
***Fingerprinting* Fitolítico de Fitofisionomias Florestadas do Bioma Mata Atlântica**

Fingerprinting Fitolítico de las Fitofisiognomías Forestales del Bioma de la Mata Atlántica

Phytolytic Fingerprinting of Forested Phytophysiognomies of the Atlantic Forest Biome

Jonathan Harrison Mozer

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia pela Unioeste, Campus de Marechal Cândido Rondon. E-mail: jonathanmozer09@gmail.com.

Marcia Regina Calegari

Docente da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste, Campus Marechal Cândido Rondon. E-mail: marciareg_calegari@hotmail.com.

Érica de Souza

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia pela Unioeste, Campus de Marechal Cândido Rondon.

Marco Madella

Docente do Departamento de Humanidades/ Universitat Pompeu Fabra (Barcelona, Espanha).

Pablo Vidal-Torrado

Docente da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP.

Luciane Marcolin

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia pela Universidade Federal do Paraná - UFPR.

Rodrigo Santana Macedo

Pesquisador do Instituto Nacional do Semiárido E-mail: macedo-rs@hotmail.

Recebido: setembro 2019 Aceito: dezembro 2019
Disponível on-line em <http://e-revista.unioeste.br/index.php/pgeografica>

Resumo – A interpretação de dados paleoambientais tem sido realizada por meio de comparações com ecossistemas atuais. Na tentativa de reconstituição e entendimento das condições (paleo)ambientais vários proxies têm sido empregados, como os fitólitos (microcorpúsculos de sílica amorfa produzidos por plantas), pois podem ser incorporados aos solos e permanecerem por longos períodos, formando a assinatura fitolítica (fingerprinting) da vegetação que ali se desenvolveu. Este trabalho apresenta os resultados de um estudo que visou comparar a assembleia fitolítica preservada nos primeiros centímetros de solos de três fitofisionomias florestadas do Bioma Mata Atlântica: Ombrófila Alto-Montana, Estacional Semidecidual e Mata de Restinga e definir o seu fingerprinting. Observou-se bom nível de produção e preservação de fitólitos no solo, reforçando a importância deste proxy. Foram identificados e classificados 31 morfotipos. O fingerprinting das fitofisionomias se caracterizou a partir das assembleias preservada nos primeiros centímetros do solo (0-5 cm), marcando o predomínio de plantas Eudicotiledôneas.

Palavras-chave: Fitólitos; Opala Biogênica; Reconstituição Paleoambiental; Assembleia fitolítica.

Resumen – La interpretación de los datos paleoambientales se ha realizado mediante comparaciones con los ecosistemas actuales. En un intento por reconstituir y comprender las condiciones (paleo)ambientales, se han utilizado varios proxies, como los fitólitos (microcorpúsculos de sílice amorfa producidos por las plantas), ya que pueden ser incorporados a los suelos y permanecer por largos

períodos, formando la huella digital de la vegetación que allí se desarrolló. Este trabajo presenta los resultados de un estudio que tiene como objetivo comparar el conjunto fitolítico conservado en los primeros centímetros de suelos de tres fito fisiogénomías forestales del Bioma de la Mata Atlántica: Ombrofila Alto-Montana, Estacional Semidecidual y Mata de Restinga y definir su huella dactilar. Se observó un buen nivel de producción y conservación de fitolitos en el suelo, lo que refuerza la importancia de este indicador sustitutivo. Se identificaron y clasificaron 31 morfotipos. La toma de huellas dactilares de las fito fisiogénomías se caracterizó por ensamblajes conservados en los primeros centímetros del suelo (0-5 cm), marcando el predominio de las plantas eudicotiledóneas.

Palabras-clave: Fitólitos; Ópalo Biogénico; Reconstitución Paleoambiental; Ensamblaje Fitolítico.

Abstract – The interpretation of paleoenvironmental data has been carried out through comparisons with actual ecosystems. In an attempt to reconstitute and understand the (paleo)environmental conditions, many proxies have been used, such as phytolites (microcorpuscles of amorphous silica produced by plants), because they can be incorporated into the soil and remain for long periods, forming the fingerprinting of the vegetation that developed there. This work presents the results of a study that aimed to compare the phytolytic assembly preserved in the first centimeters of soils of three forested phytophysiognomies of the Atlantic Forest Biome: Ombrofila Alto-Montana, Estacional Semidecidual and Mata de Restinga and define its fingerprinting. A good level of production and preservation of phytolites was observed in the soil, reinforcing the importance of this proxy. 31 morphotypes were identified and classified. The fingerprinting of phytophysiognomies was characterized by assemblages preserved in the first centimeters of the soil (0-5 cm), marking the predominance of Eudicotyledonous plants.

Keywords: Phytolites; Biogenic Opal; Paleoenvironmental Reconstitution; Phytolytic Assembly.

