



Análise fitolítica em solos modernos como ferramenta para estudos de reconstrução paleoambiental⁽¹⁾.

Paula L. L. Felipe Ewald⁽²⁾; Marcia Regina Calegari⁽³⁾; Fernanda Apda. Cecchet.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Projeto 144/2012 PVEs/CAPES e PROAP/CAPES – PPG-Geografia/UNIOESTE/FB.

⁽²⁾ Estudante Mestrado; Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/FB; Francisco Beltrão, Paraná (pulinha0508@hotmail.com); ⁽³⁾ Professora Adjunta; Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/MCR, Marechal Cândido Rondon, PR (marcia.calegari@unioeste.br); ⁽⁴⁾ Estudante Mestrado; Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/FB; Francisco Beltrão, Paraná (fercechet@hotmail.com).

RESUMO:

O solo em suas múltiplas funções atua também como registro de mudanças ambientais. As questões relacionadas a história do solo tem merecido destaque na ciência do solo pois aporta dados que norteiam o entendimento da gênese dos solos e evolução das paisagens, sobretudo nas regiões Neotropicais onde muitas vezes os processos pedo e morfogenéticos são rápidos ou mais efetivos a ponto de apagar ou mascarar os sinais que permitam a interpretação da evolução pedogenética do solo. O objetivo deste trabalho foi definir a assinatura fitolítica da vegetação no Planalto das Araucárias e identificar evidência de mudança de vegetação ao longo do Quaternário tardio por meio de estudo em solos localizados noroeste de Santa Catarina, em área de Floresta Ombrófila Mista. A assembleia fitolítica ao longo de todo o perfil é marcada pela alta frequência de morfotipos de Poaceae sem significado taxonômico, seguido por fitólitos das subfamílias Pooideae (C₃), Panicoideae (C₄) e de Eudicotiledoneae. Em menor frequência foram identificados fitólitos de Arecaceae. De acordo com os registros fitolítico e isotópico constatou-se que a MOS acumulada neste perfil derivou de vegetação composta por misturas de plantas C₃ e C₄, com maior predomínio de C₄ durante o Holoceno médio, passando para maior contribuição de plantas C₃ no Holoceno tardio, corroborando já descrita na literatura para esta região.

Termos de indexação: Opala biogênica, Planalto das Araucárias; Holoceno.

INTRODUÇÃO

O solo em suas múltiplas funções atua também como registro de mudanças ambientais. As questões relacionadas a história do solo tem merecido destaque na ciência do solo pois aporta dados que norteiam o entendimento da gênese dos solos e evolução das paisagens, sobretudo nas regiões Neotropicais onde muitas vezes os processos pedo e morfogenéticos são rápidos ou mais efetivos a ponto de apagar ou mascarar os sinais que permitam a interpretação da evolução

pedogenética do solo. Conhecer as variações sofridas na intensidade em que cada fator de formação afetou a gênese do solo ao longo do tempo torna-se uma necessidade básica para o entendimento da história do perfil de solo.

O uso de uma abordagem multiproxy para compreender as mudanças ambientais e a história dos solos constitui uma área de investigação de grande interesse, que recentemente tem atraído muita atenção no Brasil. No Planalto das Araucárias, no Sul do Brasil, as mudanças climáticas ocorridas no Quaternário deixaram marcas na paisagem que têm sido investigadas por meio da análise de fitólitos de sílica preservados em solos e em sedimentos dessa unidade geomorfológica, juntamente com outros *proxies* sedimentológicos e pedológicos, contribuindo para a reconstrução das condições de clima e entendimento da evolução da paisagem nesta unidade geomórfica (Calegari, 2008; Paisani et al., 2013a; Calegari et al., 2014).

Embora nas superfícies geomórficas entre o sudoeste do Paraná e noroeste de Santa Catarina (Paisani et al., 2008) a dissecação regional seja um limitante na compreensão da evolução da paisagem, especialmente por remover registros, observa-se que a estreita relação entre o material de origem, a vegetação, os solos e o relevo atua diretamente na geografia do solo na paisagem regional. A presença de horizonte húmico no Planalto das Araucárias está em concordância com as condições edafoclimáticas atuais que começaram a se estabelecer no Sul do Brasil nos últimos 1500-2000 anos AP (ver p.ex. Bauermann & Behling, 2009) que permitiram a instalação de uma vegetação composta por formações campestres denominadas Campos de Altitude do Planalto das Araucárias ou Campos de Cima da Serra e pela Floresta Ombrófila Mista - FOM (bioma Mata Atlântica) (Boldrini, 2009).

