

Registro de mudanças holocênicas na turfeira Pau-de-Fruta (Serra do Espinhaço Meridional - MG): estudo palinológico e geoquímico⁽¹⁾.

Ingrid Horák-Terra⁽²⁾; Antonio Martínez Cortizas⁽³⁾; Cynthia Fernandes Pinto da Luz⁽⁴⁾; Alexandre Christófaros Silva⁽⁵⁾; Pablo Vidal-Torrado⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos referentes ao projeto de bolsa regular FAPESP 2010/51637-0; projeto vinculado ao estágio de pesquisa no exterior BEPE/FAPESP 2012/00676-1; projeto vinculado ao Ministério de Economia y Competitividad/España CGL2010-20662; e projeto vinculado a Xunta de Galicia/España 10PXIB200182PR.

⁽²⁾ Estudante de doutorado; Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP; Piracicaba, São Paulo; ingridhorak@yahoo.com.br; ⁽³⁾ Professor; Universidade de Santiago de Compostela - USC; ⁽⁴⁾ Pesquisadora; Instituto de Botânica do Estado de São Paulo; ⁽⁵⁾ Professor; Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri ⁽⁶⁾ Professor; ESALQ/USP.

RESUMO: Com o objetivo de entender a influência das mudanças climáticas e ambientais na formação e evolução da turfeira Pau-de-Fruta, composição polínica e não-polínica (NPP) e geoquímica (isótopos estáveis de C e N e composição elementar) foram determinadas em um perfil. Análise por Componentes Principais (PCA) foram aplicadas aos dados. Três componentes principais polínicas regionais e três locais foram obtidas, e quatro geoquímicas. Cada uma indica condições de clima e/ou de mudanças na paisagem, que junto com a cronologia, definiram seis fases: fase I (~10.000-7.360 cal AP), II (~7.360-4.200 cal AP), III (~4.200-2.200 cal AP), IV (~2.200-1.160 cal AP), V (~1.160-400 cal AP) e VI (< ~400 cal AP). Sucessão de vegetação de condições úmidas e frias (I), úmidas e quentes (II), áridas e quentes (III), áridas com curtos períodos frio (IV) até atingir a atual vegetação (V-VI) esteve associado a momentos erosivos, oras mais locais (I e III) e oras mais regionais (II e IV); em ~8.200-8.300 cal AP e no início da fase III, o nível de erosão local e regional estiveram associados, enquanto em V os mesmos estiveram quase que ausentes. Durante os últimos 400 anos (VI), além do controle climático, interferências de atividades humanas possivelmente ocorreram. O estudo multi-proxy combinando indicadores bióticos (pólen e NPP) e abióticos (geoquímica) forneceram uma reconstrução das mudanças ambientais holocênicas bem detalhadas.

Termos de indexação: solo orgânico, reconstrução paleoclimática, Holoceno.

INTRODUÇÃO

Entremeadas as superfícies de aplainamento que caracterizam a Serra do Espinhaço Meridional, áreas dissecadas permitem a formação de ecossistemas de turfeiras. Esses são importantes wetlands (áreas alagadas), cuja principal característica é o elevado conteúdo em matéria orgânica resultante do desequilíbrio

acúmulo/decomposição-mineralização da matéria orgânica. Os solos característicos são histosolos (USDA, 2006).

Baixa disponibilidade de oxigênio associada a prolongada ou quase permanente saturação em água são os principais fatores que permitem a formação das turfeiras, relacionados tanto a forma da bacia que mantém a água estancada quanto à influência de sistemas de precipitação, sendo as da Serra controladas principalmente pela atividade da Zona de Convergência do Atlântico Sul (SACZ), uma das mais características do Sistema Monção da América do Sul (SAMS) durante o verão austral.

Nos últimos anos as turfeiras desta região tem revelado além das grandes importâncias, também os principais papéis e funções características (Silva et al., 2009a; 2009b; Horák et al, 2011).

