiguar. **Revista Geonorte**, [S. l.], v. 1, n. 4, p. 262–273, 2012.

PESSENDA, L. C. R. *et al.* Late Pleistocene and Holocene vegetation changes in northeastern Brazil determined from carbon isotopes and charcoal records in soils. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, [S. l.], v. 297, n. 3–4, p. 597–608, 2010. DOI: 10.1016/j.palaeo.2010.09.008.

PIERRE, T. J. *et al.* Characteristics, classification and genesis of vertisols under seasonally contrasted climate in the Lake Chad Basin, Central Africa. **Journal of African Earth Sciences**, (), S1464343X18303443– doi:10.1016/j.jafrearsci.2018.11.003

POREMBSKI, S. & BARTHLOTT, W. Granitic and gneissic outcrops (inselbergs) as centers of diversity for desiccation-tolerant vascular plants. **Plant Ecology**, [S. l.], v. 151, n. 1, p. 19–28, 2000. DOI: 10.1023/A:1026565817218.

RIBEIRO, K. *et al.* Land cover changes and greenhouse gas emissions in two different soil covers in the Brazilian Caatinga. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 571, p. 1048–1057, 2016. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.07.095.

SANTOS, H. G. *et al.* Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 353 p., 2013.

SANTOS, R.D. *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7.ed. Viçosa: SBCS, 2015. 101p

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF. Embrapa, 2018.

SILVA, J.M.C., M. TABARELLI, M.T. FONSECA & L.V. LINS (orgs.). 2004. Biodiversidade

da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. Ministério do Meio Ambiente, Brasília

SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. Caatinga. The largest tropical dry forest region in South America. Cahm: Springer International Publishing, 2017.

SILVA, J. L. B. *et al.* Changes in the water resources, soil use and spatial dynamics of Caatinga vegetation cover over semiarid region of the Brazilian Northeast. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, [S. l.], v. 20, n. June, 2020. DOI: 10.1016/j.rsase.2020.100372.

SILVA, J. L. B. *et al.* Spatial-temporal monitoring of the risk of environmental degradation and desertification by remote sensing in a brazilian semiarid region. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 544–563, 2020a. DOI: 10.26848/rbgf.v13.2.p544-563.

SILVA, T. G. F. *et al.* Soil properties and microclimate of two predominant landscapes in the Brazilian semiarid region: Comparison between a seasonally dry tropical forest and a deforested area. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 207, n. October 2020, 2021. DOI: 10.1016/j.still.2020.104852.

SKORUPA, A. L. A.; SILVA, S. H. G.; POGGERE, G. C.; TASSINARI, D.; PINTO, L. C.; ZINN, Y. L.; CURI, N. Similar Soils but Different Soil-Forming Factors: Converging Evolution of Inceptisols in Brazil. **Pedosphere**, [S. l.], v. 27, n. 4, p. 747–757, 2017. DOI: 10.1016/S1002-0160(17)60443-0.

SOIL SURVEY STAFF. Soil Survey Manual Agriculture. Handbook 18. **USDA, Natural Resources Conservation Service**, [S. l.], v. 18, n. 18, p. 483, 2017. DOI: 10.1097/00010694-195112000-00022.

SOUZA, B. I. Uso da vegetação e solos em áreas susceptíveis à desertificação na Paraíba/Brasil. **GEOgraphia**, [S. l.], v. 13, n. 25, p. 77, 2012. DOI: 10.22409/geographia2011.v13i25.a13617.

SOUZA, B. I.; MENEZES, R.; CÁMARA ARTIGAS, R. Desertification effects on the species composition of the Caatinga biome, Paraíba/Brazil. **Investigaciones Geograficas**, [S. l.], v. 2015, n. 88, p. 45–59, 2015. DOI: 10.14350/rig.44092.

SOUZA, J. J. L. L. *et al.* Archaeoanthrosol formation in the Brazilian semiarid. **Catena**, [S. l.], v. 193, n. March, p. 104603, 2020. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104603.

SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. Relatório final de delimitação do semiárido. 2021.

WANG, C. *et al.* Aridity threshold in controlling ecosystem nitrogen cycling in arid and semi-Arid grasslands. **Nature Communications**, [S. l.], v. 5, 2014. DOI: 10.1038/ncomms5799.

CAPÍTULO IV

ESTUDO PALEOAMBIENTAL DA HISTÓRIA LOCAL DOS ENCLAVES ÚMIDOS E SUBÚMIDOS DO CARIRI PARAIBANO

Introdução

As diversas paisagens do bioma Caatinga abrigam uma rica biodiversidade de grande importância geoambiental, ecoturística, econômica e cultural, além de enormes maciços cristalinos conhecidos regionalmente como lajedos, serras e serrotes, formando enclaves úmidos e subúmidos em meio à Caatinga típica. Apesar dos avanços recentes, o conhecimento sobre o referido Bioma ainda é incipiente, principalmente em relação aos solos e aos estudos paleoambientais da região da Borborema.

O semiárido nordestino é uma das regiões xeromorfas mais populosas do mundo (Melo & Marengo, 2008; Patil, *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2017; Souza, *et al.*, 2022) e possui uma grande biodiversidade de fauna e flora (Giulietti, 2002; 2004; Silva *et al.*, 2017; Fernandes *et al.*, 2020), com a Caatinga atualmente enfrentando constante pressão antrópica. Isso torna as áreas úmidas e subúmidas suscetíveis à degradação e as áreas de Caatinga *sensu stricto* sujeitas ao risco de desertificação no Bioma Caatinga (Souza, 2012; Souza *et al.*, 2015).

Por isso, estudos de reconstituição paleoambiental são de extrema importância para compreender a formação e a dinâmica dessas paisagens. Uma das melhores maneiras de se realizar esse tipo de estudo é por meio da abordagem multiproxy. A combinação de marcadores biológicos, sedimentológicos e pedológicos pode revelar informações mais detalhadas e fortalecer as interpretações paleoambientais desse Bioma (Ranulpho, 2016; Aguiar, 2022).

O solo, entendido como um registro da história de um local, é resultado de um processo complexo de reações, interações e (re)organizações, que nem sempre são proporcionais entre si (Jenny, 1941; Freire, 2006). No Cariri Paraibano os solos refletem as interações decorrentes de condições do clima passados e do semiárido, do relevo residual de uma paisagem que foi submetida a esse clima, provavelmente desde o final do Holoceno médio (Medeiros *et al.*, 2018; Souza *et al.*, 2022), rochas granito-granitoide com erosão esferoidal, drenagem intermitente e flora- fauna característicos do mosaico Caatinga (Guimarães *et al.*, 2004; Machado & Sigolo, 2019).

Em geral, os solos rasos e pouco desenvolvidos pedogeneticamente, localizado nas posições mais úmidas e elevadas do relevo do Cariri Paraibano, onde ocorre densa vegetação,

apresentam maior quantidade de serrapilheira que favorece a manutenção da umidade do solo e proporciona pH ácido e, consequentemente, maior incorporação e preservação da Matéria Orgânica do Solo – MOS (Ker *et al.*, 2015; Curi *et al.*, 2017; Resende *et al.*, 2019). Nas áreas mais rebaixadas do relevo, são comumente encontrados solos um pouco mais evoluídos pedogeneticamente, classificados como Cambissolos e Vertissolos formados a partir de sedimentos advindos das áreas mais íngremes e elevadas da paisagem (Souza *et al.*, 2022; 2023). Esses solos, pela sua posição e distribuição espacial guardam informações da história evolutiva da paisagem ao seu redor (Buell, 2001; Janzen, 2016). Essas memórias podem ser acessadas por meio dos pedobioindicadores ambientais armazenados no solo, especialmente os fitólitos e a matéria orgânica do solo (Calegari *et al.*, 2022; Machado *et al.*, 2022).

Os silicofitólitos, ou simplesmente fitólitos, quando incorporado aos solos e sedimentos são biomineralizações que se destaca por apresentar: alta durabilidade e grau de conservação em diferentes tipos de solos e condições edáficas, resistirem ao fogo (incêndios) e ao hidromorfismo (Calegari *et al.*, 2022), constituindo um importante marcador da vegetação em estudos arqueobotânicos e de reconstituição paleoambiental, sobretudo na região Nordeste do Brasil, onde outros marcadores não resistem às condições semiáridas. Entretanto, ainda são poucos os estudos na referida Região, mais especificamente no bioma Caatinga, que empregaram esta temática, e nem todos os estados foram contemplados com pesquisas desde cunho (Costa *et al.*, 2010; Ranulpho, 2016; Coe *et al.*, 2017; Marques, 2019; Calegari & Vidal-Torrado, 2020; Barroso *et al.*, 2021; Dócio, 2021; Aguiar, 2022). Os fitólitos se mostraram eficientes, frente ao pólen, para estudos na região, salvo em sedimentos cársticos, na Serra da Capivara/PI (Galvão, 2019).

Em geral, compreender os processos e efeito da tafonomização nos corpos silicosos em solos e sedimentos pode trazer indagações e esclarecimentos sobre as condições ambientais locais e sua influência nos processos de formação do solo/sedimento, como por exemplo: a) ocorrência de transporte e formação de depósito de colúvio (Lutwich & Johnston, 1969); b) períodos de ressecamento/estiagem/umidade, tempo de permanência no local, e variação de pH que podem ocasionar corrosão dos fitólitos; c) presença de morfotipos articulados – células agrupadas silicificadas, que demonstram pouco revolvimento/movimentação do material e baixa atividade biológica atuando na decomposição da matéria orgânica (Madella & Lancelotti, 2012; Drees *et al.*, 1989). Todas essas informações podem contribuir para o melhor entendimento da formação da paisagem.

Somada a análise fitolítica as técnicas isotópicas do C e do N aportam informações sobre

a origem e composição da MO. O ciclo do nitrogênio envolve o processo de nitrificação, desnitrificação e fixação de N_2 , o que ajuda a distinguir a origem da MOS entre ambientes terrestres, dulciaquícola e marinhos (Boutton, 1996, 1996a; Lehmann *et al.*, 2002).

Dados do teor total de Carbono e o Nitrogênio que compõem a MOS, são importantes para determinar a relação C/N. Essa relação fornece informações que permitem traçar a origem da matéria orgânica plantas terrestres ou aquáticas (Meyers, 1994; 2003). Sendo de origem terrestre o valor da relação C/N é alto (≥ 20), pois está relacionado à lignina e celulose, sendo pobres em nitrogênio, conferindo maior estabilidade a MOS. Já as algas, fitoplâncton e bactérias, indicam valores de 4 a 10, sendo o nitrogênio orgânico abundante nas proteínas e ácidos nucleicos. Os valores de 10 a 20 sinalizam mistura de plantas terrestres e algas, ou pode ter havido decomposição biológica da MO (Peterson & Howarth, 1987).

Esta última característica implica na utilização desta técnica com cautela em estudos paleoambientais, pois a degradação seletiva da MO, modifica os valores de C/N. Esta análise deve ser realizada em conjunto com outras técnicas como $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$, palinologia, fitólitos, diatomáceas etc. (Talbot & Joannessen, 1992; Meyers & Ishiwatari, 1993; Meyers, 1994; 2003; Froehner & Martins, 2008).

Posto isso, apresenta-se a seguir os resultados das análises *multiproxy* realizada em solos dos enclaves úmidos e subúmidos do Cariri Paraibano, visando conhecer a trajetória evolutiva das condições (paleo)ambientais que favoreceram a formação dos solos típicos desses ambientes. Os resultados podem servir de subsídio para a gestão e o planejamento territorial dessas áreas, uso e ocupação do solo, bem como, auxiliar na elaboração e criação de áreas de preservação e proteção ambiental, tendo importância socioeconômica, biogeográfica e pedagógica.

4.1 Caracterização dos solos

Os sete perfis de solos selecionados para esse estudo foram classificados de acordo com a WRB/FAO como *Umbrisols*, *Vertisols* e *Cambisols*, equivalente à Vertissolos (P1 e P6), Organossolos (P2 e P4) e Cambissolos (P03, P05 e P07) do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Figuras 1, 2A - F Capítulo II; Quadro 1 e figura 3 Capítulo III; Quadro 1 e figuras 1, 2 e 3 – Capítulo IV).

Os pedons foram escavados dentro da área de influência do cristalino, em lajedos e serras, e estão localizados na província da Borborema, formada por granitos e granitoides, rochas plutônicas ricas em quartzo, feldspato potássico de caráter cálcio-alcalino com alto teor de potássio (Neves, 2012). A vegetação predominante nas áreas do estudo é a Caatinga, variando entre arbustiva e arbórea densa. Os perfis P01 e P06, classificados como Vertissolos, estão situados no *toeslope* – *sopé da encosta* da paisagem (Figura 1) e apresentam cor escura (10YR 2/1) ao longo de todo o perfil, textura variando de franco argiloso a muito argiloso, estrutura em bloco angular a prismático médio a muito grande e de grau forte.

Quadro 1: Informações gerais dos solos estudados

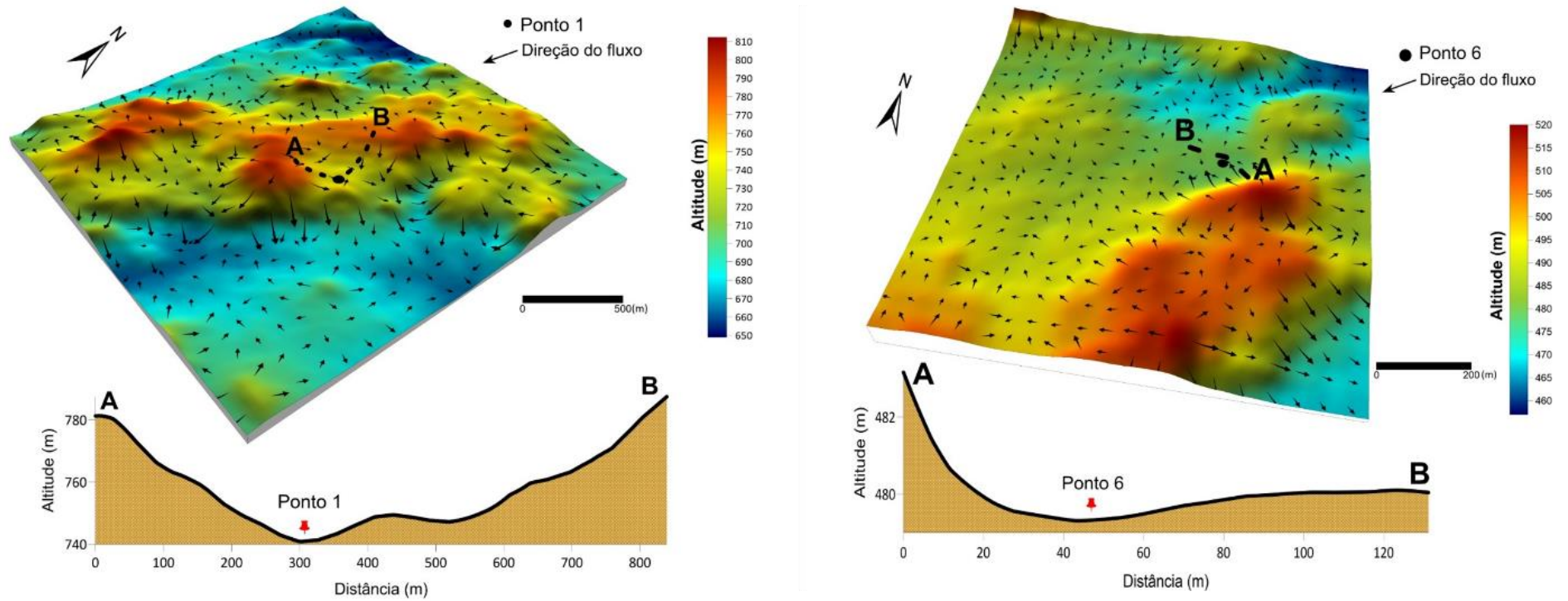
Perfil	Classificação solo	Localização do Pedon	Posição na paisagem
P1	Vertissolo Ebânico	Monteiro (PB), Lagoa de Zabé.	<i>Toeslope</i> – <i>sopé da encosta</i>
P2	Neossolo Regolítico	Congo (PB), Serra da Engabelada	<i>Footslope</i> - Encosta
P3	Cambissolo Háplico	Poção (PE), Distrito do Quati	<i>Backslope</i> – ombro da encosta
P4	Organossolo Regolítico	São João do Tigre (PB), APA das Onças, Serra da Paula	<i>Backslope</i> – ombro da encosta
P5	Cambissolo Háplico	Boa Vista (PB), Lajedo do Bravo	Dentro do lajedado de granito
P6	Vertissolo Ebânico	Cabaceiras (PB), Fazenda Salambaia, Lagoa da Craibeira	<i>Toeslope</i> – <i>sopé da encosta</i>
P7	Cambissolo Húmico	Cabaceiras (PB), Fazenda Salambaia, Lajedo Salambaia	<i>Toeslope</i> – <i>sopé da encosta</i>

Fonte: FONSECA, C. F. 2023, baseado nos dados do Capítulo 3.

Apresentam alto teor de sódio (4,90 a 33,07 cmol_c.kg⁻¹) e argila (> 24 cmol_c.kg⁻¹). Apresenta ocorrência plantas halófitas e gramíneas no local da amostragem. Os valores de pH (P1 6,39 – 7,89; P6 7,68 – 9,51) variam de ligeiramente ácido a muito fortemente alcalino, com tendência de aumento de valores em profundidade, a mesma tendencia foi observada para o teor de carbono orgânico (CO) no P06.

Os solos mais rasos em profundidade, P02 (80 cm) e P04 (70cm), situado na posição de *footslope* – encosta e *backslope* – ombro da encosta (Figura 2), respectivamente, classificados como Organossolos, apresentam horizontes superficiais de coloração bruno escuro (7.5YR 3/2) a cinza muito escuro (5YR 3/1), com textura franco a franco argilo arenosa e estrutura granular pequeno a grande, moderado a forte e ligeiramente dura. Os horizontes mais profundos variam de franco arenoso a franco argilo arenoso, com coloração cinza muito escuro a bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2) e sem estrutura - “grãos simples”, macio a solto. Os valores de pH decrescem em profundidade variando de muito forte a fortemente ácido (4,6 – 5,15).

Figura 1: Bloco diagrama e perfil topográfico representando a posição topográfica dos perfis na paisagem e a direção dos fluxos nas áreas dos perfis P1 e P6.

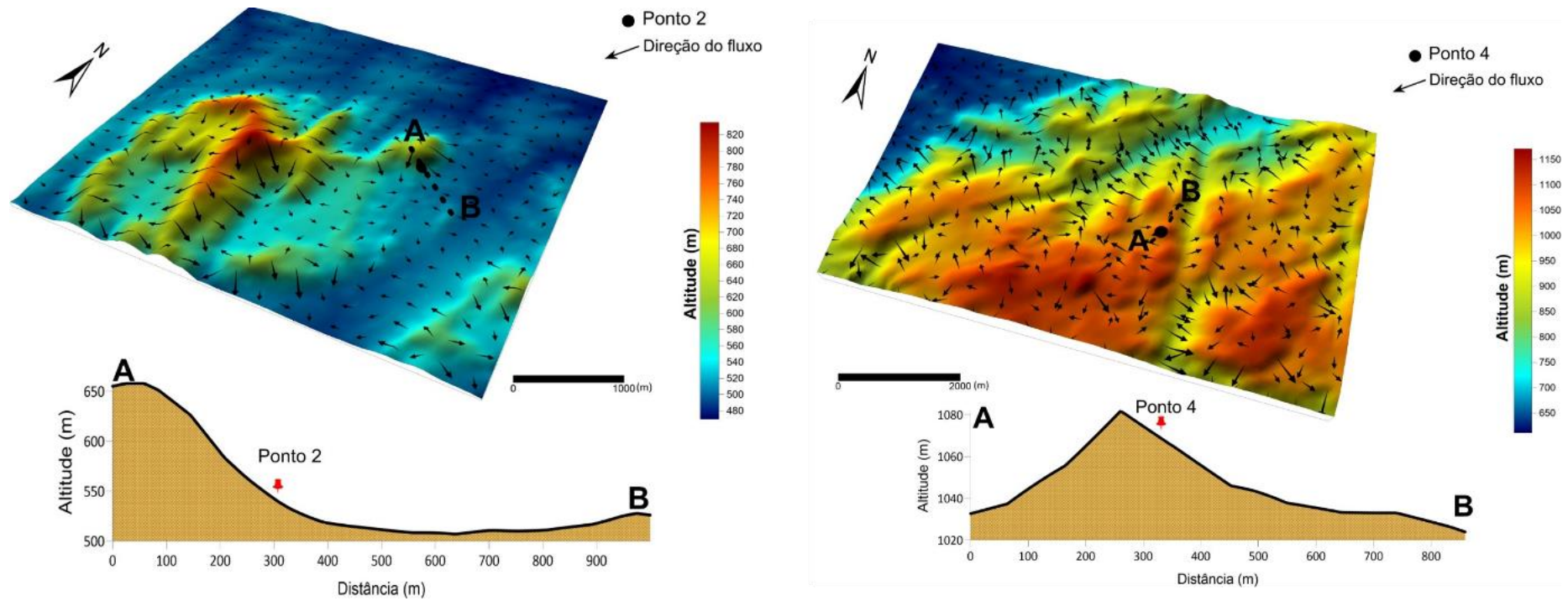


Elaboração: Bennert, A.; Calegari, M. R & Fonseca, C. F., fev/2023.

A atividade da argila desses pedons é acima de $> 24 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ com teores de CO mais altos nos horizontes superficiais (P4 – 16mg/L C).

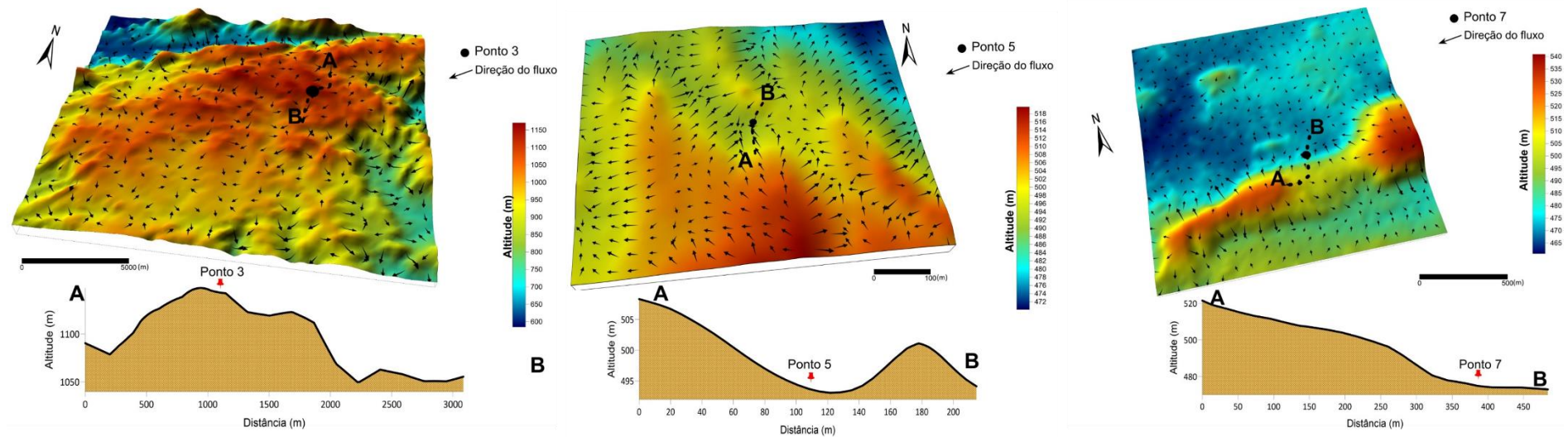
Os perfis P03 (*backslope* – ombro da encosta), P05 e P07 (*toeslope* – sopé da encosta – Figura 3), classificados como Cambissolos, possuem coloração preto (10YR 2/1) a bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2) no horizonte A, com textura franco argila arenoso a franco argiloso e estrutura granular pequena a média, fraco a moderado e ligeiramente duro. O horizonte B desses solos apresenta coloração bruno acinzentado muito escuro a bruno amarelado escuro (10YR 3/4), com textura franco-argilo-arenosa a argilosa e estrutura em blocos subangular médio e moderado. O pH desses solos varia de extremamente a fortemente ácido (4,09 – 5,17). Os solos P03 e P07 apresentam horizonte B incipiente, enquanto os demais perfis (P1, P2, P4 e P6) apresentam sequência com horizontes A1 – A2. O P03 apresenta argila de atividade alta ($>24 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$) e valores mais elevados de CO em superfície.

Figura 2: Bloco diagrama e perfil topográfico representando a posição topográfica dos perfis na paisagem e a direção dos fluxos nas áreas dos perfis P2 e P4.



Elaboração: Bennert, A.; Calegari, M. R & Fonseca, C. F., fev/2023

Figura 3: Bloco diagrama e perfil topográfico representando a posição topográfica dos perfis na paisagem e a direção dos fluxos nas áreas dos perfis P3, P5 e P6.



Elaboração: Bennert, A.; Calegari, M. R & Fonseca, C. F., fev/2023.

4.2 Relação C/N e Razão isotópica ($\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ ‰) e datação ^{14}C

As idades ^{14}C calibradas dos três perfis datados indicam que a matéria orgânica dos desses solos foram depositadas desde o Holoceno inferior no P6, e desde o Holoceno médio em P2 e P5 (Tabela 1).

Tabela 1: Idade ^{14}C de humina de solos em diferentes profundidades dos perfis P2, P5 e P6.

Perfil	Prof. (cm)	Cód. Laboratório	Idades ^{14}C		
			Idade (Anos AP)	Idade Calibrada* (anos, 2σ)	Probabilidade Média*
P2	20	LACUFF 220206	1127±78	897-1177	996
	50	LACUFF 220207	2621±81	2409-2851	2639
	70	LACUFF 220208	3307±84	3331-3701	3498
P5	70	LACUFF 220209	3681±114	3683-4297	3975
	110	LACUFF 220210	597±78	44-670	564
	150	LACUFF 220211	373±73	278-513	391
P6	20	LACUFF 220212	1259±72	1042-1275	1128
	70	LACUFF 220213	3484±68	3558-3893	3710
	110	LACUFF 220214	7420±75	8025-8350	8199

(*) Programa CALIB 8.2, curva SHcal20; Referência: SHCal20 Southern Hemisphere calibration, 0-55,000 years cal BP. Radiocarbon 62. doi: 10.1017/RDC.2020.59

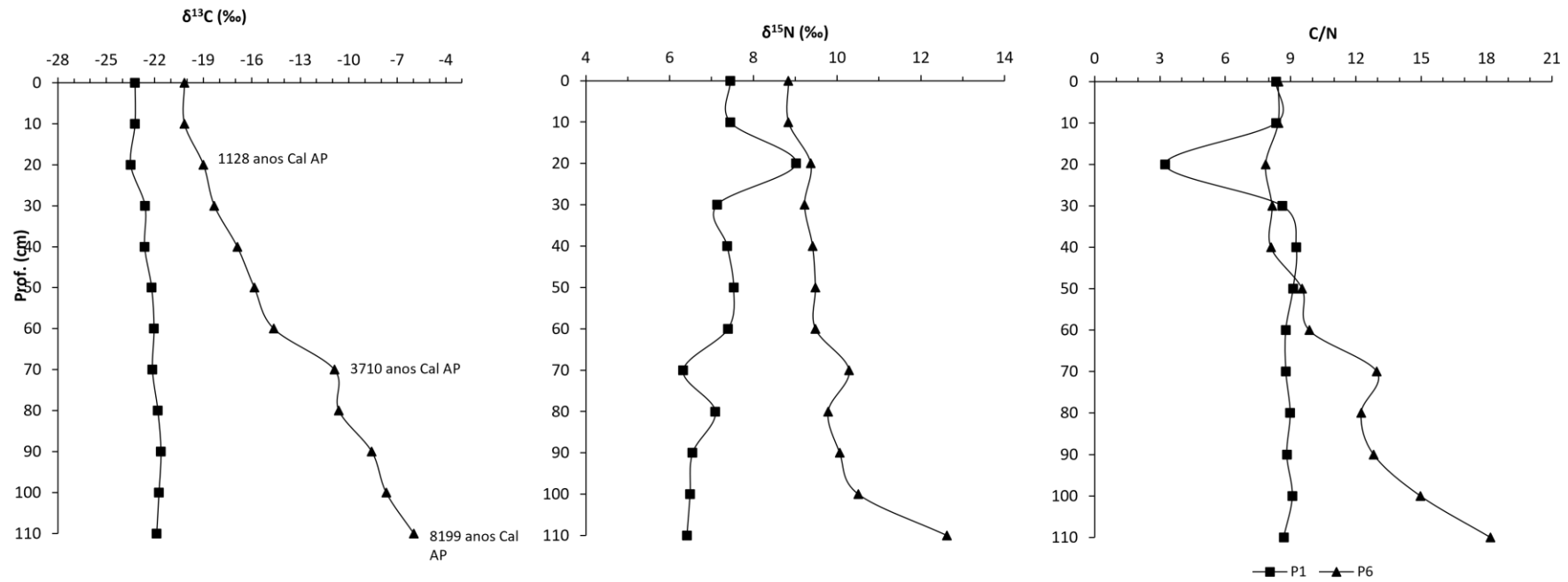
Fonte: Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA, Universidade de São Paulo - USP, Campus Luiz de Queiroz, Piracicaba/SP; e Laboratório de Carbono - LAC da Universidade Federal Fluminense (UFF), ago/2022.

Os valores da relação C/N e de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ apresentaram comportamentos distintos entre os diferentes tipos de solo estudados.

Nos Vertissolos Ebônicos que ocorrem em ambiente alagadiço, os valores da relação C/N aumentam em profundidade no perfil P6 e se mantém praticamente constante no P1, com valores entre 8,3 (topo) e 9,1 na base, a exceção de uma abrupta redução para 3,2 em 20 cm de profundidade (Figura 4). O P6, apresenta valor médio de 9,86 e aumenta em profundidade, variando 8,43 no topo à 12 na base do perfil.

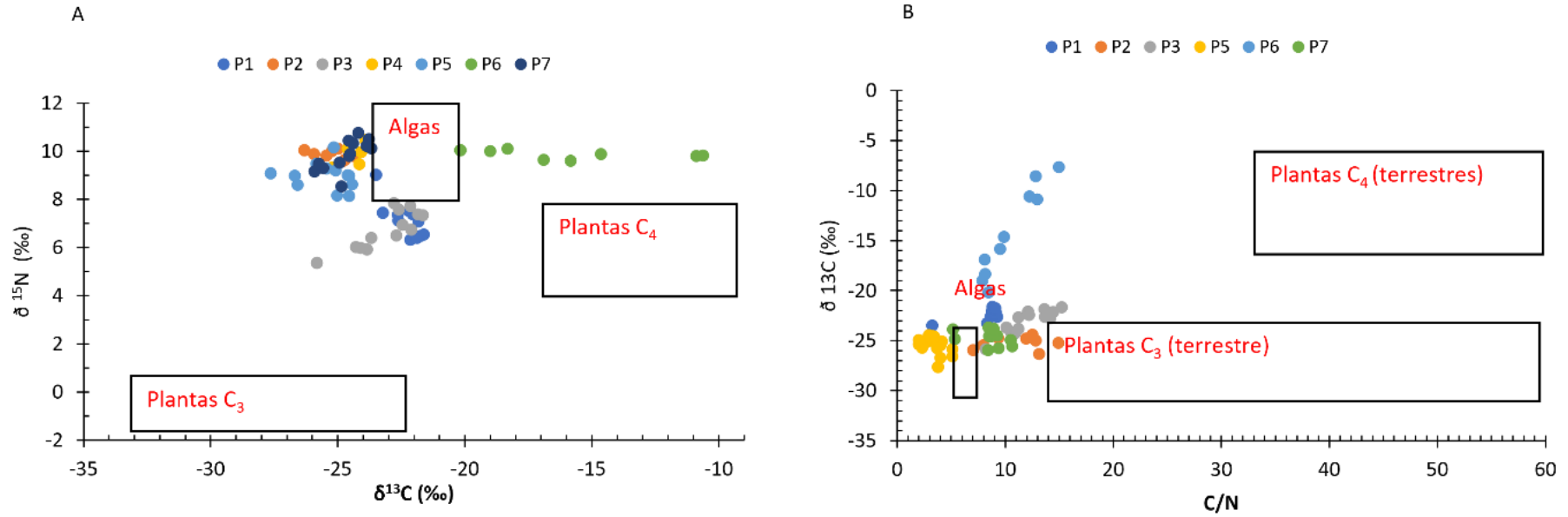
Os valores $\delta^{13}\text{C}$ das amostras superficiais (0-10 cm) dos perfis P1 e P6, respectivamente -23,3‰ e -20,2‰, são as mais baixas entre todos os perfis desse estudo. Esses valores refletem a vegetação local dominada por gramíneas com presença esparsa de alguns arbustos no P1 e com algumas espécies halófitas no P6 (Figura 4). A variação (<-3‰) dos valores ao longo do perfil assinala que no P1 não houve troca de vegetação ao longo do tempo (Figura 5).

Figura 4: Variação de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, relação C/N e datação de ^{14}C de amostras de Vertissolos dos perfis P1 e P6.



Fonte: FONSECA, C.F. 2023.

Figura 5: Indicação de fonte da matéria orgânica dos perfis P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7 por meio das relações $\delta^{15}\text{N}/\delta^{13}\text{C}$ (A – conforme modelo de Peterson; Howarth, 1987) e $\delta^{13}\text{C}/\text{C/N}$ (B – conforme modelo de Meyers, 2003)



Fonte: FONSECA, C.F. 2023.

No P6 observa-se um forte empobrecimento isotópico da base para o topo do perfil, passando de -6‰ na base para -20‰ no topo, assinalando troca de vegetação ao longo do Holoceno. Nesse perfil a vegetação atual se instalou no Holoceno superior, evoluindo de uma vegetação mais aberta, dominada por plantas C_4 (-6‰) desde o Holoceno inferior. Os valores $\delta^{15}N$ apresentam pouca variação ao longo dos perfis com tendências contrárias entre P1 e P6. O perfil apresenta tendência de diminuição dos valores em profundidade, variando de 7,5‰ (0-10 cm) a 6,1‰ (100-110 cm), com um pico de aumento (9‰) a 20 cm de profundidade. Já o P6 apresenta tendência de aumento em profundidade variando de 8,8‰ (0-10 cm) até 12,6‰ (100-110 cm).

A fonte da matéria orgânica desses perfis está associada predominantemente a plantas terrestres (Figura 5). O P1 recebeu maior contribuição de plantas C_3 e minoritariamente de algas, sobretudo nos horizontes superficiais e o P6 de plantas C_4 (53 - 40%) desde o Holoceno inferior até o início do Holoceno superior, quando passa a receber sutil contribuição de algas na parte superior do perfil (Figura 5).

Nos perfis de Cambissolos (P3, P5 e P7) observa-se variação entre e intraperfis nos valores da relação C/N. Embora os perfis P3 e P7, tenham os valores semelhantes do topo até 50 cm, variando de aproximadamente 8 a 11, a partir de 60 cm passam a apresentar tendências contrárias, isto é, o P3 apresenta aumento de valor até a base (5), e o P7 diminuição até 5, na base do perfil, indicando uma mistura de MO de plantas C_3 , C_4 e algas, com predominância de plantas terrestres. No P5 os valores indicam influência de algas e encharcamento ao longo de todo o perfil. Nesse pedon observa-se, na média, valores da relação C/N mais baixos em comparação aos demais perfis de Cambissolos, variando de 3,78 no topo até 2 na base do perfil (160 cm) (Figura 6), assinalando menor participação de plantas terrestres na composição da MOS.