Nos últimos anos estudos foram realizados buscando relacionar os fitólitos (opala biogênica) encontrados no solo com a história da vegetação por meio de comparações entre quantidade, variedade e tamanho dos morfotipos extraídos dos solos com aqueles de coleções de



referências organizadas a partir de fitólitos extraídos de espécies de plantas conhecidas, ou assumidas, como aquelas presentes durante a pedogênese dos respectivos solos no Planalto das Araucárias (Calegari, 2008; Paisani et al., 2012; 2013; Calegari et al., 2014). Neste contexto, o solo é entendido como um registro de mudanças ambientais e a análise de fitólitos uma técnica complementar àquelas já consagradas, como as análises polínicas e isotópicas, para a reconstrução paleoambiental (Calegari et al., 2013). Assim, buscou-se neste trabalho definir a assinatura fitolítica da vegetação no Planalto das Araucárias e identificar evidência de mudança de vegetação ao longo do Quaternário tardio por meio de estudo em solos localizados noroeste de Santa Catarina, em área de Floresta Ombrófila Mista.

MATERIAL E MÉTODOS

A descrição do solo foi realizada conforme critérios apresentados em Santos et al., (2005). A coleta de solo foi feita por horizonte em um perfil de alteração de 140 cm de profundidade, para fins de caracterização e classificação e sistematicamente a cada 10 cm de profundidade, da base para o topo do perfil para a análise isotópica e fitolítica. Para datação, considerando a profundidade do perfil, foi coletado cerca de 2 kg de solo a 15-30 cm e 60-80 cm.

Foram realizadas as análises físicas e químicas para fins de caracterização e classificação do solo, (EMBRAPA, 1997).

A análise para determinação da composição isotópica da matéria orgânica do solo ($\delta^{13}\text{C}$ da MOS) e do teor de carbono total (COT) foi realizada ao laboratório de Isótopos Estáveis, no Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP – Campus Luiz de Queiroz (Piracicaba- SP). Os resultados de COT foram expressos em g.kg^{-1} de peso seco e os da composição isotópica são apresentados em unidade de $\delta(\text{‰})$, determinada em relação ao padrão internacional VPDB e referem-se à média de duas determinações, com precisão de $\pm 0,2\text{‰}$.

A datação ^{14}C da humina do solo foi realizada no Laboratório Beta Analytic Inc. (Miami, EUA) para determinação por Espectrometria de Massa Acoplada ao Acelerador de Partículas. A idade ^{14}C é expressa em anos AP (antes do presente), normalizada a $-25,00\text{‰}$ (VPDB), sendo o presente o ano de 1950 e calibrados em anos de calendário (cal anos AP) pela Beta Analytic usando o programa Pretoria Calibration Procedure e o banco de dados INTCAL04.

A extração de fitólitos seguiu os procedimentos descritos como Método 2 em Calegari et al. (2013b). Foram confeccionadas lâminas com óleo

de imersão para observação 3D em microscópio ótico petrográfico com magnificação de 40X. Para a caracterização da assembleia foram contados no mínimo 200 fitólitos com significado taxonômico, ao longo de três linhas de cada lâmina/amostra, conforme Carnelli et al (2002). Os fitólitos extraídos foram nomeados conforme International Code for Phytolith Nomenclature – ICPN 1.0 (Madella et al., 2005) e agrupados de acordo com o significado taxonômico e ecológico de cada grupo baseado em coleções de referências da FOM e de Campo (Raitz, 2012) e na literatura corrente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O perfil possui 140 cm de espessura, composto por 5 horizontes pedogenéticos: A, AB, BA, Bi e CR. Apresenta cor (úmida) bruno-muito escuro (7.5YR 2.5/3) no horizonte A húmico, passando a bruno-avermelhado escuro (5YR 3/4) nos demais horizontes B. Em sua maior parte apresenta textura franco-argilosa (544 g.kg^{-1} e $439,5 \text{ g.kg}^{-1}$ de argila), diferenciando-se apenas no horizonte CR, que apresenta textura franca ($331,1 \text{ g.kg}^{-1}$ de argila e $486,9 \text{ g.kg}^{-1}$ de silte), devido a proximidade da rocha pouco alterada subjacente (basalto). Os valores de pH variam entre 4,0 (horizonte BA) e 5,1 (horizonte Bi). Este solo estudado foi classificado como Cambisol com horizonte A húmico.