Um desses papéis é a utilização como arquivo ambiental e cronológico da evolução das paisagens, oferecendo subsídios para a avaliação das possíveis mudanças climáticas através da observação de alterações na cobertura vegetal e na dinâmica deposicional e pós-deposicional dos principais contribuintes orgânicos e minerais.

Sendo assim, neste trabalho realizamos uma caracterização multiproxy em um perfil da turfeira Pau-de-Fruta (PdF-I) que contém um registro contínuo de todo o Holoceno. A partir destes dados foram determinadas as principais fases de mudança ambiental.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e amostragem

O perfil PdF-I foi coletado a uma altitude de 1.350 m na Serra do Espinhaço Meridional, no Estado de Minas Gerais (18°15'27"S; 43°40'3"W) com o uso de um vibracore (Martin et al., 1995). A litologia basal é quartzítica. Treze camadas estratigráficas foram diferenciadas pelo conteúdo de material orgânico/mineral, textura dos componentes inorgânicos, grau de decomposição da turfa e consistência.

O clima atual é caracterizado como tropical de altitude de acordo com a classificação de Köppen. A precipitação média anual é de 1.500 mm, controlada pela atividade da SACZ. A vegetação é típica do Bioma Cerrado, composta por um mosaico de Capões (com espécies de Floresta Estacional Semidecídua e Cerradão) entre as formações de campo (Campo Limpo Úmido, Campo Limpo Seco, Campo Cerrado e Campo Rupestre).

Determinações analíticas

A extração de grãos de pólen, esporos e outros palinóforos não-polinicos (NPP) seguiu o procedimento descrito em Ybert et al. (1992), em amostras a cada 20 cm (volume 2,5 cm³ e espessura 1 cm). A contagem foi realizada com um microscópio óptico e objetiva de 40X, e identificação foi auxiliada pela coleção de referência da turfeira Pau-de-Fruta e chaves de identificação e atlas (Tryon & Tryon, 1982; van Geel, 1978; Roubik & Moreno, 1991). As assembleias polínicas foram interpretadas como representativas das seguintes fitofisionomias: Floresta Estacional Semidecídua, Floresta Montana, Cerrado Úmido (próximos a cursos d'água), Cerrado Seco, Campo Limpo Úmido, Campo Limpo Seco e Campo Rupestre.

Os elementos orgânicos C e N e os isótopos $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ foram obtidos com um analisador elementar acoplado a um espectrômetro de massa do Laboratório de Isótopos Estáveis (CENA/USP). Elementos maiores, menores e traços (Si, Al, Fe, Ti, S, P, Ca, K, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Fe, Mn, Ni, Cr, Cl, Br) foram determinados por fluorescência de raios-X na RIAIDT da Universidade de Santiago de Compostela (Espanha). As amostras foram de 10 cm de espessura.

Onze amostras foram selecionadas para datação radiocarbônica por AMS (AMS Laboratory of Georgia University, USA; Beta Analytic Inc. Miami, USA). Os resultados foram calibrados usando a curva de calibração SHCal04.14C (Reimer et al., 2009). O modelo de idade-profundidade foi obtido usando a aplicação Clam.R desenvolvida por Blaauw (2010).

Análise estatística

Os dados referentes à palinologia foram log-transformados e padronizados para a Análise por Componentes Principais (PCA), aplicada sobre matrizes transpostas de taxa regional e local e NPP com uso de rotação varimax. Para os dados de geoquímica, PCA também foi aplicada e sobre as mesmas condições que para os dados de pólen, mas sem transpor as matrizes de dados. Foi utilizado software SPSS 20.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Três componentes principais foram obtidas tanto para taxa regional como local, com 80% e 78% da variância explicada em cada caso. Para geoquímica, quatro componentes explicaram 80% da variância. Na **tabela 1** são encontradas as variâncias de cada componente bem como as assembleias polínicas representativas e seu significado ambiental. Na **tabela 2** se pode encontrar a variância de cada componente geoquímica, elementos representativos e condições ambientais que refletem.