Os valores $\delta^{13}C$ das amostras superficiais (0-10 cm) dos perfis P3, P5 e P7, respectivamente -25,8‰, -27,6‰, e -25,9‰, refletem a vegetação local com predomínio de plantas C_3 , identificadas como Caatinga arbórea no P3 e Caatinga arbórea arbustiva nos demais perfis. Assim como observado na relação C/N, os valores isotópicos dos perfis P3 e P7, apesar de apresentarem valores $\delta^{13}C$ parecidos na parte superior do perfil (~-25‰), diferem-se em profundidade em termos de valores absolutos da relação $^{13}C/^{12}C$, apresentando respectivamente, enriquecimento isotópicos até -22,6‰ e -23,8‰, na base dos perfis. De modo geral, o P3 é o solo que apresenta valores mais enriquecidos isotopicamente, assinalando uma vegetação com maior contribuição de plantas C_4 na composição a MOS, e apresenta variação

maior que -4‰ ao longo do perfil, assinalando troca de vegetação ao longo da formação do perfil.

O P5, apresenta variação inferior a -4‰ nos valores ao longo do perfil, que variaram de -27,6‰ no topo do perfil até -24,9‰ na base. No Holoceno médio a vegetação desse perfil, apresentava maior participação de plantas C₄, indicando uma vegetação mais aberta que atual (Figura 6). Destaca-se para esse perfil uma inversão de idade devido a um processo de coluvionamento observado desde aproximadamente 80 cm de profundidade.

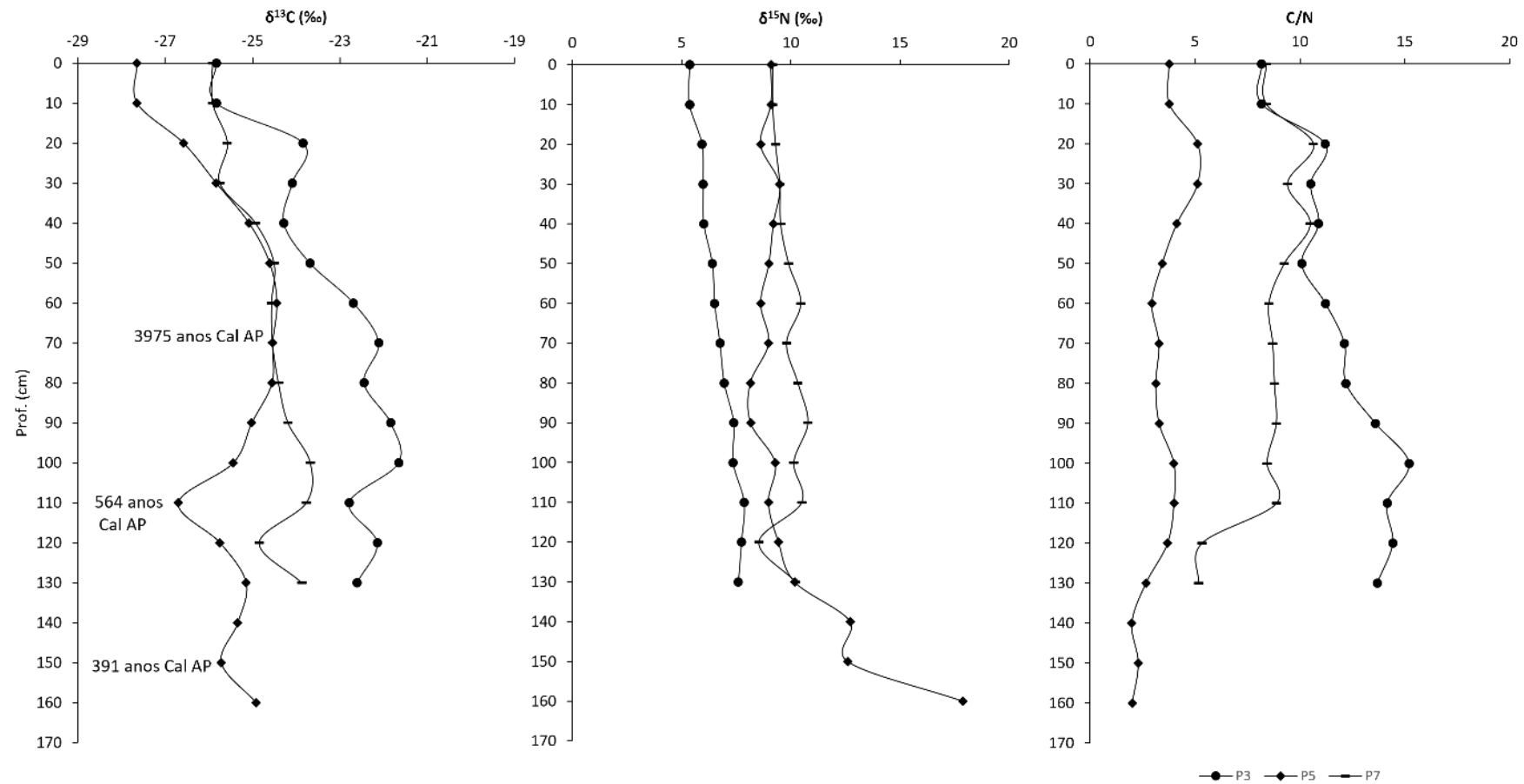
Os valores $\delta^{15}\text{N}$ dos perfis P5 e P3 apresentam pouca variação ao longo dos perfis (<2,2‰). O P7 apresentou um forte enriquecimento na base do perfil, passando de 9‰ no topo a 17,8‰ na base do perfil (Figura 6) sinalizando menor influência de plantas terrestres na composição da MOS das amostras basais desse perfil.

A interpretação dos gráficos da Figura 5 permite identificar que a fonte da matéria orgânica desses perfis tem mistura de plantas terrestres e algas, com predominantemente C₃ (Figura 5). As plantas C₄ contribuem mais para a formação da MOS dos horizontes subsuperficiais desses solos, sobretudo dos perfis P3 e P7, representando, respectivamente, >30% e >18% a partir de 70 cm de profundidade.

Nos perfis classificados como Neossolo (P2) e Organossolos (P4), só foi possível determinar a razão C/N no perfil P2 (Figura 7). Nesse perfil os valores C/N decrescem em profundidade variando de 14 no topo até 7 na base do pedon. A partir de 20 cm até a base, os valores apresentam tendência de diminuição, porém em um padrão erráticos de distribuição em profundidade. Entretanto, ao observar os dados de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ (‰) percebe-se o predomínio de plantas terrestres C₃ na composição da MOS (Figura 5) desde o Holoceno médio (3.498 anos Cal AP).

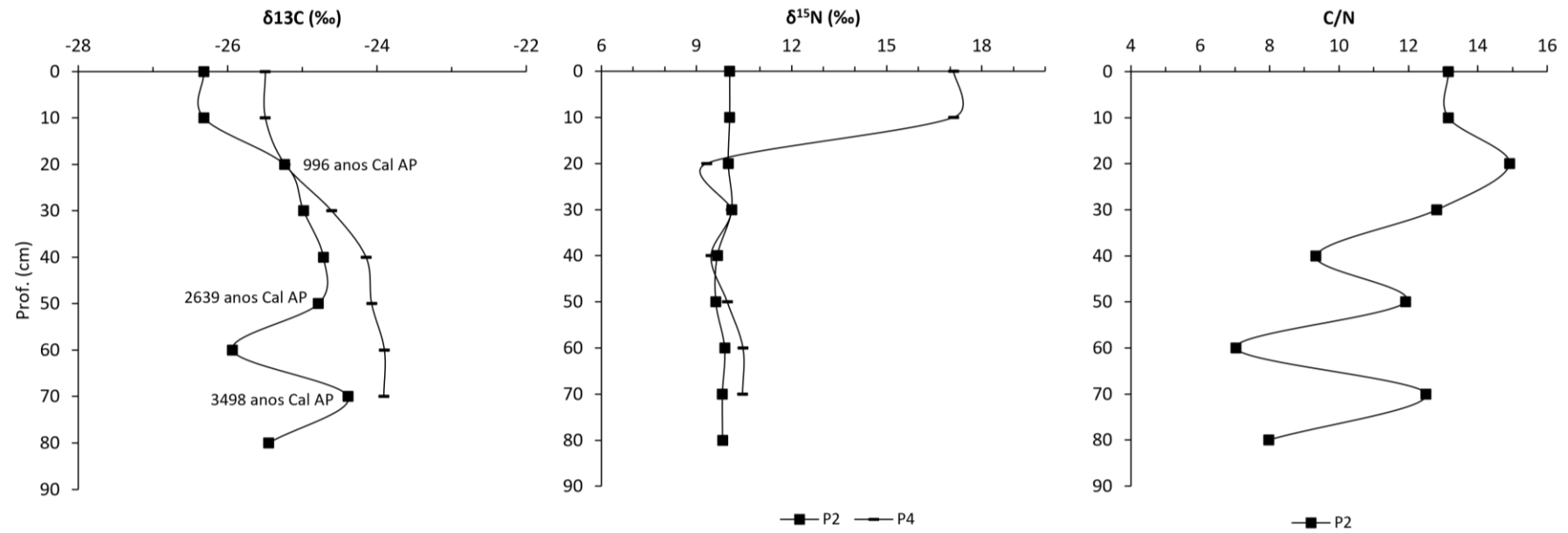
Observa-se no perfil P4 valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ que assinalam predomínio de plantas terrestres ao longo de todo o pedon, com valores refletindo uma vegetação mista, com predomínio de plantas C₃.

Figura 6: Variação de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, relação C/N e datação de ^{14}C de amostras de Cambissolos dos perfis P3, P5 e P7.



Fonte: FONSECA, C.F. 2023.

Figura 7: Variação de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, relação C/N e datação de ^{14}C de amostras de Organossolos dos perfis P2 e P4.



Fonte: FONSECA, C.F. 2023.

4.3 Assembleia Fitolítica e outros corpos silicosos

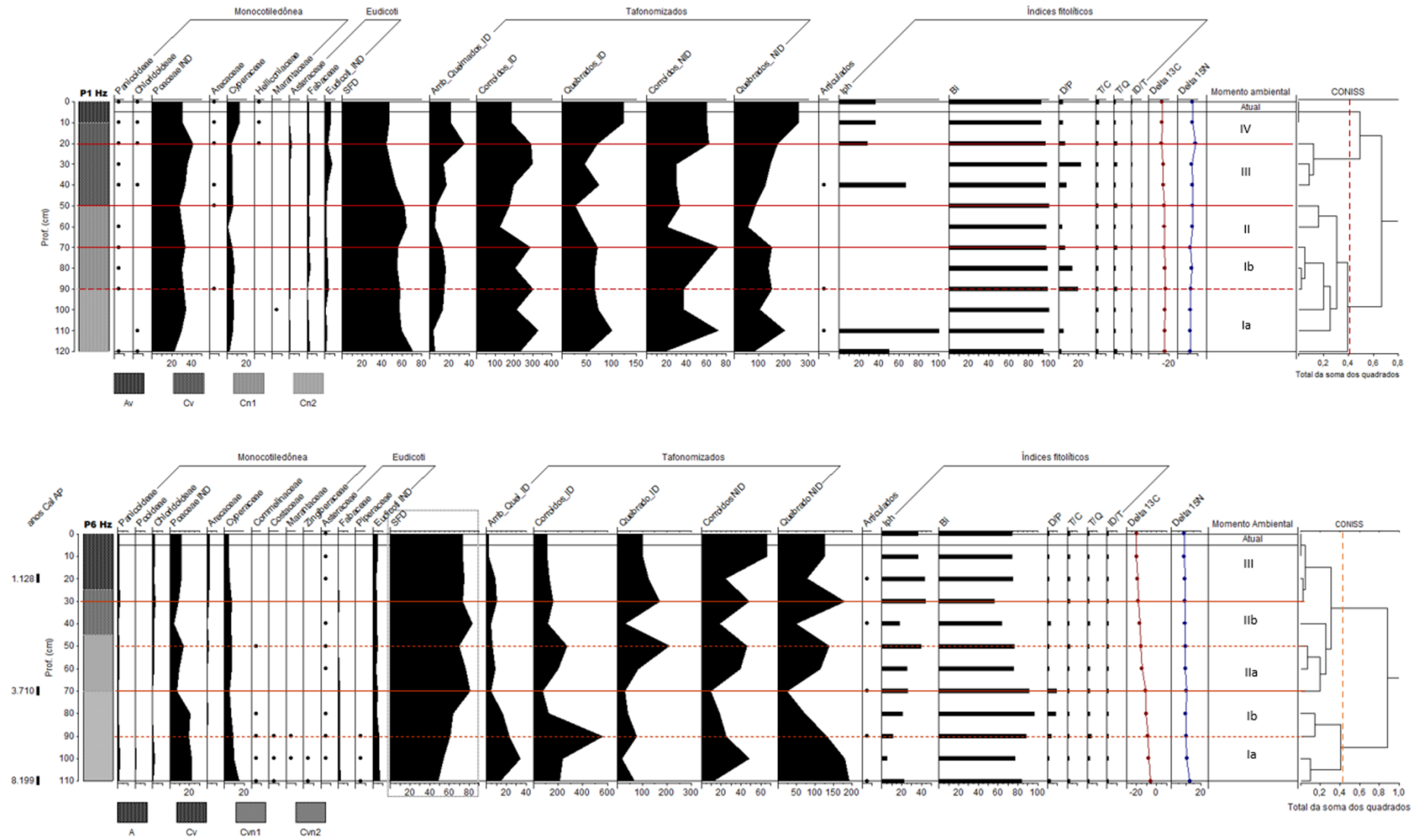
Foram identificados 102 morfotipos nas assembleias dos perfis estudados. De modo geral os fitólitos estavam bem preservados e permitiram a identificação taxonômica das plantas produtora pertencentes as famílias de monocotiledôneas: Poaceae (subfamílias Pooideae, Chloridoideae, Panicoideae, Bambusoideae), Cyperaceae, Arecaceae e Bromeliaceae, Cyperaceae, Commelinaceae, Costaceae, Heliconiaceae, Marantaceae, Zingiberaceae; e de não monocotiledôneas específicas: Annonaceae, Asteraceae, Burseraceae, Fabaceae, Piperaceae.

a) Vertissolos Ebânicos

Nos Vertissolos Ebânicos (P1 e P6) foi marcante a presença dos morfotipos *ELONGATE* (ELO), *BULLIFORM FLABELLATE* (BUL_FLA), *ACUTE* (ACU), *POLYGONAL SCRIBILATE* (PLG_SCR) e *TABULAR* (TAB) na composição das assembleias fitolíticas, pertencentes às famílias Poaceae, Arecaceae, Cyperaceae, Helioniaceae, Marantaceae, Asteraceae, Fabaceae (Figura 8).

De acordo com os dados da Tabela 2 no P1 destaca-se a maior frequência média de morfotipos produzidos por Poaceae sem família definida (POA_IND) (31,9%), Cyperaceae (6,4%), Eudicotiledôneas indefinidas (EUDI_IND) (3,4%), Fabaceae (1,9%), Asteraceae (0,5%) e Arecaceae (0,4%). O P6 apresentou maior diversidade de morfotipos de famílias botânicas, como por exemplo, Costaceae – Marantaceae – Zingiberaceae (junção da primeira sílaba das famílias citadas - COMAZI) (0,4%), Commelinaceae (0,3%), Piperaceae (0,3%) e *Poo*id (0,1%), assim como a maior média de morfotipo de: Panicoid (1,1%), Chloridoid (1,4%), Cyperaceae (7,2%), Arecaceae (1%), Eudicotiledôneas indefinidas (4,6%). Entretanto a maior parte da assembleia (69,1%) é composta por morfotipos redundantes, produzidos por plantas de várias famílias, classificadas como sem família definida - SFD (junção da inicial de cada palavra). Vale ressaltar que apenas no P1 foi identificado morfotipo de Heliconiaceae e Marantaceae (Heli_Maranta - morfotipos somados por conta da pequena quantidade encontrada) em 20 cm e 10 cm de profundidade, correspondendo a apenas 0,1% da assembleia. O morfotipo em destaque para ambos os perfis de solo é o SFD que são produzidos tanto por Mono como por Eudicotiledôneas, representando em P1 e P6, respectivamente, 54,8% e 69,1% das assembleias.

Figura 8: Distribuição da assembleia de fitólitos (%), índices fitolíticos e momentos ambientais do perfil P1 e P6



Fonte: FONSECA, C. F., 2023.

Tabela 2: Composição da assembleia fitolítica em porcentagem (média de frequência) por família e subfamília de plantas dos perfis de Vertissolos (P1 e P6).

Família	Subfamília	Frequência média (%)	
		P1	P6
Poaceae	Panicoid	0,4	1,1
	Chloridoid	0,2	1,4
	Pooid	0,0	0,1
POA_IND		31,9	13,6
Cyperaceae		6,4	7,2
Arecaceae		0,4	1,0
Commelinaceae		0,0	0,3
Piperaceae		0,0	0,3
COMAZI		0,0	0,4
Heli_Maranta		0,1	0,0
Asteraceae		0,5	0,2
Fabaceae		1,9	0,8
Eudicoti- IND		3,4	4,6
SFD		54,8	69,1
Total		100	100

Fonte: FONSECA, C. F., 2023.

Os índices calculados para interpretação das condições ambientais e de preservação dos índices são apresentados na Figura 8. O valor médio do Índice de Adaptação à Aridez (Iph) desses perfis foi quase 20 vezes maior em P1 variando de 29 a 67% (0-30 cm) mantendo em zero entre 40 e 110 cm e de 50 a 100% na base do perfil.

De modo geral, o Iph no P6 apresenta valores mais lineares ao longo pedon, mantendo valores em torno de 40% nos primeiros 40 cm do perfil e entre 21 e 4,8% na parte basal do pedon. O valor médio calculado do índice de estresse hídrico (BI) para o P1 foi de 96,67%, e 77, 67% para o P6. No P1 os valores são elevados, e apresenta pequenas variações (erráticas) entre 100 e 92%. A mesma tendência é observada no P6, porém com valores menores, variando entre 64 e 91%.

O Índice de Cobertura Arbórea (D/P) apresentou valores baixos em ambos os perfis, sendo valores inferiores a 20 no P1 e menor que 3, o P6 (Tabela 3). Os Índices fitolíticos de preservação, aplicados para identificar ocorrência de transporte e revolvimento do solo nas áreas do estudo, dada a posição na vertente dos perfis estudados, sujeitas a enxurradas e movimentação de material, apresentaram valores elevados, assinalando transporte no local de ambos os perfis.

A relação fitólitos identificados/tafonomizados (ID/T), tafonomizados/corroídos (T/C) foi maior nas amostras do P6 e a razão tafonomizados/quebrados (T/Q) foi maior no P1, indicando menor revolvimento vertical no perfil P6. Somado a isso, a maior presença de articulados de fitólitos (esqueleto de sílica) no P6, corrobora que ambiente edáfico desse perfil é menos perturbado em termos de movimentação vertical, seja pela água ou pela atividade biológica do que no P1.

Tabela 3: Valores médio por perfil dos índices fitolíticos dos Vertissolos (P1 e P6).

Perfil	Índices					
	Iph	Bi	D/P	T/C	T/Q	ID/T
P2	85,01	5,18	12,74	1,32	5,00	18,95
P4	63,31	12,11	1,33	4,42	11,57	9,07

Fonte: FONSECA, C. F., 2023

As variáveis que mais contribuíram para caracterização e diferenciação dos P1 e P6, a partir da análise de componentes principais (PCA) são: Panicoid, Chloridoid, Piperaceae, COMAZI, Eudicoti, Cyperaceae, Arecaceae, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$, ID/T e Pooid. As mais fracas são: Iph, articulados, corroídos_NID, Heli_Maranta e Asteraceae. As profundidades que mais oferecem

informações para compor as dimensões 1-2 da PCA foram: P6 110, 90, 30, 50 e 10cm, já no P6 80 cm e P1 10cm foram as menos importantes. P1 10cm possui características que se aproximam e se interseccionam com P6 40, 70 e 80cm (Figura 9A).

As variáveis que influenciam positivamente o P6 são: Panicoid, Chloridoid, SFD, Eudicoti, ID/T, T/C, COMAZI, Piperaceae, Arecaceae. As fracas são: Queb_NID, ^{13}C , Pooid, Corroí_NID.

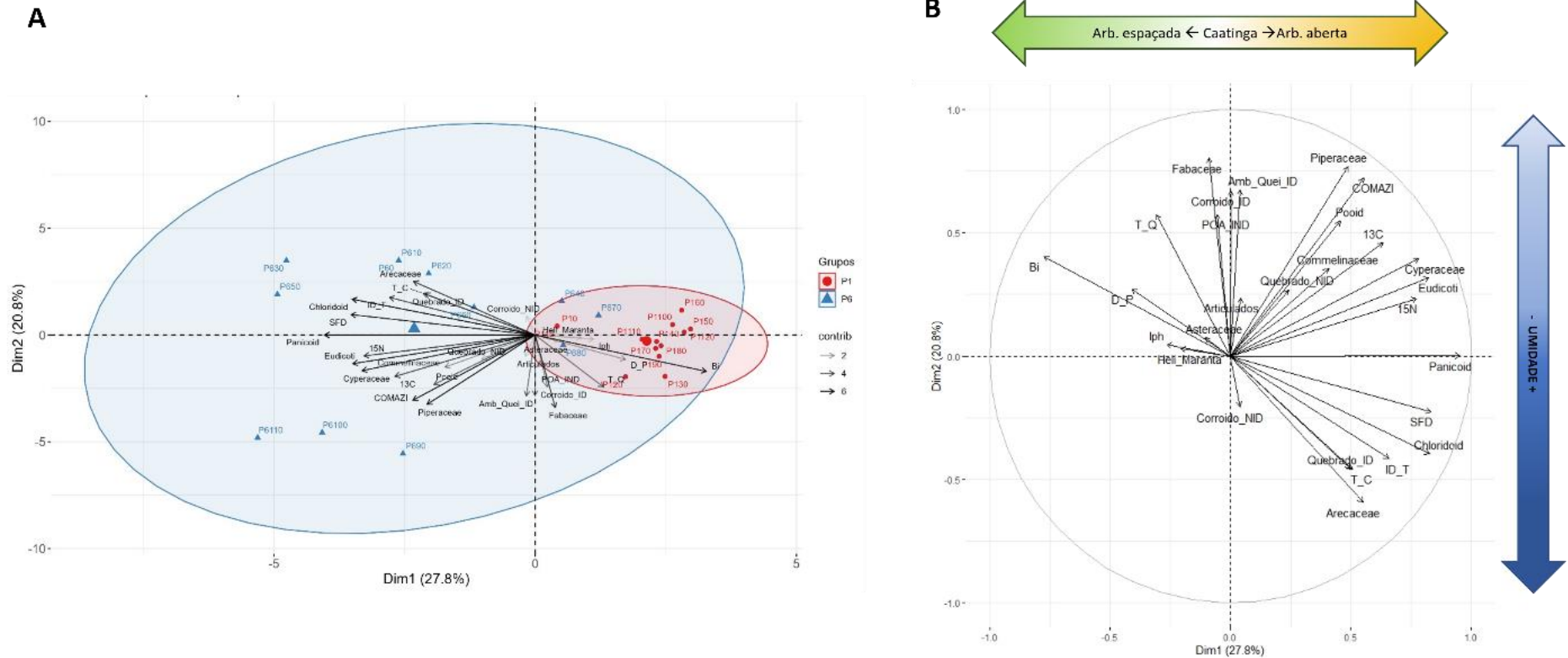
As principais variáveis positivas são inversamente proporcionais as que estão no quadrante negativo do eixo X, como por exemplo: Piperaceae – Bi, Iph, Asteraceae. A variáveis no quadrante negativo da 1ª CP estão relacionados, possivelmente a um ambiente de menor umidade. Em relação às variáveis relacionadas ao eixo Y, no quadrante positivo pode-se inferir uma vegetação de Caatinga arbustiva espaçada, e no negativo, vegetação de Caatinga mais aberta (Figura 9 - B).

A análise de cluster aplicada aos dados desses perfis permitiu a identificação de momentos ambientais que descrevem a trajetória evolutiva da vegetação e do clima nos locais dos perfis P1 e P6, conforme representado na Figura 8.

O P1 representa um pedon com forte influência de: escoamento superficial, acúmulo de água e de sedimentos advindos das áreas mais íngremes ao redor, principalmente, nos momentos de *inputs* de precipitação. Localizado no *toeslope* dentro de um lajedo de granito. Apresenta solo mal drenado, com horizonte vértico, sódico e ligeira erosão laminar. A vegetação atualmente é composta por gramíneas, Juncaceae, Malvaceae, Fabaceae e alguns arbustos espaçados sobre o Vertissolo, já nas áreas mais íngremes da paisagem, é possível encontrar uma Caatinga arbustivo-arbórea aberta, com presença de Rubiaceae, Anacardiaceae, Lythraceae, Sapindaceae, Erythroxylaceae, Fabaceae. Neste perfil foram identificados quatro momentos ambientais envolvidos na formação do Vertissolo Ebânico (P1 - Figura 8)

- Momento I (120 a 70 cm): Assinala um período mais úmido que atual. E devido as variações foi dividido em:

Figura 9: **A)** Análise dos Componentes Principais - PCA dos Vertissolos Ebânicos P1 e P6; **B)** Círculo de Correlação da PCA P1 e P6. Relação da umidade na fitofisionomia da vegetação



Fonte: FONSECA, C. F., 2023 – baseado em dados da assembleia fitolítica e dos momentos ambientais (P1 e P6 – média).

Momento Ia (120 e 10-0 cm): Abrange o horizonte Cn2, com predomínio de plantas de hábito arbustivo (SFD), mostrando mistura de C₃ e C₄ ($\delta^{13}\text{C}$ -21,8 e -21,7‰). Destaque para os morfotipos SFD, POA_IND e Cyperaceae, apresentam-se em menor quantidade Fabaceae, Eucidoti_IND. Aponta presença de diatomácea, espículas e gemosclera que indicam umidade e corroborando os dados $\delta^{15}\text{N}$ (6,4‰). Praticamente não há SAD e a ocorrência de gramíneas C₄ é muito baixa nesse momento ambiental, inferindo a condição de umidade desse momento. Percebeu-se a baixa diversidade de famílias botânicas identificáveis. A presença de articulados em 110cm aponta estabilidade na vegetação/serrapilheira. Com relação aos índices fitolíticos: Iph oscila de 50 a 100% e reduz a 0% (100cm), o Bi expressou crescimento de 94 para 100%, o D/P variou de 2 para 3,3 e em 100cm foi 0. Para os Tafonomizados, o destaque foi para os corroídos_ (ID e NID), em seguida para Quebra_ID e NID, já os Amb_Quei_ID foram em menor representatividade. A relação dos tafonomizados demonstra que ocorreu muita mistura. De modo geral, há indícios de período úmido de chuvas torrenciais (110cm) intercalado com ressecamento (120 e 100cm).

Momento Ib (90 a 70 cm): representa o horizonte Cn1. Difere-se do momento anterior por apresenta estabilização e sutil empobrecimento dos isotópico ($\delta^{13}\text{C}$ ~21‰; $\delta^{15}\text{N}$ ~6,5‰) e maior contribuição de plantas terrestres C₃ de hábito arbustivo (SFD). Leve aumento de fitólitos de Eudicoti e Fabaceae em detrimento dos de Cyperaceae e Arecaceae, e baixa diversidade de família botânicas assinalam uma diminuição de umidade no ambiente. Essa tendência é corroborada pela menor frequência de outros corpos silicosos de ambiente úmido como as diatomáceas, espículas e gemosclera. Os índices climáticos e de tafonomização destacam forte presença de fitólitos corroídos (ID e NID) e quebrados, sinalizando energia no sistema e mistura de material. O Iph nulo e Bi elevado (98%) reforçam a hipótese de condições mais seca, porém úmida o suficiente para manter estabilidade da vegetação no que diz respeito as Eudicotiledôneas.

Momento II (60 e 50cm): abarca o horizonte Cn1. Os dados isotópicos assinalam uma vegetação mista ($\delta^{13}\text{C}$ -22‰) com predomínio de planta terrestres C₃. O $\delta^{15}\text{N}$ foi de 7,5‰. Há presença de Panicoid apenas em 60cm e diminuição de Cyperaceae, de Eudicoti, associada a diminuição de fitólitos tafonomizados, indicando um período mais seco que o anterior, corroborado pelo decréscimo de diatomácea, espículas e gemosclera. Os Índices fitolíticos: Iph 0%, Bi 97 e 100%, D/P variou de 3 a 0 apontam uma abertura da vegetação e menor umidade. Cogita-se que este período seco ocorreu no Meghalayan (4.800 a 4.200 anos AP) ou por volta de 3.900 anos AP, se comparado ao P6.

Momento III (40 a 20cm). Abrange o horizonte Cv. Destaca-se pelo aumento da umidade, conforme indicado pela maior presença de diatomácea, espículas e gemosclera e pelos dados isotópicos $\delta^{15}\text{N}$ (9‰); $\delta^{13}\text{C}$ (-24‰), que apontam aumento de plantas terrestres C₃. Os fitólitos corroboram o aumento de plantas C₃, indicando maior presença de plantas arbóreas e arbustivas (Asteraceae, Fabaceae) em detrimento de monocotiledôneas Chloridoid, Arecaceae. Em 40cm inicia-se a estabilidade da vegetação que se firma em 30 e 20cm, como demonstra os picos de D/P para o perfil. O aumento de corroídos ID e quebrado (NID) e oscilações no quebr_ID e corroído NID, indicam maior energia e movimentação de material. A presença de fitólitos de Heliconia e Arecaceae permite inferir períodos intercalados com ressecamento (Chloridoid) e efeito de borda na vegetação, associado a influência de ventos (Asteraceae).

Momento IV (10 cm): Corresponde ao horizonte Av. Destaca-se pela instalação das condições atuais, marcada pela umidade local e temperaturas mais altas que o momento III, porém com intervalos de ressecamento, gerando condições para transporte e quebra de fitólitos, aumentando a quantidade de tafonomizados. A vegetação apresenta-se mista ($\delta^{13}\text{C}$ -23,2‰) com predomínio de arbustos e gramíneas, conforme dados fitolíticos que demonstra a presença de Arecaceae, Panicoid, Chloridoid, Heliconiaceae, aumento de Cyperaceae e Eudicotiledôneas. As condições ambientais assemelham-se as atuais Iph (36,3%), Bi (92%), D/P no valor de 4.

O perfil P6 localizado no *toeslope* dentro de um lajedo de granito, mal drenado, apresentando pequena erosão laminar, com ocorrência de horizonte vértico e sódico (WRB e SiBCS), possui maior diversidade botânica do que o P1. Atualmente a vegetação local é formada por gramíneas, halófitas e alguns arbustos espaçados, nas áreas mais íngremes da paisagem, apresenta Caatinga arbustiva aberta, com presença de Fabaceae, Euphorbiaceae, Malvaceae etc. Neste perfil foram identificados três momentos ambientais envolvidos na gênese do Vertissolo Ebânico (P6 - Figura 8).

Momento I (110 a 80 cm): Corresponde aos horizontes basais Cvn2 e C do perfil, com datação de 8.199 e 3.710 anos Cal AP que foi subdividido em:

Momento Ia (110 e 100 cm): Apresenta valores enriquecidos isotopicamente ($\delta^{13}\text{C}$ - 5,9 e -7,6‰ e $\delta^{15}\text{N}$ 12,6 e 10,5‰) e grande concentração de diatomácea, espículas e, gemosclera que indica ambiente alagadiço com algas. Essa condição é corroborada pela presença de fitólitos de Cyperaceae, Eudicotiledôneas, Commelinaceae, Costaceae, Marantaceae, Zingiberaceae, Fabaceae, Piperaceae e muitos fitólitos articulados, que revelam ambiente favorável a preservação da matéria orgânica. Cogitou-se indícios de ocupação humana por conta dos tafonomizados queimados e da identificação de táxons cultivados por indígenas, além de

pinturas rupestres detectadas, na atualidade, nas proximidades do Lajedo Salambaia. Este momento ambiental mostra diversidade e conservação da vegetação, pois foi possível observar diferentes famílias botânicas e o morfotipo articulado. Os índices fitolíticos assinalam condições mais secas que a atuais, com o Iph variando entre 29,63 e 51,28%; o Bi 83,5 e 76,8% e baixo D/P baixo (2,8 e 1,4). A concentração de umidade se dá devido a configuração do local, que concentra as águas que chegam de áreas mais elevadas no entorno.

Momento Ib (90 e 80 cm): Corresponde ao horizonte C. O empobrecimento isotópico ($\delta^{13}\text{C}$ -8,5 e -10,6‰ e $\delta^{15}\text{N}$ 10 e 9,78‰) assinala mudanças no ambiente, com maior participação de plantas C_4 e mais seco que o momento anterior. Essa tendência é confirmada pelo aumento de fitólitos de POA_IND, Cyperaceae e SFD e diminuição de diatomácea, espícula e gemosclera. A ocorrência de articulado demonstra conservação da serrapilheira local. Continuam os indícios de ocupação humana; presença Commelinaceae, Costaceae, Marantaceae, Asteraceae, Piperaceae. Na parte basal desse momento (80cm) apenas a Commelinaceae e Asteraceae permanecem, sinalizando a transição para um período de menor umidade, no qual ocorreu a diminuição do estrato herbáceo (Cyperaceae. Panicoid, Chloridoid, Pooid). Os índices fitolíticos demonstram a inclinação para a diminuição de umidade no ambiente com o Iph reduzindo de 45% a 0, o Bi aumentando de 88,5 – 96,4% e o D/P aumenta de 4 para 8, assinalando mais elementos arbóreos e arbustivos na vegetação.

Momento II (70 e 40cm): 3.710 anos Cal. AP - ~1200 anos Cal AP, representa um momento mais seco que o anterior, e foi dividido em duas subzonas:

Momento Ia (70-50 cm): Agrupa as amostras do horizonte Cvn1 que registra um momento mais seco por volta de 3.710 anos cal AP. Essa condição é confirmada pela forte diminuição no número absoluto de diatomácea, espícula e gemosclera e no enriquecimento isotópico da MOS ($\delta^{15}\text{N}$ 10,28‰; $\delta^{13}\text{C}$ -10,88‰). A baixa quantidade de fitólitos indica ter havia um hiato deposicional ou uma fase de erosão que pode ter removido o solo contendo a assembleia abundante. Os índices fitolíticos apresentam-se da seguinte forma: Iph 0 a 61%; Bi 76 a 91,6%; D/P <9, o que permitem inferir um ambiente aberto e temperaturas mais altas que o período anterior, porém com fases de umidade, corroborado pela presença de diatomácea, espículas e gemosclera, e picos de empobrecimento isotópico ($\delta^{15}\text{N}$ 9,48‰; $\delta^{13}\text{C}$ ~-15‰). Há a ocorrência de articulados, a diminuição de POA_IND, Cyperaceae, amb_Quei_ID e de todos os tafonomizados. Os morfotipos de SFD se sobressaíram. A elevada quantidade de Tafonomizados aponta energia na movimentação de material no local, associado a momentos

de chuvas torrenciais e consequente transporte de sedimentos, tal como observado atualmente, intercalando períodos de ressecamento/umidade.

Momento IIb (40 cm): Esse momento destaca-se por apresentar uma condição mais úmida que anterior, com empobrecimento isotópico ($\delta^{15}\text{N}$; 9,41‰; $\delta^{13}\text{C}$ -16,9‰) e os valores dos índices fitolíticos: Iph 75%, Bi 63,6%, D/P 2,75, assinala a ocorrência de vegetação misturada com plantas C_3 e C_4 , como observado em área de ecótono/transição. Houve aumento de SFD, Chloridoid, as Asteraceae e articulados se mostraram presentes, enquanto as Eudicotiledôneas foram constantes.

