



INTERPRETAÇÃO PALEOCLIMÁTICA COM BASE NA ANÁLISE DA FISIONOMIA FOLIAR DE DUAS FLORAS PLEISTOCÊNICAS, FORMAÇÃO RIO CLARO, SÃO PAULO, BRASIL

FRANCISCO SANTIAGO , ISABELA JURIGAN & FRESIA RICARDI-BRANCO

Departamento de Geologia e Recursos Naturais, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Cx.P. 6152, 13083-855, Campinas, SP, Brasil. *santiago1403@gmail.com* (autor correspondente), *isajurigan@gmail.com*, *fresia@unicamp.br*

ABSTRACT – Paleoclimatic interpretation based on the analysis of the leaf physiognomy of two Pleistocene floras, Rio Claro Formation, São Paulo, Brazil. The Jaguariúna and Jazigo Vargem Grande do Sul fossil floras are well-preserved records of an ancestor of one of the phytophysiognomies of the Atlantic Forest, the oldest belt of tropical forest in the world. These fossil floras are associated with the Rio Claro Formation, one of the most important sedimentary records of the Pleistocene from the São Paulo State Peripheral Depression, Brazil. The main physiognomic characteristics – type of margins and leaf area – of the angiosperm leaves from these floras allowed us to carry out the reconstruction of the mean annual temperature (MAT) and the mean annual precipitation (MAP) for the moment of their deposition. The different equations used to reconstruct the MAT and the MAP are based on univariate methods known as Leaf Margin Analysis and Leaf Area Analysis. These equations indicated that the warm and humid subtropical/tropical climate under which the Jaguariúna fossil flora developed was characterized by a MAT of 22.1–22.8°C and a MAP of 566–831 mm, and also that the warm and humid subtropical climate under which the Jazigo Vargem Grande do Sul fossil flora developed was characterized by a MAT of 24.6–25.1°C and a MAP of 747–961 mm. These values indicate that, at the moment of deposition of the fossil floras of Jaguariúna and Jazigo Vargem Grande do Sul, conditions were warmer and less humid than the current ones. Therefore, it is possible to infer that these floras developed in a smaller climatic cycle, the interglacial period, during which the Rio Claro Formation was deposited.

Keywords: Atlantic Forest, Pleistocene, physiognomic characteristics, angiosperm leaves, climatic cycle, interglacial period.

RESUMO – As floras fósseis de Jaguariúna e do Jazigo Vargem Grande do Sul são registros bem preservados de uma precursora de uma das fitofisionomias da Floresta Atlântica, o mais antigo cinturão de floresta tropical do mundo. Estas floras fósseis estão associadas à Formação Rio Claro, um dos registros sedimentares mais importantes do Pleistoceno da Depressão Periférica Paulista, Estado de São Paulo, Brasil. As principais características fisionômicas, tipo de margem e área foliar, das folhas de angiospermas destas floras fósseis permitiram reconstruir a temperatura média anual (TMA) e a precipitação média anual (PMA) para o momento de sua deposição. As diferentes equações utilizadas para reconstruir a TMA e a PMA estão baseadas nos métodos univariados conhecidos como Análise da Margem Foliar e Análise da Área Foliar. Estas equações indicaram que o clima subtropical/tropical quente e úmido sob qual se desenvolveu a flora fóssil de Jaguariúna se caracterizava por apresentar uma TMA de 22,1–22,8°C e uma PMA de 566–831 mm. E também que o clima subtropical quente e úmido sob qual se desenvolveu a flora fóssil do Jazigo Vargem Grande do Sul se caracterizava por apresentar uma TMA de 24,6–25,1°C e uma PMA de 747–961 mm. Estes valores indicam que, no momento de deposição das floras fósseis de Jaguariúna e do Jazigo Vargem Grande do Sul, as condições eram mais quentes e menos úmidas que as atuais. Portanto, é possível inferir que estas floras se desenvolveram num ciclo climático menor, do período interglacial, durante o qual se depositou a Formação Rio Claro.

Palavras-chave: Floresta Atlântica, Pleistoceno, características fisionômicas, folhas de angiospermas, ciclo climático, período interglacial.

INTRODUÇÃO

O Pleistoceno foi uma época que se caracterizou pela presença de períodos glaciais, em que a temperatura média da Terra foi mais baixa que a atual e as zonas temperadas do globo, principalmente no Hemisfério Norte, foram parcialmente cobertas por geleiras, e períodos interglaciais, em que a temperatura se elevava e as geleiras recuavam (Dansgaard *et al.*, 1993; Cortese *et al.*, 2007). O sudeste

do Brasil durante o Pleistoceno não teve desenvolvimento de geleiras continentais (Rohdenburg, 1982) e os ciclos climáticos globais foram representados por períodos frios e secos (períodos glaciais), e quentes e úmidos (períodos interglaciais) (Ab'Sáber, 1977; Bigarella *et al.*, 1994). No sudeste do Brasil, na região centro-leste do estado de São Paulo, especificamente na porção centro-leste da Depressão Periférica Paulista, se encontra a Formação Rio Claro (Melo *et al.*, 1997), a qual constitui um dos mais importantes registros

sedimentares pleistocênicos do sudeste brasileiro (Ferreira, 2005; Ferreira & Chang, 2008; Salmazo *et al.*, 2011; Salmazo, 2015), no qual se apreciam diferentes ciclos climáticos (Björnberg & Landim, 1966; Penteado, 1976; Ferreira, 2005). A Formação Rio Claro aflora nos arredores do município homônimo e no limite leste da Depressão Periférica Paulista, em ocorrências mais descontínuas que se encontram nos arredores dos municípios de Cosmópolis, Jaguariúna, Mogi-Guaçu, Mogi-Mirim, Paulínia e Vargem Grande do Sul (Melo *et al.*, 1997). Esta formação é composta por depósitos de sistema fluvial meandrante (Melo *et al.*, 1997; Perinotto *et al.*, 2006), agrupados em quatro litofácies principais: (i) lamitos de processos gravitacionais; (ii) cascalhos e areias de fundo de canal e barras fluviais; (iii) areias de diques marginais e (iv) argilas de transbordamento em planície de inundação (Melo *et al.*, 1997). A Formação Rio Claro se caracteriza por apresentar uma grande riqueza de fósseis vegetais, a qual é constituída por carófitas, pteridófitas e angiospermas (Mezzalira, 1989; Fernandes *et al.*, 1994; Zaine, *et al.*, 1995). Os registros de folhas fósseis de angiospermas mais representativos desta formação se encontram nos municípios de Jaguariúna e Vargem Grande do Sul (Mezzalira, 1961–1962; Duarte & Rezende-Martins, 1983, 1985; Dos-Santos *et al.*, 2007; Dos-Santos & Bernardes-de-Oliveira, 2007, 2013), e representam uma precursora de uma fitofisionomia da Floresta Atlântica (Duarte & Rezende-Martins, 1985; Dos-Santos *et al.*, 2007; Dos-Santos & Bernardes-de-Oliveira, 2007; Garcia *et al.*, 2014).

