

Evolução de uma turfeira na transição Pleistoceno/Holoceno na escarpa Serra da Esperança, Paraná, através do conteúdo de diatomáceas

Evolution of a peat bog in the Pleistocene/Holocene transition on the Serra da Esperança escarpment, Paraná, through diatom content

Deyvis William da Silva^{ad} , Carin Stanski Uczak^{be} , Cynthia Beatriz Furstenberger^{cf} , Maria Cristina Souza^{cg} , Rosemeri Segecin Moro^{ah} 

^aPrograma de Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), ^bSecretaria Municipal de Meio Ambiente de Ponta Grossa, Paraná, ^cUniversidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro)

^ddeyvis7766@hotmail.com, ^ecarin.stansk@gmail.com, ^fcbfurst@gmail.com, ^gcrismariabio@gmail.com, ^hmoro.uepg@gmail.com



© 2024 The authors. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons license.

Resumo

Buscou-se inferir, através de uma abordagem *multi-proxy*, o paleoambiente durante o Quaternário em uma região planáltica do sul do Brasil. Analisou-se um testemunho de 225 cm obtido no Depósito Aroeiras, Serra da Esperança, Guarapuava (PR). A cobertura atual é uma associação de floresta com araucárias e campos, na cota de 1.215 m.s.m., sob clima Cfb de Koeppen. A variação entre isótopos estáveis ¹³C, conteúdo de carbono e matéria orgânica, além de análises qualitativas de diatomáceas, apontam que na base do testemunho, datado de 13.754 anos cal. AP, o ambiente era predominantemente florestal. Em um segundo momento, ao redor de 9.315 anos cal AP, com a vegetação mais aberta, associada a redução de disponibilidade hídrica, ocorreu a formação do depósito turfoso. Por fim, a terceira e última fase mostra que o ambiente de turfeira se expandiu para um campo hidromórfico, com características próximas das configurações climáticas atuais. Os dados proxy analisados apontam para um quadro paleoclimático onde as fases glaciais pleistocênicas tardias foram caracterizadas por climas mais frios, porém úmidos o bastante para a gênese de ambientes ripários. A fase interglacial seguinte, holocênica, apresentou flutuações climáticas com eventos menos úmidos, por vezes bastante severos, que levaram à gênese da turfeira em estudo.

Palavras-chave: Quaternário; Paleoclima; Sul do Brasil.

Abstract

This paper aimed to infer through a multi-proxy approach the Quaternary environment in a plateau region of southern Brazil. We sampled a 225 cm core in Serra da Esperança, Guarapuava (PR). The current vegetation is grassland associated with the Araucaria Forest at 1,215 m.a.s.l. under Cfb climate. We analyzed diatom presence, ¹³C stable isotopes, total Carbon, and organic matter contents. The data show that the environment was mainly forestry on the core base (13,754 yrs. cal BP) and around 9,315 yrs. cal BP the reduced water availability allowed a peat bog to settle. Finally, in the third and last phase, the bog has expanded into a swamp under the current weather. The proxy data analyzed points to a paleoclimatic frame where the Late Pleistocene glacial phases were characterized by colder climates, but wet enough for the genesis of riparian environments. The next Holocene interglacial phase presented climate fluctuations with lesser humid events, sometimes quite severe, that led to the genesis of the bog.

Keywords: Quaternary; Palaeoclimate; South Brazil.

1. Introdução

As modificações ocorridas nas paisagens brasileiras durante o Quaternário são fruto de profundas e marcantes alterações climáticas, onde prolongados períodos de clima semiárido ou menos úmido se alternaram com períodos úmidos (Suguio 2005). No primeiro caso, a vegetação campestre dominava o ambiente e as florestas restringiram-se a determinadas áreas onde condições particulares, sobretudo maior disponibilidade de umidade, permitiram sua sobrevivência (Bigarella 1964, Maack 2012). Assim, a associação campo/mata, tão típica do sul do Brasil, tem sua origem ligada ao último período glacial, durante o Pleistoceno Tardio, que favoreceu a instalação dos campos nas vertentes suaves e levemente onduladas

(Bigarella 1964, Maack 2012, Alonso 1973, Bigarella, Andrade-Lima & Riehs 1975, Behling 1997, Roderjan et al. 2001).

O quadro geral paleoambiental do sul do Brasil vem sendo refinado em escala local através de análises multi-proxy e nesta perspectiva este trabalho pretende contribuir para o entendimento das dinâmicas junto a escarpas. Estas bordas planálticas, marcantes na paisagem do estado do Paraná, podem ter oferecido condições climáticas diferenciadas ao longo do Quaternário (Riehs 2005, Silva et al. 2016). Devido à cota elevada, acima dos 1.000 m.s.m., às baixas temperaturas médias no inverno (abaixo de 10°C), e aos solos rasos, há condições propícias para a formação de depósitos de Organossolos. Estes paleossolos

contém excelentes indicadores do ambiente de sua formação, permitindo interpretações paleoambientais (Costa et al. 2003, Parolin et al. 2006, Leonhardt & Lorscheitter 2007, 2008, Bauermann et al. 2008, Pessenda et al. 2005, Guerreiro et al. 2012). Devido a suas características anóxicas, baixo pH e saturação de água, que dificultam a decomposição da matéria orgânica, permite-se que os estratos sedimentares formados basicamente pela sobreposição de restos vegetais preservem informações tanto físicas e químicas quanto na forma de palinomorfos, como valvas de algas diatomáceas (Moro & Bicudo 1998). Esclarecer a dinâmica de deposição nestas áreas amplia o esforço de reconstrução paleoambiental do sul do Brasil.

2. Localização e caracterização da área de estudos

O depósito turfoso Aroeiras (AR) localiza-se no distrito de Guará, município de Guarapuava, na borda leste do Terceiro Planalto Paranaense, na cota de 1.215 m.s.m., na Serra da Esperança (Fig.1), sob as coordenadas 25°14'05" S e 51°13'25" O.