Teor de COT apresentou tendência de diminuição em profundidade, variando de 4,68% (na superfície) a 1,43% (na base do perfil), seguindo tendência típica para solos tropicais e subtropicais (Parton et al., 1987). A composição isotópica $\delta^{13}\text{C}$ da MOS apresentou significativo enriquecimento, variando entre $-23,61\text{‰}$ no topo (sinal isotópico da vegetação atual), e $-16,23\text{‰}$ no topo do horizonte B, indicando troca de vegetação, pois de acordo com Desjardins et al. (1996) variações maiores que 4‰ são associadas às mudanças de comunidades de plantas.

A assembleia fitolítica ao longo de todo o perfil é marcada pela alta frequência de morfotipos de Poaceae sem significado taxonômico (*hair*, *tracheid*, *bulliform* and *elongate*), seguido por fitólitos das subfamílias Pooid – C_3 (morfotipos *rondel* e *trapeziform short cell*), Panicoid- C_4 (*bilobate*) e de Eudicotiledoneae (*block*, *irregular* e *globular psilate* e *rugose*). Em menor frequência foram identificados fitólitos de Arecaceae (*globular echinate*). Na serapilheira proveniente da atual FOM o registro fitolítico é formado por morfotipos de apenas duas famílias: Eudicotiledoneae e Poaceae (subfamílias Chloridoid, Pooid, Panicoid e Bambusaceae). Os morfotipos não identificados e não identificáveis representa 0,5% e 9,06%, respectivamente.



A análise de Agrupamento Hierárquico e a análise de Componentes Principais – PCA aplicadas aos dados isotópicos e da assembleia de fitólitos permitiram identificar que nos últimos ~6.000. anos AP a vegetação sobre este perfil passou por mudanças identificadas através de zonas fitolíticas, que podem ser interpretadas como fases paleoclimáticas:

- **Fase ambiental moderna** (840 anos Cal AP - atual) - serapilheira e o horizonte A (0-15 cm); representa o sinal fitolítico e isotópico da FOM neste local. O valor isotópico $\delta_{13}C$ (-23,61‰) indica mistura de plantas de padrão fotossintético C_3 e C_4 , com predomínio de plantas C_3 (Calegari, 2008; Paisani et al., 2014) e assembleia fitolítica formada por Eudicotiledonea (41% na serapilheira e menos de 10% no horizonte A) e gramíneas C_4 das subfamílias Panicoid (2-3%), Chloridoid (6-13%) e maior contribuição de gramínea C_3 da subfamília Pooid (5-16%), corrobora essa interpretação, caracterizando a atual floresta (Calegari, 2008; Calegari et al., 2014; Raitz, 2012). Os morfotipos sem significado taxonômico representam entre 43 e 56% da assembleia dessa fase. Esses dados refletem a vegetação de floresta e das condições climáticas modernas, isto é, do clima temperado mesotérmico úmido, com verão ameno (Cfb), temperatura média anual de 16°C e precipitação média anual 2.132 mm. Apenas o índice de cobertura arbórea (D/P) não foi eficiente para caracterizar a atual FOM, pois a interpretação dos valores reflete uma vegetação aberta. Isso se explica pela baixa produção de globulares pelas espécies arbustivas da FOM, conforme constatado por Raitz (2012). Outro fato é que a Araucária, principal espécie dessa fitofisionomia, não produz o morfotipo globular, usado para calcular esse índice.