As plantas são consideradas indicadores confiáveis da ecologia e do clima, já que têm uma íntima relação funcional com o ambiente que as rodeia (Peppe *et al.*, 2018; Spicer *et al.*, 2021). A estrutura da planta mais utilizada como indicador climático é a folha, já que para ter um funcionamento mais eficiente (Spicer *et al.*, 2021) responde rapidamente às condições ambientais a que está exposta (Royer, 2012). Por esta razão, durante quase um século as folhas, principalmente as das angiospermas, têm sido amplamente empregadas pelos paleobotânicos para reconstruir os climas de antigos ecossistemas terrestres, sobretudo os que se desenvolveram entre o Cretáceo e o Quaternário (Royer, 2012; Peppe *et al.*, 2011, 2018; Spicer *et al.*, 2021). Os métodos desenvolvidos para reconstruir os principais parâmetros climáticos, temperatura média anual (TMA) e precipitação média anual (PMA), com base na fisionomia foliar das angiospermas, se sustentam na relação que existe entre o tipo de margem e a TMA, e entre o tamanho da folha e a PMA (Royer, 2012; Peppe *et al.*, 2011, 2018). Para reconstruir a TMA e a PMA, os paleobotânicos têm adotado amplamente os métodos conhecidos como Análise da Margem Foliar e Análise da Área Foliar (Peppe *et al.*, 2018). A Análise da Margem Foliar é considerada uma ferramenta útil para reconstruir a TMA, já que as estimativas em geral são exatas e precisas (Royer, 2012; Peppe *et al.*, 2018). Em contrapartida, a Análise da Área Foliar é considerada uma ferramenta para estimar aproximadamente a PMA, devido à sua falta de exatidão e precisão (Royer, 2012; Peppe *et al.*, 2018). Estes métodos,

apesar dos problemas que podem apresentar, são considerados muito sólidos para a reconstrução dos principais parâmetros climáticos de antigos ecossistemas terrestres (Peppe *et al.*, 2018; Spicer *et al.*, 2021).

Uma vez que as principais características fisionômicas como o tipo de margem e o tamanho das folhas de angiospermas das floras fósseis de Jaguariúna e do Jazigo Vargem Grande do Sul se encontram bem preservadas, o presente estudo tem como objetivo a reconstituição dos principais parâmetros climáticos (TMA e PMA) para o momento de sua deposição, utilizando os métodos conhecidos como Análises da Margem Foliar e a Análises da Área Foliar.

ÁREA DE ESTUDO

Na área centro-leste do Estado de São Paulo, especificamente na borda leste da Depressão Periférica Paulista, no Município de Jaguariúna, foi coletada a flora fóssil de Jaguariúna (Figura 1) (Dos-Santos *et al.*, 2007; Dos-Santos & Bernardes-de-Oliveira, 2007, 2013). O afloramento onde foi coletada esta flora apresentava 9,30 m de espessura, e se caracterizava por apresentar na base e na porção mediana camadas de argilito amarelo a amarelo avermelhado/ocreado, algumas ricas em impressões de folhas, intercaladas com camadas de arenito amarelo a amarelo acastanhado, e no topo apresentava uma camada de solo areno-argiloso (Dos-Santos *et al.*, 2007; Dos-Santos & Bernardes-de-Oliveira, 2007). As camadas de argilitos onde foi coletada a flora fóssil de Jaguariúna foram depositadas em um ambiente de baixa energia (Dos-Santos *et al.*, 2007; Dos-Santos & Bernardes-de-Oliveira, 2007, 2013), possivelmente uma planície de inundação, um lago ou pântano, associado a um sistema fluvial meandrante (Fernandes *et al.*, 1994; Melo *et al.*, 1997; Dos-Santos *et al.*, 2007; Dos-Santos & Bernardes-de-Oliveira, 2007, 2013).

O estudo da flora fóssil de Jaguariúna permitiu identificar pteridófitas da família Dryopteridaceae, angiospermas monocotiledôneas da família Typhaceae, e angiospermas dicotiledôneas das famílias Amaranthaceae, Apocynaceae, Clusiaceae, Fabaceae, Lauraceae e Sapindaceae (Dos-Santos *et al.*, 2007; Dos-Santos & Bernardes-de-Oliveira, 2013). A análise da composição taxonômica desta flora, assim como das características fisionômicas das folhas, tipo de margem, forma, base, ápice, área foliar e venação, permitiram inferir que a flora fóssil de Jaguariúna representa uma precursora de uma das fitofisionomias da Floresta Atlântica, especificamente de uma floresta ombrófila densa (Dos-Santos *et al.*, 2007; Dos-Santos & Bernardes-de-Oliveira, 2007), que teria se desenvolvido sob um clima subtropical/tropical, quente e úmido (Dos-Santos *et al.*, 2007; Dos-Santos & Bernardes-de-Oliveira, 2007; Garcia *et al.*, 2014).

Também na borda leste da Depressão Periférica Paulista, no Município de Vargem Grande do Sul, a 4 km ao sul da cidade Vargem Grande do Sul, no Sítio Cachoeira, foi coletada a flora fóssil do Jazigo Vargem Grande do Sul (Figura 1), em um depósito de argila caulínica (Mezzalira, 1961–1962).