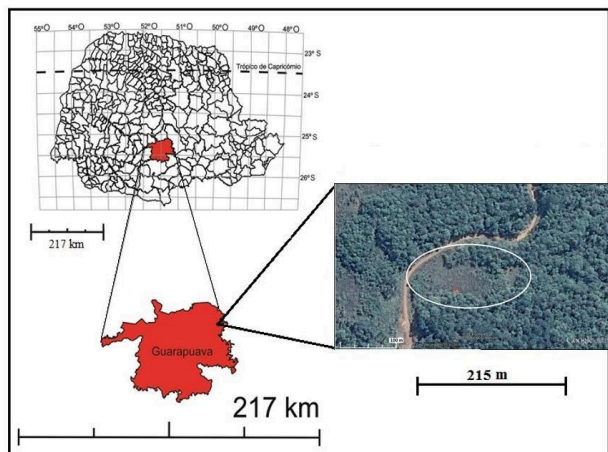


Figura 1: Localização do depósito AR, na Serra da Esperança, Guarapuava (PR).

O Planalto de Guarapuava tem sua origem ligada aos derrames vulcânicos Jurássico-cretácicas, constituintes do Grupo Serra Geral (Camargo Filho & Bigarella 1997), cujo soerguimento mesozoico determinou a formação de uma escarpa orientada norte-sul, separando o Segundo do Terceiro Planalto paranaense. O clima atual é subtropical mesotérmico úmido, com verões amenos e invernos moderados, não apresentando estação seca, com pluviosidade bem distribuída ao longo do ano e média anual próxima de 2.000 mm (Maack 2012).

A vegetação contemporânea no entorno é caracterizada pela presença da Floresta Ombrófila Mista em associação com campos da Estepe Gramíneo-lenhosa. Esta conformação é comum nas áreas planálticas do sul do Brasil, formando uma paisagem de mosaico entre áreas florestais e abertas (IBGE 2012) e no estado do Paraná ocorre nas porções mais elevadas, desde a encosta oeste da Serra do Mar até próximo ao vale do Rio Paraná (Alonso 1973).

3. Materiais e Métodos

Os dados topográficos de subsuperfície foram correlacionados com a topografia da superfície, sem discrepâncias significativas. Foi obtido um testemunho vertical de 225 cm (com uma réplica) através de um trado tipo russo. No laboratório C-LabMu da UEPG o testemunho foi descrito macroscopicamente, considerando suas características físicas, seguindo critérios de coloração de Munsell (2000) para solos, características da matéria orgânica, organização e grau de alteração do sedimento, presença de areia e argilas, restos vegetais e outros fragmentos. Em seguida, o testemunho foi subamostrado a cada 10 cm. Após secagem em estufa a 50°C, separou-se 3 cm³ de cada unidade para extração de palinomorfos e 1 g para a quantificação do percentual de matéria orgânica através da queima em mufla a 800°C por 4 horas (EMBRAPA 1979).

Obteve-se duas datações ¹⁴C para determinar a idade calibrada (cal) do material, realizadas no laboratório de ¹⁴C vinculado ao CENA/USP (Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo). Por meio de espectrometria de Cintilação Líquida de Baixo Nível de Radiação de Fundo (Pessenda et al. 2005) foi obtida a fração de Carbono Total e a variação entre isótopos estáveis ¹³C e ¹²C.

A pesquisa de diatomáceas foi conduzida no Núcleo de Pesquisas Ambientais da UNICENTRO e se deu através de oxidação em solução de H₂O₂ 30 volumes a 50 °C por 24 horas (Battarbee 1986). As análises qualitativas foram conduzidas em lâminas permanentes confeccionadas com Naphrax®, em um microscópio óptico binocular Olympus CX31 equipado com câmera fotográfica e ocular micrometrada. Para o estudo qualitativo das diatomáceas foram obtidas as medidas do comprimento e largura máximos das valvas de cada indivíduo, em espaço padronizado de 10µm, com mensuração do número de estrias, costelas e/ou pontuações na região próxima às margens e/ou central das valvas.

A quantificação de espécies, variedades e formas taxonômicas foi realizada em transeções transversais e longitudinais, sendo o primeiro transecto sempre definido na região mediana da lamínula. O número de transectos examinados dependeu da abundância de valvas na subamostra, até a estabilização da curva de espécies, conforme metodologia testada por Moro e Bicudo (1998).

Optou-se pela contagem de valvas e não de frústulas (células completas) porque o processo de limpeza dos sedimentos tende a separar as duas valvas do mesmo indivíduo (Battarbee 1986). No caso de fragmentos, foram consideradas apenas aqueles com área central ou dimensões de comprimento e largura superiores a 50% do total, desde que sua identificação pudesse ocorrer por comparação com valvas intactas presentes em outras profundidades. Vistas pleurais

também foram excluídas da contagem, a não ser que permitissem identificar o táxon sem dificuldade.

A identificação da presença de valvas de diatomáceas cujos requisitos ambientais sejam bem conhecidos é a base da inferência paleoambiental e, neste estudo, a bioindicação dos táxons foi consultada em Moro & Fürstenberger (1997).

4. Resultados

As datações indicaram a idade do depósito na base do testemunho (220 cm) em 13.754 anos cal AP, e 9.314 anos cal AP a 112 cm. Isso indica a origem do Depósito AR ligada à transição Pleistoceno e Holoceno, após o Último Máximo Glacial. Os resultados sumarizados nas Tabelas 1 e 2 orientam as discussões que se seguem.

Os primeiros depósitos, a partir da base (220-130 cm), apresentaram uma comunidade pouco densa de

diatomáceas perifíticas (i.e., que viviam aderidas a substratos diversos, em margens de corpos de água), num ambiente circumneuro a levemente alcalino, rico em nutrientes, mas sujeito a variações da lâmina de água, visto haver extensões sem deposição de valvas. A ausência de algas limnófilas ou limnobiônicas aponta que eram águas rasas, talvez temporárias.

A comunidade a seguir (120-50 cm) é totalmente diferenciada da anterior, com táxons acidófilos perifíticos e até subaéreos (i.e., capazes de viver parte do tempo expostos) indicativos de ambiente de turfeira.

A terceira comunidade percebida (50-0 cm) é formada por algas diatomáceas perifíticas de ambiente circumneuro a ainda acidófilo e pobre em nutrientes, mas sujeito a súbitas variações nutricionais. A densidade de valvas e diversidade de espécies aumentam bastante, refletindo um ambiente menos restritivo do que os anteriores em termos de disponibilidade hídrica e nutrientes.

Tabela 1: Táxons de algas diatomáceas identificados no Depósito AR, Guarapuava (PR).

