DOI 105418/RA2019.1528.0002

RECONSTITUIÇÃO DAS CONDIÇÕES PALEOAMBIENTAIS RELACIONADAS À OCORRÊNCIA DE LINHAS DE PEDRA EM LATOSSOLO NO MÉDIO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL (RJ)

RECONSTITUTION OF PALEO-ENVIRONMENTAL CONDITIONS RELATED TO THE OCCURRENCE OF STONE LINES IN LATOSOL IN THE MIDDLE PARAÍBA DO SUL RIVER VALLEY (RIO DE JANEIRO, BRAZIL)

RECONSTITUTION DES CONDITIONS PALEO-ENVIRONNEMENTALES LIÉES À L'OCCURRENCE DE LIGNES DE PIERRE DANS UN LATOSOL DANS LA MOYENNE VALLÉE DE LA RIVIERE PARAÍBA DO SUL (RIO DE JANEIRO, BRÉSIL)

Amanda Pacheco Seixas
Mestra pelo Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra/Universidade Federal Fluminense (LAGEMAR/UFF). E-mail: amapaseixas@hotmail.com

Heloisa Helena Gomes Coe
Professora associada do Departamento de Geografia da Faculdade de Formação de Professores da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (DGEO/FFP/UERJ). Professora do corpo permanente do Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra/Universidade Federal Fluminense (LAGEMAR/UFF). E-mail: heloisacoe@gmail.com

André Luiz Carvalho da Silva
Professor adjunto do Departamento de Geografia da Faculdade de Formação de Professores da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (DGEO/FFP/UERJ). E-mail: andrelcsilvageouerj@gmail.com

Igo Fernando Lepsch
Professor colaborador do Departamento de Solos da Escola Superior de Agricultura da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP). E-mail: igo.lepsch@yahoo.com.br

Mauro Parolin
Professor associado do Colegiado de Geografia da Universidade Estadual do Paraná – Campus de Campo Mourão. Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia (Mestrado e Doutorado) da Universidade Estadual de Maringá (UEM). E-mail: mauroparolin@gmail.com

Kita Macario
Professora associada do Departamento de Física e diretora do Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense (UFF). E-mail: kitamacario@gmail.com

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Resumo

O Vale do Rio Paraíba do Sul, localizado entre São Paulo e Rio de Janeiro, as duas maiores metrópoles do Brasil, compreende uma área bastante alterada e com solos desgastados e erodidos, o que acentua a necessidade de estudos voltados para a compreensão de sua dinâmica evolutiva e ambiental. Nessa área, a composição original de Mata Atlântica é, atualmente, representada apenas por pequenos mosaicos numa paisagem de extensos campos de pastagem. Este estudo objetiva reconstituir as condições paleoambientais do médio Vale do Rio Paraíba do Sul no Quaternário tardio e inferir possíveis mudanças climáticas e na vegetação associadas à ocorrência de linhas de pedra. A metodologia contou com análises pedológicas, fitolíticas, isotópicas e datações (^{14}C-AMS). Foram identificadas variações na densidade arbórea: no período anterior a 9000 anos cal AP, a vegetação era predominantemente esparsa, em ambiente mais seco e com temperaturas médias mais baixas que as atuais; após este período, o ambiente tornou-se mais úmido e a vegetação mais arbórea; o período entre 9000 e 8200 anos cal AP, quando se dá a formação das linhas de pedra, foi mais seco que o anterior; a partir de cerca de 2900 anos cal AP, o ambiente se torna progressivamente mais úmido e semelhante ao atual. A hipótese de gênese das linhas de pedra é a de coluvionamento de pequena distância atrelado a períodos de chuvas concentradas.

Palavras-chave: reconstituição paleoambiental, fitólitos, médio Vale do Rio Paraíba do Sul, linhas de pedra.

Abstract

The Paraíba do Sul River Valley, located between São Paulo and Rio de Janeiro, the two largest cities in Brazil, comprises a highly altered area with weathered and eroded soils, which emphasizes the need for studies aimed at understanding its evolutionary and environmental dynamics. In this area, the original composition of the Atlantic Forest is currently represented only by small mosaics in a landscape of extensive pasture fields. This study aims to reconstruct the paleoenvironmental conditions of the middle Paraíba do Sul River Valley in the late Quaternary and to infer possible changes in climate and vegetation associated with the occurrence of stone lines. The methodology was based on soil, phytolith, isotopic and ^{14}C-AMS analyses. Some variations in tree density were identified. In the period prior to 9000 years cal BP, the vegetation was predominantly sparse, in a drier environment and with lower average temperatures than the current, after which the environment became more humid and the vegetation more arboreal. In the period between 9000 and 8200 years cal BP, when the formation of stone lines occurs, it was drier than the previous period but from 2900 years cal BP, the environment becomes progressively more humid and similar to the current one. The hypothesis of the genesis of the stone lines is the one of colluviation of short distance linked to periods of concentrated rainfall.

Keywords: paleoenvironmental reconstruction, phytoliths, middle Paraíba do Sul River Valley, stone lines.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Résumé

La vallée de la rivière Paraíba do Sul, située entre São Paulo et Rio de Janeiro, les deux plus grandes métropoles du Brésil, comprend une zone très altérée avec des sols météorisés et érodés, ce qui souligne la nécessité d'études visant à comprendre sa dynamique évolutive et environnementale. Dans cette zone, la composition originale de la forêt atlantique n'est actuellement représentée que par de petites mosaïques dans un paysage de vastes pâturages. Cette étude vise reconstituer les conditions paléoenvironnementales de la moyenne vallée de la rivière Paraíba do Sul au tardi-quaternaire et à inférer des éventuels changements de climat et de végétation associés à la présence de lignes de pierre. La méthodologie est basée sur des analyses pédologiques, phytolytiques, isotopiques et datations ^{14}C-AMS. Quelques variations dans la densité des arbres ont été identifiées: dans la période antérieure à 9000 ans cal AP, la végétation était principalement clairsemée, dans un environnement plus sec et plus frais que l'actuel; après cette période, l'environnement est devenu plus humide et la végétation plus arborée; la période entre 9000 et 8200 ans cal AP, lors de la formation de lignes de pierre, était plus sèche que la précédente; à partir de 2900 ans cal AP, l'environnement devient progressivement plus humide et similaire à l'actuel. L'hypothèse de la genèse des lignes de pierre est celle du colluvionament à petite distance liée à des périodes de pluies concentrées.

Mots-clé: reconstruction paléoenvironnementale, phytolithes, moyenne vallée de la rivière Paraíba do Sul, lignes de pierre.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Introdução

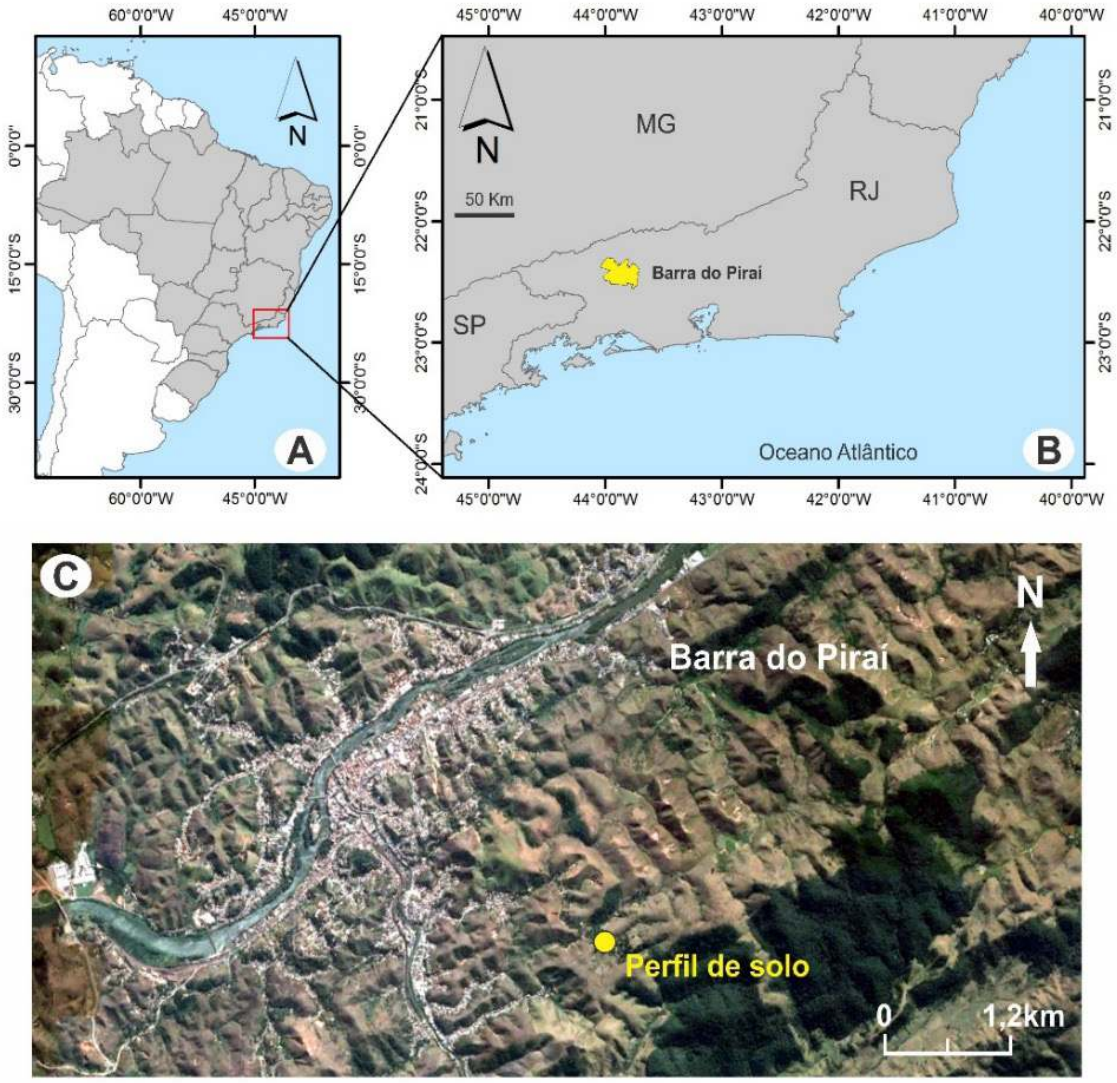
Conhecer a dinâmica de uma determinada paisagem não é apenas entendê-la no presente, sendo necessário também que se compreendam as diversas fases e variáveis diretamente responsáveis por sua evolução no tempo geológico para, assim, se projetar o seu comportamento futuro. É necessário que se analisem as dinâmicas ambientais, no decorrer do tempo, não apenas para se recompor a história do planeta, mas também para se reconstituírem as mudanças ambientais ocorridas ao longo das grandes eras geológicas, e, com isso, analisar os processos que transformam os ambientes, seja a partir das mudanças que ocorrem naturalmente ou daquelas que envolvem a aceleração de processos por interferência antrópica (SUGUIO, 2010).