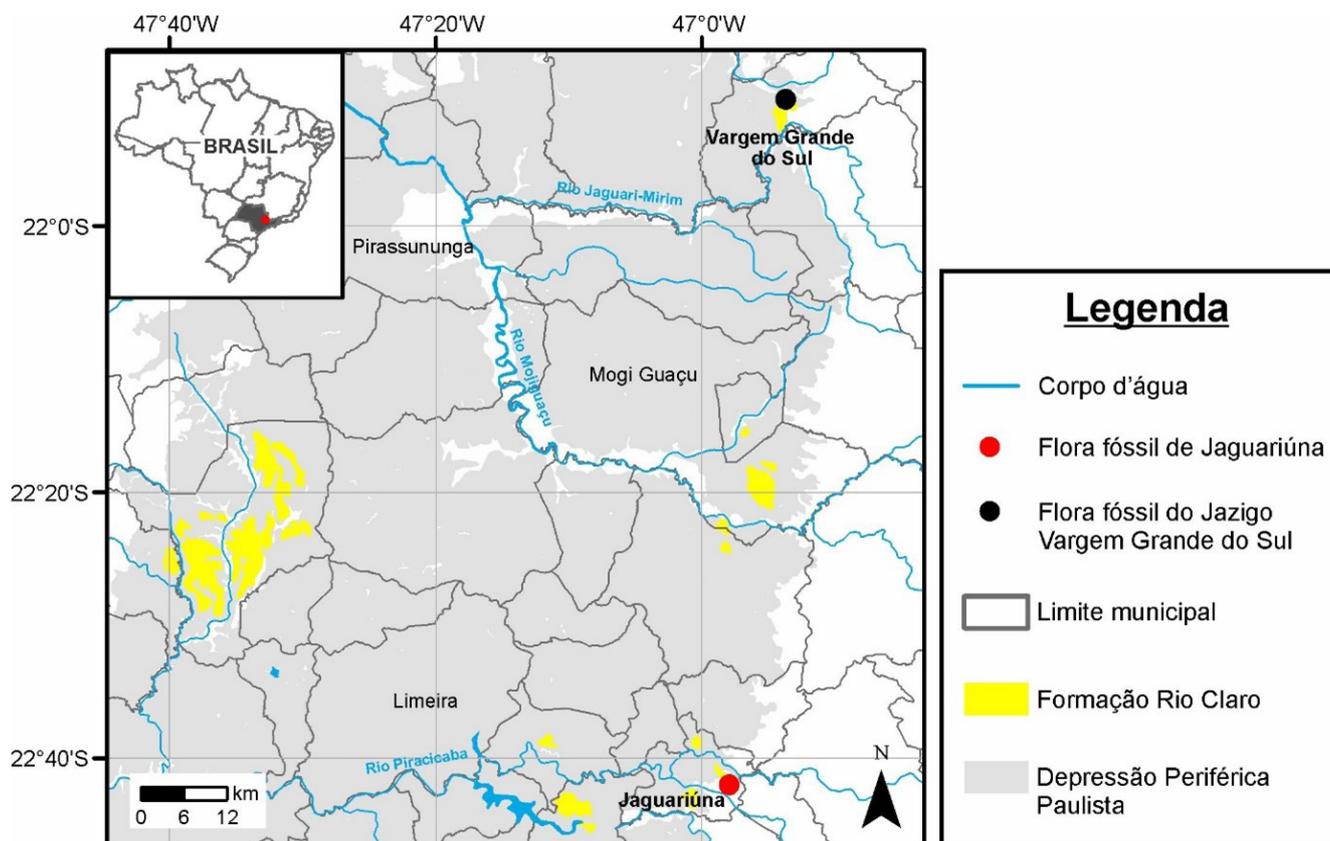


Figura 1. Localização das floras fósseis de Jaguariúna e do Jazigo Vargem Grande do Sul, Formação Rio Claro, Brasil.

Figure 1. Localization of the fossil floras of Jaguariúna and the Vargem Grande do Sul, Rio Claro Formation, Brazil.

O afloramento de onde foi coletada esta flora possuía 6,30 m de espessura (Mezzalira, 1961–1962), e se caracterizava por apresentar na base uma camada de arenito amarelado; na porção mediana uma camada de argila branca, por vezes rósea, com grande quantidade de folhas, seguida de uma camada de argila amarelo-arroxeadada; e no topo uma camada de solo areno-argiloso (Mezzalira, 1961–1962; Duarte & Rezende-Martins, 1983). A camada de argila fossilífera foi depositada num ambiente raso de baixa energia e com águas limpas, possivelmente uma planície de inundação ou um lago (Duarte & Rezende-Martins, 1983; Freitas *et al.*, 1990).

Na flora fóssil do Jazigo Vargem Grande do Sul foram identificados elementos atribuíveis às angiospermas dicotiledôneas, especificamente às ordens Ebenales e Rutales, e às famílias Celastraceae, Fabaceae, Melastomataceae, Meliaceae, Myrtaceae, Sapindaceae e Symplocaceae (Mezzalira, 1989). A composição taxonômica desta flora, assim a análise das características fisionômicas das folhas, tipo de margem, área foliar e venação, permitiram inferir que a flora fóssil do Jazigo Vargem Grande do Sul representa um ancestral de uma das fitofisionomias da Floresta Atlântica, especificamente de uma floresta ombrófila densa (Duarte & Rezende-Martins, 1985; Ricardi-Branco & Fanton, 2007), que teria se desenvolvido sob um clima subtropical (Duarte & Rezende-Martins, 1985; Garcia *et al.*, 2014).

MATERIAL E MÉTODOS

Floras fósseis

Neste estudo foi analisado o tipo de margem e tamanho foliar de 15 espécies de angiospermas dicotiledôneas identificadas para a flora fóssil de Jaguariúna (Tabela 1). Os dados foram adquiridos das descrições de sua arquitetura foliar, as quais foram tomadas da literatura especializada (Dos-Santos & Bernardes-de-Oliveira, 2013). Estas espécies foram determinadas com base na análise de 312 impressões foliares coletadas em dois níveis do afloramento fossilífero de Jaguariúna (Dos-Santos *et al.*, 2007; Dos-Santos & Bernardes-de-Oliveira, 2013).

Também foi analisado o tipo de margem e tamanho foliar de 19 espécies de angiospermas dicotiledôneas identificadas para a flora fóssil do Jazigo Vargem Grande do Sul (Tabela 2). Da mesma maneira que para a flora fóssil de Jaguariúna, os dados para a flora fóssil do Jazigo Vargem Grande do Sul foram adquiridos das descrições de sua arquitetura foliar (Mezzalira, 1961–1962; Duarte & Rezende-Martins, 1983, 1985). As espécies identificadas para esta flora foram determinadas a partir da análise de 74 impressões de folhas de angiospermas (Duarte & Rezende-Martins, 1985), coletadas durante a exploração dos depósitos de argila encontrados no Sítio Cachoeira (Duarte & Rezende-Martins, 1983).

Tabela 1. Tipo de margem e tamanho das folhas de 15 espécies de angiospermas da flora fóssil de Jaguariúna, Formação Rio Claro (Dos-Santos & Bernardes-de-Oliveira, 2013). **Símbolo:** ^a, tamanho segundo Webb (1959).

Table 1. Margin type and size of the leaves of 15 angiosperm species from Jaguariúna fossil flora, Rio Claro Formation (Dos-Santos & Bernardes-de-Oliveira, 2013). **Symbol:** ^a, size according to Webb (1959).