Prof. (cm)	Táxons
10	<i>Caloneis oregonica</i> (Ehrenberg) R.M.Patrick, <i>Cymbella gracilis</i> (Rabenhorst) Cleve, <i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Schaarschmidt, <i>Eunotia pectinalis</i> (Kützing) Rabenhorst, <i>Eunotia quaternaria</i> Ehrenberg, <i>Eunotia subarcuatooides</i> Alles, Nörpel & Lange-Bertalot, <i>Pinnularia gibba</i> (Ehrenberg) Ehrenberg, <i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg, <i>Frustulia interposita</i> (Lewis) Cleve, <i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg.
20	<i>Cymbella gracilis</i> (Rabenhorst) Cleve, <i>Encyonema perpusillum</i> (Cleve-Euler) D.G.Mann, <i>Eunotia arcus</i> Ehrenberg, <i>Eunotia exigua</i> (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst, <i>Eunotia monodon</i> Ehrenberg, <i>Eunotia praerupta</i> Ehrenberg, <i>Eunotia soleirolii</i> (Kützing) Rabenhorst, <i>Eunotia sudetica</i> Otto Müller, <i>Eunotia zygodon</i> Ehrenberg, <i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni, <i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg, <i>Iconella linearis</i> (W.Smith) Ruck&Nakov, <i>Navicula cryptocephala</i> Kützing, <i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot, <i>Navicula radiosa</i> Kützing, <i>Neidium affine</i> (Ehrenberg) Pfützer, <i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg, <i>Stauroneis phoenicenteron</i> (Nitzsch) Ehrenberg, <i>Surirella minuta</i> Brébisson ex Kützing, <i>Surirella splendida</i> (Ehrenberg) Kützing.
30	<i>Eunotia subarcuatooides</i> Alles, Nörpel & Lange-Bertalot
40	<i>Fragilaria brevistriata</i> Grunow, <i>Frustulia rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni.
50	<i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg
60-80	Sem deposição de valvas diatomáceas
90	<i>Eunotia</i> sp., <i>Pinnularia gibba</i> (Ehrenberg) Ehrenberg
100	Sem deposição de valvas diatomáceas
110	<i>Pinnularia intermedia</i> (Lagerstedt) Cleve
120	Sem deposição de valvas diatomáceas
130	<i>Navicula radiosa</i> Kützing
140	<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing
150-160	Sem deposição de valvas diatomáceas
170	<i>Fragilaria brevistriata</i> Grunow, <i>Amphora</i> sp.
180	<i>Pinnularia intermedia</i> (Lagerstedt) Cleve
190-200	Sem deposição de valvas diatomáceas
210	<i>Fragilaria brevistriata</i> Grunow, <i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing

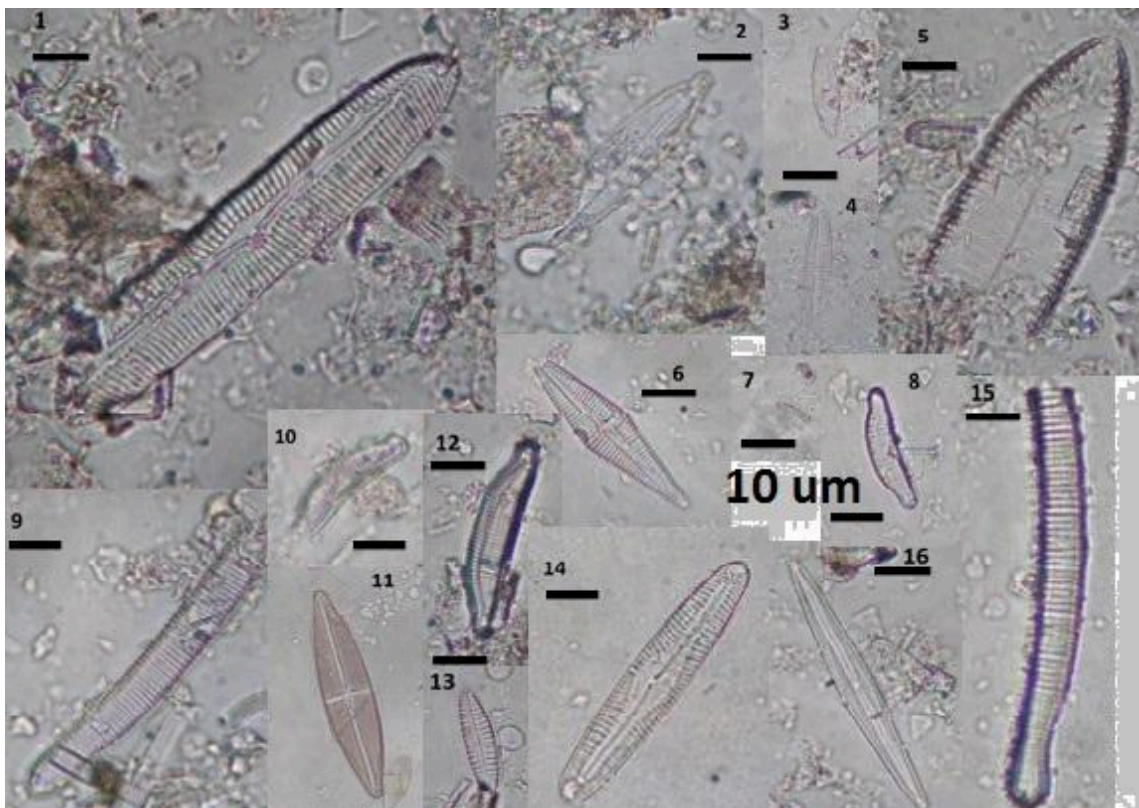


Figura 2: Principais diatomáceas presentes nos sedimentos do Depósito Aroeiras, Guarapuava (PR). 1 – *Pinnularia viridis*; 2 – *Neidium affine*; 3 – *Navicula cryptocephala*; 4 – *Navicula cryptotenella*; 5 – *Iconella linearis*; 6 – *Gomphonema gracile*; 7 – *Eunotia soleirolii*; 8 – *Eunotia praeurupta*; 9 – *Eunotia monodon*; 10 – *Eunotia exigua*; 11 – *Stauroneis phoenicenteron*; 12 – *Eunotia arcus*; 13 – *Encyonema perpusillum*; 14 – *Pinnularia gibba*; 15 – *Eunotia monodon*; 16 – *Cymbella gracilis*. Escala= 10 µm.