INTRODUÇÃO

A interpretação de dados paleoambientais e paleoclimáticos tem sido realizada por meio de comparações com ecossistemas atuais. Partindo do princípio do uniformitarismo, muitos estudos que visam a reconstituição e o entendimento das condições (paleo) ambientais que se baseiam em análises de microrrestos vegetais em solos, como os fitólitos, dependem de um bom conhecimento da flora atual, assim como das características morfológicas e estruturais das paisagens (ou ambientes) analisadas. O fitólito é um proxy que recentemente tem sido explorado no Brasil (CALEGARI, 2008, CALEGARI et al., 2013b, 2013a). Fitólitos são microcorpúsculos de sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), também chamados de silicofitólitos, produzidos por algumas plantas ao longo do seu ciclo vegetativo (ROVNER, 1971). A produção se dá em vários tecidos dentro e entre as células das plantas (PIPERNO, 2006; ROVNER, 1971; TWISS et al, 1969). Muitas famílias de plantas depositam parte da sílica solúvel (H_4SiO_4) que absorvem do solo, polimerizando-o e gerando os fitólitos, que possuem dimensões entre 0,010mm e 0,002 mm (PIPERNO, 2006) com importante significado taxonômico, haja vista que permitem identificar qual é a planta (ou parte dela) que os produziram.

As coleções de referência de fitólitos extraídos de plantas modernas são importantes, pois permitem o conhecimento da produção de fitólitos por planta (espécie), gêneros, família ou de uma dada vegetação e permite minimizar o que Rovner (1971) descreve como pontos críticos da análise fitolítica, isto é, a redundância (um mesmo morfotipo pode ser produzido por várias plantas, de diferentes famílias) e a multiplicidade (uma mesma planta pode produzir diversos morfotipos diferentes).

As coleções de referência de fitólitos preservados na serapilheira e das camadas superficiais dos solos (0-5 cm e 5-10 cm) são importantes, pois permitem o conhecimento e definição da digital fitolítica de uma dada vegetação, que aqui denominamos de fingerprinting. O fingerprinting de uma vegetação corresponde ao conjunto moderno de fitólitos preservados no solo (reservatório lábil) e pode aportar informações que permitem reconstituir, por meio de comparações com as assembleias incorporadas ao solo (reservatório fóssil) e conhecer as

condições/estrutura da vegetação que existiu em uma determinada área, bem como as condições edafoclimáticas que perduraram durante a formação do solo em uma dada paisagem.

No Brasil, a utilização de fitólitos para reconstituições paleoambientais tem fornecido importantes resultados em estudos paleoambientais sobre o Quaternário e tem sido empregada como técnica auxiliar e complementar à análises Isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$), datações ^{14}C , sedimentológicas, espectroscópicas e pedológicas (CALEGARI, 2008; CALEGARI et al., 2013a; CHIAPINI et al., 2018; LORENTE et al., 2015; SILVA NETO et al., 2018).

Este trabalho é parte de um projeto maior (CAPES-PVE A115/2013- Cadastrado na ESALQ/USP), que foi desenvolvido em uma parceria entre ESALQ/USP, UNIOESTE (Colegiado de Geografia, Marechal Cândido Rondon) e a Universidade Pompeu Fábria (Barcelona, Espanha), apoiado pela CAPES. Considerando a hipótese de que cada fitofisionomia produz uma assembleia fitolítica distinguível morfológica e estatisticamente que se preserva no solo, objetivou-se comparar a assembleia fitolítica preservada nos primeiros centímetros de solos – coletadas sob três diferentes fitofisionomias florestadas do Bioma Mata Atlântica no Estado de São Paulo e definir o *fingerprinting* dessas fitofisionomias estudadas que poderá ser empregado para os estudos de reconstituição paleoambiental nas regiões Sul e Sudeste.

Fitólitos: Conceitos e Aplicações

Fitólitos são microcorpúsculos de sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), o sentido literal de “Fitólito” resulta da união de duas outras palavras provenientes do grego: phyto (planta) e lithos (pedra), e significa pedra de plantas ou pedra produzida por plantas. Eles fazem parte de um conjunto de indicadores biológicos (proxies) usados como referências nos estudos de reconstituição paleoambiental, para a compreensão de clima, vegetação do passado (PIPERNO, 2006; EDWALD, 2015) e possíveis fatores que atuaram/definiram os processos pedogenéticos dos solos.

Os fitólitos precipitam de praticamente toda a extensão de algumas plantas como forma de controle biológico e proteção, desde as raízes, caule/tronco, galhos, folhas e até sementes. Possuem tamanhos microscópicos e são considerados como biomineralizações ou partículas biogênicas inorgânicas (o mesmo também pode levar o nome de Opala biogênica ou Silicofitólitos, devido a sua formação e composição), compostas de sílica ou oxalato de cálcio¹, que foi absorvida junto do soluto do solo, através das raízes, em forma de ácido monossilícico $\text{Si}(\text{OH})_4$.

O silício posteriormente é depositado dentro e entre as células epidérmicas da planta (intracelular ou extracelular), criando o fitólito, de onde o mesmo precipita quando a planta morre ou se desprende do membro principal, assumindo o formato do local onde foi depositado. Assim, a célula ou o espaço entre células funcionam como moldes (em tamanho e forma) para a formação das biomineralizações de sílica com morfologias e tipos específicos. A análise e diferenciação dos morfotipos permite identificar a família ou até espécie da planta mãe (COE, 2009; RASBOLD et al., 2013; EDWALD, 2015).