A partir dos dados de sínteses obtidos pela PCA foram possíveis inferir seis fases de mudanças climáticas.

A fase I (~10.000-7.360 cal AP; camada Oa7) representa o início da formação da turfeira no princípio do Holoceno. O alto conteúdo de matéria inorgânica e a composição geoquímica indicam dominância de entrada de materiais das bordas da bacia da turfeira, sugerindo uma paisagem com condições ainda instáveis. O aumento elevado de deposição de poeira regional ocorrido entre ~8200-8300 cal AP coincide com o evento 8.2 ka, e sugere ventos intensos. A vegetação foi dominada por uma Floresta Estacional Semidecídua e Montana e um Campo Rupestre de condições úmidas, indicando condições climáticas úmidas e frias. Assim, o início da acumulação de matéria orgânica pode ter sido desencadeada por aumento da umidade no Holoceno Inicial.

A fase II (~7.360-4.200 cal AP; camadas Oa6 e Oa5) evidenciou um aumento acentuado de matéria orgânica, uma diminuição de fluxo local de matéria inorgânica e um relativo domínio de componentes de poeira regional. Um declínio de Floresta Montana e a abertura da Floresta Semidecídua com a expansão de formações do Cerrado sugerem condições mais quentes e uma certa diminuição da umidade, que concorda com a formação de uma camada orgânica Oa6 sáprica.

A fase III (~4.200-2.200 cal AP; camadas Oa4 e Oa3) é caracterizada pelo elevado aumento de fluxo mineral das bordas da bacia da turfeira, certamente relacionada a erosão de solo, com conteúdos de material mineral comparáveis aos da camada Oa7 da fase I (até 90%). Entre ~4.200-3.800 cal AP, contribuição de poeira regional ainda foi significativa, mas depois de ~3.800 cal AP o sinal local sobrepôs o sinal regional e a turfeira evoluiu para condições similares às do Holoceno Inicial. A vegetação mostrou um declínio de Floresta Estacional Semidecídua e expansão de formações típicas de condições secas, principalmente as de campo. A nível local, frequentes incêndios e perturbações da



hidrologia da bacia foram sugeridas, tendo sua intensidade reduzida até o final desta fase. A maior redução da umidade pode ter sido acompanhada pela presença de chuvas sazonais e torrenciais.

A fase IV (~2.200-1.160 cal AP; camadas Oa2, Oe-i e Oa) mostra condições semelhantes as verificadas na fase II, com redução de erosão local e aumento de deposição de poeira regional. Vegetação ainda era dominada por formações de Cerrado sob condições de seca, embora curtos e abruptos períodos de resfriamento também ocorreram, possivelmente acompanhados por pequenas variações na umidade. Isto é corroborado pelas mais frequentes alterações na estratigrafia.

A fase V (~1.160-400 cal AP; camadas Oi-e) foi a que apresentou o maior acúmulo de matéria orgânica e uma forte redução nos fluxos locais e regionais de matéria mineral, apontando para a estabilidade ambiental, tanto em escala local quanto em regional.

Fase VI (< ~400 cal AP, camada Oi) representa uma mudança abrupta. No início da fase há um aumento brusco do sinal de poeira regional (o maior de todo o registro), juntamente com um aumento moderado no fluxo local de matéria mineral (comparável com as fases II e IV). A $\delta^{13}\text{C}$ também mostra uma mudança abrupta para valores típicos de plantas C_4 , enquanto que os indicadores de pólen regional e local apontam a grandes perturbações hidrologicas e de erosão do solo, mas também com um certo aumento de umidade nos últimos séculos (com ligeira recuperação das florestas úmidas).