Tabela 2: Datações ¹⁴C, determinações isotópicas, conteúdo de carbono e ambiente deposicional - tipos de plantas predominantes e comunidades de algas diatomáceas no Depósito AR, Guarapuava (PR). Sub.: subaéreo; Per.: perifíticos; Acf.: acidófilos; Alc.: alcali-filos; Neu.: neutro; Eutr.: eutróficos; Olt.: oligotróficos; Euri.; eutróficos; I: indiferentes.

Prof. (cm)	Idade (anos AP)	Idade cal. (anos, 2σ)	¹³ C (δ/pdb)	C-total (%)	Tipo vegetal predominante	Diatomáceas
10			-	-	-	Per./ Acf./ Olt.
20			-23,89	22,90	C3	Per./ Acf-Neu./ Euri.
30			-	-	-	Per./ Acf-Neu./ Euri.
40			-24,29	30,95	C3	Per./ Acf./ Olt.
50			-	-	-	Per./Alc.-I./Eutr.
60			-23,7	31,7	C3	Sem diatomáceas
70			-	-	-	Sem diatomáceas
80			-24,7	22,0	C3	Sem diatomáceas
90			-	-	-	Per./Acf-I/Euri.
100			-25,1	15,8	C3	Sem diatomáceas
110			-	-	-	Sub./Alc.-Neu./Euri.
120	8.250±28	9.125-9.315	-	-	-	Sem diatomáceas
130			-26,9	6,9	C3	Per./Alc.-Neu./Eutr.
140			-	-	-	Per./Alc./Eutr.
150			-28,1	16,4	C3	Sem diatomáceas
160			-	-	-	Sem diatomáceas
170			-28,2	13,8	C3	Per./Alc./Eutr.
180			-28,1	13,8	C3	Sub./Alc.-Neu./Euri.
190			-	-	-	Sem diatomáceas
200			-	-	-	Sem diatomáceas
210	11.851±32	13.572-13.754	-28,2	13,9	C3	Per./Alc./Eutr.

A partir dos resultados da presença de comunidades de diatomáceas (Fig. 2), dos dados isotópicos (Fig. 3), percentuais de matéria orgânica (Fig. 4) e Carbono-Total (Fig. 5), foi possível diferenciar três fases paleoambientais (Fig. 6).

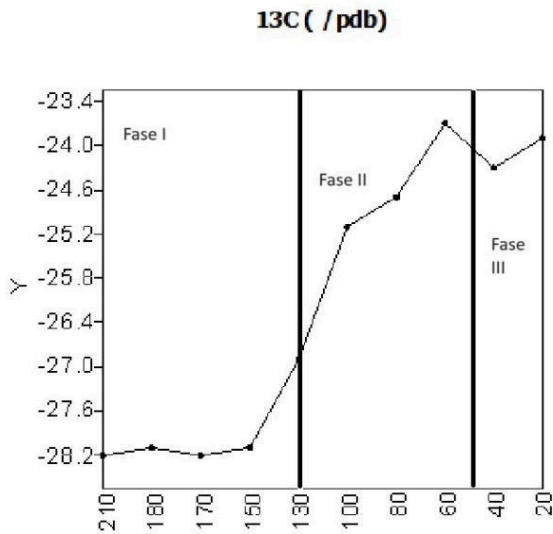


Figura 3: variação do isótopo de carbono ^{13}C (δ/pdb) no sedimento do Depósito AR, Guarapuava (PR), da base (210 cm) para o topo (20 cm).

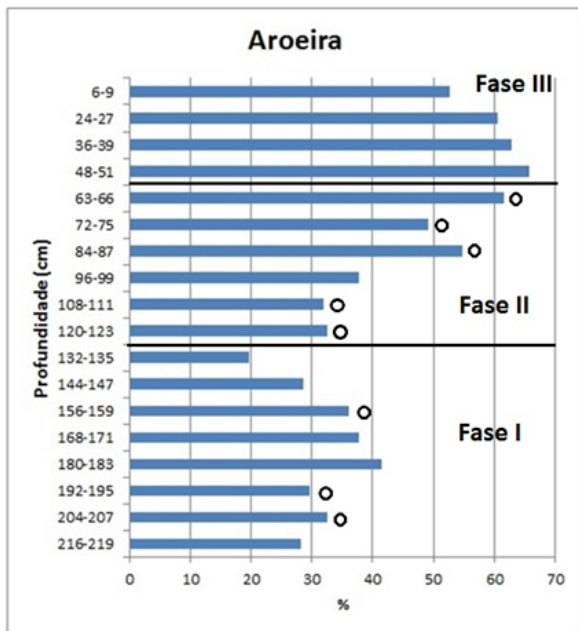


Figura 4: percentual de matéria orgânica no sedimento do Depósito AR, Guarapuava (PR), da base (210 cm) para o topo (20 cm). Os círculos apontam seqüências sedimentares sem deposição de valvas de diatomáceas.

Fase I - 220 a 130 cm de profundidade; idade de 13.754 cal anos AP (medido em 210 cm) até cerca de 9.000 anos AP. Sedimento bem decomposto e uniforme, porém apresenta fragmentos vegetais lenhosos relativamente grandes e presença de lentes de areia muito fina.

Esta fase é caracterizada por uma baixa concentração de valvas diatomáceas e por um sinal

isotópico marcado exclusivamente por plantas do tipo C3 ($\delta^{13}C$ médio de 27,9‰), o que condiz com um ambiente florestal.

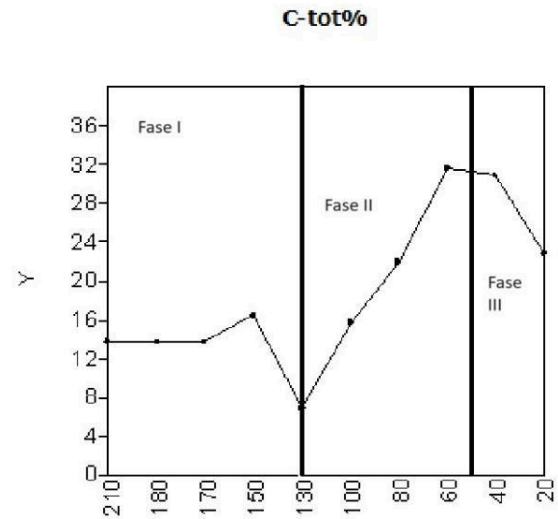


Figura 5: variação percentual de carbono total no sedimento do Depósito AR, Guarapuava (PR), da base (210 cm) para o topo (20 cm).