O termo fitólito se refere preferivelmente aos compostos de sílica com formas identificáveis (EDWALD, 2015). Possui peso específico entre 1,5 e 2,3 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$, é transparente, com coloração caracteristicamente amarelada e tamanhos variados entre 2 e 50 μm (COE, 2009; PIPERNO, 2006)

Coe, et al. (2017 p.10) revisam alguns índices fitolíticos que auxiliam em aplicações onde os resultados permitem inferir parâmetros de:

¹ Existem os calcifitólitos, que são biomineralizações de oxalato de cálcio, porém, devido a sua natureza química, o oxalato não se preserva no solo, sobretudo em zonas tropicais, onde há muita água no sistema.

[...] vegetação, como o índice de densidade da cobertura arbórea (D/P), o índice de densidade da cobertura por palmeiras (Pa/P), o índice de estresse hídrico (Bi) e o índice climático (Ic), que indica a adaptação da formação vegetal a uma temperatura mínima e/ou pressão parcial de Dióxido de Carbono (pCO₂) forte (zonas de altitude).

A análise fitolítica tem sido empregada como técnica auxiliar e complementar às análises Isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$), datações de ^{14}C , sedimentológicas e pedológicas. Os fitólitos podem ser caracterizados como registros botânicos que, de acordo com suas variadas formas, ajudam a compreender e correlacionar as mudanças ocorridas na superfície da Terra, desde tempos geológicos até os atuais (RASBOLD et al., 2013).

Índices fitolíticos

Os índices fitolíticos estabelecem parâmetros para reconstituição ou interpretação das condições ambientais e ecológicas (pretéritas e atuais), por meio de comparação entre as assembleias de fitólitos encontradas em solos e paleossolos. Quando calculados das camadas superficiais do solo ajudam a definir o fingerprinting de uma vegetação ou uso da terra, para posterior comparação e interpretação do ambiente. Estes índices, em geral, priorizam o uso de morfotipos com significado taxonômico em nível de família (ou espécie, quando conhecido) para estabelecer as razões entre as proporções, gerando valores de referência para posteriores aplicações.

Os índices mais tradicionalmente utilizados são:

a) O Índice de Adaptação a Aridez (Iph) – É a relação entre as Chloridoideae (tipo saddle) e a soma das Chloridoideae e Panicoideae (saddle, cross e bilobados). Este índice foi preconizado por Diester-Haas et al., (1973) e foi criado para indicar as variações de umidade ao longo do tempo. É expresso pela seguinte equação:

$$I_{ph} = \frac{\text{Saddle}}{(\text{Saddle} + \text{Cross} + \text{Bilobate short cell})}$$

Altos valores indicam predomínio de Chloridoideae e sugerem condições climáticas mais secas, enquanto que baixos valores revelam predomínio de plantas da família Panicoid, e revelam condições mais úmidas (TWISS, 1992; ALEXANDRE et al., 1997; BREMOND et al., 2005).

b) Índice Climático (Ic) de Twiss (1992), proporciona informações sobre o clima no momento em que a vegetação produziu determinada assembleia fitolítica. Os valores variam de 0 a 100%, sendo 0% indicativos de clima mais quente e 100% valores de clima mais frio. Fundamentado na relação entre a quantidade de fitólitos de Pooid versus a soma de morfotipos de Pooid (Rondel e Trapeziform short cell), Chloridoid (Saddle) e Panicoid (Bilobate e Polylobate).

O índice é expresso pela equação:

$$IC = \frac{\text{Rondel} + \text{Trapeziform (short cell e polylobate)}}{[\text{Rondel} + \text{Trapeziform (short cell e polylobate)} + \text{Saddle} + \text{Cross} + \text{Bilobate}]}$$

c) O Índice de Cobertura arbórea (D/P), proposto inicialmente por Alexander et al. (1997), baseia-se na relação de fitólitos de Eudicotiledoneae (soma de todos os morfotipos de eudicot) dividido pela soma dos fitólitos de Poaceae (Pooid, Chloridoid, Panicoid, Trichomes

hair e Bulliforms). Variações foram propostas como a de Bremond et al., (2008) em que considera a cobertura arbórea, caracterizado pela presença do morfotipo globular no solo (morfotipo diagnóstico de plantas lenhosas com hábito arbóreo/arbustivo). Sendo assim, quanto maior for a assembleia do morfotipo globular, maior será o índice D/P que indica uma vegetação mais arborizada.

Na presente pesquisa foi utilizada a proposta de Alexandre et al., (1997), expressa pela seguinte fórmula:

$$\frac{D}{P} = \frac{Eudicot}{(Pooid + Chloridoid + Panicoid + Trichomes + Hair + Bulliforms)}$$

Os índices fitolíticos são ferramentas importantes que auxiliam nos estudos de reconstituição paleoambiental. Por isso, muitos outros índices têm sido desenvolvidos, como por exemplo os índices GSSC e o Bi, que indicam momento de stress hídrico da planta (CALEGARLI et. al, 2013); porém no presente estudo, eles não foram utilizados.

LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DO ESTUDO

As áreas para este trabalho foram escolhidas por fazerem parte do Programa Biota (Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade do Estado de São Paulo) que vêm realizando grande quantidade e diversidade de estudos no estado de São Paulo e já dispõem de muita informação ambiental de cada um dos locais (Figura 1). Os pontos pretos destacados na Figura 1 no estado de São Paulo marcam a localização das áreas de estudo, respectivamente abaixo caracterizadas.



Figura 1 – Localização das áreas do estudo e distribuição da Mata Atlântica e do Cerrado no Estado de São Paulo. (Confecção: Calixto, 2018)

A área da Estação Ecológica (ESEC) de Caetetus (CAE) abrange uma área 2.178,84 ha e preserva uma das maiores áreas contínuas representativas da Floresta Estacional Semidecidual (FES) que revestia o Planalto Ocidental Paulista, restrita hoje a menos de 6% da cobertura original (TABANEZ et al., 2005). A ESEC abrange uma área 2.178,84 ha está entre os municípios de Gália e Alvinlândia, geograficamente situada entre as coordenadas 22°20' e 22°30' de Lat. S e 49°40' e 49°45' de Long. W Gr. Está inserida na província geomorfológica do Planalto Ocidental, zona do Planalto de Marília. A predominância de solos são Latossolos e Argissolos, especificamente Argissolos Vermelho Amarelos de textura arenosa/média ou média/média e são derivados de arenitos da Formação Adamantina (TABANEZ et al., 2005).

A área representativa da Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana (FOAM) está inserida no Parque Estadual Carlos Botelho, no contexto da Serra do Mar. O parque possui uma área de 37.644,36 ha, localizada no Vale Ribeira do Iguape (SP) entre as coordenadas de 24° 00' a 24° 15' Lat S e 47° 55' a 48° 05' Lon W, com altitudes que variam de 30 a 1.003m. A área encontra-se inserida no Domínio Morfoclimático dos Mares de Morro em uma zona de relevo forte-ondulado. O substrato geológico da área é constituído por rochas do proterozóico do embasamento cristalino. Na área ocorre ainda diabásio, olivina diabásio, diabásio porfirítico, basalto e lamprófiro, na forma de diques mesozoicos. Os solos dominantes são derivados desse substrato e acompanham a variação do relevo. Podem ser encontradas na área do Parque Latossolos Vermelho-Amarelo, Argissolos Vermelho-Amarelo e Cambissolos Hápicos e Neossolos Litóclícos (TONIATO, 2011).

O Parque Estadual Ilha do Cardoso (IC) foi selecionado pela importante área de vegetação de Restinga e de mangue que preserva, além de vegetações pioneiras de duna, floresta pluvial tropical da planície litorânea e floresta pluvial tropical da Serra do Mar. A feição de restinga é foco do estudo, pois são quase inexistentes as coleções de referência de fitólitos de plantas de restinga, o que justifica a necessidade da elaboração de coleções de referências das principais plantas dessa formação. O Parque está inserido na região central do Complexo Estuarino – Lagunar de Iguape, Cananéia e Paranaguá, geograficamente localizado entre 25°05' e 25°15' Lat S, 47°53' e 48°06' Lon W. Os solos dominantes são Espodossolos Humilúvicos arenosos derivados de sedimentos praias holocênicos (GOMES et al., 2007).

MATERIAIS E MÉTODO

Amostragem

Em cada área foram coletadas amostras de serapilheira e de solos nas profundidades 0-5 cm e 5-10 cm. As amostras foram coletadas a cada 100 metros, ao longo de um transecto de 500 metros nos setores de topo das áreas, totalizando 15 amostras para cada área.

Extração de fitólitos

A extração de fitólitos nas amostras de serapilheira seguiu os procedimentos adotados no Laboratório de Estudos da Dinâmica Ambiental (LEDA) da UNIOESTE, Campus Marechal Cândido Rondon, adaptados de Campos & Labouriau (1969) e Piperno (2006), conhecido como *dry ashing*. A extração de fitólitos das amostras de solos foi realizada conforme procedimentos descritos em Calegari et al. (2013b) como método 2. A concentração dos fitólitos foi realizada com politungstato de sódio, com densidade 2,35 g.cm⁻³ (MADELLA et al., 1998).

Contagem, identificação e Classificação dos fitólitos

O material recolhido foi montado em lâminas com óleo de imersão e observados em microscópio petrográfico, com aumento de 40x e 63x. Em cada lâmina foram contados no mínimo 200 morfotipos com significado taxonômico para cada amostra. Os morfotipos foram identificados e classificados conforme International Code for Phytolith Nomenclature - ICPN

1.0 (MADELLA et al., 2005) e agrupado de acordo com o significado taxonômico seguindo vários autores.