CONCLUSÕES

As mudanças estratigráficas que mostra a turfeira Pdf-I é reflexo das mudanças ambientais ocorridas durante o Holoceno.

Sucessão de vegetação de condições úmidas e frias (~10.000-7.360 cal AP), úmidas e quentes (~7.360-4.200 cal AP), áridas e quentes (~4.200-2.200 cal AP), áridas com curtos períodos frio (~2.200-1.160 cal AP) até atingir a atual vegetação (~1.160 cal AP) foi verificada.

Momentos erosivos oras foram mais locais (~10.000-7.360 cal AP e ~4.200-2.200 cal AP) e oras mais regionais (~7.360-4.200 cal AP e ~2.200-1.160 cal AP); em ~8.200-8.300 cal AP e 4.620-3.400 (início da fase III) o nível de erosão local e regional estiveram associados, enquanto em ~1.160-400 cal AP os mesmos estiveram quase que ausentes.

Durante os últimos 400 anos, além do controle climático, interferências de atividades humanas possivelmente ocorreram.

Este estudo multi-proxy combinando indicadores bióticos (pólen e NPP) e abióticos (geoquímica) forneceram uma reconstrução das mudanças ambientais holocênicas bem detalhadas.

REFERÊNCIAS

BLAAUW, M. Methods and code for 'classical' age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology*, 5:512-518, 2010.

HORÁK, I.; VIDAL-TORRADO, P.; SILVA, A.C. et al. Pedological and isotopic relations of a highland tropical peatland, Mountain Range of the Espinhaço Meridional (Brazil). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35:41-52, 2011.

MARTIN, L.; FLEXOR, J. M.; SUGUIO, K. Vibrotestemunhador leve: construção, utilização e possibilidades. *Revista do Instituto Geológico*, 16:59-66, 1995.

REIMER, P.J.; BAILLIE, M.G.L.; BARD, E. et al. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 51:1111-1150, 2009.

ROUBIK, D.W. & MORENO, P.J.E. Pollen and spores of Barro Colorado Island. Monograph in Systematic Botany, 36:1-268, 1991.

SILVA, A.C.; HORÁK, I.; MARTINEZ CORTIZAS, A. et al. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional: I Caracterização e classificação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:1385-1398, 2009a.

SILVA, A.C.; HORÁK, I.; VIDAL-TORRADO, P. et al. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional: II. Influência da drenagem na composição elementar e na composição das substâncias húmicas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:1399-1408, 2009b.

TRYON, R.M. & TRYON, A.F. Ferns and allied plants, with special reference to tropical America. New York: Springer-Verlag, 1982. 857p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Keys to Soil Taxonomy. 10 ed. Washington, DC.: USDA Natural Resources Conservation Service US Gov. Printing Office, 2006. 341p.

VAN GEEL B. A paleoecological study of Holocene peat bog section in Germany and the Netherlands. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 25:1-120, 1978.

YBERT, J.P.; SALGADO-LABOURIAU, M.L.; BARTH, O.M. et al. Sugestões para padronização da metodologia empregada em estudos palinológicos do Quaternário. *Boletim do Instituto Geológico da USP*, 13:47-49, 1992.

Tabela 1 – Componentes principais regionais e locais polínicos e correspondentes variâncias explicadas, assembléias polínicas representativas e significado climático e condições da paisagem.