Os percentuais variáveis de matéria orgânica apontam para fases de maior ou menor utilização/lixiviação dos estoques do solo, com concentração média de Carbono total de 13%.

A bioindicação das diatomáceas, especialmente *Gomphonema parvulum*, *Navicula radiosa* e *Fragilaria brevistriata*, aponta para um período de lâmina de água variável, talvez sazonal, uma vez que foi verificado pelo menos quatro episódios sem deposição de valvas, indicando que o corpo hídrico possa ter desaparecido por completo. Confirmando a hipótese de pequeno curso de água, as assembleias de algas imediatamente anteriores ou posteriores a esses eventos sem valvas indicam águas sempre rasas, eutróficas devido ao bom aporte de matéria orgânica, de pH circumneuro a levemente alcalino. Estas características são consistentes com um regato em floresta de galeria.

Fase II -130 a 50 cm de profundidade; idade de 9.315 cal anos AP (medido em 120 cm). Sedimento de aspecto argiloso com elevada plasticidade.

Esta fase continua caracterizada por uma baixa concentração de valvas diatomáceas e por um sinal isotópico ainda marcado por plantas do tipo C3 ($\delta^{13}C$ médio de -24,5‰), o que sugere a continuidade de um ambiente florestal, no entanto os teores de matéria orgânica aumentam de forma contínua em relação a Fase I, indicando a dificuldade de sua exportação; a concentração de Carbono total é crescente, de 16 até 31%.

A assembleia de diatomáceas aponta para um ambiente sem lâmina de água por períodos relativamente largos e estabelecimento de táxons adaptados a um ambiente formado com pouca água livre, com tendência à acidificação, e presença das

espécies *Pinnularia gibba*, *Pinnularia viridis* e *Pinnularia intermedia*, euritróficas, isto é, adaptadas a teores flutuantes de nutrientes. Especula-se se os aportes de nutrientes do entorno variavam conforme mudanças nas condições de drenagem. Estas características são consistentes com um ambiente de turfeira sob vegetação mais aberta, do tipo misto, similar ao atual.

Fase III – de 50 cm até a superfície do depósito. Sedimento parcialmente decomposto, com fragmentos orgânicos e aspecto fibroso.

Os isótopos estáveis continuam em média -24‰, apontando a manutenção de entorno florestal ainda do tipo aberto. Os percentuais de matéria orgânica decrescem de maneira contínua e a concentração de Carbono total estabiliza em torno de 23%.

A assembleia de diatomáceas segue inalterada, porém com maior riqueza específica, num ambiente hídrico com ainda pouca água livre, de pH ácido, com espécies variando de euritróficas até oligotróficas. Estas características são consistentes com o atual ambiente de campo hidromórfico sob mosaico de floresta e campo.

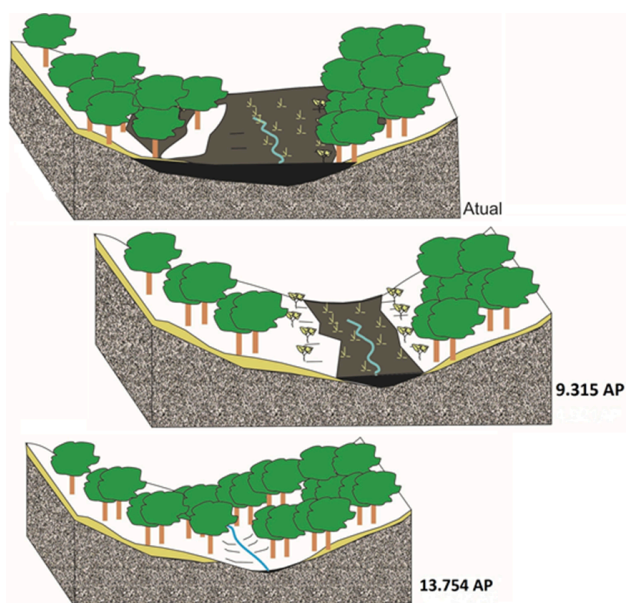


Figura 6: Bloco diagrama da gênese hipotética do Depósito Aroeiras, Guarapuava (PR).

4. Discussão

Os isótopos estáveis ^{13}C e ^{12}C da matéria orgânica não alteram sua massa com o decorrer do tempo (Martinelli et al. 2009). Assim, a razão isotópica $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ do carbono orgânico encontrado em sedimentos indica presença ou ausência de espécies de plantas com os ciclos fotossintéticos C3 (baixo $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, de -33‰ a -22‰) e C4 (alto $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, de -9‰ a -16‰).

Com ecologia e morfologia distintas, as variações de C3-C4 indicam mudanças tanto na estrutura quanto na função dos ecossistemas (Guareschi et al. 2014, Pessenda, Gouveia & Lisi 1998). Carvalho et al. (2017)

verificaram valores $\delta^{13}\text{C}$ entre -26‰ e -15‰ em florestas sempre verdes, e -15‰ a -13‰ em áreas de campo sujo de cerrado. Pessenda et al. (2004) designam -25‰ como sendo concentrações típicas de ambiente florestal estacional, enquanto Melo et al. (2003b) detectaram valores de -20‰ a -23‰ em mosaicos de floresta com araucária e campos. Guerreiro et al. (2012), por sua vez, estabeleceram valores entre -19‰ e -17‰ para várzeas.

A história do Depósito AR, portanto, aponta para uma gênese a partir de um pequeno curso de água livre no Pleistoceno Tardio, sob clima relativamente mais úmido que o atual, presente há 13.700 anos AP. Houve pelo menos um evento datado de semiaridez no Holoceno, em torno de 9.300 anos AP, com recomposição posterior dos níveis de água no Holoceno Inferior. Neste sentido, Calegari et al. (2011) e Guerreiro et al. (2010), em área a oeste do Depósito AR, também constataram a partir de dados isotópicos uma vegetação mais aberta até o Holoceno Médio, com aumento da disponibilidade de água por volta de 7.500 anos AP. Silva et al. (2016), analisando um testemunho na mesma escarpa, apontaram o Pleistoceno Tardio (~16.000 cal anos AP) como definitivamente mais úmido do que o Holoceno.