- **Fase paleoclimática I (6.235-6.215 anos Cal. AP. à ca. 3.837 Cal. anos AP – estimada):** corresponde aos horizontes Bi e BA (80-40 cm) e apresenta valores isotópicos que marcam o predomínio de plantas com ciclo fotossintético C_4 (-17, 41‰ – 16,23‰). A assembleia fitolítica reforça o predomínio de gramíneas C_4 , cuja soma das subfamílias Panicoid e Chloridoid variam entre 16 e 37% da assembleia. Os índices de adaptação a aridez (IPh), climático (IC) e de cobertura arbóreas (D/P) variaram, respectivamente entre 69 -88,9%, 3,2-48,7% e 0,06-0,8 e, nesta ordem, indicam que no Holoceno Médio o clima foi mais seco, e mais quente que o atual, e vegetação da área foi aberta, com pouquíssimos elementos arbóreos (marcados pelo morfotipo *globular psilate*) e poucos arbustivos (morfotipo *block*). A presença de fitólitos de Arecaceae (*globular echinate*) corrobora a interpretação de clima mais quente, pois as palmeiras são sensíveis a temperaturas baixas. Condições semelhantes para este período

foram encontradas por Calegari (2008) em solos sob Floresta de Araucária em Xanxerê-SC e em Guarapuava-PR e por Paisani et al., (2014) em Palmas (PR) e foram interpretadas como marcadores de vegetação de campo.

- **Fase de transição (3.837 anos Cal. AP – ~2.638 anos Cal AP – idades estimadas):** corresponde ao topo do horizonte BA. Ambos os proxies utilizados indicaram a presença de uma vegetação mista, com predomínio de gramíneas C_4 , cujo sinal isotópico é de -16,25‰. A assembleia fitolítica é marcada pelo predomínio de gramíneas com destaque para a alta frequência de Pooid. Observou-se que nesta fase tem-se a menor diversidade de morfotipos de todo o perfil. Os índices indicam condição de clima mais úmido (IPh 41,5%) e mais frio (IC 62,1) que a Fase I e uma vegetação ainda mais aberta (D/P nulo) que a da Fase I e das fases subsequentes.

- **Fase paleambiental 2 (~2638 anos Cal AP.- estimada à 840 anos Cal. AP.):** corresponde aos AB (10-30 cm). Os valores $\delta_{13}C$ demonstram empobrecimento isotópico da base para o topo dessa fase, variando de -18,29‰ à -23,61‰. A assembleia fitolítica é marcada pela alta frequência de Pooid (25%), seguindo a tendência observada na fase de transição, baixa frequência de *bulliform*, e aumento de morfotipos de Eudicotiledoneas, sobretudo os *gloubares psilates*, típicos de espécies de hábito arbóreo. Os índices indicam condições de clima mais parecido como o atual, porém com valores entre 0,9 e 0,12 para o índice de D/P indicando uma cobertura arbórea mais densa que a atual.

De acordo com os dados isotópicos e fitolíticos é possível inferir que houve uma mudança de vegetação ao longo do Holoceno, durante a formação do CAMBISSOLO estudados, haja vista que existe uma diferença superior a 6‰ nos isotópicos e nas assembleias fitolíticas entre as amostras mais profundas (80-40 cm) e as superficiais (30-10 cm). A vegetação teria evoluído de uma formação mais aberta, provavelmente associada a um campo, desde o Holoceno médio para uma vegetação mais florestada no Holoceno tardio que se mantém até os dias atuais. Estudos realizados no sul do Brasil têm atestado que a mudança na composição paleoflorística iniciada no Holoceno médio e acentuada após 1.000 anos A.P., reflete variações para um clima mais úmido do que aquele do último máximo glacial (UMG), com alta pluviosidade e pequeno ou inexistente período de seca para essa região (Bauermann & Behling, 2009).

Assim infere-se que houve uma mudança de vegetação no Holoceno médio, que está em consonância com outros trabalhos realizados na região (CALEGARI, 2008; PAISANI et al 2013; 2014). Os estudos realizados em seções



estratigráficas encontraram paleossolos preservados como registros de momentos de intensa atividade morfogênica na transição entre o Pleistoceno/Holoceno com degradação de encostas e colmatação de fundos de vale e mudanças no divisor de águas regional e inversão de relevo (PAISANI et al 2013). Esses estudos refletem a ocorrência de mudanças das condições climáticas na região, provavelmente associadas à presença de um clima seco/menos úmido do que o atual no Holoceno médio, passando para condições mais úmidas e temperadas semelhante a atual, desde o Holoceno tardio.

CONCLUSÕES

O uso de uma abordagem *multiproxy* mostrou-se eficiente para evidenciar e refinar a interpretação a trajetória evolutiva da vegetação e do clima em zona subtropical, onde nem sempre outros proxies biológicos são preservados em solos, destacando a importância da análise fitolítica neste tipo de material.