Momento III (30 a 10 cm): Desde aproximadamente 1.128 anos AP até hoje. Abrange os horizontes A e Cv. Esse momento marca a transição para as condições atuais. É mais úmido que o Momento II, marcado pelo aumento de diatomácea, espículas e esponjas; empobrecimento isotópico ($\delta^{15}\text{N}$ 9,22‰ e $\delta^{13}\text{C}$ ~-20‰); e melhora nos índices fitolíticos (Iph 67-64%, Bi 56-75% e D/P 0,84 -1,6) refletem uma vegetação mista, com sutil predomínio de plantas terrestres C_3 , aumento de fitólitos de gramíneas C_4 Chloridoid, Panicoid. Os tafonomizados apresentaram crescimento, principalmente os quebrados. Isso marca aumento da umidade com intervalos de ressecamento (20 e 10cm); em 20cm houve estabilização da vegetação ($\delta^{13}\text{C}$ -18,9‰) com MOS datada em 1.128 anos cal AP, sendo possível constatar pela presença de articulados e redução nos corroídos e quebrados NID; inferindo-se um momento relativamente seco, pois houve redução de diatomácea, espículas e gemosclera; aumento de POA_IND, Arecaceae, SFD.

b) Cambissolos Háplicos e Cambissolo Húmico

Nos Cambissolos Háplicos (P3 e P5) e no Cambissolo Húmico (P7) a assembleia de fitólitos revelou presença significativa de morfotipos de Poaceae, mais expressivamente da subfamília Chloridoideae, e das famílias de Arecaceae, e Eudicotiledôneas indeterminadas (Eudi_IND) (Tabela 4).

No P3, foi marcante a presença dos morfotipos produzidos por gramíneas da subfamília Chloridoideae (21,1%) e Panicoid (5,8%) e Poaceae indeterminadas (POA_IND - 17,8%); das famílias Cyperaceae (4,4%), Arecaceae (7,2%) e, as Eudicotiledôneas (8,3%). A classe mais frequente é a dos morfotipos sem família definida - SFD (28,8%) (Figura 10). A presença de

RON, produzido pelas gramíneas Pooid (C₃), sinaliza que entre os três Cambissolos, o P3 é o que se encontra em condições maior umidade e de menor temperatura média

Tabela 4: Composição da assembleia fitolítica em porcentagem (média de frequência) por família e subfamília de plantas dos perfis de Cambissolos (P3, P5 e P7).

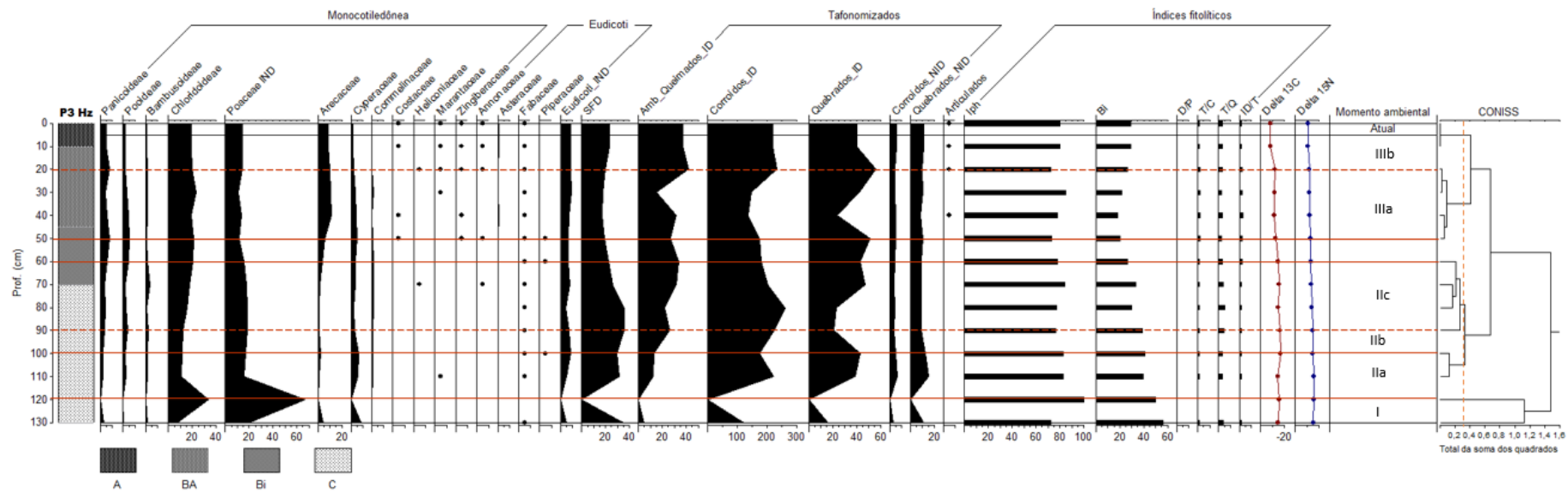
Família	Subfamília	Frequência média (%)		
		P3	P5	P7
Poaceae	Panicoid	5,81	4,71	1,12
	Bambusoid	1,63	0,17	0,18
	Chloridoid	21,10	4,48	3,24
	Pooid	3,71	0,27	0,17
POA_IND		17,76	10,53	11,30
Cyperaceae		4,36	16,37	1,29
Arecaceae		7,17	7,80	22,55
Commelinaceae		0,00	1,13	0,48
Piperaceae		0,11	0,21	0,12
Marantaceae		0,00	0,11	0,00
Burseraceae		0,00	0,16	0,01
COHEMAZI		0,34	0,00	1,60
Annonaceae		0,07	0,00	0,16
Asteraceae		0,36	0,17	0,18
Fabaceae		0,39	0,82	0,23
Eudicotiledoneae_IND		8,35	28,72	44,01
SFD		28,84	24,35	13,36
Total		100	100	100

Fonte: FONSECA, C.F., 2023.

Com essas características, o P3 possivelmente é mais suscetível a sofrer com as secas prolongadas e com a interferência humana (formação de clareiras e agricultura).

No P5, o destaque ocorreu com Poaceae (10,5%), Eudicoti (24,3%), Arecaceae (7,8%) e as Cyperaceae (16,4%), essas três últimas, são indicativas de umidade no ambiente (Tabela 4; Figura 11). No P7, os fitólitos de maior relevância foram de Eudicotiledônea (44%), Arecaceae (22,5%), seguido pelas Poaceae indeterminadas (11,30%) e da subfamília Chloridoideae (3,2%). Destacam-se também os morfotipos redundantes sem família definida – SFD (13,4%) e a COHEMAZI (1,6%) (Tabela 4; Figura 12). Este pedon demonstra ser o mais preservado, sombreado e de menor interferência humana.

Figura 10: Distribuição vertical da assembleia de fitólitos (em %), índices fitolíticos, dados isotópicos $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e Momentos ambientais do Cambissolo Háplico (P3).



Fonte: FONSECA, C. F. F., 2023.

Os Cambissolos estão situados em porção baixa do relevo, o que acarreta acúmulo de sedimentos com fitólitos provenientes de área mais íngremes, corroborando para uma leitura diferenciada dos índices. No que diz respeito ao Iph, por influência da temperatura alta e períodos de estiagem, apresentam valores elevados, indicando condições de menor umidade no ambiente, sobretudo os perfis P3 e P7, com valores, respectivamente de 79,9% e 74,6% (Tabela 5). Com relação ao Bi (variando entre 32,8 e 71,5%), apresenta valores intermediários, mais baixos que o calculado para os Vertissolos, indicando que não são nem tão secos como os P1 e P6 e nem tão úmidos como os P4 e P2. Já o D/P expressaram que o P7 é o pedon que apresenta, na média dos perfis, maior cobertura arbórea, o que sinaliza, segundo Bremond (2008), vegetação de savana para o P3 e floresta perene para o P7 e o P5.

Tabela 5: Valores médios dos índices fitolíticos dos Cambissolos (P3, P5 e P7).

Perfis	Índices					
	Iph (%)	Bi (%)	D/P	T/C	T/Q	ID/T
P3	79,93	32,79	0,27	1,5	3,13	1,63
P5	43,04	46,09	3,86	2,06	2,36	1,91
P7	74,65	71,5	14,36	1,61	3,04	2,99

Fonte: FONSECA, C. F. F., 2023.

No índice T/C o valor médio por perfil foi mais elevado no P5 (2,06) e o menor no P3 (1,5) segundo relatos de moradores, já foi cultivado café, o que pode ter influenciado na mistura dos morfotipos que compõe a assembleia fóssil. Em relação aos quebrados, os perfis P3 e P7 apresentaram valores semelhantes, em torno de 3. E o índice ID/T usado para identificar mistura no perfil foi maior no P7 (2,99) e os perfis P3 e P5 apresentaram menores valores.

Figura 11: Distribuição vertical da assembleia de fitólitos (em %), índices fitolíticos, dados isotópicos $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e Momentos ambientais do Cambissolo Háplico (P5)

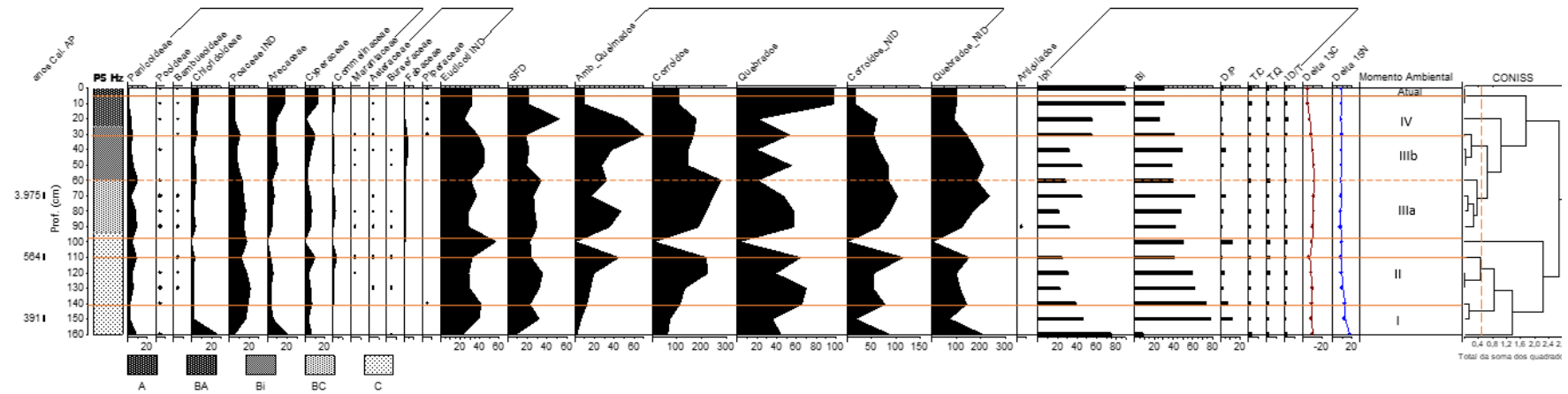
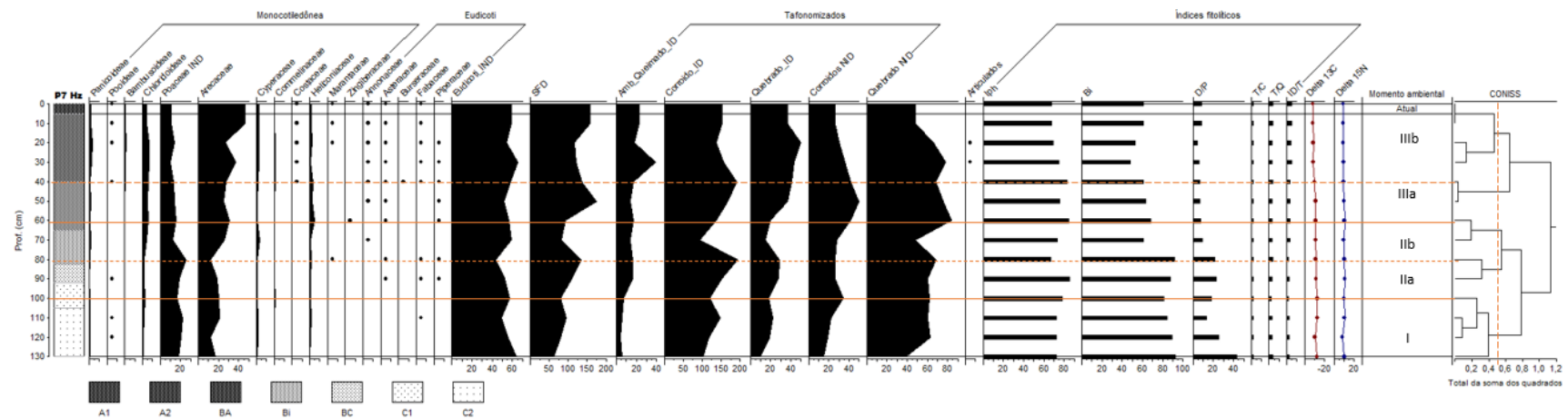
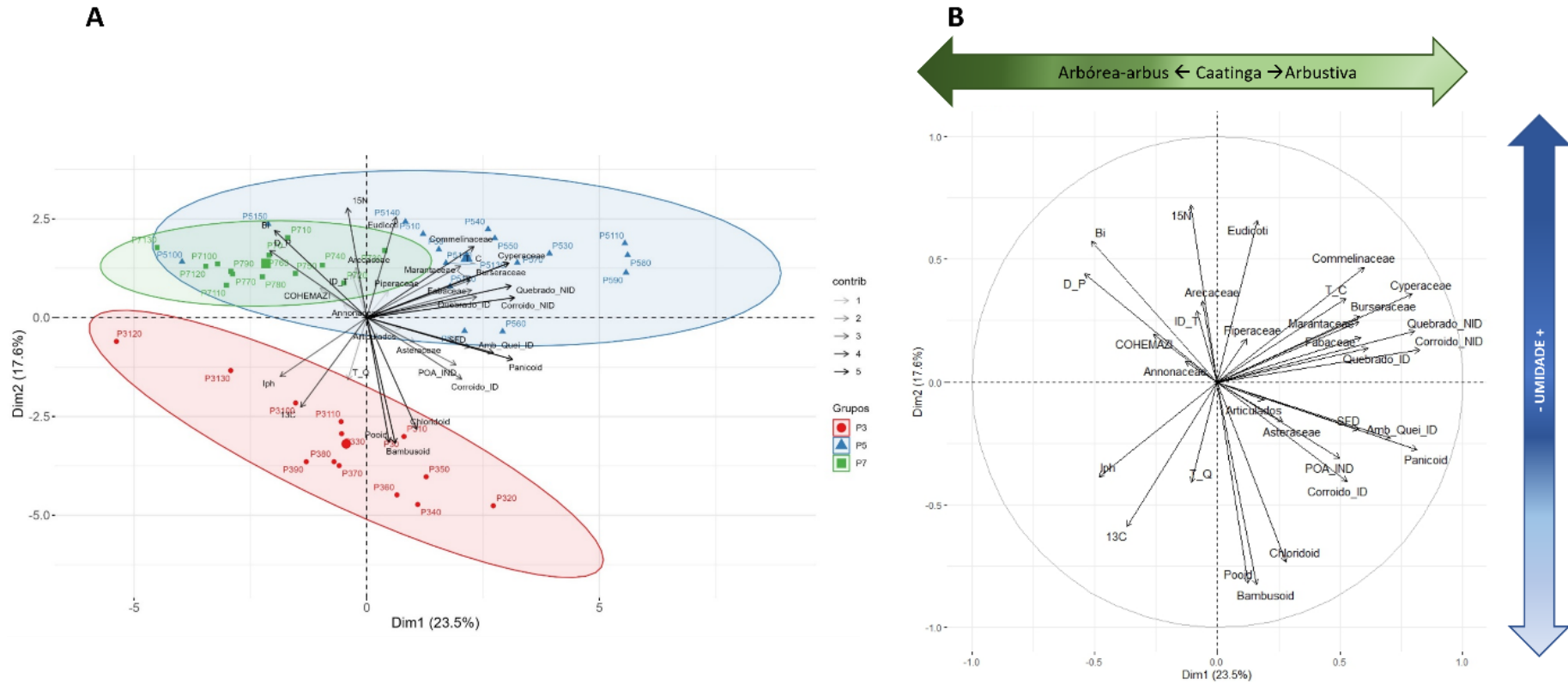


Figura 12: Distribuição vertical da assembleia de fitólitos (em %), índices fitolíticos, dados isotópicos $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e Momentos ambientais do Cambissolo Háplico (P7)



Fonte: FONSECA, C. F., 2023.

Figura 13: A) PCA Geral com profundidades a cada 10 cm e as variáveis correspondentes – P3, P5 e P7; **B)** Círculo de correlação a cada 10 cm com as variáveis correspondentes aos Cambissolos P3, P5 e P7



Fonte: FONSECA, C. F., 2023.

A análise de componentes principais (PCA) aplicada as amostras dos perfis de Cambissolo resultou que a primeira componente (CP1) explica 23,5% enquanto a CP2 esclarece 17,6% da PCA, totalizando 41,4%, representando a menor porcentagem de similaridade entre as combinações de solos (Vertissolos – Cambissolos – Neossolo e Organossolo) aqui estudadas (Figura 13).

As variáveis muito fortes para as CPs 1 e 2 foram: Cyperaceae, Panicoid, Bambusoid, Corroído_NID, Quebrado_NID e Pooid. As de contribuição muito fraca foram: T/Q, Arecaceae/Bromeliaceae, COHEMAZI, Asteraceae, ID/T, Piperaceae, Articulados e Annonaceae.

As dimensões muito forte e muito fraca estão associadas à umidade (presença/ausência) na segunda componente, uma vez que, a maioria das famílias e dos tafonomizados têm sua ocorrência influenciada pela água seja pela manutenção de uma vegetação mais densa e estável (serrapilheira, morfotipos articulados, hidromorfismo – Pooid), ou atuando na quebra, no transporte, remobilizando sedimentos das áreas mais altas do lajedo para as mais baixas e, na corrosão dos fitólitos.

Dentre os três Cambissolos, o P5 destacou-se em ocorrência de diatomácea (algas - 286), espículas de esponjas (711) e gemosclera (836), já o P3 apresentou os menores números absolutos e de acordo com o $\delta^{15}\text{N}$, a vegetação deste perfil praticamente não possui relação com ambiente aquático. Diferentemente do P5 e do P7 que demonstram maior influência da água e de outras biomineralizações de Sílica na composição do ambiente local.

Os momentos ambientais definidos por meio da análise de cluster, indicaram três zonas para o P5 e quatro zonas para os perfis P3 e P7, que são mais parecidos.

Localizado no *backslope* num planalto de relevo ondulado, o P3 apresenta um perfil de solo mal drenado, com ligeira erosão laminar, horizonte câmbico (WRB) ou horizonte incipiente e horizonte A moderado. A vegetação atual é composta por Caatinga arbórea com ocorrência de famílias típicas de Mata Atlântica: Piperaceae, Myrtaceae, Rutaceae, Sapindaceae, Rubiaceae. A descrição da assembleia e a interpretação dos três momentos ambientais (Figura 10) ligados a gênese do Cambissolo Háplico (P3), segue abaixo:

Momento I (130 - 120 cm): Abrange o horizonte C. A matéria orgânica apresenta valores isotópicos empobrecidos ($\delta^{13}\text{C}$ ~-22,5‰; $\delta^{15}\text{N}$ 7,6) indicando ambiente com plantas arbóreas e arbustivas esparsadas, mais seca que a atual. Destaque para fitólitos de SFD, POA_IND, Chloridoid, Cyperaceae, Arecaceae, Eudicoti, Panicoid, Pooid, Bambusoid, nesta

ordem de importância. A presença de fitólitos tafonomizados se sobressaem, indicando período de energia no ambiente. Foram observadas espículas de esponja e carvões na lâmina microscópica. Os índices de Iph foi de 72,1%, Bi 56,3% e D/P 0,46. Este momento ambiental possui muitos SAD que ultrapassam o número de Eudicotiledôneas.

O Momento II abrange amostras entre 110 e 60 cm e horizontes C e base do Bi. As variações permitiram dividir esse momento em três subdivisões.

Momento IIa (110 e 100cm): Esse momento representa uma transição para uma condição sensivelmente mais úmida que o anterior, conforme valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ -23‰; $\delta^{15}\text{N}$ 8‰). Destaque para a presença de fitólitos produzidos por plantas sem família definida-SFD, gramíneas POA_IND e subfamília Chloridoid, pequeno aumento de Cyperaceae, Panicoid, Bambusoid, e presença de Marantaceae, Fabaceae e Piperaceae corroborando a interpretação de uma vegetação mista, com presença de arbóreas e arbustivas. A ocorrência de fitólitos de Commelinaceae indica condições de transição úmido/seco, ambiente aberto. Diatomácea, espículas de esponjas e gemosclera estão presentes. Os índices fitolíticos, indicam ambiente transicional, com valores de Iph em torno de 82%, Bi 41% e o D/P $\leq 0,5$.

Momento IIb (90cm): Marcado por sinal isotópico que marca mistura de plantas terrestres C3 e C4 ($\delta^{13}\text{C}$ -22‰; $\delta^{15}\text{N}$ 7‰). Presença de diatomácea, espículas e gemoscleras. Apesar disto, aumentam os morfotipos de BUL, SAD, ACU e diminui os de SPH_ORN, o que sinaliza um período seco. Houve decréscimo de Eudicoti, Cyperaceae, Arecaceae. Os morfotipos de SFD aumentam. Fabaceae e Commelinaceae também ocorrem na área. Tafonomizados: aumento de Amb_Quei_ID, de corroído_ID, diminuição de quebrados. Todas essas informações somadas aos índices fitolíticos com valores de Iph de 76,5%, Bi de 38,9% e D/P 0,34, indicam energia no ambiente que pode refletir período seco, mas alternado com chuva, constatado pela corrosão dos morfotipos e pela presença de outra biomineralizações de sílica, condicionadas a presença de água, provavelmente, trazidas pelo escoamento superficial.

Momento IIc (80 a 60cm): Os valores isotópicos mantem-se empobrecidos ($\delta^{13}\text{C}$ -22‰ e $\delta^{15}\text{N}$ 6,5‰) período de estabilização da vegetação e condições mais úmidas que a anterior. Oscilação na quantidade de fitólitos de Eudicotiledôneas, SFD, Panicoideae, Pooideae, Bambusoideae e Arecaceae. Destaque em quantidade para SFD, POA_IND e Chloridoid e a presença de Heliconiaceae, Annonaceae, Fabaceae e Piperaceae e de biomineralizações de sílica de água doce. Os índices apresentam variações em seus valores, o Iph variou de 76,8 a 83,6%, o Bi de 26 a 33% e o D/P foi baixo. Esses resultados assinalam oscilação de período úmido e de menos úmido.

O Momento III abrange o horizonte Bi, BA e A, nos primeiros 50 cm superficiais do solo. Este momento foi dividido em dois períodos.

Momento IIIa (50 a 20cm): Apresenta empobrecimento isotópico em relação ao momento IIc ($\delta^{13}\text{C} \sim -24,5\text{‰}$; $\delta^{15}\text{N} 6\text{‰}$). Destaca-se a presença de gramíneas Chloridoid, SFD, POA_IND, Panicoid, Pooid, Arecaceae e Cyperaceae, porém houve pouca frequência de Bambusoideae, Commelinaceae, Asteraceae, Costaceae, Zingiberaceae, Annonaceae, Marantaceae e Piperaceae, o que demonstra fases mais secas. Presença de diatomácea, espícula e gemosclera em maior quantidade em 40 cm, indica umidade. Assim, o momento IIa se caracteriza por intercalar fases de ressecamento e umidade. A presença de Dryopteridaceae e aumento de corroídos, quebrado e amb_quei_ID indicam interferência humana.

Momento IIIb (10cm): Reflete as condições modernas marcas pela presença da Caatinga arbórea, com sinal isotópico empobrecido ($\delta^{13}\text{C} -25,8$; $\delta^{15}\text{N} 5,37$) com predomínio de C3. Este momento é mais úmido que o anterior. Destaque para SFD, Chloridoid, POA_IND, Arecaceae, Eudicoti e Panicoid. Presença de táxons de floresta úmida (Costaceae, Zingiberaceae, Annonaceae) e de Marantaceae, Fabaceae, Panicoid, Pooid, Bambusoid, Cyperaceae, Commelinaceae e de biomineralizações de sílica de água doce corroboram o aumento de umidade no ambiente. Tafonomizados corroídos se sobressaem em relação aos quebrados, estando a vegetação mais densa, assim como a serrapilheira, há a conservação dos morfotipos articulados e a menor ação da quebra nos mesmos. Iph: 79,5%, o Bi foi 28,9% e o D/P baixíssimo.

O perfil P5 foi descrito dentro do Lajedo de granito com horizonte câmbico (WRB) ou horizonte incipiente e horizonte A moderado (SiBCS). Representa um pedon bem drenado, com ligeira erosão laminar. A Caatinga arbórea arbustiva compõe a vegetação atual, sendo destaque exemplares de Fabaceae de grande porte (Consultar figura 2F, capítulo 2).

A datação das MOS desse perfil assinala inversão de idades, refletindo fases de erosão e coluvionamento do material. Assim, a interpretação dos momentos ambientais leva em consideração essa característica na definição da trajetória temporal das condições ambientais dos quatro momento identificados nesse perfil.

A descrição e a interpretação dos quatro momentos ambientais (Figura 11) ligados a formação do Camisolão Háplico (P5), segue abaixo:

Momento I (160-140 cm): Abrange amostras do horizonte C. A idade determinada para esse momento data do Holoceno superior (391 anos cal AP). Os dados isotópicos empobrecidos

assinalam uma vegetação mista semelhante a atual, composta predominantemente por plantas C_3 ($\delta^{13}C$ -25,5‰; $\delta^{15}N$ 14‰). Presença de diatomácea, espícula e gemosclera indicam umidade, que pode estar associada a corpos d'água temporários, considerando a posição topográfica do perfil e presença de fitólitos de gramínea C_3 (Pooideae) e de Burseraceae que indica atuação dos ventos. Destaque para Eudicotiledônea, SFD, Chloridoid, Arecaceae, POA_IND, Panicoid, Cyperaceae nesta ordem de importância na base do perfil. Em 150 e 140 cm há estabilidade de Eudicotiledônea, oscila SFD, ocorre aumento de POA_IND, redução de Panicoid, Chloridoid, Arecaceae, Cyperaceae e Piperaceae. Foram observados carvões e fitólitos de Pooideae (gramínea C_3) neste momento ambiental. Ocorrência de muitos tafonomizados, principalmente, quebrados e corroídos identificados. O Iph apresentou tendência de diminuição de 75 para 39,2%, o Bi aumentou consideravelmente (9 – 78%) e o D/P variou de 0,45 a 7,3. A baixa relação dos tafonomizados, indica mistura e processos tafonômicos nos morfotipos.

Momento II (130 e 110 cm): Corresponde as amostras do horizonte C, no Holoceno superior (564 anos cal AP). Este momento é caracterizado pela estabilização da vegetação ($\delta^{13}C$ -26‰; $\delta^{15}N$ 11‰) mais florestada. Ocorre a manutenção da frequência de diatomácea, espícula e gemosclera, apontando ser um período mais úmido com Bambusoid, Pooideae, Marantaceae, Cyperaceae, Commelinaceae. O Iph apresenta tendência de redução, assim como o Bi e o D/P, indicam condições de aumento na umidade. O surgimento de Burseraceae e Asteraceae indica área de influência de vento e/ou de vegetação de borda.

É preciso ressaltar que em 100 cm de profundidade do P5 praticamente não foram observados fitólitos, o que sugere um hiato deposicional.

Momento III (90-30 cm): Compreende as amostras do horizonte BC. A datação revelou uma inversão de idades, com material do Holoceno médio (~3.975 anos cal AP) sobrejacente ao horizonte C, cuja camada superior foi erodida e, foi subdividido em:

Momento IIIa (90 e 60cm): Sutil enriquecimento isotópico ($\delta^{13}C$ -25‰; $\delta^{15}N \geq 8,15$ ‰). Tendência de redução de Eudicotiledônea que é inversamente proporcional a SFD, a Panicoideae. Soma-se a isto a presença de Pooideae e Bambusoideae que demonstra aumento de umidade e calor no ambiente. A presença de Burseraceae, Asteraceae, Marantaceae, Commelinaceae e Fabaceae indicam que a vegetação ainda mantém predomínio de planta C_3 . O Iph varia de 21 a 44%, sendo a maior % em 70cm de profundidade (3.970 anos cal AP.); Bi tende a crescer sendo maior em 70cm (61%), D/P variou de 0,45 a 4,4. Nos tafonomizados, os quebrados_NID ultrapassam os corroídos NID.

Momento IIIb (50 a 30cm): Abrange o horizonte B, valores isotópicos empobrecidos ($\delta^{13}\text{C}$ -25,2‰; $\delta^{15}\text{N}$ 9‰). Presença de diatomácea, espícula e gemosclera. Aumento de Eudicoti_IND e consequente queda dos morfotipos de SFD (correlação inversa). Redução de Panicoid, Chloridoid, POA_IND e, sutil aumento Arecaceae, Cyperaceae e ocorrência de Commelinaceae, Fabaceae, Bambusoid, Pooid, Marantaceae, Asteraceae, Burseraceae e Piperaceae sinalizam uma vegetação mista com predomínio de plantas arbóreas arbustivas, sombreamento e umidade. Houve aumento de tafonomizados: Amb_Quei_ID, redução de corroídos, por conta da estabilização da vegetação e formação de serrapilheira, porém houve oscilação de quebra_ID e aumento em quebra_NID. Com relação aos índices fitolíticos, o Iph: mostrou mudança de 32 a 55%, Bi variou de 38 a 40%, o D/P oscilou de 2,5 a 5,39. Na relação dos tafonomizados, o resultado foi baixo, o que indica alta mistura e tafonomia. Fragmentos de carvão também foram observados em microscópio.

Momento IV (20 a 10cm): Agrupa as amostras dos horizontes BA e B representando o período moderno. Os valores isotópicos são os mais empobrecidos do perfil ($\delta^{13}\text{C}$ -27,2‰; $\delta^{15}\text{N}$ ~9‰), refletindo a vegetação de Caatinga arbórea arbustiva da área. Foram identificados fitólitos de Dryopteridaceae, Eudicotiledôneas, Commelinaceae, Fabaceae, Arecaceae, Asteraceae, Piperaceae, Cyperaceae, Bambusoid, Pooid e Panicoid assinala fases de temperatura mais elevada do que o momento anterior, e a presença de Chloridoid e POA_IND, indica fases mais secas. É o momento ambiental com a maior quantidade de Arecaceae. Indícios de interferência humana no horizonte superficial sinalizado pela presença de amb_quei_ID. Os outros tafonomizados também foram bem expressivos, corroído e quebra_ID, porém houve redução de quebrados em 20cm, possivelmente em consequência da vegetação mais estabilizada em florestal. O Iph obteve crescimento de 55 para 89%, o Bi de 25 a 30% e o D/P de 0,89 a 2,8 inferindo oscilação de umidade.

O perfil P7 está localizado no *toeslope* dentro de um lajedo de granito. O pedon apresenta-se bem drenado, com ligeira erosão laminar, Hz câmbico (WRB) ou horizonte incipiente e horizonte A moderado. A Caatinga arbórea arbustiva compõe a vegetação atual com exemplares de Myrtaceae, Fabaceae, Solanaceae, *Erythroxylum* etc. Segue abaixo a descrição e a interpretação dos três momentos ambientais (Figura 12) envolvidos na gênese do Cambissolo Húmico (P7):

Momento I (130 - 100 cm): Agrupa as amostras dos horizontes C2 e C1 com sinal isotópico empobrecido ($\delta^{13}\text{C}$ ~-24‰; $\delta^{15}\text{N}$ (9,9‰), porém, mais enriquecido do que a vegetal atual, assinalando uma vegetação terrestre com maior participação de plantas C₄. Destaca-se a

ocorrência de fitólitos de Eudicoti, SFD, POA_IND, Arecaceae, Chloridoid e Panicoid, Cyperaceae, Heliconiaceae, Commelinaceae e Bambusoid, respectivamente, em ordem de importância. Detectou-se a presença de Pooide e Fabaceae e, em pouca quantidade, foram observadas biomineralizações de sílica de água doce na base do perfil. A variação dos índices dentro desse momento, isto é, Iph 72,7%, Bi variou de 47 a 60,7% e o D/P maior na base e tendência de redução de 43 a 18, permite inferir oscilação entre seco e chuvoso, favorecendo a remobilização de sedimentos de áreas mais íngremes para a área do perfil, no sopé do lajedo, o que é corroborado em razão da quantidade de corroído/quebrado. Possivelmente houve o recuo do Cerrado para o a base do lajedo. Infere-se a ocorrência de incêndio, pois foram observados fragmentos de carvão em microscópio.

Momento II: Corresponde as amostras entre 90-60 cm que foi subdividido em dois devido a variações na composição e distribuição da assembleia de fitólitos.

Momento IIa (90 e 80 cm): Agrupa as amostras dos horizontes BC e Bi, apresenta valores isotópicos empobrecidos, semelhantes ao do Momento I ($\delta^{13}\text{C} \sim -24,3\text{‰}$; $\delta^{15}\text{N} \sim 10,5\text{‰}$), assinalando vegetação mista, com maior predomínio de plantas terrestres C₃. A assembleia de fitólitos mantém-se parecida com a do momento I, porém com ocorrência de morfotipos produzidos por Marantaceae, Piperaceae, Fabaceae, Asteraceae e Pooide, o que demonstra uma melhora nas condições de umidade, que pode ser efeito de borda na vegetação com atuação do vento, uma vez que os índices Iph: (85 e 66%), Bi: (63 e 68%), apontam tendência ao contrário, isto é, de ressecamento e/ou forte sazonalidade. O índice D/P: 22,9 e 21 assinala que a vegetação arbórea se mantém. Acredita-se em indícios de incêndios devido ao aumento na quantidade de morfotipos tafonomizados (amb_Quei_ID), associados a grande quantidade de microcarvões encontrados. Ainda sobre os tafonomizados, ocorre oscilação de corroídos e quebrados, o que aponta alteração entre ressecamento e chuvas.

Momento IIb (70 e 60cm): Reúne as amostras do horizonte BA e mantém o empobrecimento isotópico, indicando vegetação mista, com predomínio de plantas C₃ ($\delta^{13}\text{C} - 24,5\text{‰}$; $\delta^{15}\text{N} 10,3\text{‰}$). Este momento apresenta assembleia fitolítica com praticamente os mesmos destaques botânicos que o Momento IIa, diferindo pelo sutil crescimento de morfotipos de Eudicoti, Arecaceae, POA_IND, Chloridoid, Cyperaceae e Heliconiaceae e a introdução de morfotipos de Annonaceae, Zingiberaceae, Asteraceae e Piperaceae, caracterizando aumento de umidade e de temperatura, bem como a atuação de ventos. Essa interpretação diverge da tendência de ressecamento do ambiente (Iph: 73 a 84,7%, Bi: 60 a 91%) e da redução da

cobertura arbórea (D/P: 7,5). A variação na distribuição dos tafonomizados indica sazonalidade, comuns no semiárido.

Momento IIIa (50 a 40cm): Representa as amostras do topo do horizonte BA. O sinal isotópico indica vegetação mista com predomínio de plantas C_3 ($\delta^{13}C$ 24,7‰; $\delta^{15}N$ 9,7‰). Com destaque para os morfotipos redundantes (SFD), Eudicoti, Arecaceae, POA_IND, Chloridoid, Heliconiaceae, Panicoid, Cyperaceae, Commelinaceae, nesta ordem de importância e quantidade. Presença de fitólitos de Costaceae, Annonaceae, Asteraceae, Burseraceae, Fabaceae e Piperaceae indica melhora de umidade, que é corroborado pela presença de espículas e gemosclera de esponjas fragmentadas. O aumento de fitólitos de plantas lenhosas (SPH_ORN) e de gramíneas C_3 Pooid reforçam a premissa de aumento de umidade no local. A presença de morfotipo de Burseraceae (*Commiphora* sp.), planta típica de ambiente aberto e luminoso, atestam uma condição de vegetação semelhante a atual. Os valores do índice Iph variaram de 75,5 a 83,3%, do Bi entre 87 e 81% e o D/P de 6,5 a 6,8.