Pessenda et al. (1996, 2004), Fernandes (2008), Rezende (2010) e Rasbold et al. (2016), em locais longe da situação topográfica de escarpas, encontraram condições climáticas menos úmidas desde o Pleistoceno Tardio até o Holoceno Médio. Em contrapartida, na melhor documentada Escarpa Devoniana, distante aproximadamente 120 km da Serra da Esperança, resultados combinados de Behling (1997), Melo et al. (2000, 2003a), Fernandes et al. (2003), Moro et al. (2004), Camargo Filho et al. (2011), Guerreiro et al. (2012), Kalinovski et al. (2016), Piraquive-Bermúdez et al. (2024) e Zolitschka et al. (2021) também apontam condições locais de maior pluviosidade no Pleistoceno Tardio (desde 40.000 anos AP), com diminuição da umidade ao redor de 11.000 anos AP e pelo menos dois grandes eventos de aridez no Holoceno Médio (10.300-8.750 anos AP). Moro et al. (2009), Santos (2013) e Kalinovski et al. (2016) argumentam que períodos úmidos na região foram intercalados por eventos mais secos até ~2.000 anos AP.

No Holoceno Inferior a sedimentação na região da Escarpa Devoniana seria semelhante às das planícies aluviais atuais, possivelmente indicando episódios de oscilações climáticas curtas e pouco pronunciadas. Monteiro et al. (2012) e Piraquive-Bermúdez et al. (2024) atestam mudanças climáticas em curtos intervalos de tempo em uma sequência de mudanças datadas em (i) ~4.000-3.220 anos AP, onde a expansão da *Araucaria* na região e presença de turfeiras apontam para condições de clima relativamente mais frio e seco; (ii) 2.770 anos AP, onde a percentagem de ervas terrestres, algas e pteridófitas aumenta, indicando clima mais ameno e úmido; e (iii) em 1.340 anos AP, onde há

drástica diminuição dos palinomorfos e predominância de gramíneas, que caracterizam um aumento significativo da temperatura e queda na umidade.

Behling (1997), Melo et al. (2003b) e Rasbold et al. (2012) concluíram que desde o Pleistoceno Tardio a cobertura vegetal na Escarpa Devoniana se manteve muito próxima da atual, com matas ciliares e capões de araucária esparsos em campos limpos. Fernandes et al. (2003), analisando perfis polínicos de cerca de 40.000 anos na região planáltica dos Campos Gerais, encontraram predominância de táxons florestais. Por outro lado, Rasbold et al. (2012), na borda leste da Escarpa, inferem vegetação inalterada de campo a partir de 20.080 anos AP, submetida a um paleoclima interpretado como frio e seco.

Entre 4.900 e 1.700 anos AP., de acordo com Calegari et al. (2011), próximo à Serra da Esperança ocorre redução de *Araucaria* e aumento de pólen de gramíneas. Localmente isto é evidenciado a partir dos isótopos estáveis (-19‰) e da introdução de fitólitos de Panicoidae (Silva 2016). A partir de 1.715 anos AP tanto Calegari et al. (2011) quanto Behling (1997) e Piraquive-Bermúdez et al. (2024) apontam a reintrodução de *Araucaria* e manutenção na presença de gramíneas em ambos os planaltos paranaenses.

Os dados do Depósito AR corroboram as hipóteses estabelecidas por Ab'Saber (1977b), sugerindo que as florestas durante o Último Máximo Glacial se reduziram a agrupamentos de refúgios localizados em porções topográficas mais favoráveis à captação de umidade, enquanto as terras baixas costeiras, estendidas para setores da plataforma continental, eram relativamente muito mais secas. Segundo Oliveira et al. (2006), estudando duas sequências estratigráficas na região de São Bento do Sul (SC), durante Pleistoceno Tardio, os índices evidenciaram temperaturas e precipitações abaixo das atuais, no entanto as cabeceiras de vale mantinham ambientes locais relativamente úmidos.

As interpretações indicam que o predomínio de vegetação campestre nos setores mais elevados do relevo em áreas subtropicais, durante os períodos mais frios do Pleistoceno Tardio deve ser considerado com cautela, priorizando considerações evolutivas locais (Behling 1997, Thomas, Nott & Price 2001).

5. Conclusões

É quase consenso na literatura que períodos de resfriamento global da atmosfera (estádios glaciais) implicariam em clima mais seco, ou mesmo árido, em áreas tropicais e subtropicais, enquanto períodos de aquecimento global (estádios interglaciais) teriam clima mais úmido. Porém, esse modelo (frio/seco; quente/úmido) não se aplica totalmente à região da Serra da Esperança, assim como já havia sido apontado para a região da Escarpa Devoniana nos Campos Gerais, ambas bordas planálticas no estado do Paraná.

Os dados proxy analisados apontam para um quadro paleoclimático onde as fases glaciais pleistocênicas tardias foram caracterizadas por climas mais frios, porém úmidos o bastante para a gênese de ambientes ripários. A fase interglacial seguinte, holocênica, apresentou flutuações climáticas com eventos menos úmidos, por vezes bastante severos, que levaram à gênese da turfeira em estudo. De maneira resumida, as fases traçadas mostram que na base do testemunho, datado de 13.754 anos cal AP, o ambiente era formado por vegetação florestal bem desenvolvida. Em um segundo momento, ao redor de 9.315 anos cal AP, a vegetação mais aberta, associado com redução da disponibilidade hídrica, permitiu a formação do depósito turfoso. Por fim, a terceira e última fase mostra que o ambiente de turfeira se expandiu para um campo hidromórfico, com características bem próximas das configurações climáticas atuais.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos comentários dos revisores anônimos, ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - proc. 449214-2014), ao convênio com a Fundação Araucária (Proc. 244/2014), a Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor; à Fundação Araucária, pela bolsa PIBIC do quarto autor. Ao Dr. Mauricio Camargo Filho, da UNICENTRO, pela seleção do sítio amostral e inestimável auxílio em campo.