A área de estudo (Figura 1), localizada entre as duas maiores metrópoles do Brasil (São Paulo e Rio de Janeiro), passou por sucessivos ciclos econômicos a partir do século XIX, quando o cultivo do café representava a principal atividade econômica desta região. Atualmente, o Vale do Paraíba do Sul compreende uma área bastante alterada, onde a composição original de Mata Atlântica é representada apenas por pequenos mosaicos numa paisagem de extensos campos de pastagem.

Nos solos dessa região, são observadas linhas de pedra que, conforme Hiruma (2007), estão relacionadas a horizontes caracterizados pela predominância de materiais quartzosos, angulosos a arredondados, couraças lateríticas e minerais pesados, entre outros. As linhas de pedra podem ser formadas sob condição alóctone ou autóctone (BRAUCHER et al., 2004; SANTOS et al., 2010), no entanto, os mecanismos de formação ainda despertam divergências entre pesquisadores. Entre as hipóteses autóctones para a origem das linhas de pedra, destaca-se a da paleopavimentação detrítica (RAYNAL, 1957; LEHMANN, 1957; TRICART, 1958; AB´SÁBER, 1962; DE PLOEY, 1964; BROWN et al., 2004); do remanejamento por cupins (COLLINET, 1969; RIQUIER, 1969; SEGALEN, 1969; BIGARELLA et al.,1994); da ação eólica (RIOU, 1965); da descida das partículas de maior granulometria no perfil (LAPORTE, 1962; COLLINET, 1969); do coluvionamento (MOUSINHO, BIGARELLA, 1965; PENTEADO, 1969; RIQUIER, 1969; BIGARELLA et al., 1994); do estado de equilíbrio com a incorporação do material de origem dos veios de quartzo no solo (NYE, 1955; BERRY, RUXTON, 1959; RIQUIER, 1969; YOUNG, 1972); do desenvolvimento local e decorrente de oscilações climáticas (BOURGEAT, PETIT, 1966) e do intemperismo residual (COLLINET, 1969; PORTO, 2003). Entre as hipóteses de origem alóctone para as linhas de pedra, destacam-se a do transporte de materiais em superfície (RIOU, 1965; VOGT, VINCENT, 1966; BOURGEAT, PETIT, 1966) e a de inversão de materiais a partir da erosão de antigas superfícies aplainadas (SEGALEN, 1969).

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Figura 1 – Localização da área de estudo e do perfil de solo analisado no município de Barra do Piraí (RJ).



Fonte: *Google Earth® (2016).*

Neste trabalho, foram utilizados bioindicadores, como os fitólitos, que são partículas microscópicas (<60-100 ⊠m) de opala biogênica, geralmente encontradas nas frações silte e areia muito fina, resultado da absorção de ácido silícico [$Si(OH_4)$] do solo pelas plantas, que se formam por precipitação de sílica amorfa entre e nas células de diversas plantas vivas (PIPERNO, 2006). As plantas constroem uma estrutura ou molde onde são introduzidos os íons, posteriormente induzidos à precipitação e cristalização (EPSTEIN, 2001). A senescência e a decomposição dos restos vegetais fazem com que os fitólitos sejam incorporados ao solo, sendo estes bastante estáveis, gerando microfósseis e tornando-se

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

importantes registros ambientais, já que apresentam configurações típicas da vegetação de origem e se preservam bem sob condições oxidantes, como nos solos. A forma do fitólito reflete o "molde" da célula em que foi formado (COE et al., 2014).

Assim, os fitólitos preservam os vestígios da vegetação natural, tornando possível a compreensão da evolução de uma vegetação em relação às condições bioclimáticas. Os índices fitolíticos permitem inferir características da vegetação, como a densidade da cobertura arbórea (índice D/P), a densidade da cobertura por palmeiras (índice Pa/P), o estresse hídrico (índice Bi) e as temperaturas mais baixas (índice Ic) (COE et al., 2014). Estes parâmetros já foram largamente utilizados em trabalhos com fitólitos extraídos de solo na África (TWISS, 1992; ALEXANDRE et al., 1997; BREMOND et al., 2005; 2008; e BARBONI et al., 1999; 2007; entre outros) e no Brasil (ALEXANDRE et al., 1999; COE, 2009; COE et al., 2012a; 2012b; 2013; 2014b; 2015; GOMES et al., 2014; AUGUSTIN et al., 2014; CALEGARI et al., 2015; LORENTE et al., 2015; BARROS et al., 2016; e PAROLIN et al., 2017; entre outros).

Os isótopos estáveis de carbono também foram utilizados como *proxy* de processos biológicos em plantas. A discriminação isotópica do carbono durante a fotossíntese fornece informações sobre o metabolismo fotossintético em plantas, bem como suas influências ambientais. Assim, as plantas que utilizam a via fotossintética Calvin-Benson, que tende a preferir o isótopo mais leve, são chamadas de C3 e têm valores de $\delta^{13}C$ de −32 a −22 ‰, e as plantas C4 usam o Ciclo Hatch-Slack e têm valores de $\delta^{13}C$ na faixa de −17 a −9 ‰ (GLEIXNER, 2002; GORDON e GOÑI, 2003; KILLOPS e KILLOPS, 2005). Consequentemente, a relação $^{13}C/^{12}C$ na matéria orgânica do solo (MOS) deve permanecer próxima àquela da proporção da vegetação original. Os isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}C$) permitem, portanto, a identificação da cobertura vegetal, com o predomínio de plantas C3 (principalmente lenhosas) ou C4 (gramíneas) (PESSENDA et al., 2005).

Além desses bioindicadores, foram realizadas análises pedológicas, a fim de se conhecer as características texturais (granulometria, arredondamento e angulosidade), de acidez e de basicidade, e as datações por ^{14}C- AMS da MOS, para a cronologia das mudanças observadas nas camadas e nos horizontes do solo.

Nesse sentido, este trabalho objetiva reconstituir as condições paleoambientais no Holoceno, relacionadas à ocorrência de linhas de pedra (*stone lines*) no médio Vale do Rio Paraíba do Sul, no estado do Rio de Janeiro. Para tal, foram realizadas uma caracterização pedológica de um latossolo e análises do conteúdo de silicofitólitos e isótopos de carbono.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Materiais e métodos

O perfil de solo estudado se encontra localizado no município de Barra do Piraí (22°28'53.3"S e 43°48'01.4"O – Figura 1), no estado do Rio de Janeiro, a cerca de 100 km a noroeste da sua capital, com altitude de 511 metros e sob vegetação campestre com espécie predominante de *Brachiaria decumbens*. A litologia dessa região é constituída por gnaisse; o solo se apresenta como moderadamente pedregoso e ligeiramente rochoso, classificado como latossolo vermelho-amarelo distrófico, podendo ser caracterizado como bem drenado e com erosão moderada. A vegetação primária sob o perfil de solo era de Mata Atlântica, segundo o SOS Mata Atlântica (2014), e seu uso atual é como pastagem. Exposto em um corte de estrada, no terço superior da encosta, o perfil de solo foi dividido em nove horizontes (Ap, A2, AB, BA, B1, B2, 2BC, 3CB, C) com a presença de duas linhas de pedra, abrangendo cerca de dois metros de profundidade (Figura 2).