Momento IIIb (30 a 10cm): Agrupa amostras dos horizontes superficiais A2 e A1 que corresponde a fase de transição para as condições atuais, com vegetação composta predominantemente por plantas C_3 ($\delta^{13}C$ -25,8‰; $\delta^{15}N$ 9,3‰). Há elevada presença de morfotipo SPH_ORN, produzido por plantas arbóreas, corrobora a evolução para a atual Caatinga arbórea arbustiva do local. Diatomácea, espícula e gemosclera foram observadas em elevada quantidade, o que pode estar associado a escoamento superficial de água, sedimentos, MO e maior interceptação umidade do ar, pois a vegetação mais frondosa, estável juntamente com a serrapilheira densa, captam mais gotículas de água e mantém o solo mais úmido. Destaque para os morfotipos de SFD, Eudicoti, Arecaceae, POA_IND, Chloridoid, Panicoid, Cyperaceae, Heliconiaceae, Commelinaceae nesta ordem de importância. Costaceae, Marantaceae, Annonaceae, Asteraceae, Fabaceae e Piperaceae estiveram presentes. Foram observadas partículas de carvão em microscópio em menor quantidade se comparado as demais profundidades deste perfil. O Iph obteve tendência de redução (67,9%) assinalando aumento de umidade e da cobertura arbórea, enquanto o Bi subiu (92,3%), podendo-se inferir presença humana mais relevante na modificação da paisagem para o uso e ocupação do solo (agricultura, forragem para os animais).

c) Neossolo e Organossolo

O Neossolo (P2) e o Organossolo (P4) apresentaram assembleia de fitólitos que revelou presença significativa de morfotipos de Poaceae, mais expressivamente das subfamílias Chloridoideae, Panicoideae, e das famílias Arecaceae e Eudicotiledônea indeterminadas. Além de morfotipos redundantes produzidos por plantas sem família definida (SFD) (Tabela 6).

De todos os sete perfis, os P2 e P4 possuem as assembleias mais preservadas. Localizados na encosta de lajedo, com serrapilheira, vegetação mais densa e sombreamento, o que contribui para a umidade do solo, temperaturas mais baixas e conservação da MOS. Em relação ao T/C, o P4 apresentou a maior média de preservação, já o P2 a menor entre todos os sete perfis. Os pedons P2 e P4 expressaram as menores médias de T/Q e as de ID/T, sinalizando menor influência na tafonomia e por mistura na assembleia (Tabela 7).

No perfil P2 (Neossolo), destaca-se o predomínio de fitólitos produzidos por plantas de forma de vida arbórea e arbustiva (Eudicotiledônea e Arecaceae). Os morfotipos produzidos por Eudicoti_IND representam, considerando os valores médios de cada categoria, 19,7% da assembleia do perfil, seguido pelas Arecaceae – palmeiras (36,1%) e as Piperaceae (1,2%) (Tabela 6; Figura 14).

Entre as gramíneas, destaca-se a alta frequência de Chloridoideae (2,7%) e, menos expressiva, de Panicoideae (0,5%). O P4 (Organossolo) apresentou maior diversidade de morfotipos de famílias botânicas que o P2. A assembleia também tem maior contribuição de fitólitos produzidos por plantas arbóreas arbustivas (Tabela 6: Figura 14), porém as gramíneas são mais expressivas em comparação ao P2. Os morfotipos de Chloridoideae representam 13,8% da assembleia do perfil, seguido pelas Panicoideae (3,8%), Bambusoideae (1,5%) e 0,8% de Pooideae, que não foi identificada no P2. As palmeiras continuam a representar parte significativa da assembleia do perfil e corresponde a 36,9%, seguidas por Eudicoti_IND (25,7%). Morfotipos redundantes (SFD) são expressivos, representando 10,3% da assembleia.

O P4 exibiu maior valor médio para os Amb_Quei_ID. Este tipo de tafonomia é comum no NE, por conta dos incêndios relatado para o Holoceno (Pessenda *et al.*, 2010; 2015; Marques, 2019), apesar de ser pouco citado pelos autores que desenvolveram estudos com a temática para a Região.

Tabela 6: Composição da assembleia fitolítica em porcentagem (média de frequência) por família e subfamília de plantas dos perfis Neossolo (P2) e Organossolo (P4)

Famílias	Subfamília	Frequência média (%)	
		P2	P4
Poaceae	Panicoideae	0,5	3,8
	Bambusoideae	0,1	1,5
	Chloridoideae	2,7	13,8
	Pooid	0,0	0,8
POA_IND		0,7	2,9
Cyperaceae		0,4	1,3
Arecaceae		36,1	36,9
Comme_Heli		0,2	0,0
Commelinaceae		0,0	1,1
Piperaceae		1,2	0,8
COHEMAZI		0,0	0,7
Asteraceae		0,1	0,3
Eudicotiledônea- IND		49,7	25,7
SFD		8,4	10,3
Total		100	100

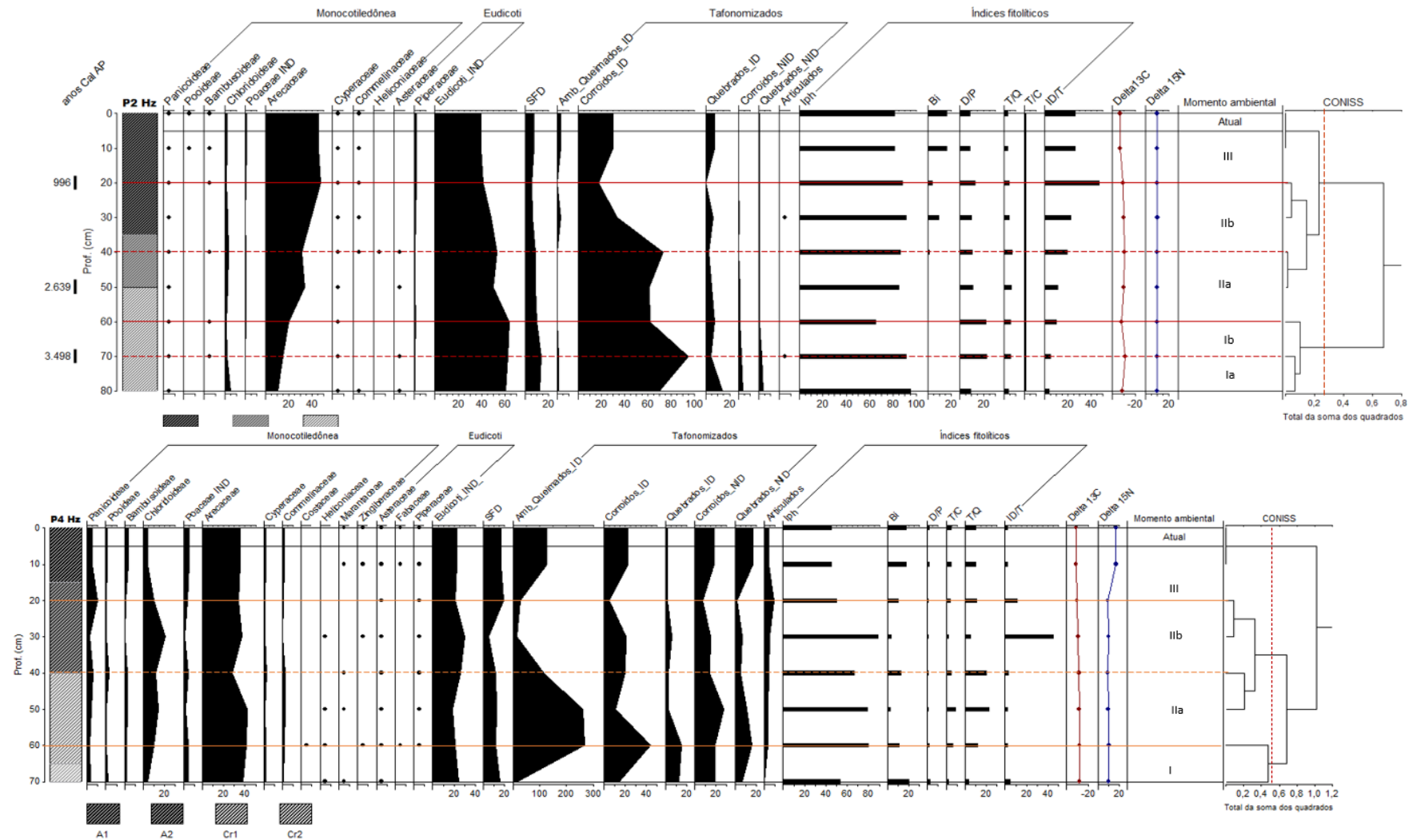
Fonte: FONSECA, C. F., 2023.

Tabela 7: Valores médio por perfil dos índices fitolíticos do Neossolo (P2) e do Organossolo (P4).

Perfil	Índices					
	Iph	Bi	D/P	T/C	T/Q	ID/T
P2	85,01	5,18	12,74	1,32	5	18,95
P4	63,31	12,11	1,33	4,42	11,57	9,07

Fonte: FONSECA, C. F., 2023.

Figura 14: Distribuição vertical da assembleia de fitólitos (em %), índices fitolíticos, dados isotópicos $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e Momentos ambientais do Neossolo (P2) e do Organossolo (P4).



Fonte: Dados obtidos a partir dos proxies da assembleia fitolítica fóssil – FONSECA, C. F., 2023.

Em relação aos corroídos (ID e NID) e aos quebrados (ID e NID), o P4 obteve as menores médias de todos os perfis. Esses dados indicam que a assembleia é formada por corpos silicosos *in situ*, sendo o P4 o perfil com maior presença de articulados, com baixa influência de material proveniente de outras áreas, até mesmo porque a posição do relevo favorece essa situação.

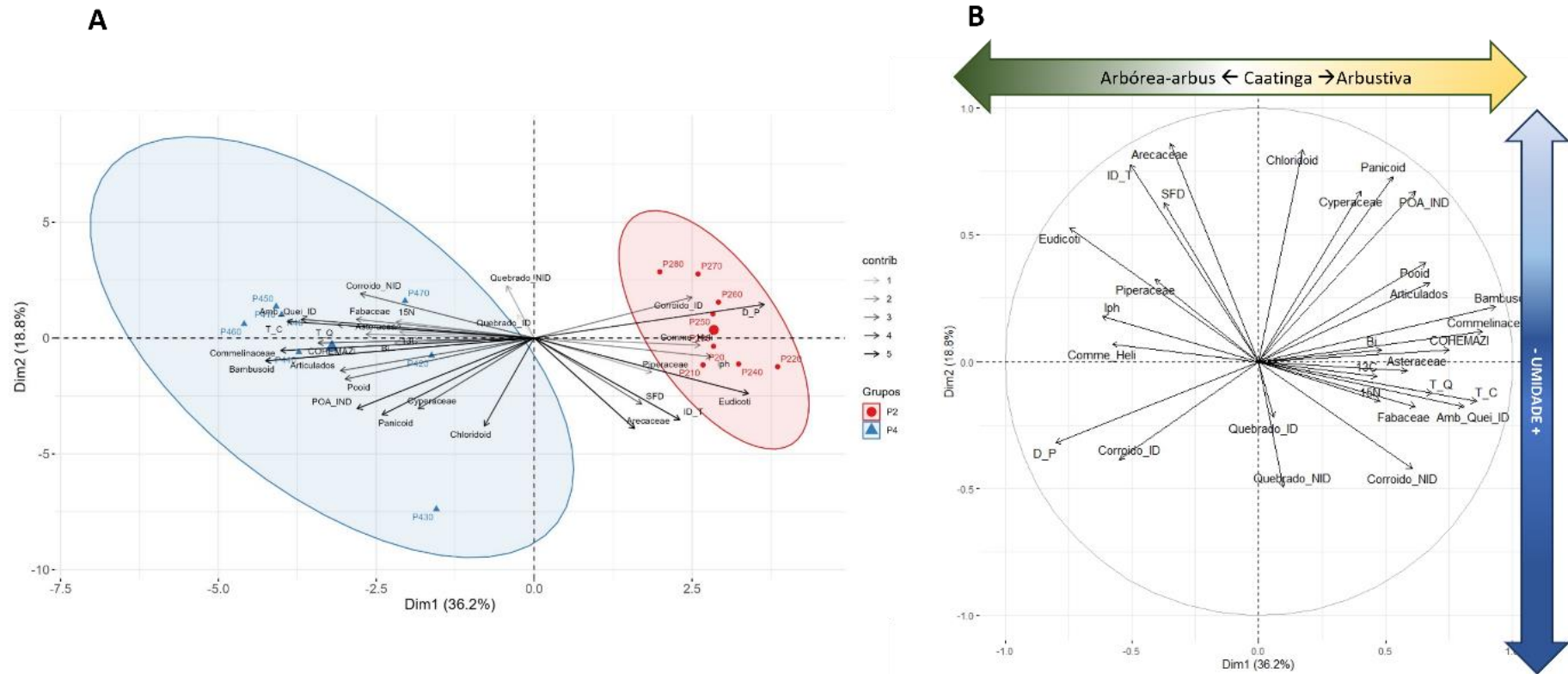
De acordo com os resultados da análise componentes principais aplicada aos dados dos proxies dos perfis estudados, a primeira componente (CP1) explica 36,2% enquanto a CP2 esclarece 18,8% da similaridade de dados, totalizando 55%, o que configura como a maior porcentagem de similaridade entre as combinações de solos desse estudo Vertissolo – Cambissolos – Neossolo e Organossolo, aqui analisadas. Com relação à localização geográfica, P2 e P4 estão situados na encosta de Lajedo caracterizado um brejo de altitude em área de influência de neblina, resultando em captação de água por escoamento superficial e por interceptação das gotículas de água pela vegetação local.

As variáveis que mais contribuíram para caracterização e diferenciação dos perfis P2 e P4 para as CPs 1 e 2 foram: Bambusoid, Arecaceae/Bromeliaceae, ID/T, Eudicotiledônea, POA_IND e Panicoid. As de contribuição mais fraca foram: Piperaceae, Quebrado_NID e ID, $\delta^{15}\text{N}$, Bi e $\delta^{13}\text{C}$ (Figura 15).

As dimensões muito fortes (M Forte) e a muito fraca (M Fraca) possuem correlação direta com a disponibilidade hídrica, visto que, com exceção das POA_IND, os demais táxons botânicos são típicos de ambiente quente e úmido, o ID/T está relacionado a vegetação mais frondosa, a manutenção da serrapilheira, e a melhor preservação dos silicofitólitos; a água de escoamento superficial influencia no transporte e na quebra dos morfotipos e, na composição isotópica da MOS expressa pelo $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$.

As Poaceae, Cyperaceae, Commelinaceae, COHEMAZI (Costaceae, Heliconiaceae, Marantaceae e Zingiberaceae) necessitam de luz para se desenvolverem, indicando maior espaçamento entre as plantas para que os raios solares possam chegar até o solo. Os tafonomizados e suas correlações são influenciados pela disponibilidade (ausência/presença) hídrica.

Figura15: A) Análise dos Componentes Principais - PCA do Neossolo (P2) e do Organossolo (P4); **B)** Círculo de Correlação da PCA P2 e P4. Relação da umidade na fitofisionomia da vegetação



Fonte: FONSECA, C. F., 2023 – baseado em dados da assembleia fitolítica e do ^{13}C e ^{15}N .

Localizado no *footslope* dentro de um lajedo de granito, o pedon do Neossolo Regolítico (P2) mostrou-se bem drenado, com sinais de erosão laminar pouco intensa e presença de fragmentos de rocha grossos dentro do perfil e horizonte A moderado (SiBCS). Atualmente a vegetação é composta por uma Caatinga arbórea arbustiva. A análise estatística dos dados evidenciou a presença de diferenças nos conjuntos de dados dos proxies, interpretados como três momentos ambientais, descritos a seguir (Figura 14):

Momento Ia (80 e 70 cm) – (3.498 anos cal AP): Abrange as amostras do horizonte C e reflete um momento com ocorrência de vegetação mista, composta predominantemente por plantas C₃ ($\delta^{13}\text{C}$ -25,45‰ e -24,38‰; $\delta^{15}\text{N}$ 9,82‰). A assembleia dos fitólitos corrobora os dados isotópicos pela presença de morfotipos de Eudicotiledônea, Arecaceae, Cyperaceae, Commelinaceae, Asteraceae e Piperaceae. As plantas C₄ são representadas pelas gramíneas das subfamílias Chloridoid, Panicoid e Bambusoid. Não foram identificadas diatomácea, espículas de esponjas e nem gemosclera, assinalando menor umidades no ambiente. A influência de borda de vegetação e transição entre sombreado/luminoso (aberto) é inferida pela identificação de fitólitos de Commelinaceae e Asteraceae. Os índices fitolíticos D/P e o Iph apresentam valores elevados, respectivamente 91% e 95%, assinalando um ambiente mais úmido que atual e mais quente. As relações de tafonomia (T/Q, T/C e ID/T) assinalam baixa atividade de corrosão, quebra e mistura.

Momento Ib (60cm): Reúne as amostras do topo do horizonte C e difere-se do momento anterior por apresentar uma estrutura de vegetação mais florestada, com maior predomínio de plantas C₃ na composição isotópica do material orgânico ($\delta^{13}\text{C}$ -25,45‰ e $\delta^{15}\text{N}$ 9,89‰). Observa-se aumento de fitólitos de Eudicotiledônea e do índice D/P (22), indicando uma vegetação mais florestada com Arecaceae e Piperaceae. As plantas C₄ são representadas por gramíneas Chloridoid, Panicoid e Bambusoid. Os tafonomizados Amb_Quei_ID, Corroí_ID e NID e, Quebra_NID são menos frequentes em relação ao momento anterior. O valor do índice Iph foi o menor de todo o perfil (65,1%).

Momento IIa (50 e 40cm) – (2.639 anos AP): Agrupa amostras do horizonte AC, e destaca-se por apresentar um sutil empobrecimento isotópico do carbono da MOS ($\delta^{13}\text{C}$ -24,7‰), que reflete uma diminuição na contribuição de plantas C₃, tal como assinalada pela assembleia de fitólitos que indicou redução de morfotipos de Eudicotiledônea, e aumento de Arecaceae. O índice D/P apresentou redução mantendo valores em torno de 11. Houve aumento na frequência de fitólitos de Chloridoideae indicando diminuição de umidade em relação ao momento I, entretanto a presença de Panicoid, Cyperaceae, Asteraceae,

Bambusoid, Commelinaceae e Heliconiaceae assinala não ser uma diminuição muito severa no ambiente nesse período datado em 2.639 anos cal AP. O índice Iph variou de 84 a 86% corroborando a diminuição de umidade no ambiente.

Momento IIb (30 e 20 cm) (996 anos cal AP): Embora a composição isotópica da MOS se mantenha semelhante ao do momento IIa ($\delta^{13}\text{C} \sim -25\text{‰}$; $\delta^{15}\text{N} \text{ } 10\text{‰}$), esse momento apresenta sutil aumento nas condições de umidade, favorecendo o desenvolvimento de uma vegetação com menos gramíneas Chloridoideae, adaptada a condições semiáridas, e ocorrência de Bambusoid, Panicoid, Cyperaceae, Commelinaceae. Os índices refletem condições ainda de baixa umidade (Iph 91 e 88%) e sazonalidade (Bi 8,9 e 3,84%) e baixa cobertura arbórea (D/P 9,5 e 12,76).

Momento III (10cm): Representa a condição atual de vegetação arborizada, dominada por plantas C_3 ($\delta^{13}\text{C} -26,31\text{‰}$). A condição de aumento na umidade do ambiente é assinalada presença de frústulas de diatomácea e espícula de esponja, bem como de fitólitos produzidos por gramíneas C_3 (Pooideae), e de C_4 adaptadas a condições de melhor disponibilidade hídrica (Bambusoid e Panicoid). Aumento de corroídos e quebrados identificados e os índices Iph 81%, Bi 16,2% e D/P 8,6, assinalam, respectivamente um ambiente com sazonalidade e uma cobertura arbórea maior que o momento anterior.

O perfil P4, Organossolo, descrito no *backslope* do Lajedo, considerado bem drenado, com moderada erosão laminar, apresenta presença de fragmentos grosso dentro do perfil e horizonte A moderado. Atualmente, a vegetação é composta de Caatinga arbórea arbustiva densa, com ocorrência de arbóreas arbustivas das famílias Cannabaceae, Ebenaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Malpighiaceae, Phyllanthaceae, Polygalaceae, Polygonaceae, Salicaceae, Solanaceae, Turneraceae. A descrição e a interpretação dos três momentos ambientais ligados a gênese do Organossolo (P4) (figura 14), segue abaixo:

Momento I (70 e 60 cm): Reúne as amostras dos horizontes Cr (Cr1/Cr2), destaca-se pela composição isotópica da MOS que indica vegetação mista com predomínio de C_3 ($\delta^{13}\text{C} \sim -24\text{‰}$ e $\delta^{15}\text{N} \text{ } 10,4\text{‰}$). A assembleia fitolítica assinala presença de Arecaceae, Eudicoti, gramíneas Chloridoid e Panicoid, na composição da vegetação. O que permite inferir uma vegetação arbórea esparsada com arbustos, Poaceae e Arecaceae, com indicativo de fases mais úmidas pela presença de fitólitos de herbáceas C_3 (Pooideae e Cyperaceae). A temperatura elevada é assinalada pelas gramíneas C_4 (Bambusoid, Panicoid) e plantas das famílias Commelinaceae, Costaceae, Heliconiaceae, Marantaceae, Zingiberaceae, Asteraceae, Fabaceae e Piperaceae. A presença de fitólitos queimados (Amb_Quei_ID) sugerem a

presença de fogo, que pode ser atribuído a presença humana associada aos táxons utilizados em dieta alimentar de povos antigo, os Kariris. A quantidade de corroídos pode estar vinculada a água, advinda de chuvas mais intensas e os quebrados ao transporte desse material sendo remobilizado do topo do Lajedo para as áreas mais baixas do relevo. Índices fitolíticos corroboram as interpretações de clima quente e mais seco que o atual: D/P (2,31 e 1,71), Bi (20, 2 e 11,32%) baixos e, Iph entre 53 e 80%.

Momento IIa (50 e 40cm): Refere-se as amostras do horizonte Cr1 e não apresenta mudança na composição isotópica em relação ao momento IIa, com uma vegetação mista aberta, com predomínio de plantas C₃, poucas arbóreas arbustivas, tal como indicado pelo índice D/P (0,6 e 0,8). Presença crescente de diatomácea, de algumas poucas gemoscleras e de Dryopteridaceae e Thelypteridaceae, indica presença de umidade no solo, embora um sutil aumento de Arecaceae e Chloridoid e a diminuição de Eudicoti seja observado na composição da assembleia. Continuação da presença humana, porém menos expressiva, é assinalada pela ocorrência de fitólitos de táxons de dieta alimentar (Heliconiaceae, Marantaceae) e dos tafonomizados Amb_Quei_ID. Ambiente quente e úmido com presença de Bambusoid, Panicoid, Pooid, é corroborado pelos resultados obtidos nos Iph (78,6 e 66,6%), Bi (2,8 e 12,8%).

Momento IIb (30 e 20cm): Abrange as amostras do horizonte A2 e apresenta mesmo padrão de composição isotópica da MOS ($\delta^{13}\text{C}$ -24,61‰ e -25,23‰ e $\delta^{15}\text{N}$ ~10). Presença de arbóreas (Eudicoti, Arecaceae) e de gramíneas Chloridoid, Panicoid, Pooid, Bambusoid e Cyperaceae. Esse momento apresenta indícios de menor presença antrópica pela redução de táxons usados em dieta humana (Heli_Zingibera), e dos tafono Amb_Quei_ID. Os índices assinalam uma vegetação menos arborizada que atual (D/P 0,8) e sazonalidade na distribuição da umidade (Bi 3,8 - 10,4%) e mais seco que atual (Iph de 88 a 50%).

Momento III (10 cm): Corresponde ao horizonte A1 e representa a condição moderna na área do perfil, que apresenta vegetação mista, com predomínio de C₃ ($\delta^{13}\text{C}$ -25,5‰; $\delta^{15}\text{N}$ 17,12‰). A assembleia de fitólitos reflete a vegetação sobrejacente, marcando a presença de Arecaceae, Eudicotiledôneas, Marantaceae, Zingiberaceae, Piperaceae, Fabaceae, Asteraceae e Commelinaceae. Entre as gramíneas destaca-se a presença de Bambusoid, Pooid. Os índices assinalam uma vegetação mais arborizada que o momento IIb (D/P 1,7), maior sazonalidade (Bi 17,6%) e o mais úmido (Iph 44,7%). Esse momento apresenta evidências de intervenção humana, pela presença de fitólitos queimados.

4.4 Discussão dos Resultados

4.4.1 O Holoceno no semiárido do Nordeste brasileiro

O Quaternário é muito abordado no estudos de reconstituição paleoambiental, sendo subdividido em Pleistoceno e Holoceno (Ledru *et al.*, 1996; 2006; De Oliveira *et al.*, 1999; Corrêa, 2001, 2008; Cruz *et al.*, 2009; Pessenda, 2003; Pessenda *et al.*, 2010; Xavier, 2012; Guimarães *et al.*, 2013; Villanueva, 2014; Silva-Listo *et al.*, 2017; Medeiros *et al.*, 2018; Marques, 2019; Utida *et al.*, 2020; Wanderley *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2022). O Holoceno é compreendido entre 11.700 anos AP aos dias atuais, sendo caracterizado por alterações importantes no clima relacionadas à temperatura, precipitação, variação do nível do mar, etc. (Melo & Marengo, 2008). Esta série/época tem sua importância também por abranger o desenvolvimentos de várias civilizações e do avanço da tecnologia, das quais a humanidade pode utilizá-las para modificar o ambiente natural (Salgado-Labouriau, 2007).

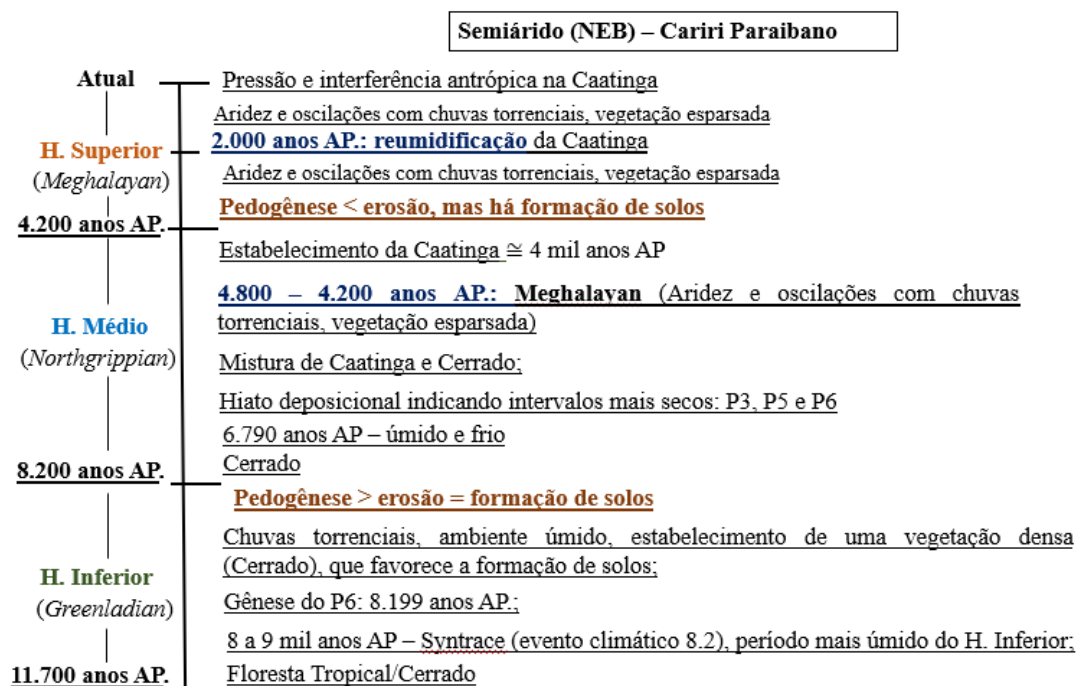
Ao correlacionar configurações da paisagem com os estágios/idades do Holoceno é necessário cautela, visto que, o Holoceno médio para as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil foi seco, porém para o Nordeste foi marcado pela umidade e temperaturas mais baixas que as atuais (Melo & Marengo, 2008; Lira, 2014; Amorim, 2016). Os estudos multiproxies têm fornecido dados para uma melhor compreensão das alterações climáticas e evolução da paisagem em diferentes escalas no Nordeste Brasileiro (NEB), indicando variações ambientais (Figura 16).

De acordo com as idades obtidas nesse estudo, em especial no perfil P6 (Vertissolo), proxies utilizados indicaram condições de fluxos e transporte de material durante o Holoceno inferior que podem ter contribuído na formação do solo. O Holoceno inferior no NEB é descrito com ocorrência de eventos de chuvas torrenciais. Nos momentos ambientais desse perfil foram identificados por meio da assembleia de fitólitos e da composição isotópica da MOS ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) a presença de plantas adaptadas a ambiente úmido e a presença de algas (Figura 08 - momento ambiental P6).

Esses resultados veem ao encontro dos estudos que indicaram que o Holoceno Inferior no semiárido nordestino foi marcado por importante umidade e temperaturas mais baixas que as atuais (Nace *et al.* 2014, Cruz *et al.* 2009, Cheng *et al.*, 2009). O modelo *Syntrace*, representado pelo evento climático 8.2 (Bond *et al.*, 1997), indica que entre 9 a 8 mil anos AP foi a fase mais úmida do H. Inferior (Nace *et al.* 2014), condição corroborada pelos estudos de Cruz *et al.* (2009) e Cheng *et al.*, (2009) em pesquisas com isótopos de espeleotemas no

RN e na BA, respectivamente. De Oliveira *et al.* (1999) em Icatu/BA e de Montade *et al.* (2014) no CE baseados em pólen – indicam que nesta fase ocorreram elementos arbóreos, característicos da vegetação Atlântica e Amazônica no semiárido, associando a uma condição de maior umidade.

Figura 16: Esquema sobre os eventos marcantes do Holoceno no semiárido do nordeste brasileiro – Cariri Paraibano. De acordo com a nova cronoestratigrafia 2023. *Stratigraphy.org*



Fonte: Baseado em dados dos setes solos estudados do Cariri Paraibano e nos seguintes autores: Ledru *et al.*, (1996); Bond *et al* (1997); De Oliveira *et al* (1999); Corrêa, 2001; Ribeiro, 2002; Melo & Marengo, 2008; Cheng *et al.*, (2009); Cruz *et al* (2009); Guimarães *et al.* (2013); Nace *et al* (2014); Mendes (2016); Dias *et al.* (2018; 2019a, 2019b); Medeiros *et al* (2018); Medeiros (2019); Utida *et al* (2020); Dócio *et al.* (2021); Souza *et al* (2022).

A localização do perfil P6 em fundo de vale pode ter favorecido a sua gênese, pois o fluxo de energia provocado pelas chuvas, promove o acúmulo de sedimentos no segmento mais baixo do relevo (Fishkis *et al.*, 2009; Brady, 2013; Cavalcanti, 2018; Resende *et al.*, 2019). O transporte de material até o sopé do lajedo pode favorecer a presença dos morfotipos tafonomizados, sobretudo os quebrados, como registro do transporte nas vertentes (Koehler, 2001; Costa *et al.*, 2019).

Evidências de mudanças de condições úmidas para maior aridez no semiárido foram encontradas nas amostras dos perfis P2, P5 e P6, em momentos ambientais associados ao Holoceno médio. Esse Período tem sido caracterizado para o semiárido brasileiro como sendo úmido e de temperaturas mais baixas que as atuais na base e mais seco na transição com o

Holoceno superior. Estudos indicam que por volta de 9.000 a 4.700 anos AP, houve o chamado *Ótimo Climático*, favorecendo o estabelecimento de uma vegetação mais frondosa que a atual, com mistura de Cerrado – Caatinga e algumas espécies de Mata Atlântica, além da formação de diferentes solos na região Nordeste (Corrêa, 2001; Amorim, 2016; Tavares, 2015; Medeiros, 2019).

Uma fase de aridez abrupta foi detectada por Utida *et al.* (2020) ente 4.800 a 4.200 anos, intercalada com *inputs* de precipitações intensas, conhecido como *Meghalayan*. Esses pulsos secos foram detectados por meio da assembleia de fitólitos nos perfis estudados, que assinalam aumento plantas C₄ (gramíneas) e a diminuição de corpos silicosos de diatomácea, espículas de esponjas e gemoscleras, além de aumentar os morfotipos de Asteraceae, indicando a diminuição da umidade e certa abertura na vegetação local. Ainda em 70 cm de profundidade do P6 (Vertissolo, Lagoa da Craibeira, Lajedo da Salambaia, Cabaceira/PB), datado em 3.710 anos Cal AP, há o indicativo de ciclo seco, formando “quase um hiato deposicional”, já em 50 e 60cm ocorre um retorno de umidade, demonstrando claramente as oscilações climáticas no local.

Condição mais árida também foi observada nos dados do P5 (Cambissolo, Lajedo do Bravo, Boa Vista/PB), indicando em 3.970 anos Cal AP a entrada da Caatinga associado a uma fase de menor umidade e temperaturas mais altas que o Holoceno inferior, com aumento dos valores dos índices de Iph e do Bi, marcadores de aridez e sazonalidades, respectivamente. Este resultado está em concordância com os resultados de Ledru *et al.* (1996), Medeiros *et al.*, (2018), Medeiros (2019) e Souza *et al.*, (2022) que indicam a instalação da Caatinga por volta de 4 mil anos AP no Nordeste brasileiro.

Por volta de 3.498 anos Cal AP a pedogênese do perfil P2 (Neossolo, Serra da Engabelada, Congo/PB) parece ter se desenvolvido em uma área com vegetação com de Bambusoideae, Eudicotiledôneas, Commelinaceae, Arecaceae, possivelmente, numa transição entre Cerrado/Floresta Atlântica e alguns exemplares botânico de Caatinga. Considera-se que a diminuição da umidade causada por episódios de seca prolongada, provocou o recuo de algumas espécies para a encosta do cristalino, onde está posicionado o P2. A hipótese é que a vegetação mais densa que ocupava a depressão interplanáltica recuou para a encosta do cristalino em resposta a entrada de um período menos úmido e de maior temperatura.

Acredita-se que para o P5, as variações climáticas ocorridas desde o Holoceno médio ocasionaram processos erosivos com revolvimento de material que causaram coluvionamento.

Os grandes picos de precipitações podem ter provocado a remobilização de solos/sedimentos já formados a montante que foram transportados para uma área interna do Lajedo do Bravo ocasionando a formação deste Cambissolo do P5.

As alternâncias climáticas detectadas para o Cariri Paraibano, de acordo com a literatura, perduram até aproximadamente 2 mil anos AP (Medeiros *et al.*, 2018). A partir daí, ocorre o processo de reumidificação e estabilização da Caatinga, semelhante aos padrões atuais e, continuam as oscilações entre secas prolongadas e chuvas de grande magnitude (Medeiros *et al.*, 2018; Dias *et al.*, 2019; Marques 2019; Utida *et al.*, 2020). Está dinâmica foi constatada em todos os sete solos estudados, na profundidade de 30 cm até o topo dos perfis, apesar de que nem todos tiveram a MOS datadas por AMS.

Essa sazonalidade climática associada aos outros fatores ambientais, como o relevo, a posição geográfica e a vegetação, proporcionou a configuração atual da paisagem, porém a crescente pressão e interferência antrópica podem acelerar processos, que seriam naturais e, degradar as áreas úmidas e subúmidas do Cariri Paraibano.

4.4.2 Possível Ocupação Humana em Áreas de Lajedo no Cariri Paraibano

Considerando que foram encontrados vestígios de ocupação humana nos perfis P4 e P6 por meio da ocorrência de fitólitos queimados, associados a ocorrência de fitólitos de táxons botânicos de plantas conhecidamente utilizadas na dieta alimentar pelos grupos de povos originários (Cyperaceae, Heliconiaceae, Marantaceae e Zingiberaceae), faz-se necessário discutir a presença e influência antrópica nas memórias biológicas preservadas nos solos da área do estudo.