Família	Espécie	Tipo de margem	Tamanho ^a
Amaranthaceae	<i>Alternanthera</i> sp.	Sem dentes	Microfilo
Apocynaceae	<i>Aspidosperma duartei</i>	Sem dentes	Microfilo
Clusiaceae	<i>Garcinia</i> sp.	Sem dentes	Microfilo
Fabaceae	<i>Parvileguminophyllum</i> sp.	Sem dentes	Nanofilo
Lauraceae	<i>Ocotea fittipaldii</i>	Sem dentes	Microfilo
Sapindaceae	<i>Serjania mezzalirae</i>	Com dentes	Notofilo
<i>Incertae sedis</i>	<i>Dicotylophyllum</i> sp. 1	Sem dentes	Microfilo
	<i>Dicotylophyllum</i> sp. 2	Sem dentes	Nanofilo
	<i>Dicotylophyllum</i> sp. 3	Sem dentes	Nanofilo
	<i>Dicotylophyllum</i> sp. 4	Sem dentes	Microfilo
	<i>Dicotylophyllum</i> sp. 5	Sem dentes	Nanofilo
	<i>Dicotylophyllum</i> sp. 6	Sem dentes	Microfilo
	<i>Dicotylophyllum</i> sp. 7	Com dentes	Microfilo
	<i>Dicotylophyllum</i> sp. 8	Sem dentes	Microfilo
	<i>Dicotylophyllum</i> sp. 9	Com dentes	Microfilo

Tabela 2. Tipo de margem e tamanho das folhas de 19 espécies de angiospermas da flora fóssil do Jazigo Vargem Grande do Sul, Formação Rio Claro. **Símbolo:** ^a, tamanho segundo Webb (1959); ^b, Duarte & Rezende-Martins (1985); ^c, Duarte & Rezende-Martins (1983); ^d, Mezzalira (1961–1962).

Table 2. Margin type and size of the leaves of 19 angiosperm species from Jazigo Vargem Grande do Sul fossil flora, Rio Claro Formation. **Symbol:** ^a, size according to Webb (1959); ^b, Duarte & Rezende-Martins (1985); ^c, Duarte & Rezende-Martins (1983); ^d, Mezzalira (1961–1962).

Família	Espécie	Tipo de margem	Tamanho ^a
Celastraceae	<i>Maytenus fragilis</i> ^b	Com dentes	Microfilo
Fabaceae	<i>Camptosema cordatum</i> ^c	Sem dentes	Mesofilo
	<i>Camptosema primum</i> ^c	Sem dentes	—
	<i>Cassia elliptica</i> ^c	Sem dentes	Nanofilo
	<i>Cassia parabicapsularis</i> ^c	Sem dentes	Nanofilo–Microfilo
	<i>Cassia parkerii</i> ^c	Sem dentes	Nanofilo
	<i>Machaerium nervosum</i> ^c	Sem dentes	Nanofilo
	<i>Platypodium potosianum</i> ^c	Sem dentes	Microfilo
Melastomataceae	<i>Tibouchima izildaisabelae</i> ^d	Sem dentes	Microfilo
Meliaceae	<i>Cedrela arcuate</i> ^c	Sem dentes	Microfilo
Myrtaceae	<i>Calyptranthes argilosa</i> ^b	Sem dentes	Microfilo
	<i>Eugenia punctate</i> ^b	Sem dentes	Microfilo
	<i>Eugenia vargensis</i> ^b	Sem dentes	Microfilo
	<i>Gomidezia costata</i> ^b	Sem dentes	Microfilo
	<i>Myrcia diafana</i> ^b	Sem dentes	Microfilo
	<i>Psidium adornatum</i> ^b	Sem dentes	Mesofilo
Sapindaceae	<i>Sapindus ferreirai</i> ^c	Sem dentes (?)	Mesofilo
	<i>Serjania mezzalirai</i> ^c	Com dentes	Microfilo
Symplocaceae	<i>Symplocos dealbata</i> ^b	Sem dentes	Microfilo

Análise da Margem Foliar

A Análise da Margem Foliar é um método univariado para reconstruir a TMA, o qual relaciona a proporção de espécies de dicotiledôneas lenhosas sem dentes de uma flora com a TMA (Wilf, 1997; Kennedy *et al.*, 2014). Esta relação não é globalmente uniforme, já que o tipo de margem foliar num conjunto florístico está submetido às restrições filogenéticas e históricas (Kennedy *et al.*, 2014). Portanto, para obter reconstruções confiáveis, é recomendável a utilização de uma calibração no contexto de uma história fitogeográfica compartilhada (Hinojosa *et al.*, 2011). Além disso, também é recomendável a utilização de um mínimo de 25 a 30 espécies (Wilf, 1997; Burnham *et al.*, 2005), embora um número inferior de espécies também possa ser aceitável (Ricardi-Branco *et al.*, 2015; Santiago & Ricardi-Branco, 2020). As reconstruções da TMA baseadas na Análise da Margem Foliar geralmente apresentam um erro de $\pm 5^\circ\text{C}$ e, caso se utilize uma calibração regional apropriada, o erro é reduzido para aproximadamente $\pm 2^\circ\text{C}$ (Royer, 2012). Em geral este método subestima a TMA (Peppe *et al.*, 2011), uma vez que as floras fósseis associadas a depósitos fluviais ou lacustres apresentam uma grande proporção de espécies com margem com dentes (Burnham *et al.*, 2001).

Para a reconstrução da TMA das floras fósseis de Jaguariúna e Vargem Grande do Sul, foram selecionadas três equações (Tabela 3). A primeira equação foi selecionada devido à sua precisão na reconstrução da TMA atual da região

(Kowalski, 2002), embora seja derivada de um conjunto de dados do Hemisfério Norte (Wilf, 1997). A segunda equação e a terceira equação foram selecionadas por serem as mais adequadas para a reconstrução da TMA de floras fósseis da região, já que foram derivadas a partir de conjuntos de dados da América do Sul (Hinojosa *et al.*, 2011).