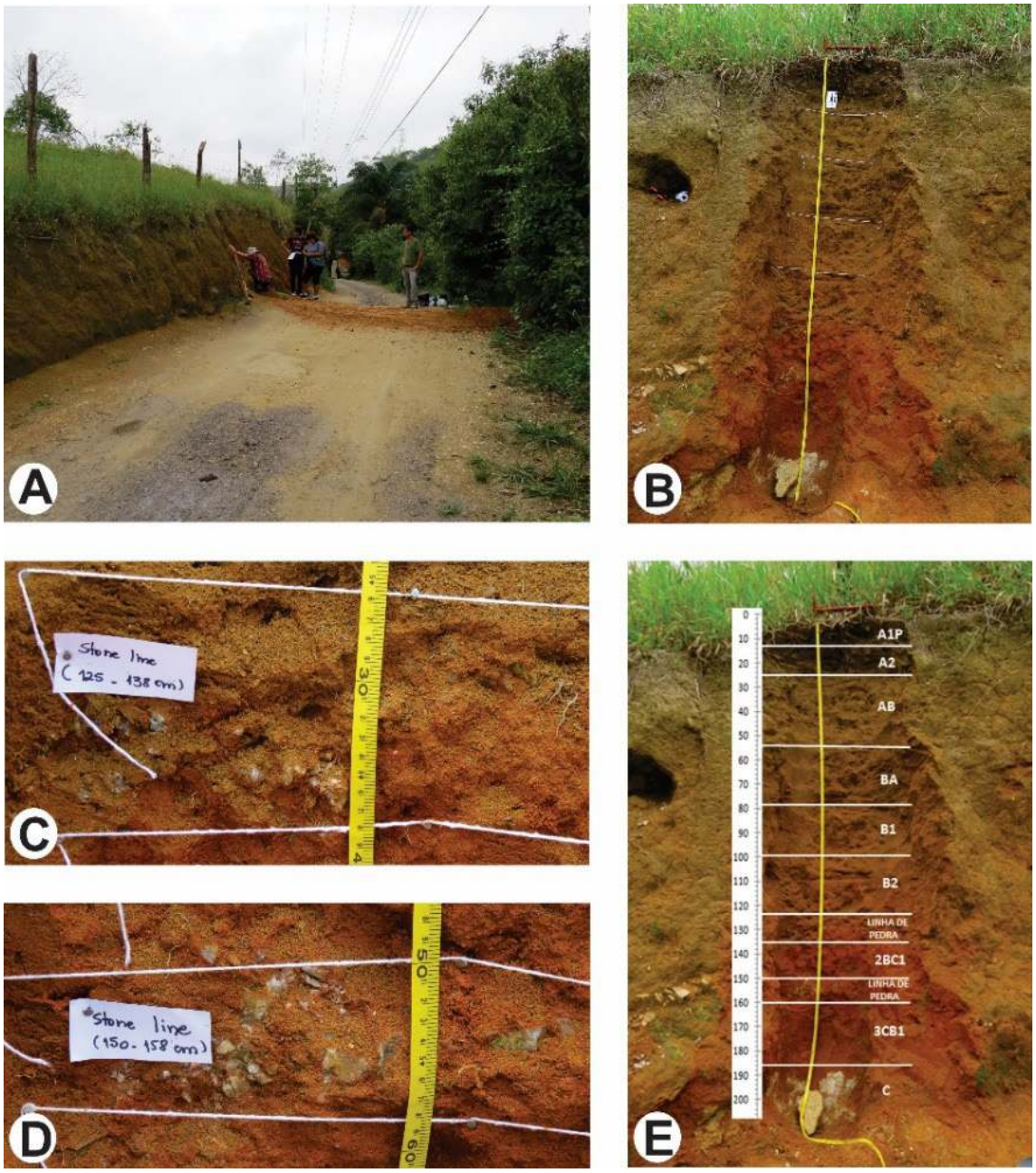
A textura do solo foi realizada a partir da análise granulométrica e observações quanto ao grau de arredondamento dos grãos (na fração cascalho) para posterior classificação, com base em Wentworth (1922). A granulometria foi feita em 15 amostras, no Laboratório de Sedimentologia da Universidade Federal Fluminense (UFF), para se caracterizar o tamanho dos materiais constituintes do solo. As observações relativas ao grau de arredondamento dos grãos foram feitas no Laboratório de Dinâmicas da Natureza, da Faculdade de Formação de Professores da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (LABDIN/FFP/UERJ), sob lupa binocular, com o auxílio do software *ToupView*®, para a análise digital destes. O carbono orgânico total (COT) foi analisado utilizando-se um equipamento Perkin-Elmer CHNS/O, modelo 2400, no modo de operação CHN, de propriedade do Laboratório de Sedimentologia da UFF. A medição do pH das amostras de solo foi realizada com base no *Manual de métodos de análises de solo*, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (1997).

A preparação inicial para a extração dos fitólitos consistiu em secar e peneirar (2mm) 10g de cada amostra de solo para, em seguida, eliminar carbonatos (com HCl), óxidos de ferro (com citrato e ditionito de sódio), a matéria orgânica (com ácido nítrico e H_2O_2) e a fração argila (por decantação). Finalmente, foi feita a separação densimétrica por meio de uma solução contendo 680g de politungstato de sódio para 300ml de água destilada. Foram confeccionadas lâminas em glicerina (temporárias) e Entellan® (permanentes) com uma alíquota de 25 µl do material. A identificação e a contagem foram realizadas no microscópio óptico polarizador Zeiss Axio Scope.A®, de propriedade do LABDIN/UERJ, com aumento de 500 a 630x. Esta análise foi feita em um número mínimo de 200 fitólitos

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

classificáveis por amostra a fim de: a) estimar a frequência relativa dos distintos morfotipos, segundo o Código Internacional de Nomenclatura de Fitólitos (ICPN); b) analisar o grau de alteração dos fitólitos; e c) calcular o estoque total de fitólitos em cada amostra. Foram calculados dois índices fitolíticos: (1) a densidade da cobertura arbórea (D/P) e (2) o índice de estresse hídrico (Bi) (COE et al., 2014).

Figura 2 – Horizontes e linhas de pedra do perfil de solo estudado em Barra do Piraí/RJ: (A) área de coleta; (B) perfil de solo; (C) linha de pedra 125-138 cm; (D) linha de pedra 150-158 cm; (E) horizontes e linhas de pedra demarcados.



Fonte: *Fotografias de André Silva (2016).*

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

A determinação da concentração de $\delta^{13}C$ foi realizada na *University of California* (UC-DAVIS), *Stable Isotope Facility* (SIF). Os resultados foram expressos em unidade de δ‰, determinada em relação ao padrão internacional PDB (*Pee Dee Belemnite*), e se referem à média de duas determinações, com precisão de 0,2 ‰. Já para as datações por ^{14}C-AMS, foram selecionadas e preparadas três amostras de solo, no Laboratório de Radiocarbono (LAC), do Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense (UFF). Devido à baixa concentração de carbono orgânico no solo, não foi possível utilizar a fração humina para datação, sendo realizada, portanto, a análise da concentração de ^{14}C na matéria orgânica total do solo (MOS). Após a remoção de carbonatos com ácido clorídrico 1,0M a 90º C, as amostras passaram por combustão e grafitização, conforme os protocolos usuais do Laboratório do Radiocarbono da UFF (LAC/UFF) (MACARIO et al., 2017). As amostras prensadas em catodos de alumínio foram enviadas para datação, no *Center of Applied Isotope Studies* (CAIS) da Universidade da Georgia, nos Estados Unidos (CHERKINSKY et al., 2010). As idades foram calibradas por meio do programa OxCal v. 4.2.4[*] (BRONK RAMSEY, 2009), utilizando-se a curva atmosférica para o Hemisfério Sul SHCal13 (HOGG et al., 2013).

Resultados

Caracterização pedológica do perfil de solo estudado em Barra do Piraí

Os resultados da granulometria (Tabela 1 e Figura 3) indicam um perfil de solo argilo-arenoso, com o predomínio da fração argila, correspondendo a 50-60%, com ligeira diminuição (38%) na superfície. A areia grossa aparece, em seguida, com 15-22%. O cascalho representa a fração predominante nas profundidades de 1,5 e 1,25 metro (linhas de pedra), com 39 e 59%, respectivamente. A fração silte é pouco representativa, ao longo do perfil do solo, e corresponde a apenas entre 1 e 2,5% do material analisado.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Tabela 1 – Resultados das análises granulométricas, teor de matéria orgânica e pH do perfil de solo estudado em Barra do Piraí/RJ.