Os registros arqueológicos sobre a ocupação humana no NEB, testemunham a importância do Holoceno para a região. O padrão de ocupações é similar a outras regiões do País, assim como para a América do Sul, sendo o Holoceno² inferior (H. inferior - 11.700 a 8.200 mil anos AP, atualmente chamado idade *Greenlandian* – stratigraphy.org) e o superior (H. superior – 4.200 anos AP aos dias atuais, idade *Meghalayan*) considerado de alta frequência, em contraste com o Holoceno médio (H. médio - 8.200 a 4.200 anos AP, idade

² A International Commission on Stratigraphy divulgou no segundo semestre de 2023 a nova tabela de cronostratigrafia subdividindo a época do Holoceno em três estágios/idades: *Meghalayan* (4.200 anos aos dias atuais); *Northgrippian* (8.200 -4.200 anos) e *Greenlandian* (11.700 – 8.200 anos).

Northgrippian), marcado pela baixa presença dos povos antigos (Goldberg *et al.*, 2016; Riris & Arroyo-Kalen, 2019; Utida *et al.*, 2020).

O Holoceno Médio chama atenção para a questão do hiato arqueológico – assinalado pela redução nas datações em grandes regiões da América do Sul, supostamente, por conta da deterioração climática generalizada – alternância de períodos secos/frios/chuvosos, porém para o semiárido nordestino, isto não seja provável, haja vista que, essa área foi úmida no H. médio. Um outro fator apontado nesse estágio, que pode ter influenciado na diminuição dos achados sobre ocupação humana, corresponde às mudanças na dinâmica interna, de comportamento de grupos, abandono de abrigos, transição de economia de caça e coleta para a agrícola. Acredita-se que com a chegada do Holoceno médio houve uma quebra no padrão tecnológico lítico associado à reorganização de territórios, redes de contato e ligações entre diferentes grupos (Bueno, 2004; Utida *et al.*, 2020).

Sendo o semiárido nordestino úmido no H. médio, considera-se que poderia ter servido como um corredor, um refúgio ecológico de populações de regiões vizinhas, visto que no processo de povoamento pós-colonial, a Região foi considerada favorável ao povoamento, graças à aplicação de técnicas adaptadas ao ambiente semiárido (Utida *et al.*, 2020).

Recentemente, Meneses *et al.* (2022) catalogaram 55 sítios arqueológicos na área do Projeto Geoparque Cariri Paraibano, abrangendo os municípios de Boa Vista, Cabaceiras, São João do Cariri na região dos Cariri Velhos. Vale salientar que outros municípios, como São João do Tigre (Sítio Pedra do Caboclo e Sítio Pedra do Velho Samuel) e Camalaú também possuem sítios em área de relevo granítico, ainda pouco explorados e conhecidos pela comunidade científica.

Na Tradição Agreste, o estilo Cariris Velhos, que ocorre em Pernambuco, no Vale do Capibaribe, e na Paraíba, área da “Serra dos Cariris Velhos”, é caracterizado por grafismos de composição, sem formar cenas específicas. Nelas, predominam os zoomorfos, havendo também a presença de fitomorfos e marcas de mãos em sinal positivo na parte superior do painel. O acesso às pinturas é considerado relativamente fácil, uma vez que estão instaladas em áreas amplas, como matacões, lajedos de granito. Além disso, é possível encontrar o estilo geométrico em representações em baixo relevo, associadas à Tradição Itacoatiara. Os Sítios desta Tradição situam-se próximos a cursos d’água e/ou em área de acúmulo, nos topos ou base de lajedos, representando importantes vestígios de civilizações pré-colombianas (Lages *et al.*, 2013; Almeida, 1975; Aguiar, 1982; Martin, 2005; Amaral, 2014).

De modo geral, as pinturas classificadas como Tradição Agreste foram datadas de 11 mil anos AP (Gaspar, 2006). Contudo, Almeida (1975) sugere 7 mil anos AP para as pinturas rupestre dos Cariris Velhos, já as gravuras Itacoatiara do Sítio do Bravo (Boa Vista/PB), segundo Fialho *et al.* (2010), provavelmente, datam de 6 mil - 2 mil anos.

Conforme Aguiar (1982), o estilo geométrico, baseado em desenhos que lembram carimbos ou autênticos bordados, pode estar associado a áreas planas, que, possivelmente, eram utilizadas para práticas agrícolas, o que se torna mais evidente na presença de cerâmicas. De acordo com informações cadastradas no site do IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, os Sítios de Boa Vista e Cabaceiras, ambos localizados na Paraíba, consistem em abrigos rochosos a céu aberto, adornados com pinturas e gravuras, onde também são encontrados artefatos líticos e cerâmicos. Além disso, é comum observar pinturas sobrepostas àquelas da Tradição Nordeste, sugerindo a sucessão ou o intercâmbio entre diferentes grupos étnicos (Martin, 2005, 2008).

Na região Amazônica, na área indígena Asurini (Rio Xingu), Cascon (2017) identificou, junto ao material arqueobotânico, amostras que indicavam o processamento de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), além de fitólitos de Eudicotiledôneas, Clusiaceae, Cyperaceae, Marantaceae (*Maranta arundinacea* - Araruta), Poaceae e Zingiberaceae (Chen & Smith, 2013). Esses microvestígios botânicos indicam que essas plantas faziam parte da dieta alimentar dos povos que ali viviam.

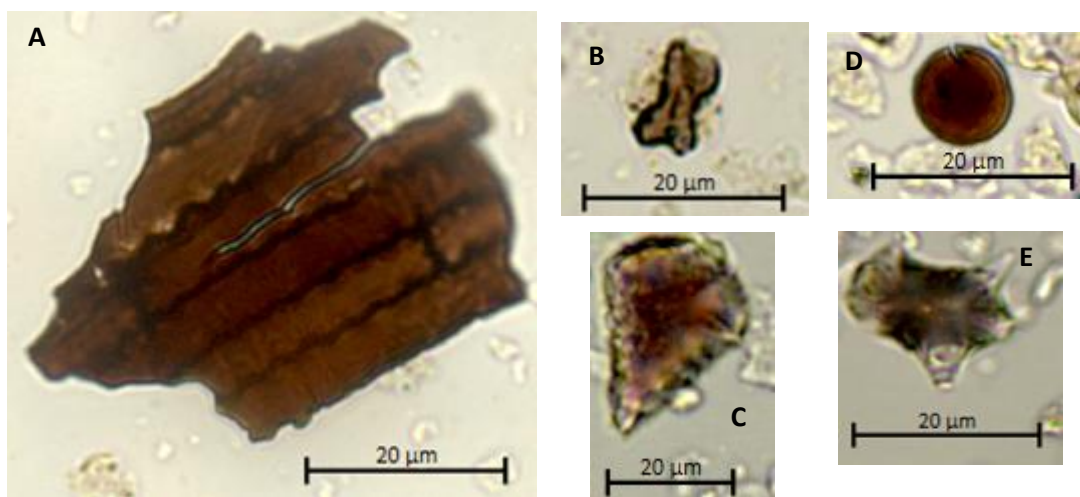
Já nos Geoglifos do Acre, Watling (2014) observou fitólitos de Heliconiaceae, Annonaceae, milho, Cucurbita (abóbora), em seguida, no Sítio Teotônio, ocupado de 9 a 5 mil anos cal. AP, Watling *et al.* (2018) encontraram silicofitólitos de mandioca, abóbora, feijão, pequi e goiaba, demonstrando indicativos do cultivo de plantas mais antigas da Amazônia.

Neste contexto, ao analisar a base do Vertissolo (P6), datado em 8.199 anos Cal. AP, que indica um ambiente úmido com presença de Marantaceae, Zingiberaceae, Costaceae, Commelinaceae, Cyperaceae - plantas citadas acima como cultivadas na Amazônia, observa-se que, por ser um ambiente de escoamento superficial, na base do lajedo, pode ter servido como ponto de apoio e de cultivo de plantas por parte de grupos antigos. Esta hipótese se reforça pela existência de inscrições rupestres nas proximidades e pela presença de morfotipos de *Cyperus* sp., Maranta, entre outros, que já foram identificados na Amazônia em Terra Preta de Índio (TPI), utilizada como fonte calórica e condimento por grupos indígenas pré-colombianos (Clement, 1999; Cascon, 2010; Cunha, 2010; Macedo, 2014).

Apesar dos indícios de um período úmido, merece destaque a presença de fitólitos tafonomizados de cor âmbar e negra, indicando que passaram por temperaturas mais elevadas (Fig 17 A - E). Essa característica é indicativa de paleoincêndios e/ou atividades de grupos antigos que utilizavam plantas para alimentação, cultivo ou manejo (Calegari *et al.*, 2013; 2017a e 2017b; Evett & Cunthrell, 2017; Cabanes *et al.*, 2007; Corteletti *et al.*, 2016; Esteban *et al.*, 2018; Ortega, 2019).

A presença de táxons botânicos como Cyperaceae, Heliconiaceae, Marantaceae e Zingiberaceae, juntamente com a ocorrência de fitólitos âmbar e queimados da base até cerca de 40cm de profundidade no perfil 4 (P4), localizado na Serra da Paula, na Área de Proteção Ambiental - APA das Onças, em São João do Tigre (SJT)/PB, pode sugerir ocupação humana antiga. Esses exemplares botânicos são conhecidos por serem parte da dieta alimentar, e o aumento constante e notável de morfotipos âmbar, reforça essa hipótese. Além disso, aspectos ambientais, como a proximidade geográfica, a presença de uma rede de drenagem fronteira utilizada como canal de contato e práticas gráficas similares (antromorfismo), também são dignos de consideração.

Figura 17A - E: Fitólitos articulados de cor âmbar – (A) ELO_SIN observados no P1 (40cm); (B) BIL (P1-80cm); (C) BUL_FLA (P7 (110cm); (D) SPH_PSI (P1 – 110cm); (E) Fitólito de Marantaceae (P1 – 100cm)



Fonte: FONSECA, C. F., 2022.

Matos (2019), aponta relações arqueológicas do Cariri Ocidental, que engloba 13 sítios em São João do Tigre/PB, e o Seridó Oriental do RN, além do Parque Nacional (PARNA) do Catimbau e o Território Indígena (TI) Kapinawá/PE. As datações dessas áreas variam entre 9.400 anos AP a 4.851 anos AP. para as áreas do RN e de PE.

Nesta pesquisa, a possibilidade de ocupação humana foi considerada com base na presença de fitólitos de cor âmbar, que indicam ocorrência de fogo, encontrados na base do P6³ (Figura 2B - Capítulo II). Isso é notável, apesar do Holoceno Inferior ser caracterizado como um período úmido para a região. A existência de fitólitos tafonomizados por altas temperaturas (fogo), juntamente com a presença de Marantaceae, Zingiberaceae, Costaceae, Commelinaceae (Eichhorn, 2010), além do gênero *Cyperus*, sugere que essas plantas possam ter sido fonte alimentar para povos antigos por volta de 8 mil anos cal. AP no Lajedo da Salambaia, em Cabaceiras/PB (Fig. 8). Vale ressaltar que paleoincêndios foram comuns durante todo o Holoceno, conforme detectado nesta pesquisa com a presença de microcarvão e fitólitos âmbar/negro nos sete solos estudados (Quadro 2).

Quadro 2: Tafonomizados e carvões – indícios de incêndio nos sete perfis estudados

Perfil de solo	Informações sobre os carvões em profundidade
P1	Constatados a partir de 70 cm até a base do perfil, destaque para os 90 cm.
P2	Todo o perfil possui carvão, principalmente na superfície (0 – 10 cm)
P3	Em todo o perfil foi observado carvão de pequena dimensão, a maioria em 20 e 30 cm.
P4	Apenas em 40 cm não foram detectados fragmentos de carvão.
P5	São em pouca quantidade, porém ocorrem bastante corpos silicosos ambaros. Em 40, 60 e 100 cm não foram encontrados carvão.
P6	Ocorrem em 10, 50, 70, 90 a 110 cm, principalmente próximo a base do perfil.
P7	Possui carvão em todo o perfil, exceto em 130 cm. Os picos de fragmentos de carvão foram observados em 50, 60 e 70 cm de profundidade.

Fonte: FONSECA, C. F., 2023. **Obs.:** Datações da MOS – P2 (20cm – 996 anos cal. AP.; 50cm – 2.630 anos cal. AP.; 70cm – 3.498 anos cal. AP.); P5 (70cm – 3.975 anos cal. AP.; 110cm – 564 anos cal. AP.; 150 cm – 391 anos cal. AP.); P6 (20cm – 1.128 anos cal. AP.; 70cm – 3.710 anos cal. AP.; 110cm – 8.199 anos cal. AP.).

Por outro lado, Sianto *et al.* (2013) constataram na Lagoa do Uri de Cima, em Salgueiro/PE, a presença de microfósseis de grânulos de amido de milho, de batata-doce com características de cozimento, datados - coprólitos e sedimentos – em 18.600 ± 1.470 anos BP. Isso pode indicar uma prática de hortícola e o uso de cerâmicas para preparação de alimentos dos povos antigos. É importante destacar que não foram encontrados indícios de cultivo de milho ou cereais na análise fitolítica dos perfis estudados.

Nesse contexto, reforça-se a teoria de que os fitólitos tafonomizados de cor âmbar, podem ter sido queimados de forma natural e/ou antropogênica – intencional na preparação de alimentos. Isso é corroborado pela presença de inscrições rupestres nas proximidades do

³³ Ver Capítulo 2 – descrição do solo e figuras.

Lajedo do Bravo (Boa Vista/PB) datadas de 7 mil anos, além de sítios arqueológicos próximos à Serra da Paula (P4 - SJT/PB). Fato também constatado por Pessenda *et al.* (2010) no Parque Nacional das Sete Cidades (PI), onde foram encontrados carvões em áreas de ocupação humana datados de 8 a 10 mil anos AP.

Trinta e um coprólitos humanos nos Sítios Pedra Furada e do Meio, localizados no Parque Nacional da Serra da Capivara, no Piauí, datados em 8 mil anos AP, indicaram a utilização de plantas tanto para fins medicinais quanto alimentícios. Entre essas plantas, destacam-se o *Phaseolus* (feijão-bravo), *Anacardium* (cajuzinho) e alguns táxons das famílias Cucurbitaceae, Convolvulaceae e de Arecaceae. Além disso, foram identificados fragmentos de carvão de plantas arbóreas típicas de Cerrado e Caatinga (Chaves, *et al.*, 2001, 2006; Freitas *et al.*, 2022).

Em Buíque/PE, foi identificado pólen da palmeira *Attalea*, associada ao cultivo, o demonstra presença humana datada de 9 mil anos AP. Este gênero é considerado um indicativo de áreas de maior altitude e umidade, atualmente distribuído nos estados de PE, PB e Alagoas (Medeiros *et al.*, 2018).

Solos contendo artefatos e/ou pinturas rupestres de povos pré-colombianos nos Cariris Velhos Paraibanos foram analisados Souza *et al.* (2020). Foi identificada uma alta concentração de Carbono orgânico (Corg.) e fósforo (P) nesses antrossolos, em comparação com outros solos nas proximidades que não apresentavam sinais de interferência humana. A datação por radiocarbono indica que esses Antrossolos da Caatinga são contemporâneos à maioria das Terra Preta de Índio (TPI) da Amazônia.

Apesar de haver poucas informações sobre os povos indígenas pré-colombianos que habitaram os Cariris Paraibanos, pesquisas indicam que os Kariris eram caçadores, coletores e pescadores, além de praticarem cultivos (Lima *et al.*, 2002; Bueno *et al.*, 2013). Os assentamentos desses grupos estavam próximos aos corpos d'água e, principalmente, acompanhavam os rios perenes como rota de migração para o interior da região.

Em momentos de seca prolongada, a estratégia era o deslocamento e/ou fazer estabelecimento temporário em tanques ou áreas rebaixadas próximas aos lajedos, nos a água se acumulava, especialmente durante a formação de neblina, um processo atmosférico resultante das diferenças de pressão vale-montanha. Essas áreas serviam como refúgio e muitas vezes apresentavam sobreposição de pinturas rupestres, possivelmente indicando uma

rota de passagem utilizada por diferentes grupos antigos (Bueno, 2011; Azevedo Netto & Oliveira, 2015).

Em 3.710 anos cal. AP ocorreu a entrada de um período mais seco no Cariri Paraibano, evidenciado pela diminuição dos corpos silicosos de diatomáceas, espículas de esponjas, gemosclera e POA_IND, Cyperaceae. Plantas possivelmente utilizadas na alimentação dos povos antigos não foram encontradas, com exceção de uma presença marginal a 50 cm da base (Vertissolo - P6), onde volta a aparecer Commelinaceae. Houve um aumento nos morfotipos SFD, produzidos tanto por Monocotiledôneas quanto por Eudicotiledôneas, e o índice D/P apresentou um ligeiro aumento a 70 e 60 cm (P6), sugerindo uma possível redução na ocupação humana na área.

Este estágio/idade se enquadra no *Meghalayan*, caracterizado pela aridez, insolação intensa, declínio da produção de solo, ressecamento das drenagens subterrâneas e aumento do domínio de espécies adaptadas à seca, configurando numa vegetação mais aberta, típica de Caatinga. No entanto, é importante destacar que, no semiárido, ocorreram chuvas torrenciais esporádicas que, juntamente com uma vegetação de porte menor e menos densa, contribuíram para a remobilização de sedimentos, resultando na formação de solos coluviais poligenéticos, um processo pode ter contribuído para a formação do Cambissolo P5 (De Oliveira *et al.*, 1999; Zular *et al.*, 2018; Utida *et al.*, 2020).

Com base em datações por radiocarbono, ocupações foram inferidas por volta de 11 mil anos AP, em Sítios arqueológicos no Vale do Ipojuca (Pernambuco), como Brejo da Madre de Deus, na Furna do Estrago, e aproximadamente 9.400 mil anos AP no Rio Grande do Norte (Região do Seridó), nos Sítios Mirador e Pedra do Alexandre (Mützenberg, 2007), além do Sudoeste da Bahia (Martin, 2008; Silva & Solari, 2020; Gaspar, 2006). Portanto, é possível elucubrar sobre o cultivo de plantas Zingiberales, Cyperaceae, Marantaceae na área, inferido a partir de dados fitolíticos e de pinturas rupestres, sugerindo que o Lajedo Salambaia pode ter sido habitado por volta de 8 mil anos. Pesquisas futuras podem oferecer mais informações para esclarecer essa questão.

4.4.3 Considerações sobre possível corredor de troca biótica no passado

Durante uma fase de maior umidade, por volta de 9 a 8 mil anos AP, ocorreu a formação de um mosaico de vegetação e corredores bióticos, como resultado do evento climático 8.2 - *Syntrace* (Nace *et al.*, 2014). Esse mosaico era composto por uma mistura de plantas de Cerrado – Floresta – Caatinga, com predominância de indivíduos arbóreo e arbustivos (De Oliveira *et al.*, 1999). Essa configuração da paisagem perdurou até meados do H. médio, sendo considerada por alguns pesquisadores (Corrêa, 2001; Amorim, 2015; Tavares, 2015) como o *Ótimo Climático*, que ocorreu entre 9 – 4,7 mil AP.

No entanto, com a chegada do *Meghalayan* (4.800 – 4.200 anos AP – Utida *et al.*, 2020), os táxons adaptados à maior umidade recuaram para o sopé e/ou encostas de lajedos, possivelmente em busca de áreas com temperaturas mais amenas, escoamento superficial de água e captura de gotículas de água durante nevoeiros. A manutenção da umidade do solo e da serrapilheira, juntamente com a ciclagem de nutrientes provenientes da macrofauna local, favoreceu a permanência de alguns remanescentes de táxons, especialmente em áreas consideradas de Brejo - terreno de relevo íngreme, como os Lajedos do NEB (De Oliveira *et al.*, 1999; Medeiros, 2019).

No Sítio Lagoa Quari, localizado no Parque Nacional da Serra da Capivara, no Piauí, foram datados sedimentos orgânicos com idades de 8.770 e 5.425 anos AP. Nestes sedimentos, foram identificados pólenes de plantas características da Caatinga, como angico, jurema, pata de vaca, mofumbo, além de herbáceas das famílias Poaceae, Bromeliaceae e Amaranthaceae, típicas do Cerrado. Também foram identificados os gêneros *Podocarpus* (Pinheiro) e *Mauritia* (Buriti), indicativos de condições mais úmidas, solos encharcados e, possivelmente, temperaturas mais baixas que as atuais. O *Podocarpus* é característico da flora submontana e montana em áreas de Brejo no NEB, com registros também na Serra dos Brejos dos Cavalos em Caruaru, Pernambuco. A partir dessas informações, é evidente que no período datado, ocorreu a configuração de um ecótono entre as vegetações de Cerrado-Caatinga-Floresta montana (Parenti *et al.*, 2003; Chaves *et al.*, 2006).

Neste contexto, com base nos resultados desta pesquisa, a hipótese de um corredor pretérito de troca biótica no Cariri Paraibano, pode ser considerada, mais especificamente nas áreas dos perfis P2, P3, P4 e P7. Nessas áreas, observou-se significativa presença de espécies de floresta úmidas e ecotonais, como Myrtaceae e Rubiaceae, são atualmente encontradas em grande quantidade, devido às condições locais de preservação de maior umidade. Essa

composição vegetal representa um testemunho biológico desse passado distinto das espécies xerófilas típicas de Caatinga, que hoje predominam em seu entorno. Estas últimas passaram a dominar esse bioma por volta de 5 a 4 mil anos AP, coincidindo com a introdução da Caatinga no semiárido, principalmente em áreas de relevo mais baixo e plano. Por outro lado, em áreas de maior altitude e nas encostas dos relevos cristalinos, estabeleceu-se uma flora diversificada que possivelmente serviu como uma rota de conexão entre a Amazônia e a floresta Atlântica (De Oliveira *et al.*, 1999; Cruz *et al.*, 2009; Mendes, 2016; Ledo & Colli, 2017; Medeiros, *et al.*, 2018; Souza *et al.*, 2022).

4.5 Conclusões

Os resultados desse estudo *multiproxy* permitem inferir que os enclaves úmidos e subúmidos do Cariri Paraibano estudados têm se desenvolvendo desde o Holoceno Inferior (P6), indicando uma fase mais úmida por volta de 8.200 anos Cal AP. Em termos de evolução do solo, essa condição de ambiental pode ter favorecido a erosão e o transporte na encosta, assim como a deposição de sedimentos no fundo do vale, contribuindo para a formação dos solos com propriedades vérticas na área do perfil P6. Essas observações estão em consonância com a literatura, que assinala condições mais úmidas do que as atuais para o Nordeste (Ledru, *et al.*, 1996; De Oliveira *et al.*, 1999; Guimarães, *et al.*, 2013; Medeiros *et al.*, 2018). Esses mesmos autores concordam que, nesse momento, havia uma interligação entre a Floresta Tropical e o Cerrado.

Seguindo a nova classificação cronoestratigráfica de 2023, os perfis P5 e P2, segundo a datação da MOS, surgiram no Holoceno Superior (4.200 anos – atual), sinalizando que a morfogênese parece ter sido mais significativa, embora haja evidências de vegetação arbórea-arbustiva e de Cerrado. No final do H. Médio (8.200 – 4.200 anos), uma fase de maior aridez e oscilações de chuvas torrenciais promoveu mudanças na estrutura da vegetação, misturando elementos do Cerrado e da Caatinga, resultando numa vegetação mais esparsa. O evento *Meghalayan* (4.800 – 4.200 anos AP. Utida *et al.*, 2020) foi observado nesse estudo, associado a essa vegetação mais aberta, com possíveis ocorrências de hiatos deposicionais (P3, P5 e P6), indicando intervalos mais seco, semelhantes ao clima atual. A interpretação dos pedobioindicadores estudados sugerem o estabelecimento da Caatinga por volta de 4.000 anos AP, quando a morfogênese foi mais ativa, embora tenha sido suficiente para inibir a formação de solos. No H. superior, por volta de 2.000 anos AP, observou-se, corroborando com a

literatura atual (Medeiros, 2019) que houve uma reumidificação na Caatinga, que atualmente, sofre pressões e interferências antrópicas.

Nesta perspectiva, a análise da presença/ausência de outras biomineralizações de sílica (diatomácea, espículas de esponjas e gemosclera) contribuiu para identificar os momentos ambientais de maior/menor umidade ao longo Holoceno. Fitólitos com tafonomia âmbar sugerem exposição a altas temperaturas (queima), associadas a táxons utilizados como fonte alimentar. Além disso, a presença de pinturas rupestres e a proximidade com sítios arqueológicos sinalizam ocupação humana antiga no Lajedo Salambaia (P6), durante o Holoceno Inferior (8.199 anos AP), quanto na Serra da Paula (P4), durante o Holoceno Médio (3.498 anos AP).

Além disso, os pedobioindicadores analisados permitiram identificar mudanças no regime de umidade ambiental em todos os perfis estudados. Com base nessas informações e em referências bibliográficas (De Oliveira *et al.*, 1999; Cruz *et al.*, 2009; Mendes, 2016; Ledo & Colli, 2017; Medeiros *et al.*, 2018; Medeiros, 2019; Souza *et al.*, 2022), surge a possibilidade de considerar a existência de corredores de intercâmbio biótico entre diferentes floras nas áreas do P2, P3, P4 e P7, onde foram identificadas espécies características de ambientes mais úmidos, como Myrtaceae, Piperaceae e Rubiaceae.

Particularmente nos locais P2 e P4, situados nas encostas cristalinas e com solos classificados pela WRB/FAO como *Umbrisols* ricos em carbono orgânico, com serrapilheira densa e pH ácido, hidrofóbicos, presume-se que climas mais úmidos e frios do que os atuais tenham contribuído para a formação desses solos. Dessa forma, essa maior diversidade biológica pode estar correlacionada com a existência de remanescentes de fragmentos de florestas semidecíduas (Souza *et al.*, 2022).

Pode-se também afirmar que os Vertissolos, com pH entre 6 – 9, demonstraram eficiência na preservação da assembleia de fitólitos, apesar da quebra e corrosão que possam sofrer. Isto ocorre devido à sua localização em fundo de vale, sujeitos à sazonalidade de umidade, o que, de certa forma, contribui para a conservação dos fitólitos. Nesse contexto, o sódio não estará dissolvido e disponível para a correr a sílica.

No que se refere a topografia local e aos lajedos, serras, associados à ocorrência de nevoeiro, ao escoamento superficial favorecem a formação de uma vegetação mais densa, propiciando o acúmulo de matéria orgânica, serrapilheira e de umidade, garantindo a manutenção de espécies típicas de ambientes mais úmidos, principalmente no P2, P4, P3 e P7.

Neste sentido, estudos paleoambientais no semiárido nordestino devem continuar para um melhor entendimento da dinâmica da evolução da paisagem local e suas resiliências. Diversos fatores físicos influenciam na configuração do ecossistema Caatinga, que se apresenta como um mosaico vegetacional de significativa importância socioeconômica, histórica e ambiental.

Referências Bibliográficas

- AGUIAR, A. Tradições e estilos na arte rupestre no Nordeste Brasileiro. IN: **Revista CLIO** – Revista do Curso de Mestrado em História da Universidade Federal de Pernambuco nº 5. Recife: EDUFPE, 1982.
- AGUIAR, A. E.X. **Reconstituição paleobiogeoclimática dos brejos de altitude do Ceará: um estudo de caso da Serra de Uruburetama (CE)**. 2022.Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Estadual do Ceará - UECE, 2022.
- ALMEIDA, R. T. **A Arte Rupestre nos Cariris Velhos**. Notas preliminares. Campina Grande: 1975.
- AMARAL, M. P. V. **As pinturas rupestres da tradição agreste em Pernambuco e na Paraíba – Brasil**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Programa de Pós-Graduação em Arqueologia, 2014. 242 f.
- AMORIM, R. F.; CORREA, C. B.; SILVA, D. G. Tempo e magnitude nos processos geomorfológicos. **Geografia** (Rio Claro). v. 41, p. 17-31, 2016.
- AZEVEDO NETTO, C. X. & OLIVEIRA, A. M. P. Documentos arqueológicos e históricos: a relação da cultura material e do ambiente nos sítios arqueológicos do Cariri Paraibano. **História Unicap** 2, 8 – 27, 2015.
- BARROSO, F. R. G. *et al.* Phytoliths from soil surfaces and water reservoirs of the Brazilian semi-arid Caatinga. **Journal of South American Earth Sciences**,108, 103180, 2021.
- BOND, G. *et al.* A pervasive Millennial-scale cycle in the North Atlantic Holocene Climate: Science, v. 278, p.1257-1266, 1997.
- BOUTTON, T. W. Stable carbon isotope ratios of soil organic matter and their use as indicators of vegetation and climate change. In: BOUTTON, T.W.; YAMASAKI, S. . (Ed.). **Mass spectrometry of soils**. 1. ed. New York: Marcel Dekker, p. 47– 82, 1996.
- BOUTTON, T.W. Characterization of natural ¹⁵N abundance of soils. In: BOUTTON, T.W.; YAMASAKI, S.I. (Ed.). **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, p.205-208.l, 1996a.
- BUELL, L. **Writing for an endangered world**. Cambridge, MA and London, England: Harvard University Press, 2001.
- BUENO, L. **Variabilidade Tecnológica nos Sítios da Região de Lageado, Médio Rio Tocantins**. MAE/USP. Tese de Doutorado. 2004.
- BUENO, L. A ocupação inicial do Brasil em perspectiva macrorregional: os casos da Amazônia, Nordeste e Brasil central., in: **Vialou, D.** (Org.), **Populações e Pré-história nas Américas**. Edições do Comitê de Trabalhos Históricos e Científicos, pp. 210–220, 2011.
- BUENO, L. *et al.* O registro arqueológico do final do Pleistoceno/Início do Holoceno no Brasil: um banco de dados georreferenciado. **Quaternay Int.** 301, 74–93, 2013.
- CABANES, D.; ALLUÉ, E.; VALLVERDÚ, J.; CÁCERES, I.; VAQUERO, M.; PASTÓ, I. Hearth structure and function at level J (50kyr, bp) from Abric Romaní (Capellades, Spain): phytolith, charcoal, bones and stone-tools. In: MADELLA, M.; ZORRO, D. (ed.). **Plants, People and Places: Recent Studies in Phytolithic Analysis**. Oxford: Oxbow Books, p. 98-106, 2007.

CALEGARI, M. R.; MADELLA, M.; VIDAL-TORRADO, P.; PESSENDA, L. C. R.; MARQUES, F. A.; Combining phytoliths and $\Delta^{13}\text{C}$ matter in Holocene palaeoenvironmental studies of tropical soils: An example of an Oxisol in Brazil. **Quaternary International**, v. 287, 2013.

CALEGARI, M.R.*et al.* Potential of soil phytoliths, organic matter and carbon isotopes for small-scale differentiation of tropical rainforest vegetation: a pilot study from the campos nativos of the Atlantic Forest in Espírito Santo State (Brazil). *Quaternary International*, 437(B): 156-164, 2017a.

CALEGARI, M. R. *et al.* Phytolith signature on the Araucarias Plateau – Vegetation change evidence in Late Quaternary (South Brasil). **Quaternary International**. v. 434, parte B. p. 117-128, 2017b.

CALEGARI, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. Memórias bióticas de solos selecionados da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: condições ambientais e pedogênese. In: **Guia de campo da XIII RCC e Correlação de Solos: Maranhão**. SILVA, *et al.* (Org.). Brasília, DF: Embrapa, p. 546 – 565, 2020.

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

CASCON, L. M. **Alimentação na floresta tropical: um estudo de caso no sítio Hatahara, Amazônia Central, com base em microvestígios botânicos**. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) - Museu Nacional - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. 203 p., 2010.

CASCON, L. M. **Indo à Raiz da Questão: repensando o papel das plantas cultivadas no passado Amazônico através da Etnoarqueologia entre os Asurini do Rio Xingu**. Tese de Doutorado – Museu de Arqueologia e Etnologia da Universidade de São Paulo, 2017.

CHAVES, S. A.M. *et al.* 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**, 10, pp. 103-120, 2001. <https://doi.org/10.11606/issn.2448-1750.revmae.2000.109380>.

CHAVES, S. A. M. *et al.* Palinological analysis of Quaternary lacustrine sediments from "Lagoa do Quari", NE Brazil (PI). **FUMDHAMentos**, 7, pp. 64-68, 2006.

CHEN, S. T. & SMITH, S. Y. Phytolith variability in Zingiberales: A tool for the reconstruction of past tropical vegetation, **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, vol. 370, 1-12p., 2013.

CHENG, H. *et al.* Timing and structure of the 8.2 kyr B.P. event inferred from $\delta^{18}\text{O}$ records of stalagmites from China, Oman, and Brazil: *Geology*, v. 37, p.1007-1010. 2009.

CLEMENT, C. 1492 and the loss of Amazonian crop genetic resources I: the relation between domestication and human population decline. **Economic Botany**, v. 53, p. 188-202, 1999.

COE, H. H. G. *et al.* Caracterização de fitólitos de plantas e assembleias modernas de solo da caatinga como referência para reconstituições paleoambientais. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 8, p. 9 - 21, 2017.

CORRÊA, A. C. B. **Dinâmica geomorfológica dos compartimentos elevados do Planalto da Borborema, Nordeste do Brasil**. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro. 2001. 386p.

CORRÊA, A. C. B.; SILVA, D. G.; MELO, J. S. Utilização dos Depósitos de Encostas dos Brejos Pernambucanos como Marcadores Paleoclimáticos do Quaternário Tardio no Semiárido Nordeste. **Mercator**. Vol.14, p.101-121, 2008.

CORTELETTI, R.; DIKAU, R.; DeBIASI, 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 d Lepaarq**. v. XIII, n. 25, p. 35, 2016.

COSTA, L.M. *et al.* Estabilidade físico-química e fracionamento de sílica biogênica. V **Simpósio Brasileiro sobre Silício na Agricultura**. Capítulo 5, 2010.

COSTA, L. M.; REIS, A. L. M; FONSECA, C. F. Estabilidade de biominerais com ênfase em sílica biogênica e sua importância em estudos do Quaternário. **Rev. de Ciências Humanas**. ISSN 2236-5176Vol. 19, n. 1, 2019.

CRUZ, F. W. *et al.* Orbitally driven east-west antiphasing of South American precipitation. **Nature Geoscience**. v. 2, p.210-214, 2009.

CUNHA, T. J. F. *et al.* O carbono pirogênico. In: **As terras pretas da Amazônia: sua caracterização e uso deste c conhecimento na criação de novas áreas**. In: TEIXEIRAS, W. G. *et al.* (Ed.). Manaus: Universidade Federal do Amazonas, 2010, p.263 – 284.

CURI, N. Curi *et al.* **Pedologia: solos dos biomas brasileiros**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017.

De OLIVEIRA, P. E. *et al.* 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, 319-337, 1999.

DIAS, R. R. *et al.* Utilização de fitólitos e isótopos de Carbono para reconstituição paleoambiental de áreas de Caatinga na Depressão Sertaneja Setentrional. **Anais do XII Sinageo - paisagem e geodiversidade: a valorização do patrimônio geomorfológico brasileiro**. Crato/CE, 2018.

DIAS, R. R. *et al.* Morphological variation of Phytoliths according to leaf senescence and position in the organs of *Brachiaria decumbens*. **Flora**, v. 260, nov 2019a, 151478.

DIAS, R.R. *et al.* Reconstituição paleoambiental de dunas vegetadas na Caatinga, em Aracati, Ceará, através de biomineralizações de sílica. **Rev. GeoUECE**, 8, 193–208, 2019b.

DÓCIO, L. *et al.* An assessment of the wealth of information given by sponge spicules as a paleoenvironmental tool: The case of two lakes in northeast (Brazil), **Journal of South American Earth Sciences**, 2021: 107,103099.

DREES, R. L.*et al.* Silica in soils: Quartz and disordered silica polymorphs. In J. B. Dixon & S. B. Weed (Eds.), **Minerals in Soil Environments**, pp. 913–974. Madison: Soil Science Society of America, 1989.