Análise da Área Foliar

A Análise da Área Foliar é um método univariado para reconstruir a PMA, baseado na relação da área foliar média de uma flora com a PMA (Wilf *et al.*, 1998). Para obter reconstruções confiáveis com base neste método, recomenda-se a utilização de um mínimo de 25 a 30 espécies para sua aplicação (Wilf *et al.*, 1998; Jacobs & Herendeen, 2004), embora já tenha sido demonstrado que, com um número inferior de espécies, também se podem obter valores confiáveis (Ricardi-Branco *et al.*, 2015; Santiago & Ricardi-Branco, 2020). As reconstruções da PMA baseadas na Análise da Área Foliar devem ser cuidadosamente interpretadas (Wilf *et al.*, 1998; Peppe *et al.*, 2011; Santiago & Ricardi-Branco, 2020) porque, apesar da relação entre a área foliar e a PMA ser significativa (Peppe *et al.*, 2018), estas podem chegar a apresentar um erro de ± 500 mm (Wilf *et al.*, 1998) a ± 1000 mm (Peppe *et al.*, 2011). Isto ocorre porque o tamanho da folha pode refletir erroneamente a PMA, já que se vê afetado por diversas variáveis ambientais, principalmente pelas águas subterrâneas, o solo, a elevação e a temperatura (Royer, 2012;

Tabela 3. Equações baseadas na Análise da Margem Foliar e Análise da Área Foliar utilizadas para obter a temperatura média anual (TMA) e a precipitação média anual (PMA) das floras fósseis de Jaguariúna e Jazigo Vargem Grande do Sul, Formação Rio Claro. **Símbolos:** ^a, número de locais; ^b, coeficiente de determinação; ^c, erro padrão do modelo; ^d, região geográfica onde foram coletadas as amostras; ^e, proporção de espécies sem dentes; ^f, logaritmo natural da área foliar calculado de acordo com Wilf *et al.* (1998): $MlnA = \sum a_i p_i$ (a_i = sete médias das áreas do logaritmo natural das classes de tamanho de Webb (1959), e p_i = a proporção de espécies em cada uma das classes de tamanho).

Table 3. Equations based on the Leaf Margin Analysis and Leaf Area Analysis used to obtain the mean annual temperature (MAT) and the mean annual precipitation (MAP) of the Jaguariúna and Jazigo Vargem Grande do Sul fossil floras, Rio Claro Formation. **Symbols:** ^a, number of localities; ^b, coefficient of determination; ^c, standard error of the model; ^d, geographic region where the samples were collected; ^e, proportion of untoothed species; ^f, natural logarithm of the leaf area calculated according to Wilf *et al.* (1998): $MlnA = \sum a_i p_i$ (a_i = seven means of the areas of the natural logarithm of the Webb (1959) size classes, and p_i = the proportion of species in each size class).

	Equação	n ^a	r ^{2b}	EP ^c	Região ^d	Fonte
Análise da Margem Foliar	(Eq. 1) TMA = 24,40E ^e + 3,25	74	0,84	2,1	América do Norte e América Central e Japão	Wilf (1997)
	(Eq. 2) TMA = 23,42E + 3,60	44	0,48	3,5	Zona tropical da América do Sul (Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Guiana, Peru e Venezuela)	Hinojosa <i>et al.</i> (2011)
	(Eq. 3) TMA = 26,03E + 1,31	74	0,82	2,8	América do Sul (Bolívia, Brasil, Colômbia, Chile, Equador, Guiana, Peru e Venezuela)	Hinojosa <i>et al.</i> (2011)
Análise da Área Foliar	(Eq. 4) lnPMA = 0,548MlnA ^f + 0,768	50	0,760	0,359	América do Norte, América Central, América do Sul e África	Wilf <i>et al.</i> (1998)
	(Eq. 5) lnPMA = 2,566 + 0,309MlnA	42	0,734	—	Zona tropical da África e Bolívia	Jacobs & Herendeen (2004)
	(Eq. 6) lnPMA = 2,167 + 0,354MlnA	79	0,709	—	América do Norte, América Central, América do Sul e África	Jacobs & Herendeen (2004)

Peppe *et al.*, 2018; Spicer *et al.*, 2021). A reconstrução da PMA também é influenciada pelos processos tafonômicos, transporte e o ambiente de deposição, os quais podem alterar a integridade da folha (Ellis & Johnson, 2013).

Diferentemente da Análise da Margem Foliar, a história evolutiva parece afetar menos o tamanho da folha do que o tipo de margem foliar (Royer, 2012). Por esta razão, para a reconstrução da PMA das floras fósseis de Jaguariúna e Vargem Grande do Sul foram selecionadas três equações baseadas na Análise da Área Foliar, as quais foram derivadas a partir de conjuntos de dados que incluem só algumas localidades da América do Sul (Tabela 3).

RESULTADOS

Das 15 espécies analisadas da flora fóssil de Jaguariúna, 12 apresentam margem sem dentes (Tabela 1), o que equivale a 80% do total, valor este que permitiu reconstruir a TMA (Tabela 4). As equações selecionadas produziram diferentes

valores que variam de 22,1 a 22,8°C (Tabela 4). A partir dos dados da área foliar das 15 espécies analisadas (Tabela 1) foi determinada inicialmente a proporção relativa em cada classe de tamanho e, posteriormente, o logaritmo natural da área foliar (Tabela 5), permitindo reconstruir a PMA (Tabela 4). As equações selecionadas produziram diferentes valores que variam de 566 a 831 mm (Tabela 4).

A análise das 19 espécies da flora fóssil do Jazigo Vargem Grande do Sul permitiu observar 17 espécies que apresentam margem sem dentes (Tabela 1), o que equivale a 89,5% do total, valor este que permitiu reconstruir a TMA (Tabela 4). As equações utilizadas produziram diferentes valores que variam de 24,6 a 25,1°C (Tabela 4). A partir dos dados da área foliar das 19 espécies analisadas (Tabela 1), foi determinada inicialmente a proporção relativa em cada classe de tamanho e, posteriormente, o logaritmo natural da área foliar (Tabela 5), permitindo reconstruir a PMA (Tabela 4). As equações selecionadas produziram diferentes valores que variam de 747 a 961 mm (Tabela 4).

Tabela 4. Estimativa da temperatura média anual (TMA) e a precipitação média anual (PMA) das floras fósseis de Jaguariúna e Jazigo Vargem Grande do Sul, Formação Rio Claro, com base na Análise da Margem Foliar e na Análise da Área Foliar. **Símbolos:** ^a, proporção de espécies sem dentes; ^b, logaritmo natural da área foliar; ^c, temperatura média anual e precipitação média anual do Município de Jaguariúna (<https://pt.climate-data.org/>); ^d, temperatura média anual e precipitação média anual do Município de Vargem Grande do Sul (<https://pt.climate-data.org/>).

Table 4. Estimate of the mean annual temperature (MAT) and the mean annual precipitation (MAP) from the Jaguariúna and Jazigo Vargem Grande do Sul fossil floras, Rio Claro Formation, based on the Leaf Margin Analysis and Leaf Area Analysis. **Symbols:** ^a, proportion of untoothed species; ^b, natural logarithm of leaf area; ^c, mean annual temperature and mean annual precipitation of the Municipality of Jaguariúna (<https://pt.climate-data.org/>); ^d, mean annual temperature and mean annual precipitation of the Municipality of Vargem Grande do Sul (<https://pt.climate-data.org/>).