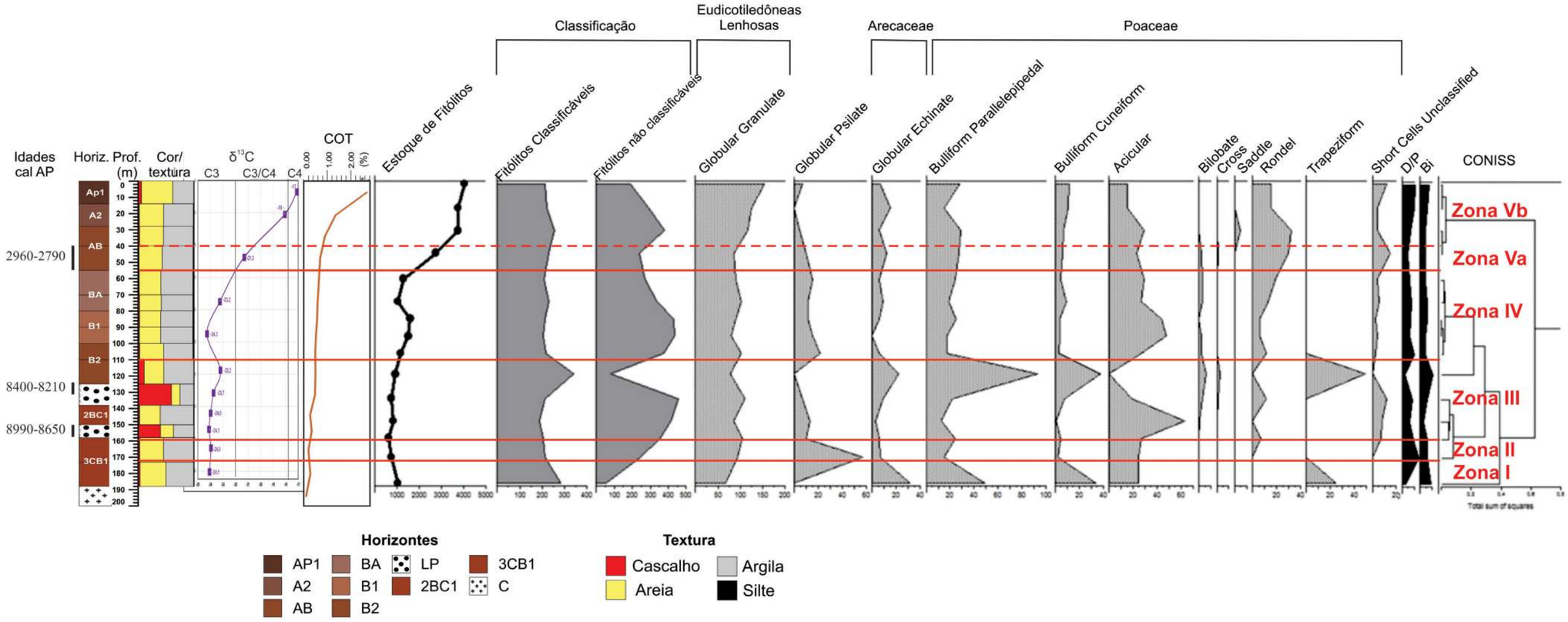
Horizonte/ Amostra	Profundidade (cm)	Cascalho (%)	Areia (%)					Finos (%)		Classificação (Wentworth, 1922)	Teor de MO (%)	pH (média)
			MG	G	M	F	MF	Silte	Argila			
Ap	0 - 14	5,21	3,05	22,22	18,38	10,29	2,46	0,86	37,52	Areia argilosa	2,69	4,2
A2	14 – 28	1,46	2,16	20,48	14,16	4,39	2,31	1,65	53,34	Argila arenosa	1,36	4,1
AB	28 – 40	1,87	1,84	21,04	13,55	4,31	2,13	1,90	53,35	Argila arenosa	0,9	4,3
AB	40 – 55	0,79	1,68	20,29	13,29	4,34	2,13	2,13	55,62	Argila arenosa	0,7	4,3
BA (amostra 1)	55 – 70	1,25	2,10	20,03	11,57	3,75	1,88	2,44	58,00	Argila arenosa	0,64	4,5
BA (amostra 2)	70 – 80	1,78	2,26	17,47	11,25	5,82	2,26	2,49	56,86	Argila arenosa	0,59	4,4
B1 (amostra 1)	80 – 90	1,81	1,94	17,22	11,70	4,11	2,91	2,56	57,76	Argila arenosa	0,57	4,3
B1 (amostra 2)	90 – 100	1,48	2,03	16,91	10,83	5,98	2,36	2,59	57,81	Argila arenosa	0,52	4,6
B2 (amostra 1)	100 - 110	2,15	2,55	21,32	12,73	4,11	2,17	2,22	52,74	Argila arenosa	0,49	4,8
B2 (amostra 2)	110 - 125	10,28	2,12	15,41	10,21	5,92	2,46	0,83	54,95	Areia cascalhosa	0,5	5
SL	125 - 138	59,10	1,13	5,98	4,99	2,06	1,07	0,85	24,81	Cascalho	0,48	4,7
2BC	138 - 150	1,91	2,33	15,16	10,44	6,44	2,73	1,13	59,87	Argila arenosa	0,27	4,8
SL	150 – 158	39,33	1,73	10,00	7,64	2,76	1,40	0,79	36,34	Cascalho	0,34	4,6
3CB (amostra 1)	158 – 173	2,14	2,52	17,04	12,54	7,19	3,38	1,00	54,20	Argila arenosa	0,2	4,6
3CB (amostra 2)	173 – 188	2,71	2,21	21,40	14,11	5,44	3,47	0,98	49,69	Argila arenosa	0,28	4,8

Fonte: *Elaborada pelos autores, 2019.*

Os grãos de cascalho das linhas de pedra são compostos, basicamente, de quartzo em ambas as profundidades, variando entre anguloso e subanguloso. Este padrão aponta para um baixo retrabalhamento desses materiais ao longo do tempo. A maioria dos grãos apresenta uma coloração avermelhada, indicando óxido de ferro (Figura 4).

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Figura 3 – Resultados integrados das análises pedológicas, fitolíticas, isotópicas e zonas delimitadas para o perfil de solo estudado em Barra do Piraí/RJ.

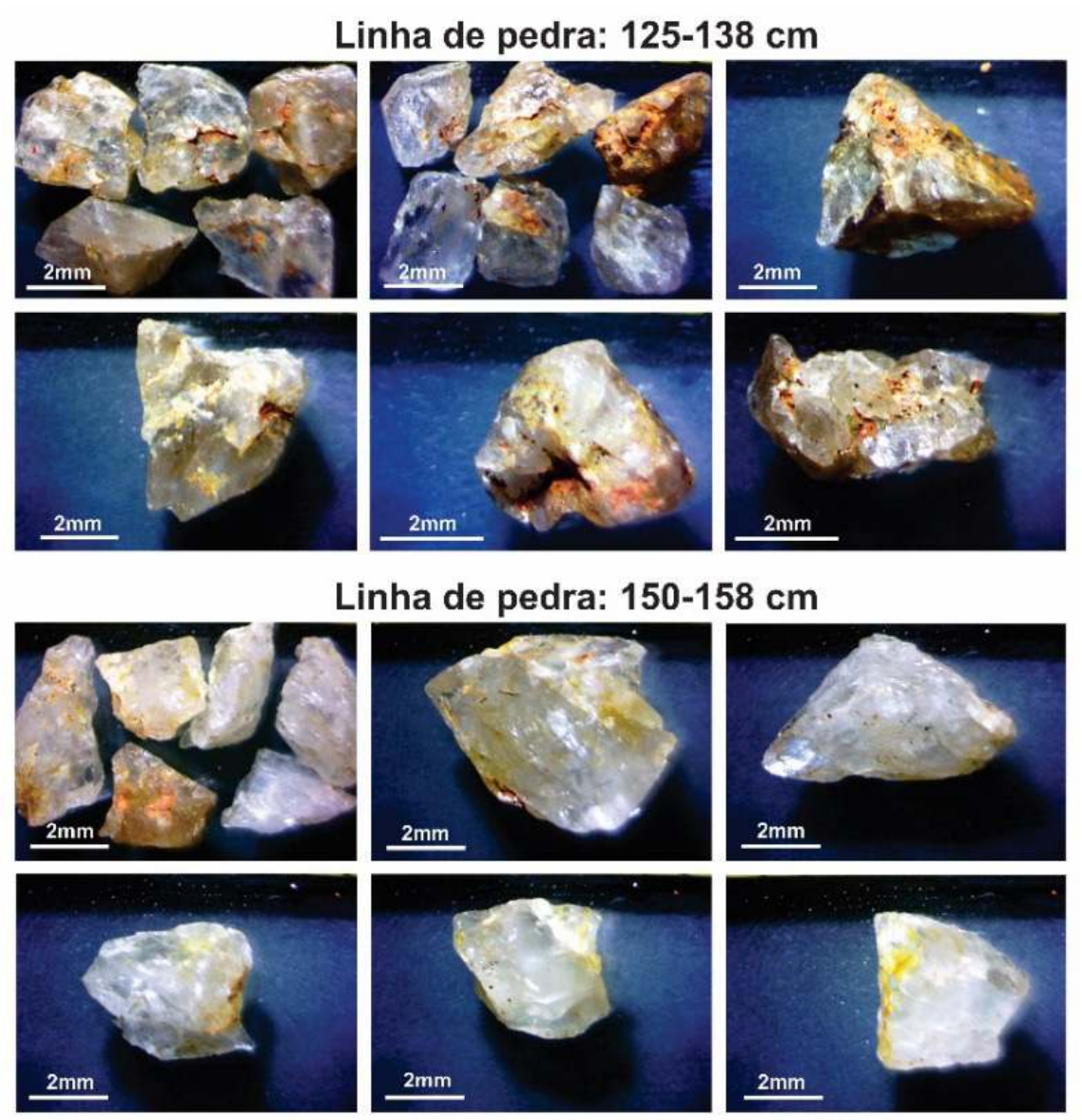


Fonte: *Elaborada pelos autores, 2019.*

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

O carbono orgânico total segue o padrão normal de redução com a profundidade, diminuindo de 2,69%, na superfície, a 0,2%, em direção à base do perfil. O pH das amostras analisadas ficou entre 4,2 e 5, o que caracteriza o perfil de solo estudado como de acidez média, favorável à preservação dos fitólitos. Segundo Piperno (2006), os fitólitos se preservam bem em solos com pH entre 2 e 9, e ambientes com solos ácidos tendem a ter mais sílica livre, disponível para as plantas. Já solos de pH muito alcalino podem causar a dissolução dos fitólitos, ocasionando a perda de suas ornamentações mais delicadas (CABANES et al., 2011) (Tabela 1 e Figura 3).