EICHHORN, B. *et al.* Seed phytoliths in West African Commelinaceae and their potential for palaeoecological studies. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Vol. 298, 34, 300-310p., 2010.

- ESTEBAN, I. *et al.* Phytoliths as an indicator of early modern humans plant gathering strategies, fire fuel and site occupation intensity during the Middle Stone Age at Pinnacle Point 5-6 (south coast, South Africa). **PLoS ONE**, v. 13, n. 6, 2018.
- EVETT, R. R. & CUTHRELL, R. Q. Testing phytolith analysis approaches to estimate the prehistoric anthropogenic burning regime on the central California coast. **Quaternary International**, v. 434, p. 78–90, 2017.
- FERNANDES, M. *et al.* An updated plant checklist of the Brazilian Caatinga seasonally dry forests and woodlands reveals high species richness and endemism. **Journal of Arid Environments** V. 174, March 2020.
- FIALHO, D. A.; ARAÚJO, S. M. S.; BAGNOLI, E. Diagnóstico geoambiental e geoturístico na área de proteção ambiental do Cariri Paraibano. In: **Anais do XVI Encontro Nacional de Geógrafos**, Porto Alegre, 2010. ISBN 978-85-99907-02-3.
- FISHKIS, O.; INGWERSEN, J.; STRECK, T. Phytolith transport in sandy sediment: Experiments and modeling. **Geoderma**, v. 151, n. 3–4, p. 168–178, 2009.
- FREIRE, O. **Solos das Regiões Tropicais**. Botucatu: FEPAF, 2006. 268p.
- FREITAS, A. G. *et al.* Estudos em Palinologia Arqueológica no Nordeste do Brasil: abordagem teórico-metodológica e estudos de caso. **Revista de Arqueologia**. V. 35, n.2, maio-agosto, p. 02 – 40, 2022. DOI: <https://doi.org/10.24885/sab.v35i2.881>
- FROEHNER, S.; MARTINS, R. F. “Avaliação da composição química de sedimentos do rio Barigüi na região metropolitana de Curitiba”. **Química Nova**, v. 31, n. 8, p. 2020- 2026, 2008.
- GALVÃO, D. C. **Evolução do Paleoambientes e da Paisagem Quaternária no Sudeste do Piauí**. Tese (Doutorado em Arqueologia), 151 f. 2019. UFPE, Recife/PE.
- GASPAR, M. **Arqueologia**. São Paulo: Ed. Contexto, 2006.
- GIULIETTI, A.M. **Espécies endêmicas da caatinga**. In: SAMPAIO, E. V. S. B.; GIULIETTI, A. M.; VÍRGÍNIO, J.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L. *Vegetação e flora da caatinga*. Recife: APNE e CNIP, pp.103-115, 2002.
- GIULIETTI, A. M. **Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga**. In: SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T.; LINS, L. V. *Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, pp. 48-90, 2004.
- GOLDBERG, A.; MYCHAJLIW, A.M.; HADLY, E.A. Post-invasion demography of prehistoric humans in South America. **Nature** 532, 232 e 235. 2016. <https://doi.org/10.1038/nature17176>
- GUIMARÃES, I. P. *et al.* Brasileiro (Pan-African) granitic magmatism in the Pajeú- Paraíba belt, Northeast Brazil: An isotopic and geochronological approach. **Precambrian Research**, [S. l.], v. 135, n. 1–2, p. 23–53, 2004. DOI: 10.1016/j.precamres.2004.07.004.
- GUIMARÃES, J.T.F. *et al.* An integrated approach to relate Holocene climatic, hydrological, morphological and vegetation changes in the southeastern Amazon region. **Veg. Hist. Archaeobot.** 22, 185–198, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00334-012- 0374-y>.
- JANZEN, H. The soil remembers. **Soil Science Society of America Journal**, v. 80, n. 6, p. 1429–1432, 2016.
- JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: McGraw-Hill, 1941.

KER, J. C. *et al.* **Pedologia: fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

KOEHLER, A. **Floresta Ombrófila Densa Altomontana: Aspectos florísticos e estruturais do componente arbóreo em diferentes trechos da Serra do Mar, PR**. [s.l.] Universidade Federal do Paraná – UFPR, 2001.

LAGES, G. A. *et al.* **Mar de Bolas do Lajedo do Pai Mateus, Cabaceiras, PB: Campo de matacões graníticos gigantes e registros rupestres de civilização pré-colombiana**. Sítios geológicos e Paleontológicos do Brasil. Brasília: CPRM, 332p.; v.3, 2013. ISBN 978-85-7499-198-6

LEDO, R. M. D & COLLI, G. R. The historical connections between the Amazon and the Atlantic Forest revisited. **Journal of Biogeography**, 44 (11): 2551-2563, 2017. wileyonlinelibrary.com/journal/jbi. DOI: 10.1111/jb

LEDRU, M.P. *et al.* Os últimos 50.000 anos nos Neotrópicos (Sul do Brasil): evolução da vegetação e do clima. **Paleogeografia, Paleoclimatologia, Paleoecologia**, v. 123, n. 1-4, p. 239-257, 1996.

LEDRU, M.P. *et al.* Millennial-Scale Climatic and Vegetation Changes in a Northern Cerrado (Northeast, Brazil) since the Last Glacial Maximum. **Quaternary Science Reviews**, 25:1110-1126. 2006. doi: 10.1016/j.quascirev.2005.10.00

LEHMANN, M. F. *et al.* Preservation of organic matter and alteration of its carbon and nitrogen isotope composition during simulated and in situ early sedimentary diagenesis. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.66, p.3573-3584, 2002.

LIMA, H. N. *et al.* Pedogênese e uso da terra pré-colombiana de “Terra Preta Anthrosols” (“terra preta indígena”) da Amazônia Ocidental. **Geoderma** 110, 1–17, 2002.

LIRA, D. R. **Origem, dinâmica e reconstrução geomorfológica através da assinatura geoquímica dos latossolos nas bacias do Riacho do Pontal GI-8**. Tese (Doutorado em Geografia) -Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Pernambuco, Recife. 236p, 2014.

LUTWICK, L. E.; JOHNSTON. A. Cumulic soils of the rough fescue prairie-poplar transition region. **Canadian Journal Soil Science**. v. 49, p. 199-203, 1969.

MACEDO, R. S. **Pedogênese e indicadores pedoarqueológicos em Terra Preta de Índio no município de Iranduba - AM**. 2014. 177 f. Tese (Doutorado em Ciência) - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

MACHADO, D. O. B. F. *et al.* Fitólito como proxy para estudos paleoambientais. V.1, n.1, 2022. **Anais do evento em comemoração aos 20 anos do programa de pós-graduação em Geografia** (IG-Unicamp). 66-88p., 2022

MACHADO, R & SIGOLO, J. B. **Ciência da Terra: módulo 2: origem e formação de minerais, rochas e solos**. 1ª ed. São Paulo: IBEP, 2019. 144p.

MADELLA, M. & LANCELLOTTI, C. Taphonomy and phytoliths: A user manual. **Quaternary International**, v. 275, p. 76-83, 2012.

MARQUES, A. L. **Evolução da Paisagem e Ocorrência de Latossolos Húmicos nos Brejos de Altitude da Paraíba**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), 109 f., 2019. Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Areia/PB.

- MARTIN, G. **Pré-história do Nordeste no Brasil**. 4 ed. Recife. Editora da UFPE, 2005.
- MARTIN, G.; *et al.* Levantamento Arqueológico na Área Arqueológica do Seridó-Rio Grande do Norte- Brasil: Nota Prévia. **Clio - Série Arqueológica**, v. 2, (23), 1-18. 2008.
- MATOS, F. A. S. **Entre semelhanças gráficas e ambientais: as recorrências das representações antropomórficas pintadas pré-históricas entre as regiões do Cariri Ocidental-PB, Parque Nacional do Catimbau-PE e Seridó Oriental-RN**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Arqueologia, Recife, 2019.
- MEDEIROS, V. B. *et al.* New Holocene pollen records from the Brazilian Caatinga: **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, p. 2011 – 2023, 2018.
- MEDEIROS, V. B. **Microfósseis em depósitos quaternários de megafauna no Nordeste do Brasil e seu significado paleoambiental**. Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, USP, 2019.
- MELO, M. L. D. & MARENGO, J. A. Simulações de clima do Holoceno Médio na América do Sul com o modelo de circulação geral da atmosfera do CPTEC. **Rev. Bras. Meteorologia**. 23 (2), jun, 2008.
- MENDES, V. R. **Registro sedimentar quaternário na Bacia do Rio Parnaíba, Piauí: um estudo multi-indicadores voltados à investigação de mudanças climáticas**: Universidade de São Paulo, 100p. 2016.
- MENESES, L. F.; RAÚJO, A. P. M.; MORAES, F. A. A. Inventário de sítios pré-históricos na área do Projeto Geoparque Cariri Paraibano, Brasil. Niterói, RJ, Universidade Federal Fluminense, UFF, **GEOgraphia**, v: 24, n.53, 2022.
- MEYERS, P. & ISHIWATARI, R. Diagenesis in lake sediments. *Org. Geochem.* 20 (7), 867–900, 1993.
- MEYERS, P. A. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. **Chemical Geology**, v. 114, n. 3-4, p. 289-302, 1994.
- MEYERS, P.A. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. *Org. Geochem.* 34, 261–289, 2003.
- MONTADE, V. *et al.* Stability of a Neotropical microrefugium during climatic instability. **Journal of Biogeography**, v. 41, p.1-12, 2014.
- MUTZENBERG, D. S. **Gênese e ocupação pré-histórica do Sítio Arqueológico Pedra do Alexandre: uma abordagem a partir da caracterização paleoambiental do Vale do Rio Carnaúba – RN**. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) – Programa de Pós-graduação em Arqueologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2007. 142p.
- NACE, T. E. *et al.* The role of North Brazil Current transport in the paleoclimate of the Brazilian nordeste margin and paleoceanography of the weatern tropical Atlantic during the late Quaternary: **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. V. 415, p. 3-13, 2014.
- NEVES, S. P. **Granitos orogênicos: da geração dos magmas à intrusão e deformação**. Rio de Janeiro: Synergia, 2012.
- OLIVEIRA, B. H. S *et al.* Estudo paleoambiental no semiárido baiano através de isótopos de

carbono e micromorfologia do solo. 37 – 50p. In.: **Perspectivas e desafios do sertão nordestino**. SOUZA, S. O *et al.* (Org.) 1. Ed. Vol.1, Senhor do Bonfim – BA: Univasf, 297p., 2021.

ORTEGA, D. D. **Microvestígios botânicos em artefatos líticos do Sítio Lapa do Santo (Lagoa Santa, Minas Gerais)**. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-graduação em Arqueologia), Museu de Arqueologia e Etnologia, Universidade de São Paulo, 2019, 244p.

PARENTI, F. *et al.* **Sondagens da Lagoa do Quari, São Raimundo Nonato, Piauí: campanha 2002**. 2003.

PATIL, N.G.; SINGH, S.K.; S Chatterji. Issues and Strategies of Natural Resource Management and Land Use Planning in Semi-arid Regions of India **Annals of Arid Zone** 53(3):211-223, 2013.

PESSENDA, L. C. R. Estudos multi/interdisciplinares visando a reconstrução paleoambiental (vegetação e Clima) de distintas regiões do Nordeste no Pleistoceno Tardio e Holoceno. Resultados preliminares. **II Cong. sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa; IX Cong. da ABEQUA; II Cong. do Quaternário dos Países de Língua Ibéricas**, 2003.

PESSENDA, L.C.R. *et al.* Late Pleistocene and Holocene vegetation changes in northeastern Brazil determined from carbon isotopes and charcoal records in soils. **Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.** 297 (3-4), 597–608, 2010.

PESSENDA, L. C. R. *et al.* **Estudos interdisciplinares na reconstrução milenar da dinâmica climática, da vegetação e marinha no Brasil**. 2. ed. Piracicaba: CENA/USP, 2015.

PETERSON, B. J.; HOWARD, R. W. Sulfur, carbon, and nitrogen isotopes used to trace organic matter flow in the salt-marsh estuaries of Sapelo Island, Georgia. **Limnology and oceanography**, Grafton, v.32, n.6, p.1195-1213, 1987.

RANULPHO, R. **Fitólitos em Depósitos de Colúvio do Quaternário Superior na face Nordeste da Bacia Sedimentar do Araripe/CE: Significado Paleoambiental**. 101 f., 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Recife/PE.

RESENDE, M *et al.* **Da rocha ao solo: enfoque ambiental**. Lavras: Ed. UFLA, 2019. 512p.

RIBEIRO, A. S. **Dinâmica paleoambiental da vegetação e clima durante o Quaternário tardio em domínios da mata Atlântica, brejo do semiárido e cerrado nordestinos, utilizando isótopos do carbono da matéria orgânica do solo e das plantas**. 2002. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002. Acesso em: 19 mar. 2023.

RIRIS, P. & ARROYO-KALIN, M. Widespread population decline in South America correlates with mid-Holocene climate change. **Sci. Rep.** 9, 6850. 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43086-w>

SALGADO-LABOURIAU. M. L. **História ecológica da Terra**. 2ª Ed. Edgar Blücher Ltda. 10ª reimpressão. 2017, 307 p.

SIANTO, L. *et al.* Coprólitos, sedimentos e fezes de animais do Sítio Arqueológico Lagoa Uri de Cima: Análise Preliminar. **Fundamentos** - Volume 1 – Número 10 – Ano 2013. Fundação Museu do Homem Americano, São Raimundo Nonato - Piauí ISSN - 0104 – 351 X.

- SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. Caatinga. The largest tropical dry forest region in South America. *Cahm: Springer International Publishing*, 2017.
- SILVA, S. F. S. M & SOLARI, A. O Sítio Arqueológico Pedra do Alexandre, Seridó, Rio Grande do Norte. Principais resultados de estudos, os sepultamentos e perspectivas para o futuro. **Clio Arqueológica** 2020, V35N3, p.117-169. DOI: 10.20891/clio. V35N3p117-169.
- SILVA-LISTO, D. G.; CORREA, A.C.B.; AMORIM, R.F. Caracterização morfológica e dinâmica ambiental das marmitas (weathering pit) no distrito de Fazenda Nova, Pernambuco – Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. São Paulo, v.18, n.2, p.350-362, 2017.
- SOUZA, B. I. Uso da vegetação e solos em áreas susceptíveis à desertificação na Paraíba/Brasil. **GEOgraphia**, [S. l.], v. 13, n. 25, p. 77, 2012. DOI: 10.22409/geographia2011.v13i25.a13617.
- SOUZA, B. I.; MENEZES, R.; CÁMARA ARTIGAS, R. Desertification effects on the species composition of the Caatinga biome, Paraíba/Brazil. **Investigaciones Geograficas**, [S. l.], v. 2015, n. 88, p. 45–59, 2015. DOI: 10.14350/rig.44092.
- SOUZA, J. J. L. L.; SOUZA, B. I.; XAVIER, R. A.; PACHECO, A. A.; PESSENDA, L. C. R.; DOS SANTOS BRITO, Edson. Archaeoanthrosol formation in the Brazilian semiarid. **Catena**, [S. l.], v. 193, n. March, p. 104603, 2020. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104603.
- SOUZA, J. J. L. L *et al.* Organic carbon rich-soils in the brazilian semiarid region and paleoenvironmental implications. **Catena** 106101, v. 212, maio de 2022.
- SOUZA, J. J. L. L *et al.* Brazilian semiarid soils formed during the last glacial maximum. **Catena**106899, v. 223, abril de 2023. ISSN 0341-8162.
- TALBOT, M. R. & T. JOHANNESSEN, A high resolution palaeoclimatic record for the last 27.500 years in Tropical West Africa from the carbon and nitrogen isotopic composition of lacustrine organic matter. **Earth Planet. Sci. Lett**, 110, 23 -37, 1992.
- TAVARES, B. A. C. **Evolução morfotectônica dos pedimentos embutidos no Planalto da Borborema**. Tese (Programa de Pós-graduação em Geografia). 2015. Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Recife.
- UTIDA, G. *et al.* Climate changes in Northeastern Brazil from deglacial to Meghalayan periods and related environmental impacts. **Quaternary Science Reviews**. v. 250, 106655. 15 dez. 2020.
- VILLANUEVA, T. C. B. *et al.* Avaliação isotópica e hidroquímica do aquífero cárstico Salitre na região de Irecê, Bahia. **Águas Subterrâneas**, 28(2): 82-94, 2014.
- WANDERLEY, L. S. A; SANTOS, C. L.; SILVA, O. G. Resgate de Estudos Paleoambientais sobre o Quaternário Tardio no Semiárido Brasileiro. **William Morris Davis - Revista de Geomorfologia**, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 21–35, 2020.
- WATLING, J. G. **Environmental Impacto f the Pre-Columbian Geoglyph Builders of Western Amazonia**. Tese de Doutorado. College of Humanities, University of Exeter, 2014.
- WATLING, J. *et al.* Direct archaeological evidence for Southwestern Amazonia as an early plant domestication and food production centre. **PloS ONE**, v.13, n.7: e0199868, 2018.
- XAVIER, M. C.T. **Paleofauna e Paleoambientes do Pleistoceno Superior no Município de Jaguarari, Norte da Bahia**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão – SE, 2012.

ZULAR, A. *et al.* Os efeitos da interação flúvio-eólica do Holoceno médio e da dinâmica costeira na formação de lagos represados por dunas no NE do Brasil. **Quat. ciência Rev.** 196, 137-153, 2018. [https:// doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.07.022](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.07.022).

APÊNDICE

Apêndice 1: Capítulo I - Listagem dos trabalhos com a temática fitólito de 1957 a 2022.

GRUPO	AUTORES	ANO	Tipo de publicação
1	FONTANA JR., P. & MUTH, H.	1957	Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, 5:135-144, 1957.
1	SENDULSKY & LABOURIAU	1966	Revista
1	CAVALCANTE (1968)	1968	Revista
1	CAMPOS & LABOURIAU	1969	Revista
1	SILVA & LABOURIAU	1970	Revista
1	SONDAHL & LABOURIAU	1970	Revista
1	FIGUEIREDO & HANDRO	1971	Revista
1	LABOURIAU (1973)	1973	Revista
1	PAVIANI, T.I.	1977	Revista Bras. Biol. 37 (2)
1	LINS, et al.,	2002	Revista Protoplasma
1	ACEDO, C. & F. Llamas. (2003)	2003	Revista
1	BARROS, et al.	2003	Revista
1	LIMA, L. G. & MEDEANIC, S. A	2007	Congr. ABEQUA, 11, 2007
1	GARCIA, A. A. M et al.,	2008	Congresso
1	MEDEANIC et al.,	2008	GRAVEL, 6 (2): 1-14, 2008.
1	RODRIGUES, L.C. & SANTANA, M.A.E	2008	Ciência Florestal 18(2):259-264, 2008
1	MEDEANIC et al.,	2009	GRAVEL, 7 (1): 31-36, 2009.
1	MONTII, L. et al.	2009	Revista Quaternary International 193, 80-80p, 2009.
1	SILVA, R.J.F. & POTIGUARA, R.C.V.	2009	Acta Amazonica 39(4):793-798. 2009.
1	PEREIRA, G. L.	2010	Cadernos do LEPAARQ, 7:13-14, 2010.
1	RASBOLD, G. G. et al.	2010	Enc. Prod. Científica Tecnológica, 5
1	Costa, F.G.C. M. et al.	2011	Revista Rodriguésia 62(4):937-942, 2011
1	PEREIRA, T. A. R. et al.,	2011	Revista Botany 89(4):243-253. 2011.
1	RASBOLD, G. G. et al.,	2011	Iheringia Serie Botanica 66(2):265-270. 2011.
1	CASALLAS	2012	Dissertação de mestrado
1	CECCHET, F. A. (2012)	2012	Monografia geografia

1	FELIPE, P.L.L.	2012	Monografia
1	MARTINS, C. M.	2012	Tese de doutorado, UFV
1	MONTEIRO et al., (2012)	2012	Revista Biologia Neotropical 9(1):10-18
1	MONTEIRO et al., (2012)	2012	Paleontologia em Destaque 65:20-21, 2012
1	PEREIRA, J.S.R. et al.,	2012	Paleontologia em Destaque 65:21. 2012.
1	RAITZ, E.	2012	Dissertação mestrado Geo
1	RASBOLD, G. G. et al.	2012	<i>Iheringia</i> , 67(2):137-148, 2012.
1	BRUSTOLIN & CALEGARI (2013)	2013	Semana acadêmica
1	Calegari et al.	2013	Congresso ABEQUA
1	GOLOVATI et al., (2013)	2013	I Simpósio Nac. Métodos e Técnicas na Geografia e XXII Semana de Geografia UEM, 2013
1	PEREIRA, J.S.R. et al.,	2013	Revista de Ciências Ambientais
1	RASBOLD, G. G. & PAROLIN, M.	2013	Paleontologia em Destaque 66:18-19. 2013.
1	RASBOLD, G. G. et al.,	2013	Paleontologia Paleo PR/SC 1:18-23. 2013.
1	RASBOLD, G. G. et al.,	2013	Simpósio Bras. Paleobotânica e Palino
1	RASBOLD, G. G. et al.,	2013	Paleontologia em Destaque 66:35. 2013.
1	RASBOLD, G. G. et al.,	2013	Paleontologia em Destaque 65:36. 2013.
1	SANTANA, M.A.E.;	2013	Holzforschung 67(1):19-24. 2013.
1	BORRELLI et al., (2014)	2014	Revista
1	Calegari, et al.	2014	Capítulo de livro
1	GOLOVATI et al., (2014)	2014	Revista Paleontologia em Destaque 2014, 67:34.
1	MONTEIRO, M.R. et al., (2014)	2014	Resumo expandido
1	RAMOS, Y.B.M.	2014	TCC geografia UERJ
1	RASBOLD, G. G. et al.,	2014	Paleontologia em Destaque 67:37. 2014.
1	STEVANATO et al.,	2014	Paleo PR/SC, Extended Abstract. 2014.
1	BRUSTOLIN & CALEGARI (2013)	2015	Encontro
1	MACEDO, R. S. et al., (2015)	2015	Congresso
1	RAITZ, E. et al.,	2015	Revista Quaternary and Environmental Geosciences

1	SANT'ANNA-SANTOS, B.F. et al.,	2015	Anais da Academia Brasileira de Ciencias 87(1):71-81.
1	SILVA, A.S. et al.,	2015	Rodriguésia 66(2):645-657. 2015.
1	STEVANATO et al.,	2015	Paleontologia em Destaque 68:84, 2015.
1	AUGUSTIN et al.,(2016)	2016	10 th International Meeting on Phytolith Research, Aix-en-Provence, France, Abstracts :32-33, 2016.
1	FERREIRA, H.B. & CALEGARI, M.R.	2016	Encontro
1	MORCOTE-RÍOS, G. et al.	2016	<i>Botanical Journal of the Linnean Society</i> , v. 182, p. 348-360, 2016.
1	RICARDO, S. D. F.	2016	TCC Biologia UERJ
1	CELARINO, A. L. S, et. al.,	2017	Congresso
1	COE, H. H. G. et al.,	2017	Quaternary and Environmental Geosciences, 8(2): 9-21.
1	Costa, F.G.C. M. et al.	2018	Annals of Botany, 122: 1187–1201, 2018
1	MOZER (2018)	2018	Monografia licenciatura
1	RICARDO, S. D. F. et al.	2018	Flora 249, 1–8, 2018.
1	MOZER, J. H. et al.,	2019	Revista Perspectiva geografica14(20):84-95. 2019
1	SANTOS, K.R. et al.,	2019	5ºEncontro Anual de Iniciação Científica, Tecnológica e Inovação, UNIOESTE
1	SOUZA, E.	2019	Dissertação de mestrado geografia, UNIOESTE
1	STEVANATO et al.,	2019	Revista Flora 253:49-55.
1	DIAS, R.R. et al.,	2020	Cap.09. 98 – 116p., 2020.
1	SANTOS, K.R. et al.,	2020	6ºEncontro Anual de Iniciação Científica, Tecnológica e Inovação, UNIOESTE
1	WATLING, J. et al.,	2020	Quaternary International, 550,85-110, 2020.
1	BARROSO, F.R.G. et al. (2021)	2021	Revista
1	MOZER, J. H.	2021	Dissertação UNIOESTE
1	RASBOLD, G. G. et al.,	2012c	Paleontologia em Destaque 65:19-20. 2012.
1	RASBOLD, G. G. et al.,	2012d	Iheringia Serie Botanica 67(2):137-148. 2012.
1	MONTEIRO, M.R. et al., (2013)a	2013a	Paleontologia em Destaque 66:31.2013.
1	MONTEIRO, M.R. et al., (2013)b	2013b	Revista Paleontologia em Destaque 66:32.
1	MONTEIRO, M.R. et al., (2013)c	2013c	Destaque 66:32-33. 2013c
1	PEREIRA, J.S.R. et al.,	2014a	Paleontologia em Destaque 67:36-37. 2014

1	PEREIRA, J.S.R. et al.,	2014b	Capítulo 3 de livro
1	MONTEIRO et al., (2015)a	2015a	Revista Paleontologia em Destaque 68:72. 2015.
1	MONTEIRO, M.R. et al., (2015)	2015b	Revista Brasileira de Geografia Física 8(4):1256-1272. 2015
1	DIAS, R. R. et al.,	2019a	Flora, 260: 151-
2	PIPERNO, D. & BECKER, P.	1996	<i>Quaternary Research</i> . San Diego, v. 5, p.202-209, 1996.
2	MARTINS, C. M.	1999	Revista
2	PESSENDA, L. C. R. et al.,	2004	<i>Quaternary Research</i> , v.62, p.183-193, 2004
2	BORBA-ROSCHER et al.,	2006	Simpósio
2	BORBA-ROSCHER et al.,	2006	<i>Journal of Geochemical Exploration</i> , 88(1):172- 176, 2006.
2	SANTOS, R.F.	2007	Tese de doutorado
2	CALEGARI	2008	Tese doutorado
2	PESSENDA, L. C. R. et al.,	2008	<i>Annals of the Brazilian Academy of Sciences</i> , v.80, n.4, p.677-691, 2008.
2	COE	2009	Tese doutorado
2	AUGUSTIN et al., (2010)	2010	Congresso Intern. Meet. Phytolith Res., 8, 2010. Abstracts, PaleoResearch Institute
2	CALEGARI et al.	2010	Congresso
2	GUERREIRO et al. (2010)	2010	Revista
2	GUERREIRO et al. (2010)	2010	Simpósio
2	Calegari et al.	2011	Congresso XIII ABEGUA
2	MARCOTTI, T.C.B. et al.,	2011	ABEGUA Congresso
2	MONTEIRO et al., (2011)	2011	Congresso ABEQUA
2	PAROLIN, M. et al.,	2011	Congresso XIII ABEGUA
2	RASBOLD, G. G. et al.,	2011	Paleontologia em Destaque 64:12. 2011.
2	SILVA, K.C. et al.,	2011	Paleontologia em Destaque 64:13. 2011.
2	CHUENG (2012)	2012	Monografia
2	COE; CHUENG; GOMES	2012	Revista Tamoios (7): 60-79, 2012.
2	GOMES, J.G.	2012	Monografia, UERJ, 2012
2	MONTEIRO (2012)	2012	Monografia

2	MONTEIRO, M. R. et al., 2012	2012	Revista Paleontologia em Destaque 65:21-22. 2012.
2	PAROLIN, M & STEVAUX, J.C.	2012	Revista Paleontologia em destaque 65
2	CALEGARI et al.	2013	Revista Quaternary International 287:47-55
2	CANDELARI, et al.	2013	Revista
2	CHUENG et al. (2013)	2013	Congresso
2	GOLOVATI et al., (2013)	2013	Congresso Paleo PR/SC – Resumos expandidos 1:6–11. 2013.
2	GOMES, J.G.	2013	Dissertação Geologia e Geofísica marinha, UFF
2	GUERREIRO et al. (2013)	2013	Revista
2	PAISANI, J.C et al.,	2013	Rev. Bras. Geomorfologia 14 (1), 2013.
2	PAROLIN, M. et al.,	2013	Revista Paleontologia em Destaque 66:103. 2013
2	RAMIREZ, A.I.A et al.,	2013	Paleontologia em Destaque 66:104, 2013.
2	RASBOLD, G. G.	2013	TCC Eng. Ambiental, Universidade Tecnológica Federal PR, 58 p., 2013.
2	SANTOS, J.C. A.	2013	Dissertação de mestrado
2	SANTOS, J.C.A. (2013)	2013	Revista Paleontologia em Destaque 66:37-38.2013.
2	SILVA, D.W. (2013)	2013	Dissertação
2	SILVA, D.W. et al.,	2013	Revista Paleontologia em Destaque 66:39. 2013.
2	SILVA, M.B.	2013	Tese doutorado
2	SILVA-LISTO, D.G.	2013	Dissertação geografia UFPE
2	AUGUSTIN et al., (2014)	2014	Revista
2	GOMES; COE; MACARIO	2014	Revista Tamoios 10, 128 - 150, 2014.
2	LOPES-PAISANI et al.,	2014	Simpósio - X SINAGEO
2	LUCENA, U.P.	2014	Dissertação de mestrado geografia, UFMG
2	LUZ, (2014)	2014	Dissertação
2	LUZ, et al.	2014	Revista
2	PAROLIN, M. et al.,	2014	Capítulo de livro
2	PASSOS et al.,	2014	Revista Paleontologia em Destaque 67
2	RASBOLD, G. G. et al.,	2014	Paleontologia em Destaque 67:38. 2014.

2	ROCHA, A. P	2014	Monografia Geografia, UERJ.
2	SANTOS, J.C.A et al.,	2014	Paleontologia em Destaque 67:87, 2014.
2	SILVA, K.C.	2014	Dissertação de mestrado geografia
2	CALEGARI	2015	Revista
2	CALEGARI et al.,	2015	Revista
2	CECCHET, F. A. (2015)	2015	Dissertação
2	EWALD, P. L. L. F.	2015	Dissertação
2	GOLOVATI, (2015)	2015	Dissertação
2	KALINOVSKI et al., (2015)	2015	Revista
2	LOPES-PAISANI	2015	Dissertação
2	LORENTE et al., (2015)	2015	Revista
2	LORENTE, (2015)	2015	Tese doutorado
2	MONTEIRO, M.R.	2015	Dissertação
2	PESSEDA, L.C.R. et al.	2015	Ciência & Ambiente 49:41-66, 2015.
2	SANTOS, C.P. et al.	2015	Brazilian Journal of Oceanography 63(3):255-270. 2015.
2	SEIXAS, A. P.	2015	Monografia Geografia, UERJ
2	AUGUSTIN et al., (2016)	2016	10th International Meeting on Phytolith Research, Aix-en-Provence, France, Abstracts :76-77, 2016.
2	BARROS et al., (2016)	2016	Revista
2	CALEGARI et al.,	2016	Congresso
2	CELARINO, A. L. S, et. al.,	2016	Simpósio
2	CHUENG et al., (2016)	2016	Congresso
2	CHUENG et al., (2016)	2016	Dissertação de mestrado geografia
2	KALINOVSKI, E.C.Z. et al.,	2016	Rev. Bras. Geografia Física 9(5):1543-1558, 2016.
2	LOPES-PAISANI et al.,	2016	Revista Geociências
2	LOPES-PAISANI et al.,	2016	Simpósio - XI SINAGEO
2	PAROLIN, M. et al.,	2016	Congresso na França
2	PAROLIN, M. et al.,	2016	Congresso na França

2	RAMOS, Y.B.M.	2016	Dissertação mestrado Dinâmica dos Oceanos e da Terra, UFF
2	RANULPHO, (2016)	2016	Dissertação geografia UFPE
2	RASBOLD, G. G.	2016	Dissertação Mestrado em ecologia de ambientes aquáticos e continentais, UEM
2	RASBOLD, G. G. et al.,	2016	Revista Brasileira de Paleontologia 19(2):315-324. 2016.
2	SANTOS, C. P.	2016	10 th International Meeting on Phytolith Research
2	SILVA, D.W. et al.,	2016	Ambiência Guarapuava 12(1):13-32. 2016.
2	CALEGARI et al.,	2017	Quaternary International, 437: 156-164, 2017.
2	CALEGARI et al.,	2017	Revista Quaternary Internacional 434: 117-128
2	CHUENG et al., (2017)	2017	Revista
2	COE et al.,	2017	Quaternary International, 434: 58-69, 2017
2	DIAS, R.R.	2017	Monografia, UERJ, 2017
2	LOPES-PAISANI et al.,	2017	Revista Brasileira de Geomorfologia
2	PAROLIN, et al.	2017	Rev. do Departamento de Geografia (USP), v. SBGFA, 96 - 103, 2017.
2	SEIXAS, A. P.	2017	Dissertação de Mestrado em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, UFF
2	CHIAPINI et al (2018)	2018	Revista
2	COE et al.	2018	Rev.Bras. de Geografia Física, 11, 456-476, 2018.
2	DIAS, R. R. et al.,	2018	Anais do XII Sinageo - Crato/CE, 2018.
2	KAMMER (2018)	2018	TCC lic em Geografia Unioeste
2	NASCIMENTO et al., (2018)	2018	Congresso SINAGEO
2	RASBOLD, G. G. et al.,	2018	PP23D-1525. 2018. Resumo em Anais de Congresso embrapa
2	SANTOS, C.P.	2018	Tese de doutorado em Dinâmica dos Oceanos e da Terra, UFF
2	SILVA, D. W.	2018	Tese de doutorado em Geografia, UEPG.
2	SILVA-NETO, E.C et al.,	2018	Science of The Total Environment 636:1070-1080. 2018
2	CHUENG et al., (2019)	2019	Jornal revista
2	DIAS, R.R. et al.,	2019	Revista GEOUECE 08, 193-208, 2019.
2	LUZ, et al.	2019	Revista
2	MACHADO, D. O. B. F.	2019	TCC graduação

2	MACHADO, D. O. B. F. et al.,	2019	Capítulo de livro
2	MARQUES, A. L.	2019	Dissertação
2	PAISANI, J.C et al.,	2019	Revista Catena 182, 2019
2	PEREIRA, W.M.A.	2019	Dissertação
2	RAMIREZ, A.I.A et al.,	2019	Journal of South American Earth Sciences 89:30-38, 2019.
2	RASBOLD, G. G. et al.,	2019	Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 518:119–133, 2019.
2	SALGADO, E.T.	2019	Dissertação de mestrado
2	SEIXAS, A. P. et al.	2019	Revista ANPEGE 15, 29-53, 2019
2	SILVA-NETO, E.C et al.,	2019	Journal of South American Earth Sciences 95:102301.2019.
2	SOUZA, E.	2019	Dissertação de mestrado em Geografia, Unioeste
2	CALEGARI, M.R. & VIDAL-TORRADO	2020	XIII RCC Maranhão
2	CHUENG et al., (2020)	2020	Tese de doutorado
2	CHUENG et al., (2020)	2020	Capítulo livro ebook, ed. Atena
2	DIAS, R.R.	2020	Dissertação de mestrado em Dinâmica dos oceanos e da terra, UFF
2	EDUVIRGEM, R.V. et al.,	2020	Revista
2	GOMES, J.G.	2020	Tese de doutorado em Dinâmica dos oceanos e da terra, UFF
2	GOMES, J.G. et al.	2020	Livro 1 ed.: Atena Editora, 70-85, 2020
2	RASBOLD, G. G. et al.,	2020	Journal of South American Earth Sciences 99:102513. 2020
2	SALGADO, E.T. et al.,	2020	Journal of South American Earth Sciences 106:103067, 2021.
2	SILVA-NETO, E.C et al.,	2020	Catena 193:104642. 2020.
2	COE et al.	2021	Atena Editora, 84-102, 2021
2	DOCIO, et al.	2021	Journal of South American Earth Sciences
2	GONÇALVES, T. S.	2021	Tese UFVJM
2	MACHADO, D. O. B. F. et al.,	2021	Jornal Revista Journal of South American Earth Sciences, 108, 103349 .2021.
2	MOZER, J. H.	2021	Dissertação UNIOESTE
2	RASBOLD, G. G. et al.,	2021	Journal of Paleolimnology 65(2):181-199. 2021.
2	REIS, A. D	2021	Dissertação de mestrado em Ciências do Solo, UFPR