Flora fóssil de Jaguariúna				Flora fóssil do Jazigo Vargem Grande do Sul			
Análise da Margem Foliar $E = 0,800^a$		Análise da Área Foliar $MlnA = 6,00^b$		Análise da Margem Foliar $E = 0,895^a$		Análise da Área Foliar $MlnA = 6,47^b$	
Equação	TMA (°C)	Equação	PMA (mm)	Equação	TMA (°C)	Equação	PMA (mm)
Eq. 1	22,8 ± 2,1	Eq. 4	566 ^{+240/-171}	Eq. 1	25,1 ± 2,1	Eq. 4	747 ^{+317/-225}
Eq. 2	22,4 ± 3,5	Eq. 5	831 —	Eq. 2	24,6 ± 3,5	Eq. 5	961 —
Eq. 3	22,1 ± 2,8	Eq. 6	730 —	Eq. 3	24,6 ± 2,8	Eq. 6	863 —
Atual ^c	19,9	Atual ^c	1314	Atual ^d	20,3	Atual ^d	1413

Tabela 5. Dados da área foliar de 15 espécies de angiospermas da flora fóssil de Jaguariúna e de 19 espécies de angiospermas da flora fóssil Jazigo Vargem Grande do Sul, Formação Rio Claro. **Símbolos:** ^a, classes de tamanho segundo Webb (1959); ^b, proporções relativas; ^c, média da área logaritmo natural para cada classe de tamanho; ^d, logaritmo natural da área foliar calculado de acordo com Wilf *et al.* (1998), onde $MlnA = \Sigma ap_i$.

Table 5. Leaf area data of 15 angiosperm species from Jaguariúna fossil flora and of 19 angiosperm species from Jazigo Vargem Grande do Sul fossil flora, Rio Claro Formation. **Symbols:** ^a, size classes according to Webb (1959); ^b, relative ratios; ^c, mean of the natural logarithm area for each size class; ^d, natural logarithm of the leaf area calculated according to Wilf *et al.* (1998), where $MlnA = \Sigma ap_i$.

Classe de tamanho ^a	Faixa de classe de tamanho (cm ²)	p _i Classes de tamanho ^b		a _i ^c	MlnA ^d (a _p)	
		Flora fóssil de Jaguariúna	Flora fóssil do Jazigo Vargem Grande do Sul		Flora fóssil de Jaguariúna	Flora fóssil do Jazigo Vargem Grande do Sul
Leptofilo	≤0,25	0,00	0,00	2,12	0,00	0,00
Nanofilo	>0,25–2,25	0,27	0,21	4,32	1,16	0,91
Microfilo	2,25–20,25	0,67	0,63	6,51	4,36	4,10
Notofilo	20,25–45,00	0,06	0,00	8,01	0,48	0,00
Mesofilo	45,00–182,25	0,00	0,16	9,11	0,00	1,46
Macrofilo	182,25–1640,20	0,00	0,00	10,90	0,00	0,00
Megafilo	>1640,20	0,00	0,00	13,10	0,00	0,00
Σap_i					6,00	6,47

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A Floresta Atlântica, o mais antigo cinturão de floresta tropical, localiza-se na costa leste do Brasil, e é composta por um mosaico de fitofisionomias que incluem a floresta ombrófila densa, a floresta estacional semidecidual, a floresta estacional decidual e a floresta ombrófila mista (Joly *et al.*, 1999; Oliveira-Filho & Fontes, 2000). Estas fitofisionomias apresentam uma diversidade bastante variável, mas ainda assim mantêm uma grande semelhança florística (Joly *et al.*, 1999; Oliveira-Filho & Fontes, 2000; Guedes *et al.*, 2005). Portanto, fatores como temperatura, precipitação, origem geológica e topografia do terreno, características do solo e distância do oceano são determinantes para a circunscrição de cada fitofisionomia (Oliveira-Filho & Fontes, 2000; Guedes *et al.*, 2005; Campanili & Prochnow, 2006). A Floresta Atlântica devido a sua amplitude latitudinal e à variação de altitudes, está sujeita a uma grande variedade de pressões climáticas relacionadas à precipitação e temperatura (Oliveira-Filho & Fontes, 2000). O clima ao longo da Floresta Atlântica é geralmente tropical úmido, mas em algumas regiões específicas, como na região sudeste, é tropical de altitude, e na região sul, é subtropical úmido (Guedes *et al.*, 2005). O clima em geral também se caracteriza por ser quente e úmido (Guedes *et al.*, 2005), com temperaturas médias anuais entre 12 e 25°C (Colombo & Joly, 2010) e precipitações médias anuais entre 1500 e 2000 mm (Guedes *et al.*, 2005).

A Floresta Atlântica já estava estabelecida no início do Paleógeno, contudo, como resultado das flutuações climáticas ao longo do Quaternário, sobretudo no Pleistoceno, sofreu sucessivos processos de expansão, fragmentação e retração espacial (Guedes *et al.*, 2005; Campanili & Prochnow, 2006; Colombo & Joly, 2010). Estes processos durante o Pleistoceno foram produto especificamente da alternância de climas menos úmidos e/ou mais frios que o atual (Behling *et al.*, 2002; Gouveia *et al.*, 2002; Behling, 2003; Ledru *et al.*, 2009; Pessenda *et al.*, 2009; DaSilva & Pinto-da-Rocha, 2011). Esta afirmação está baseada principalmente na análise de registros do Pleistoceno Superior (Behling *et al.*, 2002; Gouveia *et al.*, 2002; Behling, 2003; Ledru *et al.*, 2009; Pessenda *et al.*, 2009;), já que os registros mais antigos do Pleistoceno são quase inexistentes ou ainda permanecem desconhecidos (Batalha-Filho *et al.*, 2012).