Figura 4 – Grãos de quartzo na fração cascalho presentes nas linhas de pedra do perfil de solo estudado em Barra do Piraí/RJ.



Fonte: *Autores, 2019.*

Ocorrência, classificação e morfotipos de fitólitos

As maiores concentrações de fitólitos (Figura 3) são encontradas entre a superfície e o horizonte AB (entre 0 e 55 cm). A partir disto, decresce rapidamente até atingir valores cerca de quatro vezes menores no horizonte BA (55-80cm). Em seguida, há um pequeno aumento no estoque no horizonte B1 (80-100cm), para, posteriormente, continuar diminuindo com a profundidade até 3CB1 (158-188cm), aumentando novamente na base do perfil (188-210+ cm). Os menores estoques foram encontrados nas amostras coletadas nas duas linhas de pedra, provavelmente porque a granulometria mais grosseira facilita a percolação dos fitólitos para as camadas inferiores. De uma maneira geral, o estoque de fitólitos identificado no solo estudado segue o padrão normal de distribuição, com diminuição exponencial com a profundidade, característica de uma sequência fitolítica em equilíbrio com a vegetação atual (ALEXANDRE et al., 1997).

Os fitólitos não classificáveis são aqueles cuja forma é impossível identificar, por estarem muito intemperizados (COE et al., 2014). O padrão normal da intensidade da alteração dos fitólitos (porcentagem de fitólitos não classificáveis) aumenta com a profundidade, indicando um acréscimo do tempo de residência das partículas no solo e, portanto, um aumento da idade média dos fitólitos com a profundidade (ALEXANDRE et al., 1997; 1999). No perfil de solo estudado, os fitólitos não se encontram muito bem preservados, com apenas 53% de classificáveis, na amostra mais superficial (53%), variando entre 49 e 31%, nas demais profundidades. Este baixo grau de preservação pode indicar uma grande intensidade dos processos erosivos, como observado, por exemplo, por Augustin et al. (2014), Barros et al.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

(2015) e Chueng (2016). Uma exceção a esse padrão foi observada na base do perfil, onde foi verificado o maior grau de conservação (84% de classificáveis) (Figura 3 e Tabela 2).

O tipo de fitólito (Figuras 3 e 5 e Tabela 2) mais encontrado foi o *globular granulate*, característico das eudicotiledôneas lenhosas (SCURFIELD et al., 1978; WELLE, 1976; KONDO et al., 1994); em seguida, aparecem os tipos produzidos pelas gramíneas (TWISS, 1969; 1992; MULHOLAND, 1989; KONDO et al., 1994; FREDLUND, TIESZEN, 1994), como o *acicular*, *rondel*, *elongate*, *bulliform parallelepipedal* e *cuneiform*, além do *globular echinate*, produzido pelas palmeiras (KONDO et al., 1994; RUNGE, 1999; VRYDAGHS, DOUTRELEPONT, 2000; COE et al., 2012b). Na maioria das amostras, o índice D/P, que expressa a densidade de cobertura arbórea, variou entre 0,8 e 2,26 (Figura 3 e Tabela 2), indicando uma cobertura relativamente densa, conforme Bremond et al. (2005), Gomes (2013) e Coe et al. (2017; 2018). Exceções foram observadas, no horizonte B2 e na base, com valores de 0,41 e 0,53, respectivamente, indicando uma vegetação mais aberta, com mistura de árvores e herbáceas, sugerindo um ambiente menos úmido. O índice Bi, indicador de estresse hídrico (Figura 3 e Tabela 2), apresentou, na maioria das amostras, valores baixos a moderados (de 16% em 2BC amostra 1 a 49% no horizonte Ap). Apenas na base do perfil de solo (horizontes 3CB amostra 1 e B2), foram observados valores mais elevados (65 e 70%, respectivamente), indicando um ambiente de maior estresse hídrico, corroborando com os valores correspondentes ao índice D/P, já que essas profundidades foram as que apresentaram a cobertura vegetal mais rarefeita, como observado anteriormente por Coe et al. (2015).

Análises isotópicas ($\delta^{13}C$) e idades do carbono 14

O perfil de solo estudado em Barra do Piraí apresentou tendências ao enriquecimento em ^{13}C e, consequentemente, ambientes menos úmidos em relação ao atual, da base para o topo. Da base do perfil até o horizonte BA, os valores de $\delta^{13}C$ (de -24,1 a -23,2‰) apontam para a predominância de plantas C3. O horizonte AB apresenta valores característicos de mistura de plantas C3 e C4 (-21,3‰), sugerindo que este horizonte seja de transição para os dois subjacentes, A2, que apresenta valores ainda de mistura (-18,1‰), e o horizonte Ap, com valores característicos de plantas C4 (-17,1‰) (Tabela 2).

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Tabela 2 – Resultados das análises fitolíticas e isotópicas do perfil de solo estudado em Barra do Piraí/RJ.

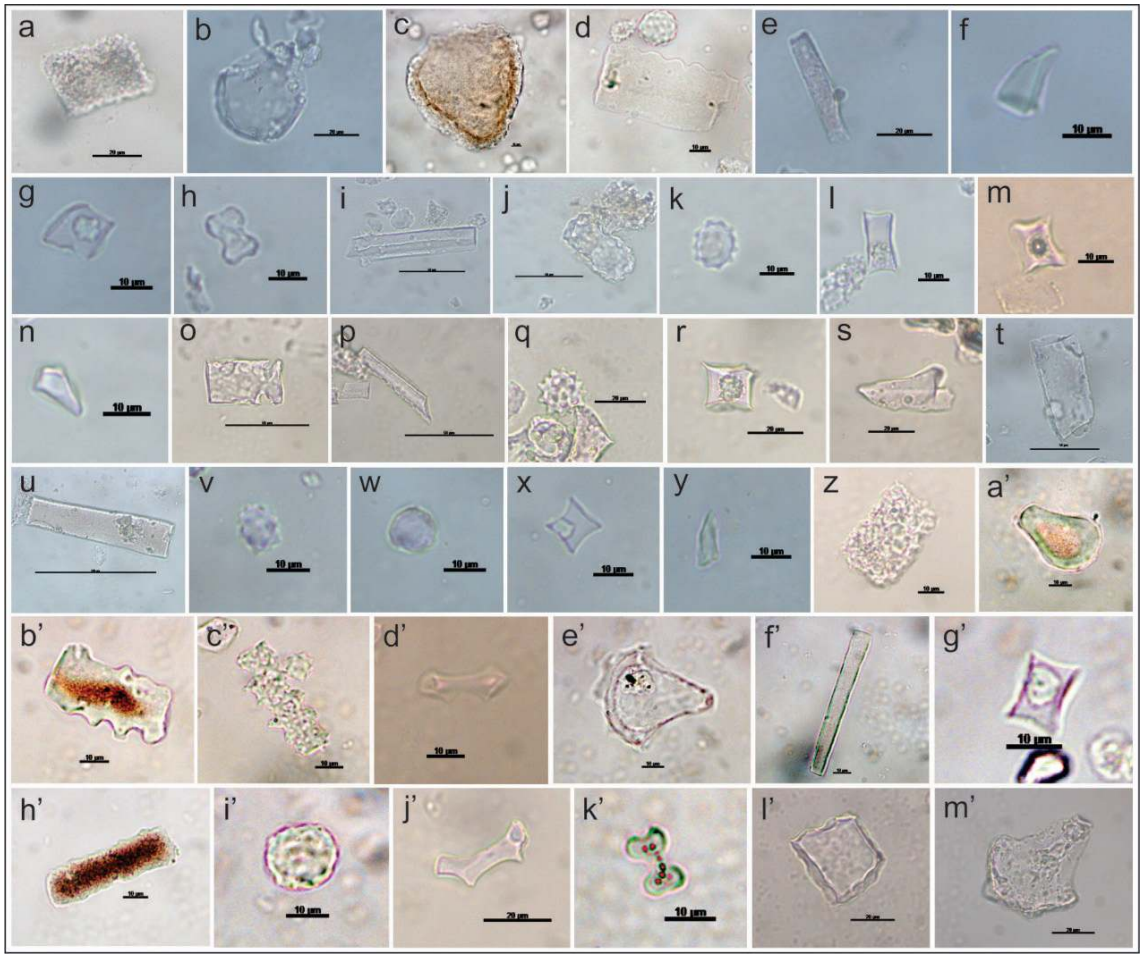
Horizontes/ Amostras	Profundidade (cm)	Estoque de fitólitos (unidades)	Tipos de fitólitos (% dos classificáveis)											Classificação dos fitólitos (%		Índices Fitolíticos		^{13}C (‰)
			Bulliform parallelepipedal	Bulliform cuneiform	Globular granulate	Globular psilate	Globular echinate	Elongate	Acicular	Bilobate	Cross	Rondel	Trapeziform	Outros Short cells	Classificáveis	Não classificáveis	D/P	Bi%	
Ap	14 - 0	4041	13,2	5,7	72,2	3,3	3,3	5,7	7,1	0,0	0,0	7,1	0,0	5,7	52,7	47,3	1,87	48,8	-17,11
A2	28 - 14	3752	6,8	5,0	56,8	0,0	6,8	3,6	11,8	1,4	0,0	5,9	0,0	1,8	43,3	57,5	1,74	36,1	-18,08
AB amostra 1	40 - 28	3747	11,4	2,8	46,1	1,6	2,4	8,3	11,4	0,9	0,4	12,6	0,0	3,6	40,6	60,5	1,10	34,0	#
AB amostra 2	55 - 40	2739	11,7	2,6	37,2	4,3	5,2	8,2	10,0	1,3	0,0	13,0	0,0	6,5	49,0	51,0	0,83	31,7	-21,31
BA amostra 1	70 - 55	1269	11,5	2,4	43,3	7,2	2,9	6,3	13,9	1,4	0,0	9,1	0,0	1,9	43,2	56,8	1,07	34,5	#
BA amostra 2	80 - 70	1038	8,3	3,9	44,5	4,8	3,9	13,1	11,8	1,3	0,0	5,7	0,0	2,6	40,2	59,8	1,32	36,4	-23,24
B1 amostra 1	90 - 80	1587	11,8	1,9	42,9	5,2	2,8	10,4	20,8	0,0	0,0	2,8	0,0	1,4	32,9	67,1	1,11	35,4	#
B1 amostra 2	100 - 90	1503	8,4	2,0	39,4	7,4	0,0	13,3	23,6	1,0	0,0	3,0	0,0	2,0	31,9	68,1	0,99	25,9	-24,27
B2 amostra 1	110 - 100	1158	7,9	1,4	47,2	9,7	2,8	11,1	12,5	0,9	0,0	5,1	0,0	1,4	36,5	63,5	1,62	31,7	#
B2 amostra 2	125 - 110	919	27,4	11,2	22,7	0,0	6,5	15,0	0,0	1,8	0,9	0,0	14,5	1,4	43,5	56,5	0,41	70,4	-23,20
SL 2	138 - 125	726	10,4	3,8	51,9	3,3	4,2	4,7	9,0	1,4	0,5	5,2	0,0	5,7	31,7	68,3	1,45	39,5	-23,75
2BC	150 - 138	822	6,9	0,5	45,7	6,9	1,6	0,0	33,5	0,5	0,0	0,0	0,0	4,3	31,1	68,9	1,00	16,3	-23,98
SL 1	158 - 150	603	11,8	2,5	51,2	4,9	3,0	6,4	13,3	0,0	0,0	3,4	0,0	3,4	36,3	63,7	1,49	41,4	-24,11
3CB amostra 1	173 - 158	736	7,1	0,9	44,8	26,9	3,3	5,2	11,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,3	53,7	2,26	40,5	-23,96
3CB amostra 2	188 - 173	1027	17,2	11,9	23,9	0,0	10,9	9,1	0,0	7,4	11,2	0,0	8,4	0,0	84,3	15,7	0,53	64,8	-24,07