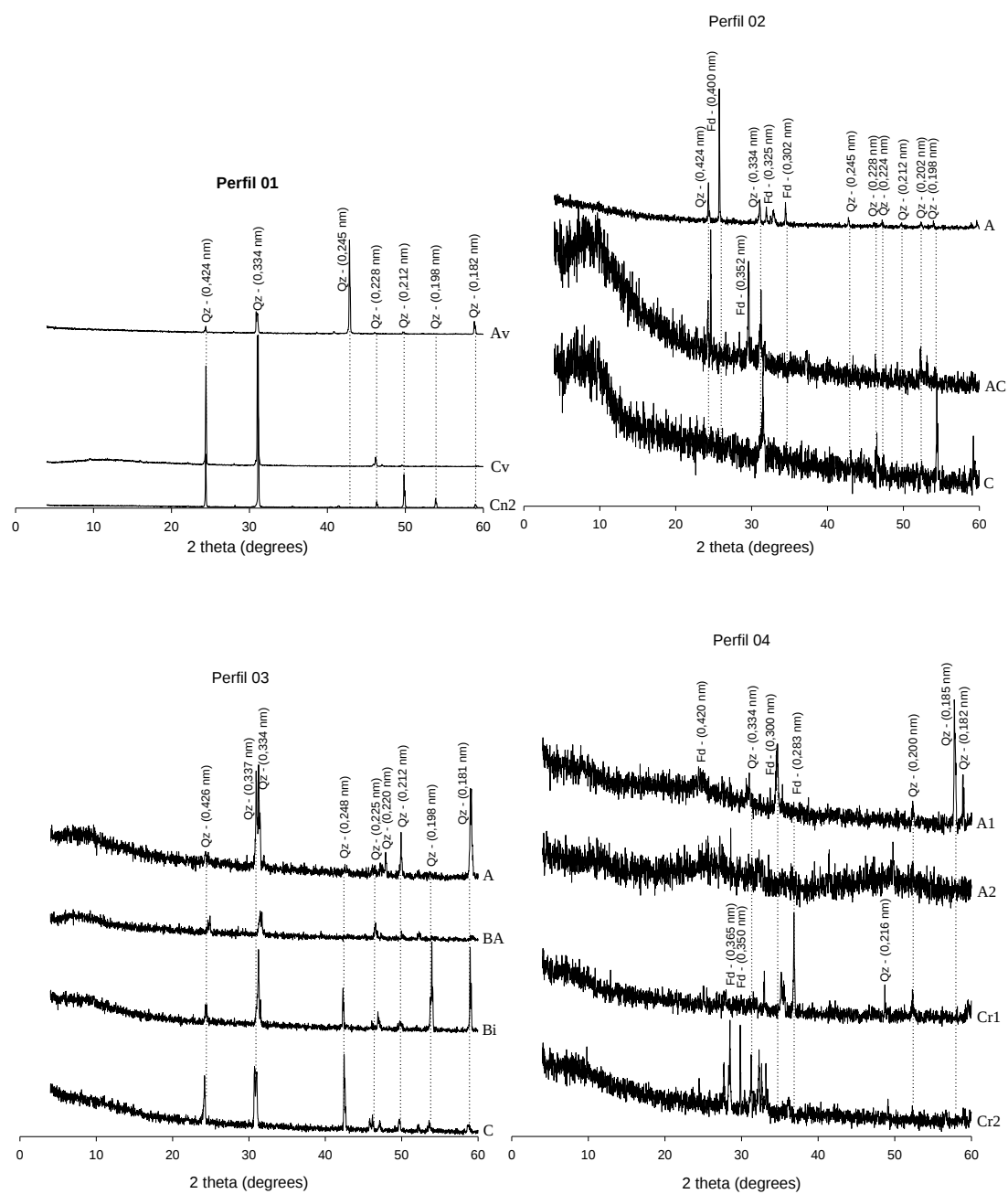
2	AGUIAR, A. E. X.	2022	Tese de doutorado UECE
2	COSTA, C.R. et al.,	2022	Revista Journal of South American Earth Sciences, 116, 103795. 2022.
2	MACHADO, D. O. B. F.	2022	Dissertação
2	SANTOS, C.P. et al.	2022	Journal of South American Earth Sciences, 2022.
2	SILVA-LISTO, D.G.	2022	Revista
2	RASBOLD, G. G. et al.,	2012a	Paleontologia em Destaque 65:18-19, 2012.
2	COE, H.H.G. et al	2012b	Revista GeoNorte, v. 1, p. 248 - 261, 2012b.
2	RASBOLD, G. G. et al.,	2012b	Paleontologia em Destaque 65:19. 2012.
2	MONTEIRO, M. R.	2012d	TCC Eng. Ambiental, Universidade Tecnológica Federal PR, 58 p., 2012.
2	COE, H.H.G. et al	2013a	Quaternary International, v. 287, p. 63 - 72, 2013a.
2	CALEGARI et al.,	2013b	Revista
2	COE, H.H.G. et al	2013b	Revista Tamoios, v. 9, p. 1 - 21, 2013b.
2	COE; CHUENG; GOMES	2014a	Nova Science Publishers, New York, v.1. 280p, 2014
2	COE; GOMES; MACARIO	2014b	Nova Science Publishers, New York, v.1. 280p, 2014b, 171-192.
2	COE, H.H.G. et al.	2014c	Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 415, 59 - 68, 2014c
2	COE; AUGUSTIN; CHUENG	2014d	Nova Science Publishers, New York, v.1., 2014, 193-213, 2014d.
2	COE et al.	2015b	Revista Equador, 4, 1439-1447, 2015b
2	MONTEIRO et al., (2015)	2015c	Conferência
2	CHUENG et al., (2020)a	2020a	Capítulo livro ebook, ed. Univasf
3	KONDO, R. & IWANA, Y.	1981	Research Bulletin Obihiro University
3	BOYADJIAN, C.H.C.	2007	Dissertação de mestrado
3	BOZARTH, S. R. et al.,	2009	Wim Sombroek's Vision, 85–98, 2009
3	CASCON, L. M.	2009	TCC, UERJ
3	CASCON, L. M.	2010	Dissertação de mestrado
3	DOBKOWSK, L.R. et al.,	2010	Revista
3	BOYADJIAN, C.H.C.	2012	Tese de doutorado
3	CORTELETTI, R.	2012	Tese de doutorado

3	MACEDO, R. S.	2013	Tese
3	MCMICHAEL, C. H.	2013	<i>Journal of Biogeography</i> . v. 40, p. 299-309, 2013.
3	PEREIRA, G. L.	2013	Dissertação de mestrado
3	SIANTO, et al.	2013	FUMDHAMENTOS - Revista da Fundação do Museu do Homem Americano
3	BOYADJIAN, C.H.C. et al.,	2014	<i>University of New Mexico Press</i> . pp179-188, 2014.
3	CORTELETTI, R. et al.,	2014	Congresso
3	SCHNEIDER, F.	2014	Dissertação de mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento. Lajeado, RS. 220p., 2014.
3	CORTELETTI, R. et al.,	2015	Jornal revista
3	MCMICHAEL, C. H.	2015	<i>Frente Ecol. Evol.</i> 3, 141, 2015. doi: 10.3389 / fev.2015.00141
3	WATLING, J. et al.	2015	<i>Journal of Archaeological Science: Reports</i> , 4:541-551, 2015.
3	BOYADJIAN, C.H.C. et al.,	2016	<i>Cadernos do LEPAARQ</i> 13:132-161, 2016.
3	CORTELETTI, R. et al.,	2016	Revista
3	MADELLA, et al.,	2016	Conferência internacional
3	WATLING, J. et al.,	2016	<i>Review of Palaeobotany and Palynology</i> 226: 30-43, 2016
3	COE et al.	2017	<i>Revista Flora</i> , 236-237, 1 - 8, 2017.
3	WATLING, J. et al.	2017	<i>Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)</i> , 114:1868-1873, 2017
3	CHUENG et al., (2018)	2018	<i>Revista Bras. Geo. Física</i>
3	WATLING, J. et al.	2018	<i>PloS ONE</i> , 13(7): e0199868, 2018.
3	BOYADJIAN, C. et al. (2019)	2019	Revista
3	GALVÃO, D.C.	2019	Tese doutorado
3	RAMOS, D. A. M. C.	2019	Tese doutorado Geo UFPE
3	WATLING, J. et al.,	2020	<i>Cienc. Hum.</i> 15 (2), 2020.
3	OLIVEIRA, K. et al.	2021	Revista
3	MACHADO, D. O. B. F. et al.,	2022	<i>Revista Vegetation History and Archaeobotany</i> , 2022
3	SOUZA, T. et al.,	2022	<i>Revista do Museu de Arq. Etn.</i> 39: 1-20, 2022.
3	CHUENG et al., (2020)b	2020b	Capítulo livro ebook, ed. Atena
3	COE et al.	2020c	Capítulo de livro, Ed. Atena 61-85, 2020c

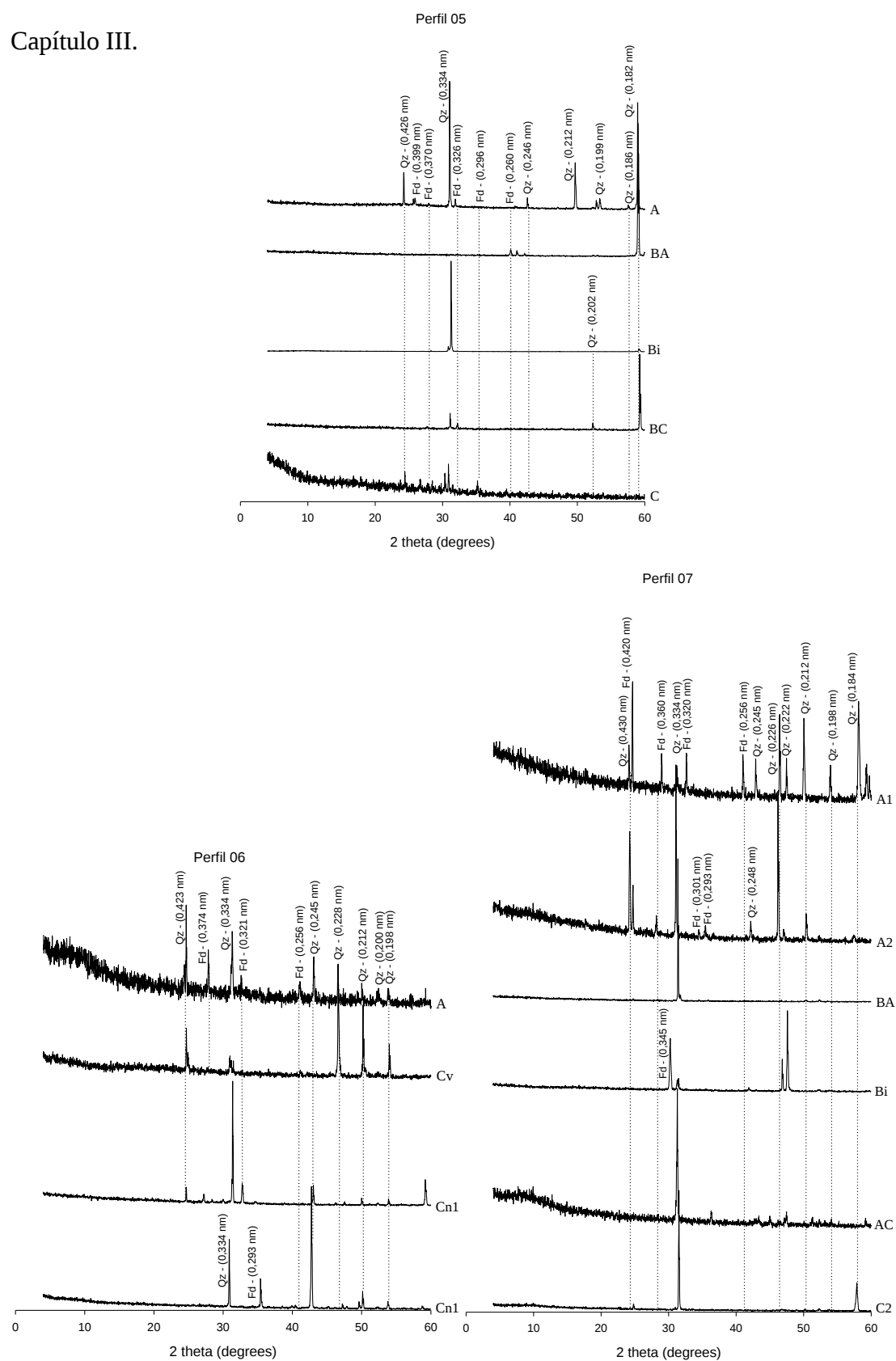
4	PAULA & SILVA	2006	Simpósio (sinageo)
4	SANTOS, G.M. et al.,	2008	11th International Conference on Accelerator Mass Spectrometry
4	SANTOS, G.M. et al.,	2010	Revista Radiocarbon 52:113-128. 2010.
4	SANTOS, G.M. et al.,	2012	Biogeosciences, 2012, 9 (5), pp.1873 - 1884.
4	COSTA , L. M. et al.,	2019	Revista
4	RODRIGUES, B.M.	2019	Dissertação de mestrado
4	COSTA , L. M. et al.,	2010a	Simpósio
4	COSTA , L. M. et al.,	2010b	Revista
4	COSTA , L. M. et al.,	2010c	Revista
5	Calegari et al.	2010	Congresso não consigo achar
5	SANTOS, J.C.A et al.,	2012	Paleontologia em Destaque 65:55.2012.
5	CALEGARI et al.,	2013	Revista Quaternary International 287:56-62
5	PAROLIN, M. et al.,	2014	Revista Paleontologia em destaque 67
5	CALEGARI et al.,	2016	Encontro Argentina
5	COSTA, F.G.C. M. et al.	2016	Revista Review of Palaeobotany and Palynology 228:93-97, 2016.
5	COE, H. H. G. et al.,	2021	Ciências Exatas e da Terra exploração e qualificação de diferentes tecnologias 3. Livro - Ebook
6	LABOURIAU (1983)	1983	Revista
6	SANTOS, G.M.	2009	Quaternary International 193:30-31.2009.
6	SILVA, I. S. et al.,	2010	XIII SBPP - Simpósio Brasileiro de Paleobotânica e Palinologia. 2010.
6	LUZ, et al.	2013	Simpósio
6	CALEGARI	2014	LXV Congresso Nacional de Botânica
6	COE, H.H.G.; OSTERRIETH, M.	2014	Nova Science Publishers, New York, v.1. 280p, 2014
6	LUZ, et al.	2015	Revista
6	SANTOS, G.	2016	10 th International Meeting on Phytolith Research
6	SANTOS, G.M. et al.,	2016	Journal of Archaeological Science . doi: 10.1016/j.jas.2015.06.002.”
6	SANTOS, G.M. & ALEXANDRE, A.	2017	Earth-Science Reviews 164:251-255. 2017.
6	SANTOS, G.M. et al.,	2018	Quaternary Science Reviews 197:162-174, 2018.

6	AGUIAR, A.E.X. et al. (2019)	2019	Revista
6	CALEGARI, M.R. et al.	2022	Revista
6	MACHADO, D. O. B. F. et al.,	2022	Anais de eventos
7	OLIVEIRA, L. A.	2009	Tese de doutorado ESALQ https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64134/tde-03122009-094223/
7	COSTA, L. R. T.	2012	Tese doutorado
7	FARNEZI, M.M.M. et. al.,	2020	Revista Plants
Total:			
302	Consultar os grupos de 1 ao 7 no capítulo I.		Fonte: Fonseca, C. F., 2023.

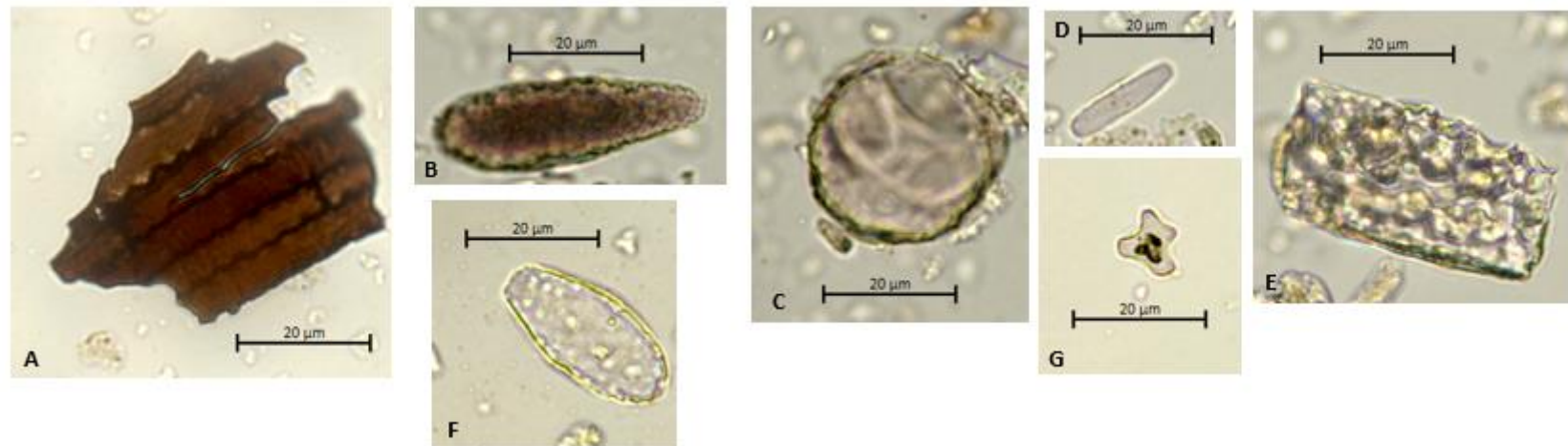
Capítulo III.

Apêndice 2: Difração de raios-X da fração areia dos pedons da *Borborema Central*.

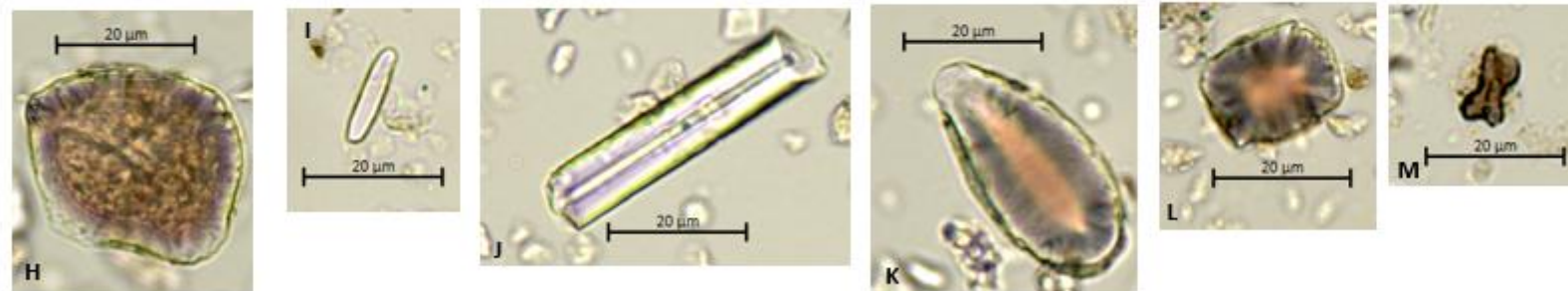
Capítulo III.

Apêndice 3: Difração de raios-X da fração areia dos pedons da *Borborema Oriental*.

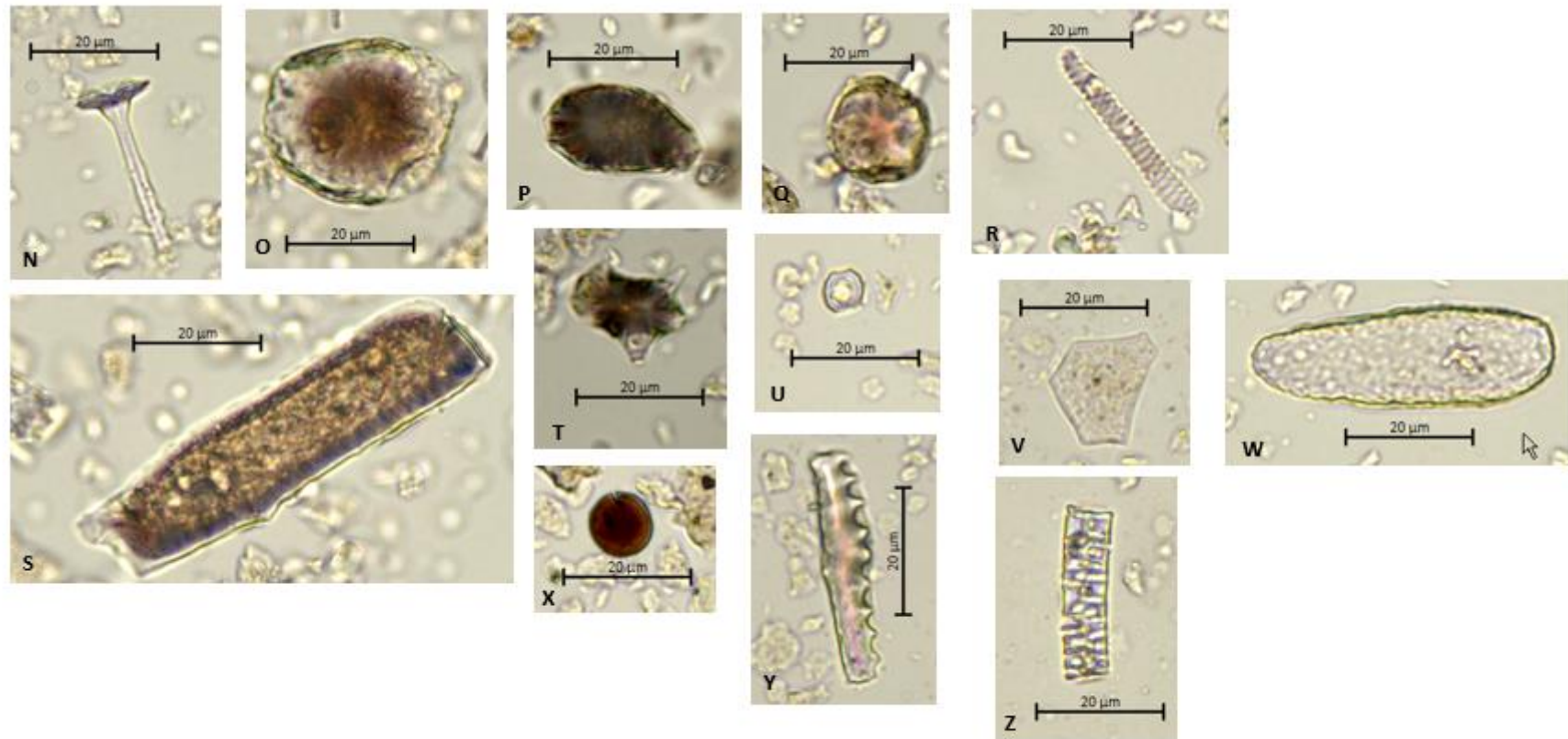
Apêndice 4: Capítulo IV - Pranchas de fotos com os fitólitos e outras biomineralizações de sílica para cada perfil de solo estudado (P1 ao P7)



Prancha de fotos P1 – Vertissolo Ebânico (Monteiro/PB): **40cm:** A: Articulados de *ELO_SIN* âmbar; B – *ACU_Fabaceae* âmbar; *SPH_ORN*; **50cm:** D: Diatomácea; E – *TAB_Corroído*; F – *ACU_Fabaceae*; G – *CRO*; **70cm:** H – *PLG* âmbar; **80cm:** I: Diatomácea; J – Espícula de esponja fragmentada; **80cm:** K – *ACU_Fabaceae* âmbar; L – *BLO* âmbar; M – *BIL* âmbar; Escala: 1 cm - 20µm

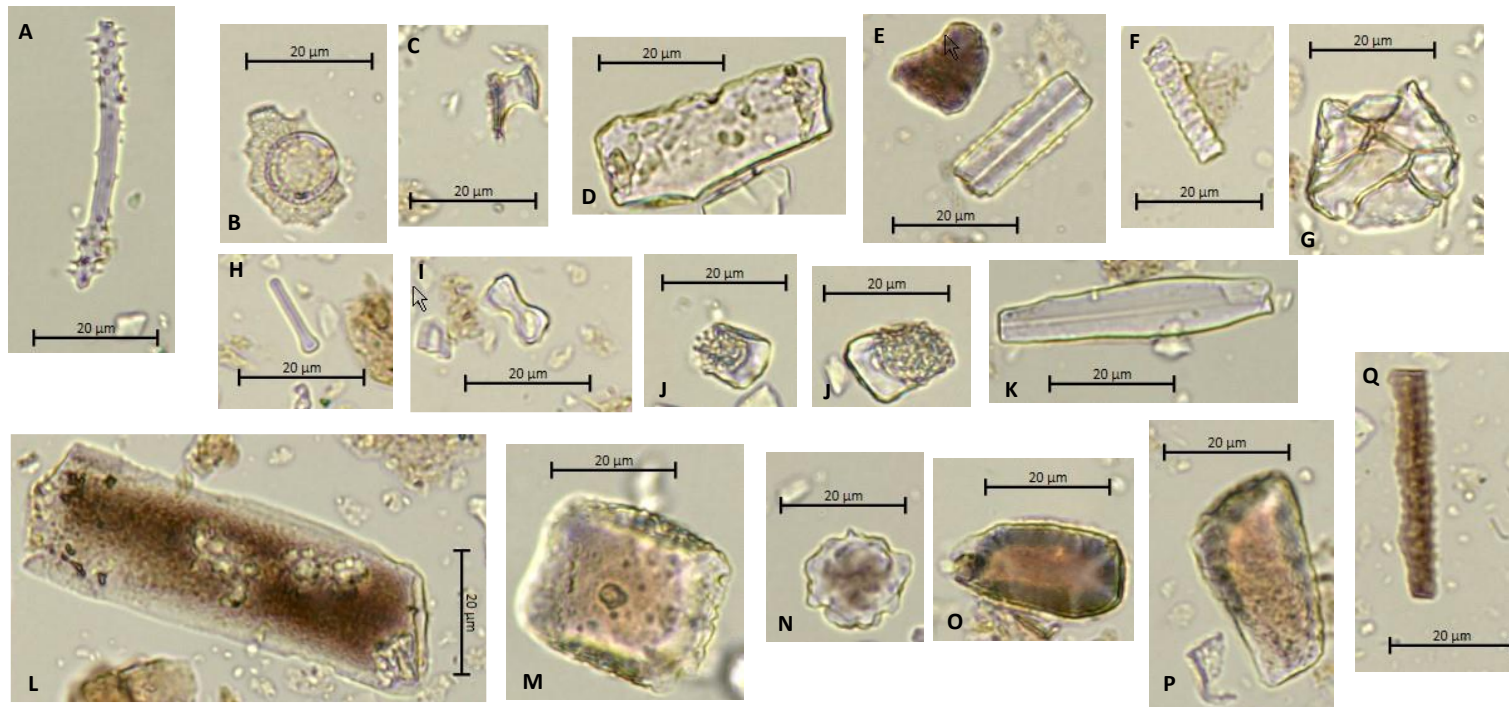


Fonte: Fonseca, C. F. 2022. Fotos obtidas através do microscópio petrográfico trinocular Axioscope 5(Zeiss®) com aumento de 40x no LEDA, Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon/PR.



Prancha de fotos P1 – Vertissolo Ebânico (Monteiro/PB): 80cm: N: Gemosclera fragmentada ; O – PLG âmbar; **90cm:** P - ACU_Fabaceae queimado; Q: PLG âmbar; R – TRACHEARY_ANNULATE; S – TAB_ENT_VEL âmbar; **100cm:** T Knobby (nodoso) âmbar; **110cm – U – SAD;** V – PLG_SCR; W – ACU Fabaceae; X – SPH_PSI âmbar; Y - ELO_DTT âmbar; **120cm - Z - ELO_ENT corroído.** Escala: 1 cm - 20µm

Fonte: Fonseca, C. F. 2022. Fotos obtidas através do microscópio petrográfico trinocular Axioscope 5(Zeiss®) com aumento de 40x no LEDA, Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon/PR.



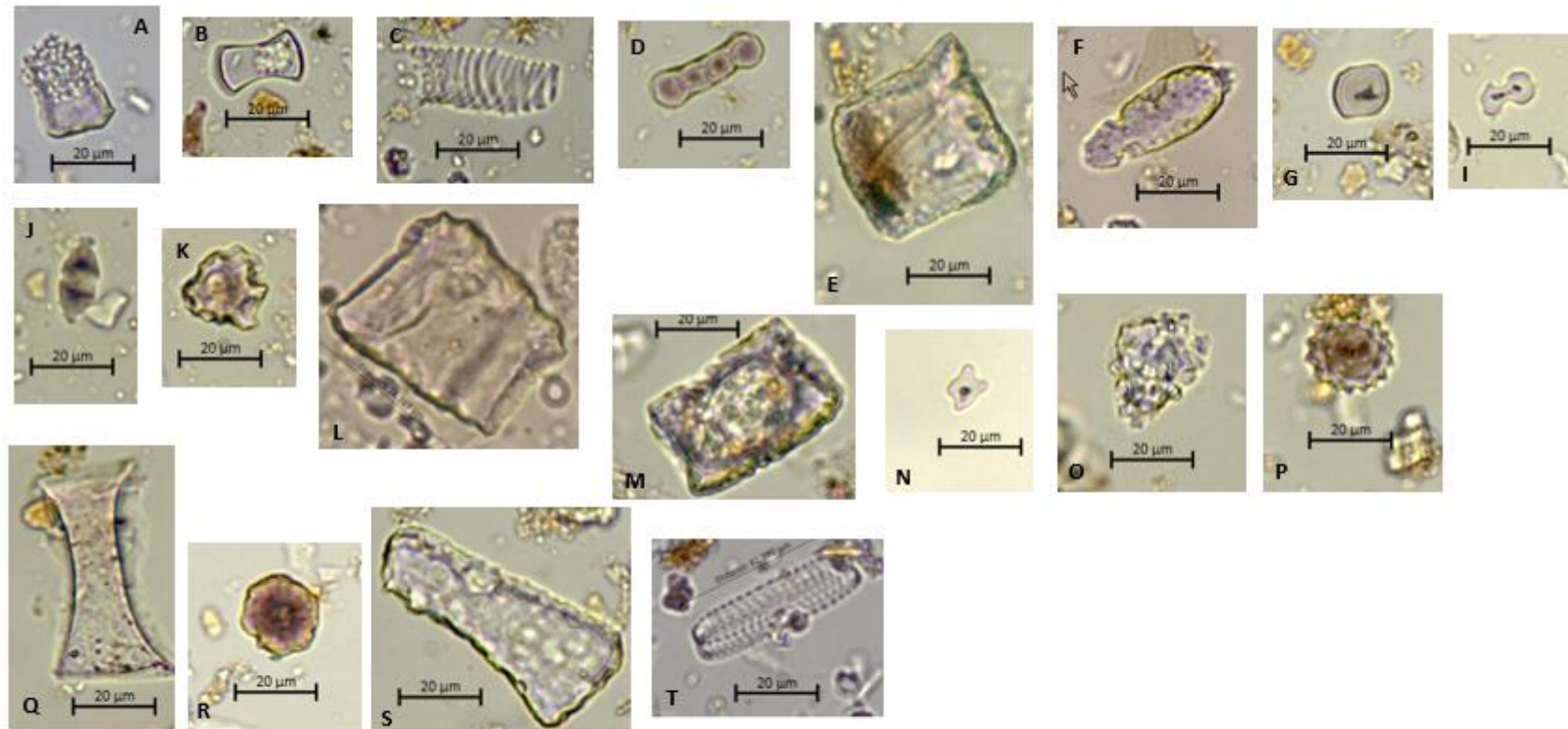
Prancha de fotos P6 – Vertissolo Ebânico (Cabaceiras/PB): **10cm** – A: Fragmento de Gemosclera; **20cm** – B, C – *PLG_SCR* Cyperaceae, em posições diferentes; **D**: *TAB_VEL* Corroído; **E** – *BUL_FLA* âmbar e fragmento espícula de esponja; **F** – *TRA_ANN* Fabaceae; **30cm**: **G** – *BUL_FLA* quebrado e com corrosão; **H** – Diatomácea; **I**: Fragmento de espícula e um *BIL*; **50 cm**: **J** – *PRI_ORN*(Commelinaceae) fragmentado e inteiro; **k** – Fragmento espícula; **60cm**: **L** – *BLO_TAB* âmbar, corroído e quebrado; **M** – *BLO_âmbar* Poaceae; **70cm**: *SPH_ORN*; **80cm**: **O** – *ACU* Fabaceae âmbar; **P** - *BUL_FLA* âmbar e **Q** - *TRA_ANN* âmbar.

Fonte: Fonseca, C. F. 2022. Fotos obtidas através do microscópio petrográfico trinocular Axioscope 5(Zeiss®) com aumento de 40x no LEDA, Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon/PR.



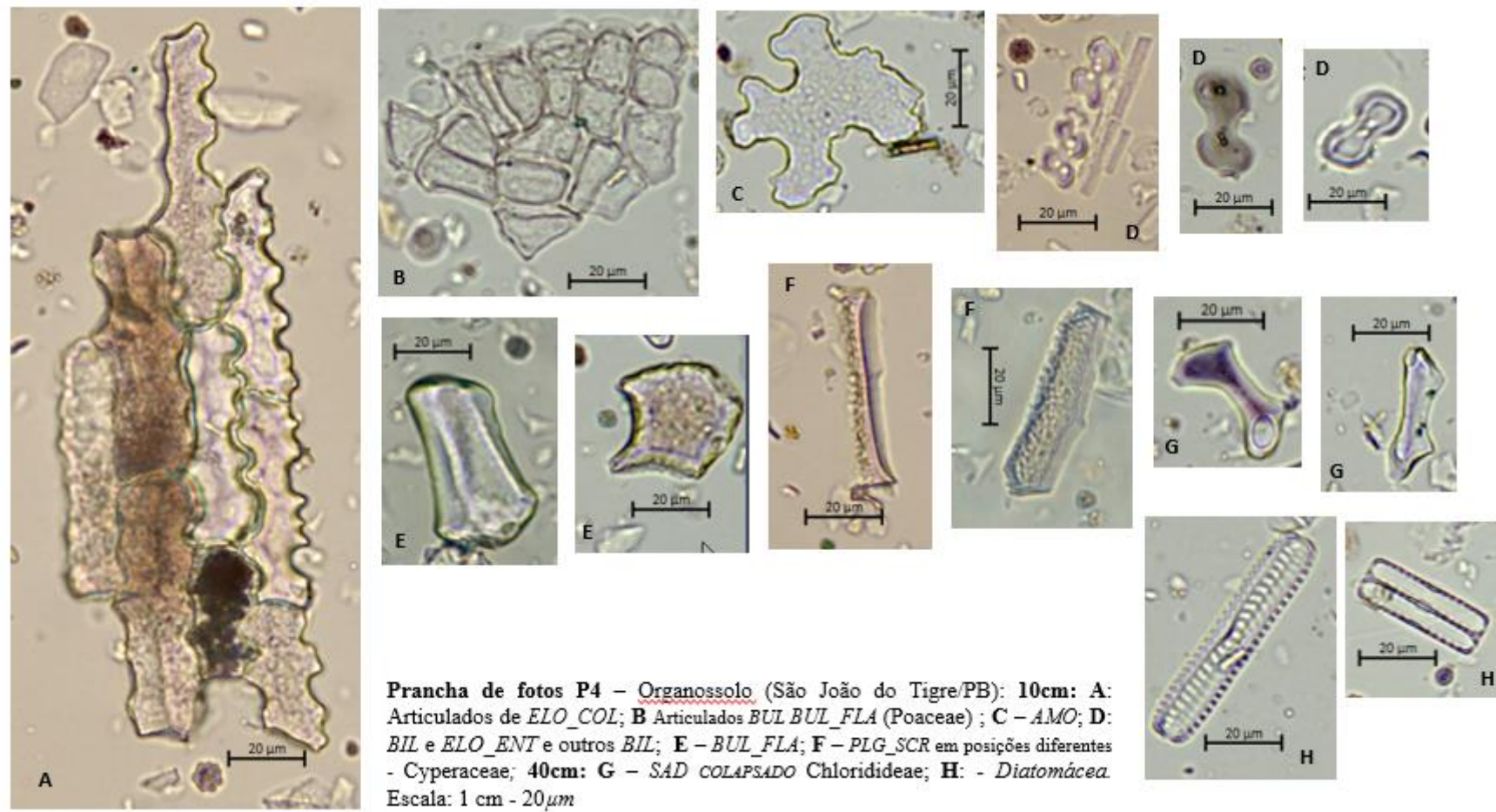
Prancha de fotos P6 – Vertissolo Ebânico (Monteiro/PB): **90cm**: R: *PLG* âmbar; S – *BUL_FLA* âmbar; T - *KNOBY* Marantaceae; U: Espícula fragmentada; **100 cm**: V – Espícula esponja; W – *BLO_ENT* corrosão; **110cm**: X - *TAB_VEL*; Y *KNOBY* (nodoso) âmbar; Z – *RET_ORN* Piperaceae. Escala: 1 cm - 20µm

Fonte: Fonseca, C. F. 2022. Fotos obtidas através do microscópio petrográfico trinocular Axioscope 5(Zeiss®) com aumento de 40x no LEDA, Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon/PR.