O estudo dos registros do Pleistoceno do Estado de São Paulo é importante, já que fornecem informação significativa sobre a dinâmica vegetacional e climática da Floresta Atlântica durante o Pleistoceno (Oliveira *et al.*, 2014). A flora fóssil de Jaguariúna representa um registro bem preservado de uma vegetação precursora de uma floresta ombrófila densa, uma das fitofisionomias da Floresta Atlântica (Dos-Santos *et al.*, 2007; Dos-Santos & Bernardes-de-Oliveira, 2007), da mesma forma que a flora fóssil do Jazigo Vargem Grande do Sul (Duarte & Rezende-Martins, 1985; Ricardi-Branco & Fanton, 2007). Estas duas floras fósseis estão associadas à Formação Rio Claro (Mezzalana, 1961–1962; Duarte & Rezende-Martins, 1983, 1985; Dos-Santos *et al.*, 2007; Dos-Santos & Bernardes-de-Oliveira, 2007, 2013), cuja deposição

ocorreu durante o Pleistoceno (Ferreira, 2005; Ferreira & Chang, 2008; Salmazo *et al.*, 2011; Salmazo, 2015) sob um clima quente e úmido (Melo *et al.*, 1997; Perinotto *et al.*, 2006). Dado que a deposição desta formação teve lugar sob um clima quente e úmido, é possível inferir que se depositou durante um período interglacial (Butzer, 1976; Ab'Sáber, 1977; Bigarella, *et al.*, 1994), caracterizado pela presença de ciclos climáticos menores, os quais apresentavam climas menos úmidos ou mais úmidos que o atual (Ferreira, 2005).

A flora fóssil de Jaguariúna e a flora fóssil do Jazigo Vargem Grande do Sul, apesar de serem precursoras de uma mesma fitofisionomia da Floresta Atlântica, apresentam diferentes composição taxonômica e se desenvolveram sob diferentes regimes climáticos (Duarte & Rezende-Martins, 1985; Dos-Santos *et al.*, 2007; Dos-Santos & Bernardes-de-Oliveira, 2007, 2013; Garcia *et al.*, 2014). Isto se deve ao fato de que ambas as floras fósseis estavam inseridas na faixa de transição entre o clima tropical e subtropical, a qual apresenta grandes contrastes climáticos e ambientais (Bigarella *et al.*, 1994).

A flora fóssil de Jaguariúna se desenvolveu sob um clima subtropical/tropical, o qual era quente e úmido (Dos-Santos *et al.*, 2007; Dos-Santos & Bernardes-de-Oliveira, 2007; Garcia *et al.*, 2014) e que, segundo os resultados obtidos, se caracterizava por apresentar uma TMA de 22,1–22,8°C e uma PMA de 566–831 mm (Tabela 4). Em contrapartida, a flora fóssil do Jazigo Vargem Grande do Sul se desenvolveu sob um clima subtropical (Duarte & Rezende-Martins, 1985; Garcia *et al.*, 2014), o qual também foi quente e úmido, e que segundo os resultados obtidos se caracterizava por apresentar uma TMA de 24,6–25,1°C e uma PMA de 747–961 mm (Tabela 4). Os regimes climáticos sob os quais se desenvolveram a flora fóssil de Jaguariúna e a flora fóssil do Jazigo Vargem Grande do Sul, assim como os valores de TMA obtidos para cada uma delas, são característicos da Floresta Atlântica (Guedes *et al.*, 2005; Colombo & Joly, 2010). Em contrapartida, os valores de PMA obtidos para cada uma delas, são inferiores aos característicos da Floresta Atlântica (Guedes *et al.*, 2005). Em um estudo prévio, especificamente da flora fóssil do Jazigo Vargem Grande do Sul, no qual se analisou a área foliar, também se observou que a precipitação era inferior às características da Floresta Atlântica (Duarte & Rezende-Martins, 1985). Este comportamento pode ser explicado considerando-se que a flora fóssil de Jaguariúna e a flora fóssil do Jazigo Vargem Grande do Sul estavam localizadas no interior, numa área de transição abrupta, sensível a câmbios ambientais, e não próximas ao litoral onde as precipitações são maiores (DaSilva & Pinto-da-Rocha, 2011; Guedes *et al.*, 2005). Portanto, é possível inferir que os valores de TMA e PMA obtidos para a flora fóssil de Jaguariúna e a flora fóssil do Jazigo Vargem Grande do Sul eram característicos para o momento e local de sua deposição.

Nos períodos interglaciais predominam condições climáticas semelhantes às atuais (Bigarella *et al.*, 1994), mas, ao comparar os valores de TMA e PMA obtidos para a flora fóssil de Jaguariúna com os que atualmente apresenta a área onde ela se encontrava (Tabela 4), observa-se que para

o momento de sua deposição as condições eram mais quentes que as atuais, em 2,2–2,9°C, e menos úmidas, em 483–619 mm. Em um estudo prévio da flora fóssil de Jaguariúna, no qual se analisou as características fisionômicas das folhas, também se observou que para o momento de sua deposição as condições eram mais quentes que as atuais, só que em 5°C (Dos-Santos *et al.*, 2007). Ao comparar os valores de TMA e PMA obtidos para a flora fóssil do Jazigo Vargem Grande do Sul com os que atualmente apresenta a área onde ela se encontrava (Tabela 4), observa-se que para o momento de sua deposição as condições eram mais quentes que as atuais, neste caso em 4,3–4,8°C, e menos úmidas, em 452–666 mm. Considerando que as floras fósseis de Jaguariúna e do Jazigo Vargem Grande do Sul se desenvolveram sob um clima mais quente e menos úmido que o atual, é possível inferir que habitaram durante o mesmo ciclo climático. Também é possível inferir que estas floras fósseis se desenvolveram num ciclo climático menor do período interglacial durante o qual se depositou a Formação Rio Claro, especificamente em um ciclo que apresentava um clima menos úmidos que o atual.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP; processo 2016/20927-0), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq; processo 303527/2017-0) pelas bolsas concedidas. Os autores também expressam seus agradecimentos aos avaliadores, E. Oliveira, E. Pinheiro e J. Robledo, ao avaliador anônimo, e aos editores, A.M. Ribeiro e M.N. Ritter, pelas valiosas sugestões que ajudaram a melhorar o manuscrito.