PCP ¹	Var ² %	Assembléias polínicas representativas	Significado climático e condições da paisagem
PC1R ³	39	Floresta Estacional Semidecídua (<i>Schefflera</i> , Myrtaceae, <i>Piper</i> , <i>Alchornea</i> , <i>Sorocea</i> , Aristolochiaceae e alguns taxa de Melastomataceae), Floresta Montana (<i>Podocarpus</i> , <i>Alnus</i> , <i>Drymys</i> , <i>Mimosa scabrella</i> , <i>Weinmannia</i> e <i>Myrsine</i>), Campo Úmido (<i>Eryngium</i>) e Campo Rupestre (<i>Paepalanthus</i> , <i>Syngonanthus</i> , <i>Xyris</i> e alguns taxa de Melastomataceae)	Úmido e frio
PC2R ³	27	Floresta Estacional Semidecídua (<i>Trema</i> , <i>Alchornea</i> , <i>Sorocea</i> e alguns taxa de Melastomataceae), Cerrado seco (<i>Borreria</i> , <i>Zanthoxylum</i> , Ochnaceae, <i>Celtis</i> , Rubiaceae, <i>Cecropia</i> e <i>Buchnera lavandulacea</i>), Campo Rupestre (<i>Xyris</i> , <i>Paepalanthus</i> , <i>Gaylussacia</i> e alguns taxa de Melastomataceae); esporádicos taxa de Floresta Montana (<i>Podocarpus</i> , <i>Alnus</i> , <i>Drymys</i> , <i>Weinmannia</i> , <i>Ilex</i> e <i>Myrsine</i>).	Seco e quente
PC3R ³	14	Cerrado Úmido (<i>Guettarda</i> , <i>Ferdinandusa</i> , <i>Erythroxylum</i> , <i>Croton</i> , Menispermaceae e <i>Rudgea</i>), Floresta Estacional Semidecídua (Aristolochiaceae), Campo Úmido (<i>Emmeorhiza</i>) e Campo Rupestre (Eriocaulaceae e <i>Xyris</i>)	Clima estacional
PC1L ⁴	30	Hidro-higrófitas (Araceae e <i>Bacopa</i>) e NPP fungos (<i>Assulina</i> e <i>Meliola niessleana</i>) e pteridófitas (<i>Polypodium</i>)	Úmido e frio
PC2L ⁴	26	Hidro-higrófitas (Araceae e <i>Sagittaria</i>) e NPP fungos (<i>Meliola niessleana</i> e <i>Glomus</i>), algas (<i>Spirogyra</i> e <i>Botryococcus</i>) e pteridófitas (<i>Pteridium</i>)	Erosão e alterações hidrológicas
PC3L ⁴	22	Hidro-higrófitas (Araceae), pteridófitas (<i>Sellaginella</i> , <i>Pteridium</i> e <i>Pityrogramma trifoliata</i>) e algas (<i>Mougeottia</i> e <i>Debarya</i>)	Umidade variável e limitada à determinadas posições da paisagem; floresta aberta; incêndios

¹ PCP: Componente principal polínico; ² Var: variância explicada; ³ Regional. ⁴ Local.

Tabela 2 – Componentes principais geoquímicos e correspondentes variâncias explicadas, grupos de elementos, significado pedogenético e condições da paisagem.

PCG ¹	Var ² %	Grupos de elementos ³	Significado pedogenético e condições da paisagem
GC1	43	C, N, Cl, Br, Ca, P, Rb e Sr (cargas positivas altas); S, Ti e K (cargas positivas moderadas); e Si e Ds ⁴ (cargas negativas altas)	Sinal local: condições de estabilidade e instabilidade (erosão de solo) na bacia
GC2	19	Zr, Al e Y (cargas positivas altas); Nb (carga positiva moderada)	Sinal regional: deposição de fração mineral fina de fontes localizados a pelo menos 40-50 km de distância
GC3	13	Fe, Mn, Ni e Cr (cargas positivas altas);	Co-precipitação de metais, relacionada a mudanças hidrológicas
GC4	6	$\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$	Fracionamento isotópico das principais fontes de material de origem: plantas C ₃ , C ₄ e CAM; e material mineral

¹ Componente principal geoquímico; ² Var: variância explicada; ³ Cargas altas: >0,7 ou <-0,7; Cargas moderadas: entre 0,5-0,7 ou entre -0,5 e -0,7; Cargas baixas: entre -0,5 e 0,5. ⁴ Ds: Densidade do solo.