Fonte: Elaborada pelos autores, 2019.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Os resultados das datações por ^{14}C-AMS (Figura 3) devem ser interpretados com cautela, visto que a análise se baseou na concentração de ^{14}C na matéria orgânica total do solo. Esta fração pode conter carbono de idades diferentes, representando uma média das concentrações de ^{14}C de cada componente e, portanto, um valor mínimo de idade para a deposição do material. As análises da fração MOS das amostras selecionadas indicam idades entre: 9010-8760 anos cal AP, para a profundidade de 150-158 cm, correspondente à linha de pedra 1 (LP); 8410-8340 anos cal AP, entre 125-132 cm de profundidade, relacionado à linha de pedra 2; e 3000-2860 anos cal AP, no intervalo entre 40-55 cm, no horizonte AB.

Figura 5 – Fotografias dos fitólitos observados no perfil de solo estudado em Barra do Piraí/RJ.



Legend*a: (a), (d) (j), (o), (t), (z), (l') Bulliform parallelepipedal; (b), (c), (a'), (e'), (m') Bulliform cuneiform; (e), (i), (p), (u), (f'), (h')Elongate psilate;(b'), (c'), Elongate echinate both sides; (f), (n), (s), (y) Acicular; (g), (m), (x), (g') Rondel; (l), (r) Trapeziform; (h) Cross; (k), (q), e (v) globular echinate; (w)globular psilate; (d') e (j') Bilobate flat concave; (i') Globular granulate; (k') Bilobate.*
Fonte: *Autores, 2019.*

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Discussões

A integração dos resultados obtidos a partir das análises fitolíticas, granulométricas e isotópicas permitiu identificar cinco zonas com características distintas ao longo do perfil de solo estudado (Figura 3):

1) Zona I (188 a 173 cm; anterior a cerca de 9000 anos cal AP)

A Zona 1 (Figura 3) apresentou um número elevado de fitólitos, provavelmente em função do predomínio dos morfotipos de Poaceae (56%), considerada uma das famílias que mais produzem fitólitos (PIPERNO, 2006). Os fitólitos estão bem conservados, apresentando as maiores porcentagens de classificáveis do perfil (84%), além de apresentar a maior porcentagem de fitólitos de *short-cells* (27%), considerados os tipos mais frágeis (PIPERNO, 2006; COE et al., 2014). O índice D/P é baixo (0,53), característico de formações vegetais abertas. O valor obtido pela análise de $\delta^{13}C$ (-24‰) indica o predomínio de plantas C3 (BOUTTON, 1996), provavelmente gramíneas, como indicado pelas análises fitolíticas. O índice Bi é elevado (65%) em relação aos valores obtidos para este perfil, indicando estresse hídrico, corroborado pelo D/P baixo, característico de uma vegetação mais esparsa. Outros autores corroboram esses resultados, como os valores de D/P menores que 1, que foram descritos para áreas de campos e cerrado, no Brasil (por exemplo, COE et al., 2013; 2014; 2015; AUGUSTIN et al., 2014; CALEGARI et al., 2015; BARROS et al., 2016). Valores semelhantes de Bi também foram encontrados por esses autores, inclusive, em trabalhos associando análises fitolíticas e isotópicas. Os índices D/P, Bi e a maior porcentagem de fitólitos do tipo *trapeziform* sugerem um ambiente mais seco e frio que o atual.Barros et al. (2000), também no médio Vale do Paraíba (SP), constataram que, de 31.000 até cerca de 13.000 anos AP, a vegetação era característica de um clima mais frio que o atual, e que, entre 13.000 e 10.000 anos AP, houve uma alternância de estiagem e de alta pluviosidade, com predomínio de savana/campo. Essa zona apresenta características de horizontes superficiais (maior quantidade de fitólitos e menor grau de alteração), sendo, provavelmente, um paleohorizonte A, resultado de uma pedogênese diferente da que gerou os demais horizontes do perfil. Além disso, sua localização, imediatamente acima da rocha alterada, pode ter facilitado a acumulação de fitólitos, por percolação a partir dos horizontes acima.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

2) Zona II (173 a 158 cm; anterior a cerca de 9000 anos cal AP)

Apesar de uma redução do estoque de fitólitos em relação à Zona I, a Zona II (Figura 3) continua a apresentar um número elevado de fitólitos, ainda superior ao encontrado em menores profundidades. O índice D/P é o mais elevado do perfil (2,26), refletindo uma vegetação em mosaico, constituída por elementos arbóreos e herbáceos, sugerindo um ambiente mais úmido que o anterior, no início do Holoceno. O índice Bi é baixo (29%), indicando pouco estresse hídrico e condições ambientais de maior umidade. O aumento da umidade pode ter provocado o aporte de materiais de locais mais elevados de encostas adjacentes por processos de erosão laminar e escoamento superficial. Estes colúvios podem ter enterrado o material identificado na Zona I, favorecendo a preservação dos fitólitos.

3) Zona III (158 a 110 cm; de ~ 9000 anos cal AP a ~8200 anos cal AP)

A Zona III (Figura 3) inclui a linha de pedra 1, o horizonte 2BC amostra 1, a linha de pedra 2 e o horizonte B2, com características texturais distintas do resto do perfil, com maior quantidade de areia muito grossa e cascalho. Os menores estoques de fitólitos foram encontrados nas amostras coletadas nas linhas de pedra 1 e 2, provavelmente devido à granulometria mais grossa, o que facilita a percolação destes em direção à base (ALEXANDRE et al., 1997; COE et al., 2015). Além disso, por ser um período mais seco, a cobertura vegetal tende a ser mais rarefeita, dificultando a preservação dos fitólitos. O índice D/P apresenta uma diminuição em relação à Zona II, indicando uma redução da umidade, que atinge o máximo no horizonte B2 (mínimo D/P e maior Bi do perfil). A granulometria, com predomínio de cascalho e formação de duas linhas de pedra, aponta para um clima com chuvas concentradas e condições mais favoráveis à ocorrência de processos erosivos, com competência para transportar materiais mais grossos, incluindo seixos. A hipótese mais provável para a gênese das linhas de pedra, de acordo com as condições paleoambientais inferidas, é a autóctone por coluvionamento (MOUSINHO, BIGARELLA, 1965; PENTEADO, 1969; BIGARELLA et al., 1994; RIQUIER, 1969). Esse período mais seco e de dinâmica erosiva mais intensa pode ser observado até o horizonte B2, devido à elevada quantidade de cascalho (10%) e D/P mais baixo. De Ploey (1964) e Ab'Sáber (1962) relacionam a formação das linhas de pedra a períodos mais secos e eventos de chuvas concentradas, o que foi corroborado pelos resultados das análises fitolíticas.