Declaração de autoria

D.W.S.: Investigation, Validation, Writing – original draft

C.S.U.: Supervision

C.B.F.: Methodology, Formal analysis, Data curation

M.C.S.: Methodology (diatoms)

R.S.M.: Funding acquisition, Investigation, Writing – review & editing

Referências

- AB'SÁBER A.N. 1967. Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil. *Revista Orientação*, 3:45-48.
- AB'SÁBER A.N. 1971. A organização natural das paisagens inter e subtropicais brasileiras. In: FERRI M.G. (ed.) III Simpósio sobre o Cerrado. Edgar Blücher/EDUSP, São Paulo, p.1-14.
- AB'SÁBER A.N. 1977a. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul: primeira aproximação. *Geomorfologia*, 52:1-22.
- AB'SÁBER A.N. 1977b. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários. *Paleoclimas*, 3.
- ALONSO M.T.A. 1973. Vegetação. In: IBGE. *Geografia do Brasil: Região Sul*. Rio de Janeiro, p. 81-109.
- BATTARBEE R.W. 1986. Diatom Analysis. In: BERGLUND B.E. (ed.) *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. John Wiley & Sons, New York, p. 527-70.
- BAUERMANN S.G., MACEDO R.B., BEHLING H., PILLAR V.de P., NEVES P.C.P. das. 2008. Dinâmicas vegetacionais, climáticas e do fogo com base em palinologia e análise multivariada no Quaternário tardio do Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 11(2): 87-96.

- BEHLING H. 1997. Quaternary vegetation, climate and fire history of the Araucaria Forest and campos region from Serra Campos Gerais, Paraná State (South Brazil). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 97:109-121.
- BIGARELLA J.J. 1964. Variações climáticas no quaternário e suas implicações no revestimento florístico do Paraná. *Boletim Paranaense de Geografia*, 10/11/12/13/14/15:211-231.
- BIGARELLA J.J., ADRADE-LIMA D., RIEHS P.J. 1975. Considerações a respeito das mudanças paleoambientais de algumas espécies vegetais e animais no Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 47:411-464.
- CALEGARI M.R., TORRADO P.V., MADELLA M., PESSENDA L.C.R., MARQUES F.A. 2011. Reconstrução das condições de formação de horizontes húmicos em latossolos por análise fitolítica. In: 13. ABEQUA Congress - the South American Quaternary: challenges and perspectives, 6 p.
- CAMARGO G., BERTOTTI L.G., KATAOKA A.M., SILVA D.W. 2011. Paleosuelos de 40Ky presentes en la costanera en la porción centro-sur del estado del Paraná, Brasil - un estudio de caso. *Revista Geografica de America Central*, 1:12-27.
- CAMARGO FILHO M., BIGARELLA J.J. 1997. Correlação entre Parâmetros Estatísticos de sedimentos de vertentes, rampas de colúvio-alúvio e terraço de várzea do rio Bananas, Guarapuava - PR. *Revista Geosul*, 14(27):438-442.
- CARVALHO D.C., PEREIRA M.G., GUARESCHI R.F., MARANHÃO D.D.C. 2017. Estoque de Carbono e Nitrogênio e Abundância Natural de $\delta^{13}C$ na Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. *Floresta e Ambiente*, 24: e20150092.
- COSTA C.S.B., IRGANG B.E., PEIXOTO A.R., MARANGONI J.C. 2003. Composição florística das formações vegetais sobre uma turfeira topotrófica da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Botanica Brasílica*, 17(2):203-212.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA 1979. Manual de métodos de análises de solo. Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Rio de Janeiro.
- FERNANDES R.S., GARCIA M.J., DE OLIVEIRA P.E., MELO M.S. 2003. Catálogo palinológico do Quaternário tardio da região de Ponta Grossa, Paraná, Brasil. *Revista UnG*, 8(6):44-63.
- FERNANDES R.S. 2008. Reconstrução paleoambiental da lagoa Fazenda durante o Pleistoceno Tardio na região de Jussara, Estado do Paraná, com ênfase em estudos palinológicos. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Análise Geoambiental. Universidade Guarulhos.
- GUARESCHI R.F., PEREIRA M.G., PERIN A. 2014. Carbono, nitrogênio e abundância natural de ^{13}C e ^{15}N em uma cronosequência de agricultura sob plantio direto no Cerrado goiano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(1):1135-1142.
- GUERREIRO R.L., PAROLIN M., ASSINE M.L., STEVAUX J.C. 2010. Dados proxy indicam melhoria climática na região de Querência do Norte há 7.540 anos AP. In: 2 Simpósio Paranaense de Estudos Climáticos (SIMPEC)/ 19 Semana de Geografia (DGE/UEM). 14p.
- GUERREIRO R.L., GASPARETTO N.V.L., PAROLIN M., STEVAUX J.C. 2012. Distribuição e análise de sedimentos turfosos holocênicos na planície do alto Tibagi, Campos Gerais, Paraná. *Revista de Ciências Ambientais*, 6(1): 105-116.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA 2012. Manual técnico da vegetação brasileira. 2.ed. Rio de Janeiro. (Manuais técnicos em Geociências)
- KALINOVSKI E.C.Z., PAROLIN M., SOUZA FILHO E.E. 2016. Paleoambientes quaternários da planície do rio Iapó, Castro, Paraná. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9:1543-1558.
- LEONHARDT A., LORSCHETTER M.L. 2007. Palinomorfos do perfil sedimentar de uma turfeira em São Francisco de Paula, Planalto Leste do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 30(1):47-59.
- LEONHARDT A., LORSCHETTER M.L. 2008. Pólen de gimnosperma e angiosperma do perfil sedimentar de uma turfeira em São Francisco de Paula, Planalto Leste dos Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 31(4):645-658.
- MAACK R. 2012. Geografia física do Estado do Paraná. 4. ed. EDUEPG, Ponta Grossa.
- MARTINELLI L.A., OMETTO J.P.H.B., FERRAZ E.S., VICTÓRIA R.L., CAMARGO P.B. de, MOREIRA M.Z. 2009. Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis. *Oficina de Textos*, São Paulo. 144p.
- MELO M.S., GIANNINI P.C.F., PESSENDA L.C.R. 2000. Gênese e evolução da lagoa Dourada, Ponta Grossa, PR. *Revista do Instituto Geológico*, 21(1/2):17-31.
- MELO M.S., MEDEIROS C.V., GIANNINI P.C.F., GARCIA M.J., PESSENDA L.C.R. 2003a. Sedimentação quaternária no espaço urbano de Ponta Grossa, PR. *Geociências*, 22(1):33-42.
- MELO M.S., GIANNINI P.C.F., PESSENDA L.C.R., BRANDT NETO M. 2003b. Holocene paleoclimatic reconstruction based on the Lagoa Dourada deposits, southern Brazil. *Acta Geologica*, 1(3):289-302.
- MONTEIRO, M.R., GUERREIRO R.L., PAROLIN M., CAXAMBU M.G. 2012. Paleoclimatologia do Holoceno Médio na região do rio das Mortes (Campos Gerais, Ponta Grossa, Paraná), indicada por palinomorfos, fitólitos e $\delta^{13}C$. *Paleontologia em Destaque*, 27(65):20-21.
- MORO R.S., FÜRSTENBERGER C.B. 1997. Catálogo dos principais parâmetros ecológicos de diatomáceas não-marinhas. EDUEPG, Ponta Grossa.
- MORO R.S., BICUDO C.E.M. 1998. Flutuações climáticas no Pleistoceno Tardio e Holoceno na Lagoa Dourada, Estado do Paraná, Brasil. *Acta Limnologica Brasiliensis*, 10(2):47-58.
- MORO R.S., BICUDO C.E.M., MELO M.S., SCHMITT J. 2004. Paleoclimate of the Late Pleistocene and Holocene at Lagoa Dourada, Parana State, Southern Brazil. *Quaternary International*, 114:87-99. DOI:10.1016/S1040-6182(03)00044-2
- MORO R.S., PAROLIN M., MENEZES H.R. 2009. Inferências paleoclimáticas do início do Holoceno com base em espículas de esponjas continentais - Lagoa Dourada, PR. *Paleontologia em Destaque*, 24(62):5-66.
- MUNSELL SOIL COLLOR CHART. 2000. Munsell Collor Company, Baltimore.
- OLIVEIRA M.A.T., PESSENDA L.C.R., BEHLING H., LIMA G.L., FERREIRA G.M.S.S. 2006. Registro de mudanças ambientais pleistocênicas e holocênicas em depósitos de cabeceira de vale: Campo Alegre, Planalto Norte Catarinense (SC). *Revista brasileira de Geociências*, 36(3):474-487.
- PESSENDA L.C.R., VALENCIA E.P.E., CAMARGO P.B., TELLES E.C.C., MARTINELLI L.A., CERRI C.C., ARAVENA R., ROZANSKI K. 1996. Natural radiocarbon measurements in Brazilian soils developed on basic rocks. *Radiocarbon*, 38(2):203-208.
- PESSENDA L.C.R., GOUVEIA S.E.M., LISI, C.S. 1998. Isótopos estáveis do carbono da matéria orgânica do solo. Uso como indicadores de trocas de vegetação e clima. In: PESSENDA, L.C.R. Laboratório de C-14: Técnicas e Aplicações Paleoambientais. CPG/CENA, Piracicaba. v.2. p.8-12 (Série Didática).
- PESSENDA L.C.R., GOUVEIA S.E.M., ARAVENA R., BOULET R., VALENCIA E.P.E. 2004. Holocene fire and vegetation changes in southeastern Brazil as deduced from fossil charcoal and soil carbon isotopes. *The Journal of the International Union for Quaternary Research*, 114:35-43.
- PESSENDA L.C.R., GOUVEIA S.E.M., FREITAS H.A., RIBEIRO A.S., ARAVENA R., BENDASSOLLI J.A., LEDRU M.P., SIEFEDDINE A.F., SCHEEL-YBERT R. 2005. Isótopos do carbono e suas aplicações em estudos paleoambientais. In: SOUZA C.R.G., SUGUIO K., OLIVEIRA A.M.S., DE OLIVEIRA P.E. Quaternário do Brasil. Holos, Ribeirão Preto. p.75-93.
- PIRAQUIVE-BERMÚDEZ D., BEHLING H., ZOLITSCHKA B., GIESECKE T. 2024. Late Quaternary Araucaria Forest and Campos (grasslands) vegetation dynamics inferred from a high-resolution pollen record from Lagoa Dourada in southern Brazil. *Quaternary Science Reviews*, 333:108685. DOI:10.1016/j.quascirev.2024.108685
- RASBOLD G.G., DRANCKA L.C.S., PAROLIN M. 2012. Fitólitos como indicadores ambientais na região de Balsa Nova, PR (Campos Gerais) desde o Pleistoceno Tardio. *Paleontologia em Destaque*, 27(65): 18.
- RASBOLD G.G., PAROLIN M., CAXAMBU M.G. 2016. Reconstrução paleoambiental de um depósito sedimentar por análises multiproxy, Turvo, estado do Paraná, Brasil. *Revista brasileira de Paleontologia*, 19(2):315-324.