Para comparar a quantidade dos fitólitos representativos das comunidades de plantas vivas com as de solos das três áreas do estudo os morfotipos foram agrupados em cinco categorias: Poaceae T (Soma de todos os morfotipos produzidos por Poaceae – com e sem significado taxonômico); Poaceae ST (Poaceae com significado taxonômico, que corresponde a soma somente dos morfotipos com significado taxonômico em nível de subfamília); Eudicotiledoneae (morfotipos produzidos por árvores e arbustos); Cyperaceae e Arecaceae.

Análise estatística

Os resultados foram organizados em matrizes com as categorias de morfotipos e submetidas a estatística descritiva e teste de médias (Teste de Tukey) com 95% de confiança, necessárias para a comparação do fingerprinting fitolíticos de cada área.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Das 45 amostras processadas e analisadas neste estudo, em 38 foram contados mais de 200 fitólitos por lâmina. Foram identificados e classificados 31 morfotipos diferentes, comuns entre as áreas estudadas. Na Figura 2 São apresentados exemplos de cada um desses morfotipos.

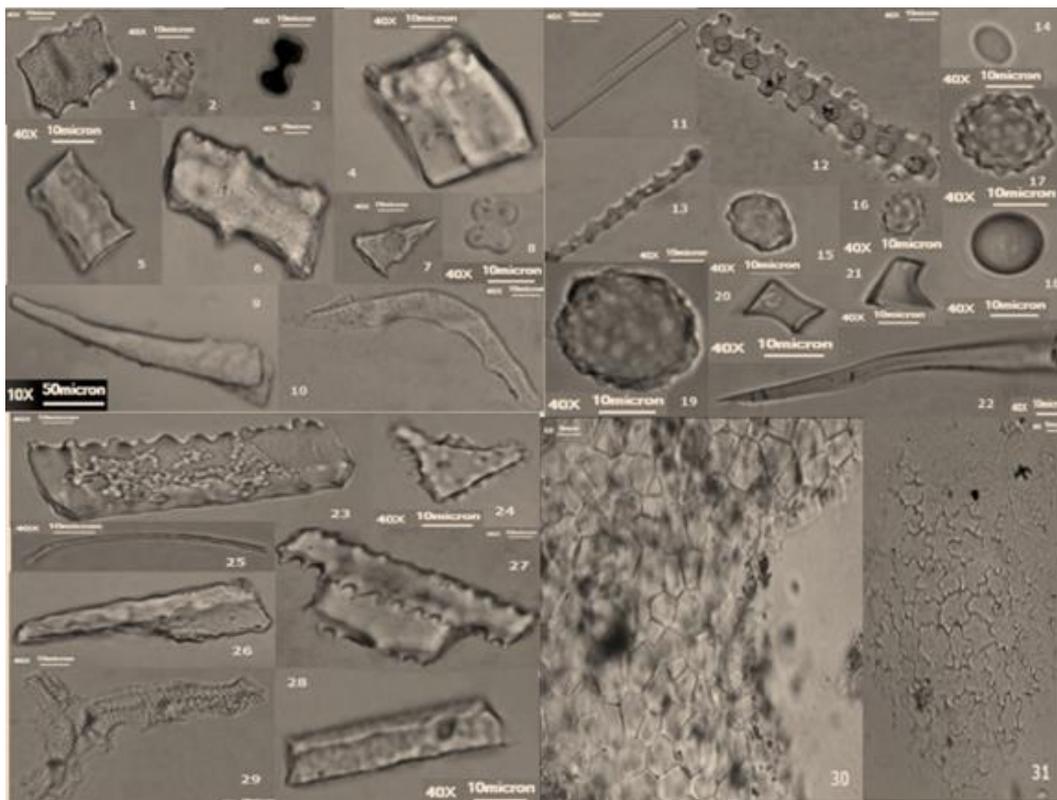


Figura 2 – Microfotografias dos principais morfotipos de fitólitos comuns encontrados nas assembleias das áreas de estudos:

- 1) Bulliform Chusqueia 2) Angular facetate 3) Bilobate 4) Block Paralepipedal 5) Bulliform 6) Block Rectangular Sinuate 7) Block Triangular 8) Cross 9) Cylindroid 10) Cylindrical Sclereid 11) Elongate 12) Elongate Crenate 13) Elongate Echinate 14) Elypsoidal Psilate 15) Elypsoidal Granulate 16) Elypsoidal Echinate 17) Globular Echinate 18) Globular Psilate 19) Globular Granulate 20) Saddle 21) Rondel 22) Hair 23) Rectangular Echinate 24) Sclereid Pitted 25) Sclerenchima 26) Tabular Irregular 27) Tabulares Echinate 28) Tabular Rugoso 29) Tracheid; Articulados: 30) Block Poligonal 31) Epidermic Puzzle.

Fonte: Mozer, 2018.

Assembleia de fitólitos

A quantidade de morfotipos encontrados apresentou baixa variação intra área (camadas e pontos) e entre as áreas. A área de Carlos Botelho (Floresta Ombrófila Alto-montana), variou de 10 a 23 morfotipos, sendo a camada da serapilheira a que apresentou a maior heterogeneidade. A quantidade de morfotipos encontrados na área de Caetetus (Floresta Estacional Semidecidual), variou de 16 a 28 tipos, sendo a serapilheira a amostra onde, na média, foi identificado o menor número de morfotipos. A área da Ilha do Cardoso (Mata de Restinga), foi a que apresentou menor diversidade e quantidade de fitólitos entre as áreas estudadas, variando de 2 a 12 tipos, porém manteve a média de morfotipos nas três camadas.