Revista da Anpege ISSN 1679-768X

4) Zona IV (110 a 55 cm; anterior a cerca de 2.900 anos cal AP)

A Zona IV (Figura 3) inclui os horizontes B2, B1 e BA. Os estoques de fitólitos seguem a tendência normal de aumento em direção à superfície, com uma redução no horizonte BA, possivelmente em resposta a um aumento na fração cascalho, neste horizonte, em relação ao sobrejacente. O índice D/P indicou uma vegetação com mistura de arbóreas e herbáceas, com um máximo de adensamento (1,62) em B2 e um mínimo (0,99) em B1.

5) Zona V (55 cm até a superfície; anterior a cerca de 2900 anos cal AP até o presente)

A Zona V (Figura 3) é subdividida em dois níveis distintos: Va – parte do horizonte AB; Vb – horizontes AB, A2 e AP1. Em toda a Zona V, os estoques de fitólitos aumentam em direção ao topo, seguindo o padrão normal de distribuição com a profundidade. Na Zona Va, o índice D/P diminui em relação à zona anterior, indicando uma vegetação mais aberta, com predomínio de herbáceas. Este resultado é corroborado pelo valor de $\delta^{13}C$ (-21‰). Essa subzona sugere um episódio mais seco, ocorrido há cerca de 2900 anos cal AP. Na Zona Vb, o índice D/P aumenta progressivamente em direção à superfície, indicando uma maior umidade, após 2.900 anos cal AP. Resultados semelhantes também foram encontrados na lagoa Salgada (RJ), onde Toledo (1998) detectou uma fase úmida em torno de 3.000 anos AP, contrastando com a fase seca ocorrida por volta de 2.540 anos AP, e seguida de um máximo de umidade, após este período.

Considerações finais

As análises fitolíticas e isotópicas do perfil de solo estudado em Barra do Piraí não identificaram mudanças no tipo de formação vegetal, durante o período observado, apresentando somente variações em sua composição (maior ou menor quantidade de lenhosas ou de herbáceas). Estas variações decorrem de períodos relativamente mais secos (anteriores a cerca de 9000, entre 9000 e 8200 anos cal AP) ou mais úmidos (a partir de cerca de 2900 anos cal AP). A hipótese de gênese das linhas de pedra estudadas é a de coluvionamento de pequena distância atrelado a um período de chuvas concentradas.

Este foi um trabalho pioneiro na utilização integrada de dados pedológicos, de bioindicadores (fitólitos e isótopos estáveis de carbono) e de datações por ^{14}C-AMS para a inferência de condições paleoambientais associadas à ocorrência de linhas de pedra. Seus resultados foram muito promissores e incentivam a realização de novos estudos que utilizem a referida metodologia com essa finalidade.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, 307771/2017-2 e INCT-FNA, 464898/2014-5) e à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ, E-26/110.138/2014 e E26/203.019/2016) pelo apoio financeiro. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

Referências

1. AB'SÁBER, A. N. **Revisão dos conhecimentos sobre o horizonte sub-superficial de cascalhos inhumados do Brasil Oriental.**In: *Boletim da Universidade do Paraná, Geografia Física*, v. 2, p. 1-32, Curitiba, 1962.
2. ALEXANDRE, A.; MEUNIER, J. D.; COLIN, F.; KOUD, 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, 1997.
3. _____., _____., MARIOTTI, A., SOUBIES, F. **Late Holocene phytolith and carbon-isotope record from a latosol at salitre, South-Central Brazil.** *Quaternary Research*, v. 51, p. 187-194, 1999.
4. AUGUSTIN, C. H. R. R.; COE, H. H. G.; CHUENG, K. F.; GOMES, J. G. **Analysis of geomorphic dynamics in ancient quartzite landscape using phytolith and carbon isotopes, Espinhaço Mountain Range, Minas Gerais, Brazil.** *Géomorphologie*, 4: 355-376, 2014.
5. BARBONI, D.; BONNEFILLE, R.; ALEXANDRE, A.; MEUNIER J. D. **Phytoliths as paleoenvironmental indicators, West Side Middle Awash Valley, Ethiopia.** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 152: 87-100, 1999.
6. _____., BREMOND, L., BONNEFILLE, R. **Comparative study of modern phytolith assemblages from inter-tropical Africa.** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 246, 454-470, 2007.
7. BARROS, M. A.; BARTH, O. M.; MELLO, O. A.; MOURA, J. R. S.; PEIXOTO, M. N. O. **História recente da vegetação e o uso da terra no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, Brasil:** uma abordagem palinológica. In: *Leandra*, Rio de Janeiro, v. 15, p. 47-57, 2000.

8. BARROS, L. F. P.; COE, H. H. G.; SEIXAS, A. P.; MAGALHÃES, A. P.; MACARIO, K. C. D. **Paleobiogeoclimatic scenarios of the Late Quaternary inferred from fluvial deposits of the Quadrilátero Ferrífero (Southeastern Brazil).** *Journal of South American Earth Sciences*, v. 67, p. 71-88, 2016.

9. BERRY, L.; RUXTON, B. P. **Notes of weathering zones and soils of granite rocks in two tropical regions.** *Journal Soil Sciences*, v. 10, p. 54-63, 1959.

10. BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** V. 1, Florianópolis: Ed. UFSC,. 425p, 1994.

11. BOURGEAT, F.; PETIT, M. **Les "stone-lines" et les terrasses alluviales des hautes terres malgaches.** *Cahiers ORSTOM Série Pédologie*, vol. IV, n. 2, p.3-19, 1966.

12. BOUTTON, T.W. **Stable carbon isotopes ratios of soil organic matter and their use as indicators of vegetation and climate change.** In: BOUTTON, T. W.; YAMASAKI, S. I. (eds.). *Mass spectrometry of soils*. Marcel Dekkerp, New York, p. 47-82, 1996.

13. BREMOND, L.; ALEXANDRE, A.; PEYRON, O.; GUIOT, J. **Grass water stress estimated from phytoliths in West Africa.** *Journal of Biogeography*, v. 32, p. 311-327, 2005.

14. _____.; ALEXANDRE, A.; WOOLLER, M. J.; HÉLY, C.; SCHÄFER, P. A.; MAJULE, A.; GUIOT, J. **Phytolith indices as proxies of grass subfamilies on East African tropical mountains.** *Global and Planetary Change* 61, p. 209-224, 2008.

15. BRONK RAMSEY, C. **Bayesian analysis of radiocarbon dates.** *Radiocarbon* 51.1: 337-360, 2009.

16. BRAUCHER, R.; LIMA, C. V.; BOURLÈS, D. L.; GASPAR, J. C.; ASSAD, M. L. L. **Stone-line formation processes documented by in situ-produced 10Be distribution, Jardim River Basin, DF, Brasil.** *Earth and Planetary Science Letters* 222, 645- 651, 2004.

17. CABANES, D.; WEINERA, S.; SHAHACK-GROSS, R. **Stability of phytoliths in the archaeological record:** a dissolution study of modern and fossil phytoliths. *Journal of Archaeological Science.* DOI: 10.1016./j.jas.2011.05.020. September 2011.

18. CALEGARI, M. R.; MADELLA, M.; BUSO, A. A.; OSTERRIETH, M. L.; LORENTE, F. L.; PESSENDA, L. C. R. **Inferências sobre vegetação e clima no Holoceno a partir de fitólitos e pólen da Lagoa do Macuco, litoral norte do Estado do Espírito Santo (Brasil).** *Quaternary and Environmental Geosciences*, 06 (1): 41-50, 2015.

19. CHERKINSKY, A.; CULP, R. A.; DVORACEK, D. K.; NOAKES, J. E. **Status of the AMS facility at the University of Georgia.** *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. Apr 1; 268(7-8): 867-70, 2010.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

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

21. COE, H. H. G. **Fitólitos como indicadores de mudanças na vegetação xeromórfica da região de Búzios/Cabo Frio, RJ, durante o Quaternário.** Geologia Marinha. PhD. Thesis, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2009, 300 p.

22. _____.; ALEXANDRE, A.; CARVALHO, C. N.; SANTOS, G. M.; SILVA, A. S.; SOUSA, L. O. F.; LEPSCH, I. F. **Changes in Holocene tree cover density in Cabo Frio (Rio de Janeiro, Brazil):** evidence from soil phytolith assemblages. *Quaternary International*, 2: 1-10, 2012a.

23. _____.; CHUENG, K.; GOMES, J. G. **Mudanças possivelmente antrópicas na cobertura vegetal na região de Búzios, Rio de Janeiro, identificadas através de análises de fitólitos.** In: *Revista Tamoios* (online), ano VII, p. 60-76, 2012b.

24. _____.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; CHUENG, K. F. **Applications of phytolith studies in a geomorphic sequence in the Espinhaço Mountains Range, Brazil.** *Synthesis of Some Phytolith Studies in South America (Brazil and Argentina)*. 1 ed., New York: Nova Science Publishers, 2014, v. 1, p. 193-213.