Prancha de fotos P2 – Neossolo Regolítico (Congo/PB): **10cm:** A: *PRI_ORN* (Commelinaceae); **20cm** – B – *SAD* Chloridideae; C: *TRA_ANN*; D – Articulado de *SPH_ORN* âmbar; E – *BLO* Poaceae; **30cm:** F – *ACU* Fabaceae com corrosão; **40cm:** G – *SAD* Chloridideae; I: *BIL*; J – *FUSIFORM* (*Heliconia* sp.); K – *ELL_SCR*; L – *BLO_VEL* Bambusoid; **50cm:** M – *BLO_PLG_CAV* corrosão; N – *CRO*; O – *SPH_ORN* (*Globba maculata*); **60cm:** P – *SPH_ECH*; Q – *TAB_STR* maculosa; **70cm:** R – *SPH_ORN* âmbar; S – *BUL_FLA* corrosão; T – Diatomácea. Escala: 1 cm - 20µm

Fonte: Fonseca, C. F. 2022. Fotos obtidas através do microscópio petrográfico trinocular Axioscope 5(Zeiss®) com aumento de 40x no LEDA, Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon/PR.

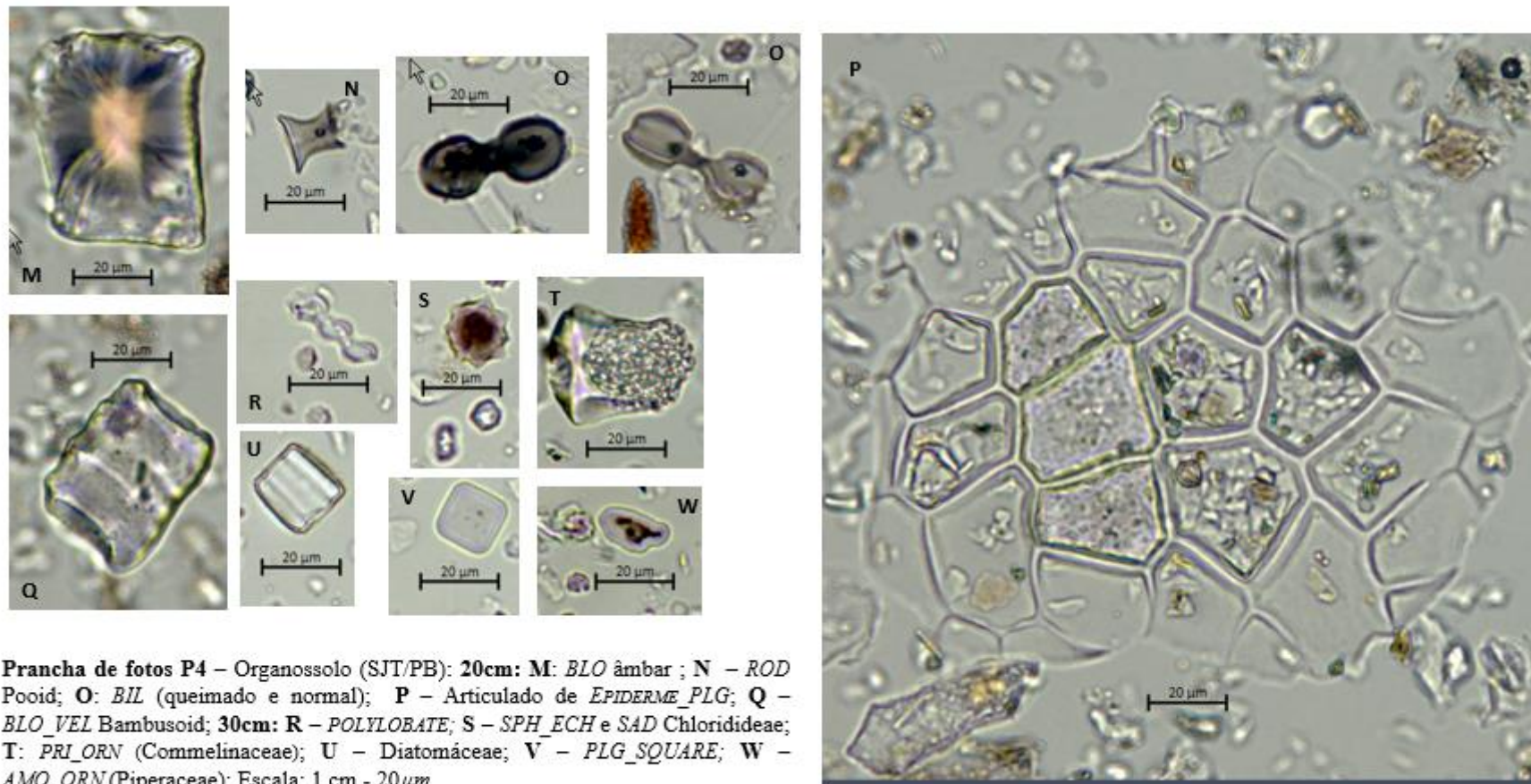


Fonte: Fonseca, C. F. 2022. Fotos obtidas através do microscópio petrográfico trinocular Axioscope 5(Zeiss®) com aumento de 40x no LEDA, Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon/PR.



Prancha de fotos P4 – Organossolo (São João do Tigre/PB): 10cm: I: *ACU* (Fabaceae) ; J – *ACU*; K – *KNNBY* Marantaceae; L - *PRI_ORN* (Commelinaceae).
Escala: 1 cm - 20µm

Fonte: Fonseca, C. F. 2022. Fotos obtidas através do microscópio petrográfico trinocular Axioscope 5(Zeiss®) com aumento de 40x no LEDA, Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon/PR.



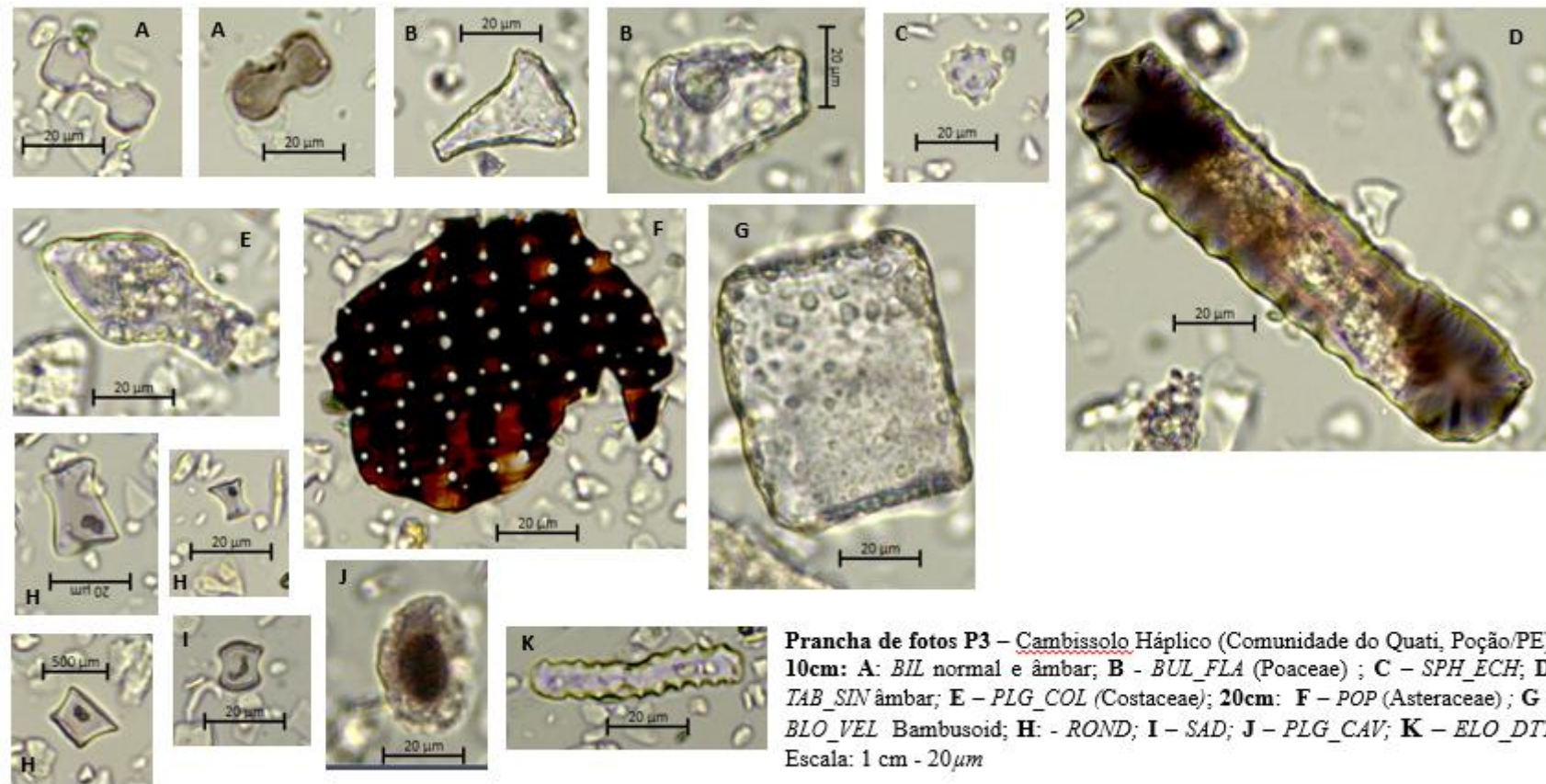
Prancha de fotos P4 – Organossolo (SJT/PB): 20cm: M: *BLO* âmbar ; N – *ROD* Pooid; O: *BIL* (queimado e normal); P – Articulado de *EPIDERME_PLG*; Q – *BLO_VEL* Bambusoid; 30cm: R – *POLYLOBATE*; S – *SPH_ECH* e *SAD* Chloridideae; T: *PRI_ORN* (Commelinaceae); U – Diatomáceae; V – *PLG_SQUARE*; W – *AMO_ORN* (Piperaceae); Escala: 1 cm - 20 µm

Fonte: Fonseca, C. F. 2022. Fotos obtidas através do microscópio petrográfico trinocular Axioscope 5(Zeiss®) com aumento de 40x no LEDA, Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon/PR.

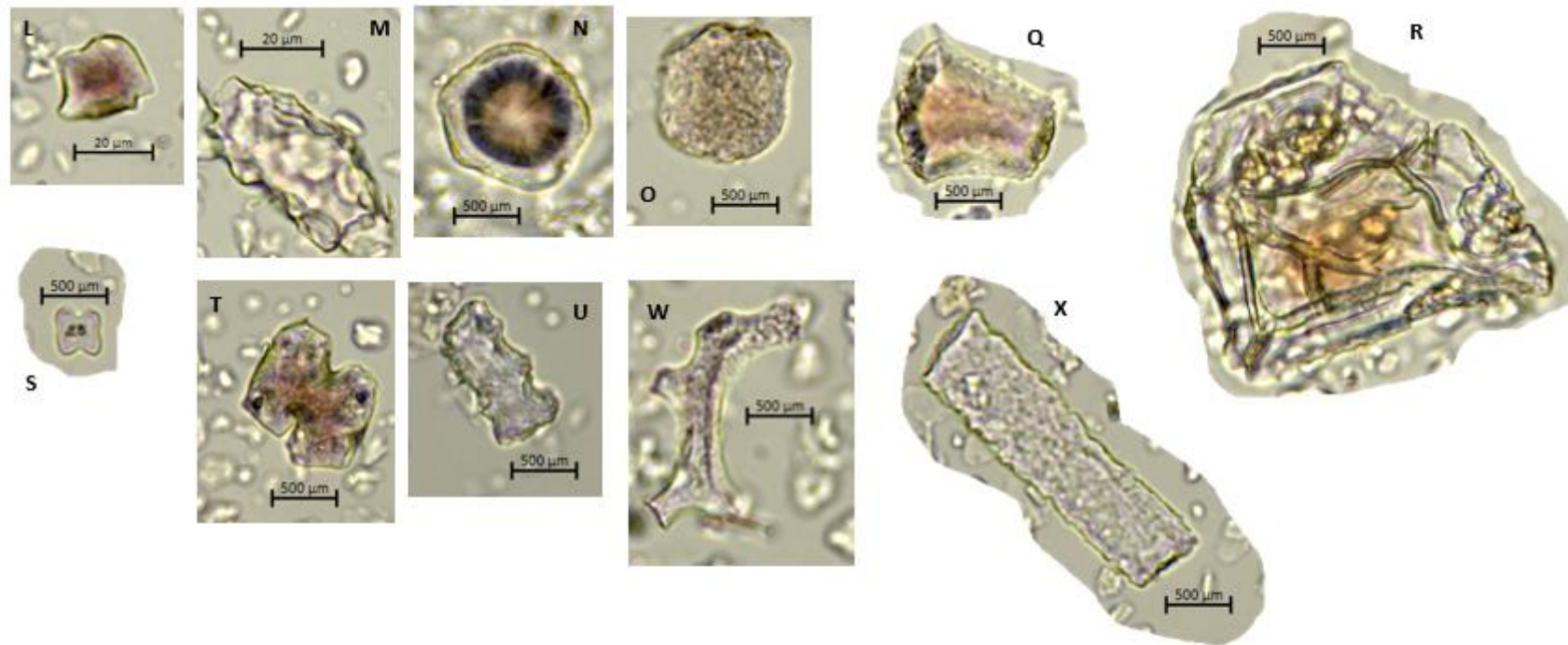


Prancha de fotos P4 – Organossolo (São João do Tigre/PB): 30cm: X - *TRA_ANU*; 40cm: Y - *CRO*; Z - *BRACHIATE*; 40cm: A - *SAD*; 60cm: B *CIRCULAR*; C - *RON*; C - *BUL_FLA* âmbar; D - *SPH_ORN* âmbar; 70cm: E - *BIL normal* maculoso e âmbar; F - *TAB_VEL*; G - *SPH_ECH*; I - *RON*; J - *ACU* Fabaceae; K - *ART_SPH*. Escala: 1 cm - 20µm

Fonte: Fonseca, C. F. 2022. Fotos obtidas através do microscópio petrográfico trinocular Axioscope 5(Zeiss®) com aumento de 40x no LEDA, Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon/PR.

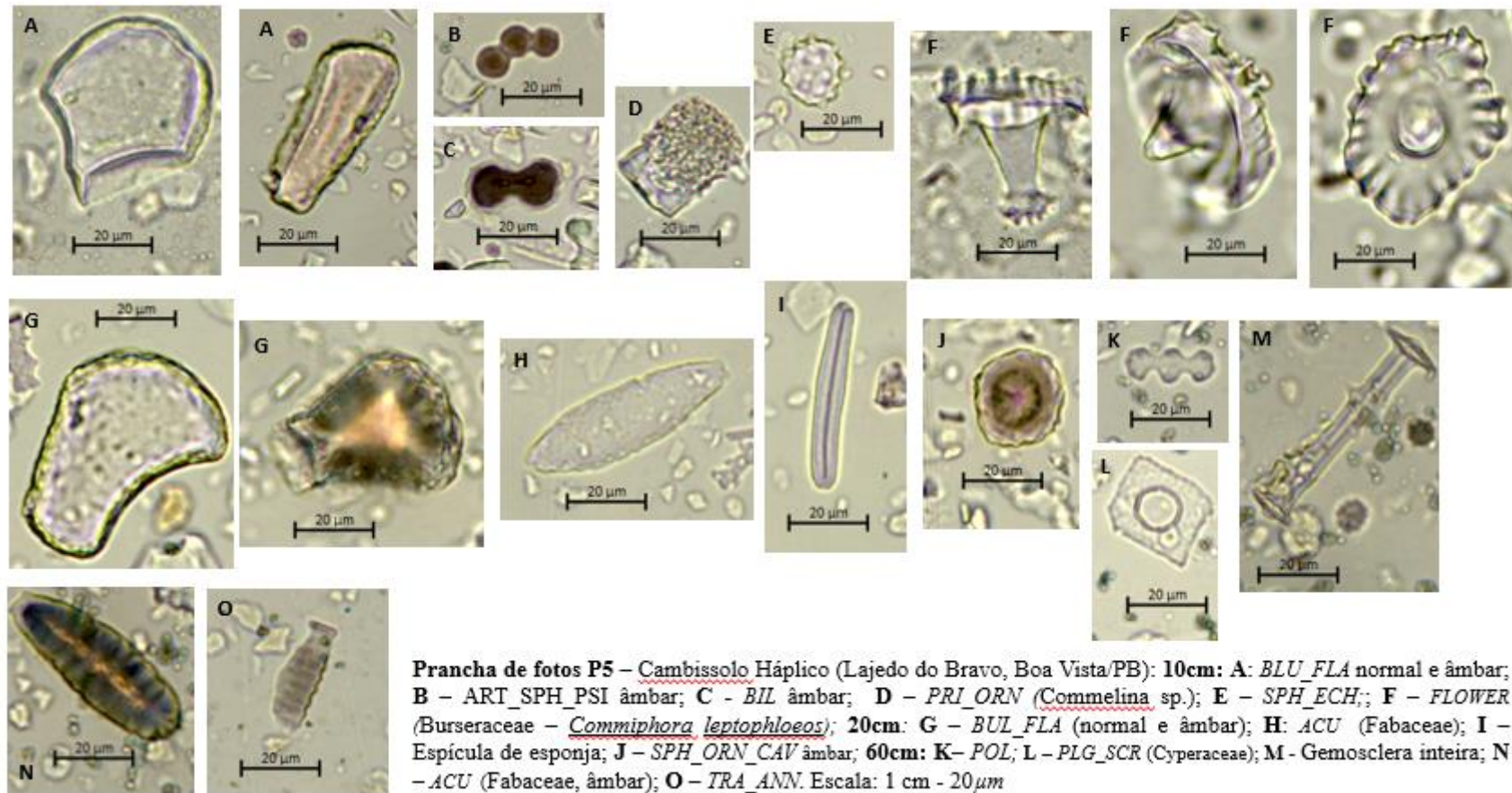


Fonte: Fonseca, C. F. 2022. Fotos obtidas através do microscópio petrográfico trinocular Axioscope 5(Zeiss®) com aumento de 40x no LEDA, Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon/PR.

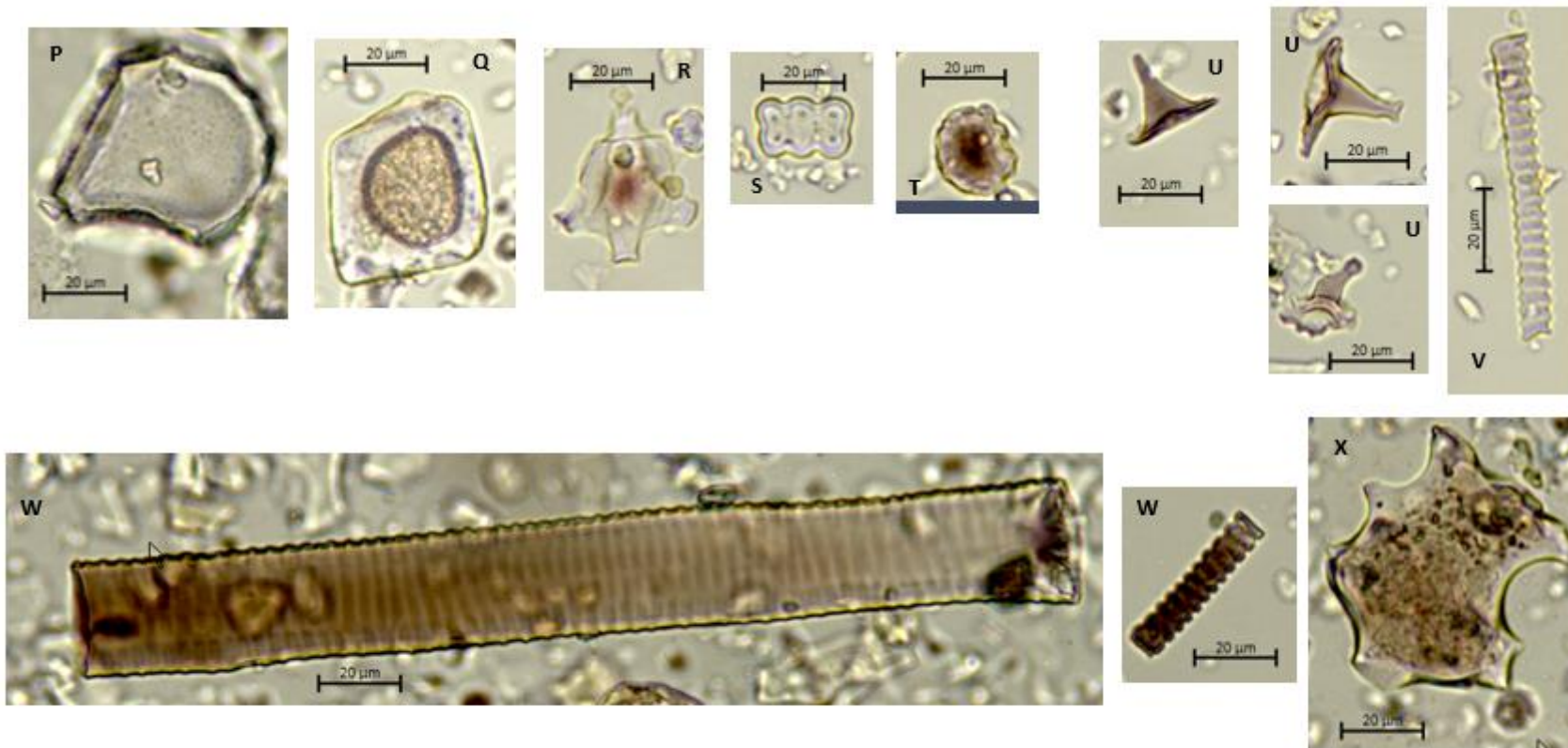


Prancha de fotos P3 – Cambissolo Háplico (Comunidade do Quati, Poção/PE): **30cm**: L: Knobby (nodoso) âmbar; M - *PLG_FAC* (*Annonaceae*) ; **40cm**: N – *PLG_CAV* âmbar; O: *PLG_SCR* (*Costaceae*) ; P – *PLG_COL* (*Costaceae*); **50cm**: Q – *BUL_FLA* âmbar; R – *BLO_PLG*; **60cm**: S: - *CRO*; **90cm**: T– *PLG_COL* (*Costaceae*); **100cm**: U – *BLO_VEL* (*Bambusoid*); **110cm**: W – *ARCUETE*; **130cm**: X – *TAB*. Escala: 1 cm - 20µm

Fonte: Fonseca, C. F. 2022. Fotos obtidas através do microscópio petrográfico trinocular Axioscope 5(Zeiss®) com aumento de 40x no LEDA, Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon/PR.

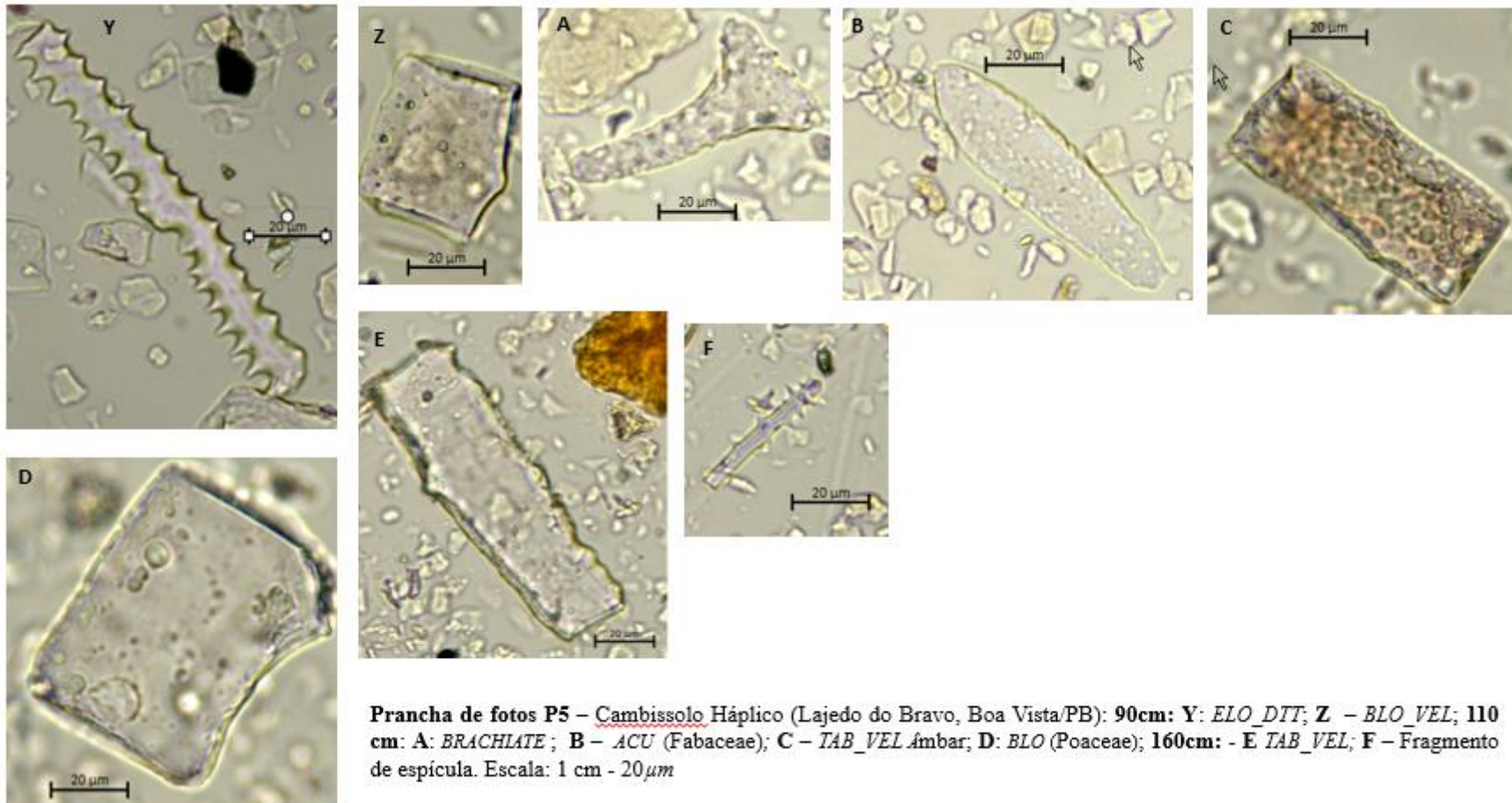


Fonte: Fonseca, C. F. 2022. Fotos obtidas através do microscópio petrográfico trinocular Axioscope 5(Zeiss®) com aumento de 40x no LEDA, Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon/PR.

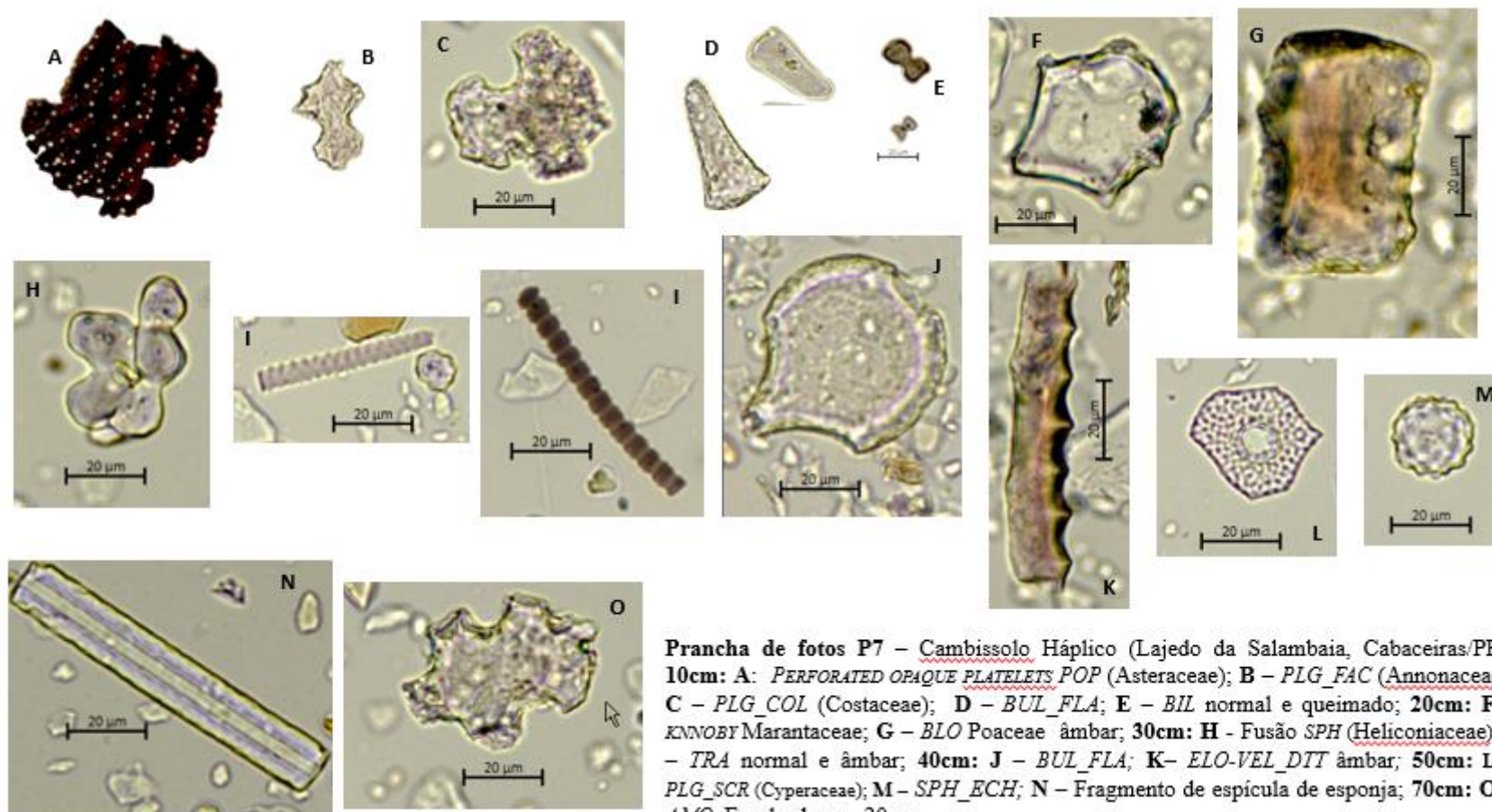


Prancha de fotos P5 – Cambissolo Háplico (Lajedo do Bravo, Boa Vista/PB): **70cm**: P: *BLU_FLA*; Q – *BLO_PLG_CAV*; **80 cm**: R: *KNOBY* Marantaceae; S – *POL*; T – *SPH_ORN*; U - e *SAD* Chloridideae; T: *PRI_ORN* (Commelinaceae); U – *FLOWER* (Burseraceae – *Commiphora leptophloeos*); V – *TRA_ANN*; **90cm**: W – *TRA_ANN* âmbar; X – *KNOBY* Marantaceae Escala: 1 cm - 20µm

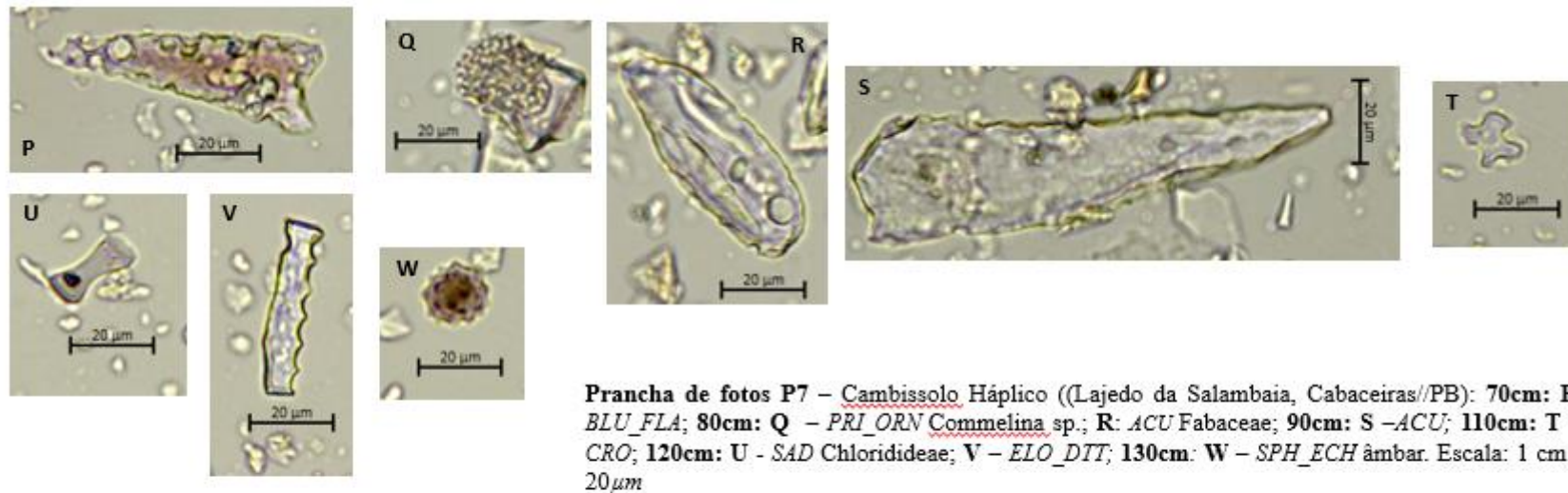
Fonte: Fonseca, C. F. 2022. Fotos obtidas através do microscópio petrográfico trinocular Axioscope 5 (Zeiss®) com aumento de 40x no LEDA, Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon/PR.



Fonte: Fonseca, C. F. 2022. Fotos obtidas através do microscópio petrográfico trinocular Axioscope 5(Zeiss®) com aumento de 40x no LEDA, Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon/PR.



Fonte: Fonseca, C. F. 2022. Fotos obtidas através do microscópio petrográfico trinocular Axioscope 5(Zeiss®) com aumento de 40x no LEDA, Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon/PR.



Fonte: Fonseca, C. F. 2022. Fotos obtidas através do microscópio petrográfico trinocular Axioscope 5(Zeiss®) com aumento de 40x no LEDA, Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon/PR.