Índices fitolíticos: Valores de referência

A média dos valores calculados para os índices fitolíticos variou conforme as áreas e camadas, conforme se pode observar na Tabela 1. Os valores, embora em números absolutos sejam diferentes daqueles encontrados em outras regiões do Brasil (por exemplo CALEGARI et al., 2013b; SILVA NETO et al., 2018) e, sobretudo da África (ALEXANDRE et al., 1997a; BREMOND et al., 2005, 2008), apresentam a mesma tendência de valores que marca a estrutura florestada da fitofisionomias estudadas.

Comparação da assembleia fitolítica entre as áreas

A comparação da quantidade de fitólitos representativos das comunidades de plantas vivas preservada na serapilheira e nas camadas superficiais dos solos, nas três fitofisionomias, demonstrou haver diferença estatística entre as áreas estudadas (Tabela 1).

Observa-se que as categorias de fitólitos de Poaceae (total e com significado taxonômico) da área de Carlos Botelho (FOAM) apresentam diferença estatística em relação as demais áreas. Isso se explica porque a FOAM representa uma formação arbórea mais fechada, cuja estrutura é formada por árvores com troncos e galhos filhos, folhas miúdas e coriáceas, com casca grossa fissurada, praticamente sem estrato herbáceo, composta por plantas adaptadas a constante presença de nuvens em contato direto com o dossel (IBGE, 2012). A vegetação das áreas de Caetetus e Ilha do Cardoso, respectivamente FES e Floresta de Restinga, embora representem ambientes distintos (planalto de interior e restinga) e ecologia também distinta, guardam semelhanças, pois possuem estrutura mais aberta, que permite a entrada de luz, criando condição para o desenvolvimento de gramíneas (IBGE, 2012).

Observou-se diferença estatística na abundância de fitólitos de Poaceae também entre camadas (Tabela 1). A serrapilheira foi a camada que, em média, apresentou maior quantidade e variedade de fitólitos, diferindo-se das demais em todas as áreas. Isto se explica pela própria composição da serrapilheira, onde os tecidos silicificados não foram liberados da matriz orgânica e ainda não sofreram o ataque dos processos tafonômicos que podem causar ciclagem do silício, isto é, a dissolução, quebra ou transporte/remoção dos fitólitos no sistema solo.

Foi observada diferença estatística entre as áreas em relação à abundância de fitólitos produzidos por Eudicotiledoneae (Tabela 1). A área de Carlos Botelho diferenciou-se das demais áreas, pois apresentou a maior média. De todas as áreas estudadas esta é a que exibe uma vegetação mais fechada, com maior presença de plantas eudicotiledôneas em todos os estratos e não apresenta decidualidade. Nesta área não foi observada diferença estatística na categoria Eudicotiledoneae entre as camadas amostradas

Tabela 1 – Comparação das médias das assembleias de fitólitos (em % do total de fitólitos classificados) entre áreas e entre camadas (Teste Tukey, com 95% confiança).

Morfotipos	Áreas	Camadas
------------	-------	---------



		Serrapilheira	0-5 cm	5-10cm
Poaceae T	CB	35,99 ^a	27,54ab	19,98ab
	CE	3,08b	10,78ab	8,66b
	IC	9,12b	11,57ab	12,74ab
Poaceae ST	CB	2,83c	15,27bc	12,09bc
	CE	30,15 ^a	21,92ab	20,88ab
	IC	1,59c	7,89bc	8,12bc
Eudicotileneae	CB	58,86 ^a	41,75ab	53,02a
	CE	0,36b	1,10b	0,57b
	IC	40,62ab	55,25 ^a	59,69a
Cyperaceae	CB	0,0a	0,0a	0,0a
	CE	0,36 ^a	1,10 ^a	0,57a
	IC	0,0a	0,0a	0,0a
Arecaceae	CB	1,69b	30,71ab	26,99ab
	CE	67,30a	24,39ab	17,55ab
	IC	50,16ab	33,17ab	27,56ab
Índices fitolíticos				
D/P	CB	2,99 ^a	2,58 ^a	3,34a
	CE	2,84 ^a	0,98 ^a	0,65a
	IC	12,93 ^a	9,59 ^a	2,10a
lph	CB	0,57 ^a	0,67 ^a	0,81a
	CE	0,0a	0,25 ^a	0,2a
	IC	0,60 ^a	0,40 ^a	0,53a
IC	CB	0,23 ^a	0,39 ^a	0,32a
	CE	0,22a	0,19 ^a	0,35a
	IC	0,0a	0,40 ^a	0,21a

*Médias seguidas de letras iguais não apresentam diferença estatística com 95% de confiança; médias seguidas de letras diferentes apresentam diferença estatística com 95% de confiança.