25. _____.; MACARIO, K.; GOMES, J.; CHUENG, K.; OLIVEIRA, F.; GOMES, P.; CARVALHO, C.; SANTOS, G. **Understanding Holocene variations in the vegetation of São João River basin, southeastern coast of Brazil, using phytolith and carbon isotopic analyses.** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 415, 59-68, 2014.

26. _____.; OSTERRIETH, M.; HONAINE, M. F. **Phytoliths and their Applications.** In: COE, H. H. G.; OSTERRIETH, M. (ed.). *Synthesis of some phytolith studies in South America (Brazil and Argentina)*. 1. New York: Nova Science, 2014.

27. _____.; RAMOS, Y. B. M.; SANTOS, C. P.; SILVA, A. L. C.; SILVESTRE, C. P.; BORRELLI, N. L.; SOUSA, L. O. F. **Dynamics of production and accumulation of phytolith assemblages in the Restinga de Maricá, Rio de Janeiro, Brazil.** *Quaternary International*, v. 388-89, p. 1-12, 2015.

28. BROWN, D. J.; MCSWEENEY, K.; HELMKE, P. A. **Statistical, geochemical and morphological analyses of stone line formation in Uganda.** *Geomorphology*, 62: 217-237. 2004.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

29. _____.; RICARDO, S. D. F.; SOUSA, L. O. F.; DIAS, R. R. **Caracterização de fitólitos de plantas e assembleias modernas de solo da caatinga como referência para reconstituições paleoambientais.** *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 8, p. 9-21, 2017.

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

31. COLLINET, J. **Contribution a l'étude des "stone-lines" dans la région du Moyen-ogooué (Gabon).** *Cahiers ORSTOM Série Pédologie*, vol. VII, n. 1, p. 3-42, 1969.

32. DE PLOEY, J. **Nappes de gravats et couvertures argilo-sableuses au Bas-Congo:** leur genèse et l'action de térmites. Études sur les termites africains, Ed. de l'Université, Léopoldville, 400-414, 1964.

33. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo.** 2ª ed., Rio de Janeiro, p. 212, 1997.

34. EPSTEIN, E. **Silicon in plants:** facts vs. concepts. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (ed.). *Silicon in Agriculture*. Elsevier, Amsterdan, p. 1-15, 2001.

35. FREDLUND, G. G.; TIESZEN, L. L. **Calibrating grass phytolith assemblages in climatic terms:** application to late Pleistocene assemblages from Kansas and Nebraska. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 136, n. 1-4, p. 199-211, 1997.

36. GLEIXNER, G. **Molecular dynamics of organic matter in a cultivated soil.** *Org. Geochem.* 3, 357-366, 2002.

37. 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.** Dissertação (Geologia e Geofísica Marinha). Universidade Federal Fluminense, 2013.

38. _____.; 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.** In: *Revista Tamoios* (online), 10: 128-150, 2014.

39. GORDON, E. S.; GOÑI, M.A. **Sources and distribution of terrigenous organic matter delivered by the Atchalaya River to sediments in the northern Gulf of Mexico.** *Geochim. Cosmochim. Acta* 67, 2003.

40. KILLOPS, S.; KILLOPS, V. **Introduction to Organic Geochemistry.** Blackwell, Malden, MA, 2005.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

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

42. HOGG, A. G.; HUA, Q.; BLACKWELL, P. G.; NIU, M.; BUCK, C. E.; GUILDERSON, T.P.; HEATON, T. J.; PALMER, J. G.; REIMER, P. J.; REIMER, R. W.; TURNEY, C. S. **SHCal13 Southern Hemisphere calibration, 0–50,000 years cal BP.** In: *Radiocarbon*, 55(4): 1889-903, 2013.

43. LAPORTE, G. **Reconnaissance pédologique le long de la voie ferrée Comilog (République du Congo).** Office de la Recherche Scientifique et Tecil"Rique Outre – Mer, Institut de Recherches Scientifiques au Congo, Service Pedologique, 149 p., Brazzaville, juin 1962.

44. LEHMANN, H. **Klimamorphologische Beobachtungen in der Serra da Mantiqueira und in Paraiba Tal (Brasilien).** Abhandlungen des Geographischen Instituts der Frein Universitaet Berlin, (Sep. do tomo 5 do "Geomorphologische Abhandlungen", p. 67-72). (Tradução em *Notícia Geomorfológica*, 5, abril de 1960, Campinas), 1957.

45. LORENTE, F. L.; PESSENDA, L. C. R.; CALEGARI, M. R.; COHEN, M. C. L.; ROSSETTI, D.; GIANNINI, P. C. F.; BUSO Jr., A. A.; CASTRO, D. F.; FRANÇA, M. C.; BENDASSOLLI, J. A.; MACARIO, K. **Phytoliths as indicators of environmental changes during the Holocene in the northern coast of the Espirito Santo State (Brazil).** *Quaternary and Environmental Geosciences*, 06(1): 01-15, 2015.

46. MACARIO, K. D.; ALVES, E. Q.; MOREIRA, V. N.; OLIVEIRA, F. M.; CHANCA, I. S.; JOU, R. M.; DIAZ, M. **Fractionation in the graphitization reaction for ^{14}C-AMS analysis:** the role of Zn× the role of TiH_2. *International Journal of Mass Spectrometry*. Dec 1; 423: 39-45, 2017.

47. MOUSINHO, M. R.; BIGARELLA, J. J. **Movimentos de massa no transporte dos detritos da meteorização das rochas.** In: *Boletim Paranaense de Geografia*, Universidade do Paraná, Curitiba, 16/17: 43-84, 1965.

48. NYE, P. H. **Some soil forming processes in the sumid tropics.** Part I: A field study of a catena in the West African forest. *Journal of Soil Science*, 5:7-27, 1954.

49. PAROLIN, M.; MONTEIRO, M. R.; COE, H. H. G.; COLAVITE, A. P. **Considerações paleoambientais do Holoceno** médio por **meio de fitólitos na Serra do Cadeado, Paraná.** In: *Revista do Departamento de Geografia* (USP), SBGFA: 96-103, 2017.

50. PENTEADO, M. M. **Novas informações a respeito dos pavimentos detríticos (stone lines).** In: *Notícia Geomorfológica*. Campinas, v. 9, n. 17, p. 15-41, 1969.

Revista da Anpege ISSN 1679-768X

51. PESSENDA, L. C. R.; GOUVEIA, S. E. M.; FREITAS, H. A; Ybert, R. S. Isótopos do carbono e suas aplicações em estudos paleoambientais. In: SOUZA, C. R. G. et al. (ed.). *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos Editora, p. 75-93, 2005.

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

53. PORTO, C. G. **Intemperismo em regiões tropicais.** In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.). *Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 25-58, 2003.

54. RAYNAL, R. **Les formations des versants et l´évolution climatique dans la Serra da Mantiqueira.** *Zeitschrift für Geomorphologie*, Band I: 279-289, 1957.

55. RIOU, G. **Notes sur les sols complexes des savanes préforestières en Côte-d'Ivoire.** *Ann. Univ. Abidjan Lettres Sci. hum.*, 1, pp. 17-35, 1965.

56. RIQUIER, J. **Contribution à l'étude des "stone-lines" en régions tropicale et équatoriale.** *Cahiers ORSTOM Série Pédologie*, vol. VII, n. 1, p. 71-109, 1969.

57. 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.

58. SANTOS, L. J. C.; SALGADO, A. A. R.; RAKSSA, M. L.; MARRENT, B. R. **Gênese das linhas de pedra.** In: *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 11, 2, 103-108, 2010.

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

60. SEGALEN, P. **Le remaniement des sols et la mise en place de la stone-line en Afrique.** In: *Cahiers ORSTOM Série Pédologie*, vol. VII, n. 1, p. 113-131, 1969.

61. SOS MATA ATLÂNTICA. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, 2014. Disponível em:<http://mapas.sosma.org.br/site_media/download/atlas_2014-2015_relatorio_tecnico_2016.pdf>ATLÂNTICA

62. SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 407p, 2010.

63. TOLEDO, M. B. **Evolução ambiental da Lagoa Salgada, sudeste do Brasil, com base em estudos palinológicos.** In: *Revista Universidade Guarulhos*, Geociências V, p. 156-159, 1998.

64. TRICART, J. **Division morphoclimatique du Brésil atlantique centrale.** *Révue de Geom. Dynam.*, IX, n. 1 e 2, jan.-fev. 1958.

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X

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

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

67. VOGT, J.; VINCENT, P. L. A. **Le complexe de la stone-line. Mise au point.** In: Terrains d´alteration et de recouvrement en zone intertropical. *Bulletin du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, n. 4, p. 3-49, 1966.

68. VRYDAGHS, L.; DOUTRELEPONT, H. **Analyses phytolithariennes:** acquis et perspectives. In: SERVANT, Michel; SERVANT-VIDALRY, Simone (ed.). *Dynamiques à long terme des* écosystèmes *forestiers intertropicaux*. Publications issues du Symposium international "Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux", Paris, 20-22 mars 1996, Paris: UNESCO, 2000.

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

70. WENTWORTH, C. K. **A scale of grade and class terms for clastic sediments.** *The Journal of Geology*, v. 30, n. 5, p. 377-392, 1922.

71. YOUNG, A. **Slopes.** London, 288p, 1972.

Submissão: 03/2019
Aceite: 02/2020

Revista da Anpege
ISSN 1679-768X