- REZENDE A.B. 2010. Espículas de esponjas em sedimentos de lagoa como indicador paleoambiental do NW do Estado do Paraná. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Análise Geoambiental. Universidade Guarulhos.
- RIEHS, P.J. 2005. Similaridade entre comunidades de Dynastinae (Coleoptera, Scarabaeidae) do Leste e Centro-oeste do Paraná: uma abordagem paleoclimática. *Ambiencia*, 1(1):59-69.
- RODERJAN C.V., GALVÃO F., KUNIYOSHI Y.S., SANTOS, E.P. 2001. Caracterisation des unites phytogeographiques dans l'état du Paraná, Brasil, et leur état de conservation. *Biogeographica*, 77(4):129-140.
- SANTOS J.C.A. 2013. Paleogeografia e paleoambientes do baixo curso do rio Ivaí- PR. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual de Maringá.
- SILVA, D.W. 2013. Caracterização paleoambiental da região de Guarapuava-PR, a partir de sedimento de turfa: um estudo de caso. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual do Centro-Oeste.
- SILVA D.W., CAMARGO FILHO M., PAROLIN M., BERTOTII L.G. 2016. Análise paleoambiental a partir dos principais morfotipos de fitólitos encontrados em sedimento turfoso na região de Guarapuava-Paraná. *Ambiencia*, 12(1):13-32.
- SUGUIO K. Introdução. In: SOUZA C. R.G., SUGUIO K., OLIVEIRA A.M.S., DE OLIVEIRA P.E. 2005. Quaternário do Brasil. Holos, Ribeirão Preto. Cap. 1. p. 21-27.
- THOMAS M.F., NOTT J., PRICE D.M. 2001. Late Quaternary sedimentation in the humid tropics: a review with new data from NE Queensland, Australia. *Geomorphology*, 39:53-68.
- ZOLITSCHKA B., LEE A-S., PIRAQUIVE BERMÚDEZ D., GIESECKE T. 2021. Environmental variability at the margin of the South American monsoon system recorded by a high-resolution sediment record from Lagoa Dourada (South Brazil). *Quaternary Science Reviews*, 272:107204. DOI:10.1016/j.quascirev.2021.10720