Na área de Caetetus (FES) não foi observada diferença estatística entre as camadas. Isto pode ser explicado pela dinâmica da vegetação que apresenta períodos de decidualidade e as condições, sobretudo de temperatura, favorecem a rápida decomposição da serapilheira, disponibilizando os fitólitos para serem incorporadas a pedogênese do solo, um Latossolo Vermelho distrófico típico, textura média, que ali prevalece. Os atributos do solo, principalmente a textura e a topografia plana da área, são fatores favoráveis ao transporte e incorporação de fitólitos ao solo, bem como a intensa atividade biológica que também contribui para o transporte, tanto da matéria orgânica quanto dos fitólitos, para o interior do solo (HART e HUMPHREYS, 1997), bastante intensa em Caetetus.

Na Ilha do Cardoso (Floresta de Restinga) foram observadas diferenças estatísticas entre a serapilheira, que apresentou a maior abundância, entre as demais camadas. Esta diferença reside nas condições ambientais que favorecem a contínua produção de biomassa, alimentando assim a camada da serapilheira, e uma rápida decomposição da matéria orgânica e liberação dos fitólitos, que são carregados para dentro do solo, um Espodosolo Humilúvico Órtico típico, textura arenosa, e para as partes mais baixas do relevo, justificando assim a baixa quantidade de fitólitos encontrados nas amostras de 0-5 cm e 5-10 cm. Isto implica em problemas para definição da assinatura fitolítica dessa vegetação.

A categoria das Arecaceae apresentou diferença estatística entre áreas e entre as camadas das áreas de Carlos Botelho e Caetetus. A família das Arecaceae possui fitólitos específicos com significado taxonômico, o globular echinate (e variações) (Figura 2 n.º. 17) sendo considerada uma das famílias que mais produzem fitólitos (ALBERT et al, 2009). A média obtida para a abundância dos morfotipos desta categoria foi elevada em todas as áreas e não apresentou diferença estatística entre as áreas. Entre camadas foi observada diferença estatística apenas na serapilheira da área de Carlos Botelho, que, devido a maior diversidade de fitólitos, acabou diluindo a abundância dos morfotipos dentro da assembleia.

Os índices fitolíticos, calculados a partir das assembleias identificadas, não apresentaram diferença estatística entre as áreas estudadas. De modo geral, os índices estão de acordo com as variações ambientais das áreas estudadas, variações referentes a umidade e aridez do local, condições climáticas e densidade arbórea da vegetação da superfície.

Fingerprinting

O fingerprinting preservado no solo registra na área de Carlos Botelho (FOAM) o domínio das Eudicotiledoneae com 51,21%, seguida pelas Poaceae T 27,84%, Poaceae ST 10,06%, e Arecaceae 19,80%. Assim, os valores de referência dos índices para esta área são: D/P 2,97%, Iph 0,69% e IC (0,31%). Para a área de Caetetus (FES) os valores referência para Poaceae T são 23,34%, Poaceae ST 7,66%, Eudicotiledoneae 37,43% e Arecaceae 19,23%. Os índices são considerados com os seguintes valores para referência: D/P 0,97%, Iph 0,10%, IC 0,23%. Para a área de Ilha do Cardoso (Mata de Restinga) a assembleia de referência apresentou 11,14% de Poaceae T, 5,86% de Poaceae ST, 51,86% de Eudicotiledoneae e 36,97% de Arecaceae. Os índices fitolíticos registraram os seguintes valores: D/P 8,20%, Iph 0,51% e IC 0,20%.

CONCLUSÕES

A análise da assembleia de fitólitos preservada nas camadas superficiais do solo (serapilheira, 0-5 cm e 5-10 cm) das áreas de estudo mostrou que o fingerprinting das fitofisionomias da Mata Atlântica se caracterizou a partir dos primeiros centímetros do solo (0-5 cm). A variedade de fitólitos produzidos pelas plantas e depositados na serapilheira dificulta a definição direta do fingerprinting e o inverso acontece nas camadas de 5-10 cm a mais, onde a atividade pedogenética, água no sistema, ação biológica, entre outros fatores, influenciam na retenção dos fitólitos no solo. Na área Ilha do Cardoso (MR) o fingerprinting não foi possível de ser estabelecido, pois não foram encontrados fitólitos em quantidade nos primeiros centímetros do solo (0-10cm), pois de acordo com a metodologia adotada não se pode definir o fingerprinting apenas com dados da serapilheira.