De acordo com os registros fitolítico e isotópico a MOS acumulada neste perfil derivou de vegetação composta por misturas de plantas C_3 e C_4 , com maior predomínio de C_4 durante o Holoceno médio, passando para maior contribuição de plantas C_3 no Holoceno tardio.

Os valores dos índices climáticos (IC) e de aridez (IPh) foram eficientes para caracterizar as variações de temperatura e de umidade, indicando clima mais quente e seco que o atual no Holoceno Médio. O índice de cobertura arbórea (D/P) corroborou os dados de temperatura e umidade para o período do Holoceno médio, indicando uma vegetação aberta (campo), porém não foi eficiente para refletir a atual cobertura arbórea, reforçando mais uma vez a necessidade de mais coleções de referências para definição da assinatura fitolítica desta fitofisionomia.

REFERÊNCIAS

- BAUERMANN, S.; BEHLING, H.. Dinâmica Paleovegetacional da Floresta com Araucária a partir do Final do Pleistoceno: O que Mostra a Palinologia. In: FONSECA, Carlos R. et al. **Floresta com Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável**. Ribeirão Preto: Holos, p. 35-38, 2009.
- BOLDRINI, Ilsi Iob. (organizador). **Biodiversidade dos campos do planalto das Araucárias**. Série Biodiversidade, v. 30. Brasília: MMA, 2009.
- CALEGARI M.R. 2008. Ocorrência e Significado Paleoambiental do Horizonte A Húmico em Latossolos. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"- ESALQ/USP. 256 p.
- CALEGARI, Marcia R. *et al.* Combining phytoliths and soil organic matter in Holocene palaeoenvironmental studies of tropical soils: The example of an oxisol in Brazil. **Quaternary International**, v. 287, p. 47-55, 2013b.
- CALEGARI, Marcia R. *et al.* Phytolith Signature from Grassland and Araucaria Forest in Southern Brazil. In: Heloisa H. G. Coe; Margarita Osterrieth. (Org.). **Synthesis of Some Phytolith Studies in South America (Brazil and Argentina)**. 1ed. New York: Nova publishers, v. , p. 91-120, 2014.
- CALEGARI, Marcia R. *et al.* Opal Phytolith Extratction in Oxisols. **Quaternary International**, v. 287, p. 56-62, 2013a.
- CARNELLI, A.L. et al. Aluminum in the opal silica reticule of phytoliths: A new tool in palaeoecological studies. **Am. J.Bot.**, 89, p. 346-351, 2002.
- DESJARDINS, T. et al. Changes of the forest-savanna boundary in Brazilian Amazônia during the Holocene revealed by stable isotope ratios of soil organic carbon. **Oecologia**, V. 108, p. 749-756, 1996
- MADELLA, Marco; ALEXANDRE, Anne; BALL, Terry. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. **Annals of Botany**, Oxford, v. 96, n.2, p. 253-260, 2005.
- PAISANI, Julio C. et al. Evolução de Bacias de Baixa Ordem nos 41.000 anos A.P. Brasil Meridional. **Mercator** (Fortaleza. Online), v. 11, p. 131-148, 2012.
- PAISANI, Julio C. *et al.* O Papel das Mudanças Climáticas do Quaternário Superior na Dinâmica Evolutiva de Paleovale de Segunda Ordem (Sul do Brasil). **Revista de Geomorfologia**, v. 14, n. 1, p. 103-116, 2013.
- PAISANI, Julio C. *et al.* Superfícies Aplainadas em Zona Morfoclimática Subtropical Úmida no Planalto Basáltico da Bacia do Paraná (SW Paraná / NW Santa Catarina): Primeira Aproximação. **Revista Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 27, n. 4 , p. 541-553, 2008.
- PAISANI, Julio. C. Paleosols in low-order streams and valley heads in the Araucaria Plateau - Record of continental environmental conditions in southern Brazil at the end of MIS 3. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 54, p. 57-70, 2014.
- RAITZ, Edenilson. **Coleção de Referência de Silicofitólitos da Flora do Sudoeste do Paraná: Subsídios para Estudos Paleoambientais**. Francisco Beltrão, 2012, 204 p. Tese (Mestrado em Geografia) Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE.
- SANTOS, R. D. dos. *et al.* **Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo**. 5ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2005.