Os índices fitolíticos utilizados neste estudo (IC, Iph e D/P) contribuíram para comprovar através da assembleia de fitólitos os aspectos atuais da vegetação e os valores obtidos podem ser usados para estudos posteriores de reconstituição.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelo suporte financeiro por meio do Projeto Professor Visitante CAPES-PVE A115/2013), à Fundação Araucária pelas bolsas técnicas (convênio 0253/2015- bolsa técnico FASE III), ao CNPq pela bolsa de iniciação científica do primeiro autor e aos diretores dos Parques e Estações Ecológicas pela autorização para as coletas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERT, R. M.; BAMFORD, M. K.; CABANES, D. Palaeoecological significance of palms at Olduvai Gorge, Tanzania, based on phytolith remains. **Quaternary International**, v. 193, n. 1–2, p. 41–48, 2009.
- ALEXANDRE, A. et al. Phytoliths: indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 136, p. 213–229, 1997a.
- ALEXANDRE, A. et al. Late Holocene Phytolith and Carbon-Isotope Record from a Latosol at Salitre, South-Central Brazil. **Quaternary Research**, v. 51, n. 2, p. 187–194, 1999.
- BREMOND, L. et al. Grass water stress estimated from phytoliths in West Africa. **Journal of Biogeography**, v. 32, n. 2, p. 311–327, 2005.
- 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.
- CALEGARI, M. R. **Ocorrência e significado paleoambiental do Horizonte A húmico em Latossolos**. TESE. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 17 fev. 2008.
- CALEGARI, M.R. et al. 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, 2013a.
- CALEGARI, M.R. et al. Opal phytolith extraction in oxisols. **Quaternary International**, v. 287, 2013b.
- CAMPOS, A. C. de; LABOURIAU, L. G. Silica bodies of grasses from the "Cerrado". **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 4, p. 143-151, 1969.
- CHIAPINI, M. et al. Formation of black carbon rich 'sombrio' horizons in the subsoil – A case study from subtropical Brazil. **Geoderma**, v. 314, 2018.
- COE, H.H.G. **Fitólitos como indicadores de mudanças na vegetação xeromórfica da Região de Búzios / Cabo Frio, RJ, durante o Quaternário**. 2009. Tese. Universidade Federal Fluminense.
- COE, H.H.G; RICARDO, S.F; SOUSA, L.D.O.F.D; DIAS, R.R. Caracterização de fitólitos de plantas e assembleias modernas de solo da caatinga como referência para reconstituições paleoambientais **Quaternary and Environmental Geosciences**. 08(2) p. 09-21. 2017.
- DIESTER-HAAS, L.; SCHRADER, H. J.; THIEDE, J. Sedimentological and paleoclimatological investigations of two pelagicooze cores off Cape Barbas, North-West Africa. **Meteor. Forsch-Ergebniss**, v. 16, p. 19–66, 1973
- EDWALD, 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. DISSERTAÇÃO. Universidade Estadual Do Oeste Do Paraná.

GOMES, F. H; VIDAL-TORRADO P; MACÍAS, F; SOUZA JÚNIOR, V. S; PEREZ, X. L. O. Solos Sob Vegetação De Restinga Na Ilha Do Cardoso (Sp). li - Mineralogia Das Frações Silte E Argila. **R. Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1581-1589, 2007.

HART, D.M.; HUMPHREYS, G.S. The Mobility of Phytolith in Soils: Pedological considerations. (Ascensión Pinilla, J. Juan-Tresserras, M. J. Machado., Ed.) Primer Encuentro Europeo sobre el Estudio de Fitólitos / First European Meeting on Phytolith Research. **Anais**. Barcelona: Centro de Ciencias Medioambientales (Spain) Madrid (Spain: Region). Consejería de Educación y Cultura. Spain. Dirección General de Investigación Científica y Técnica., 1997

IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. 2a edição ed. Rio de Janeiro: 2012.

LORENTE, F. L. et al. Fitólitos como indicadores de mudanças ambientais durante o Holoceno na costa norte do estado do Espírito Santo (Brasil). **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 6, n. 1, p. 26–40, 2015.

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.

MADELLA, M.; ALEXANDRE, A.; BALL, T. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. **Annals of Botany**, Oxford, v. 96, n.2, p. 253–260. 2005.

PIPERNO, D. R. Phytoliths: a comprehensive guide for archaeologists and paleoecologists. [s.l.] **AltaMira** Press, 2006.

RASBOLD, G. G; MONTEIRO M. R; PAROLIN, M; CAXAMBU M. G. **Caracterização de Fitólitos Calathea aemula Körn e Saranthe composita (Link) K. Schum (MARANTACEAE)**. Paleo PR/SC – Resumos expandidos, v.1, P. 18-23. 2013.

ROVNER, I. Potential of opal phytoliths for use in palaeoecological reconstruction. **International Research**, v. 1, n. 3, p. 345–359, 1971.

SILVA NETO, E. C. D. 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**, v. 636, 2018.

TABANEZ, M. F. et al. **Plano de manejo da estação ecológica dos Caetetus**. IF Sér. Reg., v. 29, p. 1–104, 2005.

TONIATO, M.T.Z. et al. **A vegetação do Parque Estadual Carlos Botelho**: subsídios para o plano de manejo. IF Sér. Reg. São Paulo n. 43 p. 1 - 254 jul. 2011

TWISS, P. C.; SUESS, E.; SMITH, R. M. Morphological Classification of Grass Phytoliths. **Soil Science Society of America Journal**, v. 33, n. 1, p. 109–115, 1969.

TWISS, P. C. Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. In RAPP, G. JR. and MULHOLLAND, S. C. **Phytolith Systematics**. Emerging Issues, Advances in Archeological and Museum Science. Vol.1, Plenum Press, p.113 – 128. 1992.