REFERÊNCIAS

- Ab'Sáber, A.N. 1977. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários. *Paleoclimas*, **3**:1–19.
- Batalha-Filho, H.; Cabanne, G.S. & Miyaki, C.Y. 2012. Phylogeography of an Atlantic Forest passerine reveals demographic stability through the last glacial maximum. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, **65**:892–902. doi:10.1016/j.ympev.2012.08.010
- Behling, H. 2003. Late glacial and Holocene vegetation, climate and fire history inferred from Lagoa Nova in the southeastern Brazilian lowland. *Vegetation History and Archaeobotany*, **12**:263–270. doi:10.1007/s00334-003-0020-9
- Behling, H.; Arz, H.W.; Pätzold, J. & Wefer, G. 2002. Late Quaternary vegetational and climate dynamics in southeastern Brazil, inferences from the marine cores GeoB3229-2 and GeoB3202-1. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **179**:227–243. doi:10.1016/S0031-0182(01)00435-7
- Bigarella, J.J.; Becker, R.D. & Santos, G.F. 1994. *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Fundamentos geológicos-geográficos, alteração química e física das rochas e relevo cárstico e dômico*. Florianópolis, UFSC, 425 p.
- Björnberg, A.J.S. & Landim, P.M.B. 1966. Contribuição ao estudo da Formação Rio Claro (Neocenozóico). *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, **15**:43–68.
- Burnham, R.J.; Ellis, B. & Johnson, K.R. 2005. Modern tropical forest taphonomy: Does high biodiversity affect paleoclimatic interpretations? *Palaios*, **20**:439–451. doi:10.2110/palo.2004.P04-60
- Burnham, R.J.; Pitman, N.C.A.; Johnson, K.R. & Wilf, P. 2001. Habitat-related error estimating temperatures from leaf margins in a humid tropical forest. *American Journal of Botany*, **88**:1096–1102.
- Campanili, M. & Prochnow, M. 2006. *Mata Atlântica – uma rede pela floresta*. Brasília, RMA, 332 p.
- Colombo, A.F. & Joly, C.A. 2010. Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change. *Brazilian Journal of Biology*, **70**:697–708. doi:10.1590/S1519-69842010000400002
- Cortese, G.; Abelman, A. & Gersonde, R. 2007. The last five glacial-interglacial transitions: A high resolution 450,000-year record from the subantarctic Atlantic. *Paleoceanography*, **22**:PA4203. doi:10.1029/2007PA001457
- Dansgaard, W. *et al.* 1993. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice core record. *Nature*, **364**:218–220. doi:10.1038/364218a0
- DaSilva, M.B. & Pinto-da-Rocha, R. 2011. A história biogeográfica da Mata Atlântica: Opiliões (Arachnida) como modelo para sua inferência. In: C.J.B. Carvalho & E.A.B. Almeida (eds.) *Biogeografia de América do Sul: padrões e processos*, Roca, p. 221–238.
- Dos-Santos, M.A. & Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. 2007. A tafoflora neógena de Jaguariúna, SP, em argilito de provável atribuição a Formação Rio Claro. In: I.S. Carvalho; R.C.T. Cassab; C. Schwanke; A.C.S. Fernandes; M.A.C. Rodrigues; M.S.S. Carvalho; M. Arai & M.E.Q. Oliveira (eds.) *Paleontologia: Cenários de Vida*, Editora Interciência, p. 237–250.
- Dos-Santos, M.A. & Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. 2013. Taxonomia da tafoflora neógena da Formação Rio Claro, Jaguariúna, estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **16**:465–486. doi:10.4072/rbp.2013.3.07
- Dos-Santos, M.A.; Bernardes-de-Oliveira, M.E.C. & Sant'Anna, L.G. 2007. Evidências paleoclimáticas e paleoecológicas, segundo dados paleobotânicos e mineralógicos, dos argilitos neógenos de Jaguariúna (SP), correlatos à Formação Rio Claro. *Revista UnG, Geociências*, **6**:80–106.
- Duarte, L. & Rezende-Martins, A.F.P. 1983. Contribuição ao conhecimento da flora cenozóica do Brasil: Jazigo Vargem Grande do Sul, SP. Série Taubaté I. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, **55**:109–121.
- Duarte, L. & Rezende-Martins, A.F.P. 1985. Contribuição ao conhecimento da flora cenozóica do Brasil: Jazigo Vargem Grande do Sul, SP. Série Taubaté II. In: *Coletânea de Trabalhos Paleontológicos*, Departamento Nacional da Produção Mineral, p. 565–571.
- Ellis, B. & Johnson, K.R. 2013. Comparison of leaf samples from mapped tropical and temperate forests: Implications for interpretations of the diversity of fossil assemblages. *Palaios*, **28**:163–177. doi:10.2110/palo.2012.p12-073r
- Fernandes, A.J.; Fittipaldi, F.C. & Ferreira, C.J. 1994. Faciologia dos depósitos cenozóicos entre Jaguariúna e Americana, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, 1994. *Resumos*, Camboriú, SBG, p. 269–270.

- Ferreira, S.R. 2005. *Análise pedoestratigráfica das formações Rio Claro e Piraçununga, no centro-leste do Estado de São Paulo*. Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Tese de Doutorado, 157 p.
- Ferreira, S.R. & Chang, M.R.C. 2008. Datação das Formações Rio Claro e Piraçununga por Termoluminescência. *Revista da Escola de Minas*, **61**:129–134.
- Freitas, R.O.; Vieira, P.V. & Mezzalira, S. 1990. A Formação Piraçununga na região de Vargem Grande do Sul, SP. Aplicação da técnica de perfis sedimentares. *Revista do Instituto Geológico*, **11**:35–48.
- Garcia, M.J.; Bernardes-de-Oliveira, M.E.C.; Caramês, A.G.; Dino, R.; Antonioli, L. & Bistrichi, C.A. 2014. Evolução paleoclimática neógena, no Brasil sudeste e Estado do Paraná, com base em dados paleobotânicos e palinológicos. In: I.S. Carvalho; M.J. Garcia; C.C. Lana & O. Strohschoen Jr. (eds.) *Paleontologia: Cenários de Vida-Paleoclimas*, Interciência, p. 329–339.
- Gouveia, S.E.M.; Pessenda, L.C.R.; Aravena, R.; Boulet, R.; Scheel-Ybert, R.; Bendassolli, J.A.; Ribeiro, A.S. & Freiras, H.A. 2002. Carbon isotopes in charcoal and soils in studies of paleovegetation and climate changes during the late Pleistocene and the Holocene in the southeast and centerwest regions of Brazil. *Global and Planetary Change*, **33**:95–106. doi:10.1016/S0921-8181(02)00064-4
- Guedes, M.L.S.; Batistas, M.A.; Ramalho, M.; Freitas, H.M.B. & Silva, E.M. 2005. Breve incursão sobre a biodiversidade da Mata Atlântica. In: C.R. Franke; P.L.B Rocha; W. Klein & S.L. Gomes (eds.) *Mata Atlântica e biodiversidade*, Edufba, p. 39–92.
- Hinojosa, L.F.; Pérez, F.; Gaxiola, A. & Sandoval, I. 2011. Historical and phylogenetic constraints on the incidence of entire leaf margins: insights from a new South American model. *Global Ecology and Biogeography*, **20**:380–390. doi:10.1111/j.1466-8238.2010.00595.x
- Jacobs, B.F. & Herendeen, P.S. 2004. Eocene dry climated and woodland vegetation in tropical Africa reconstructed from fossil leaves from northern Tanzania. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **213**:115–123. doi:10.1016/j.palaeo.2004.07.007
- Joly, C.A. *et al.* 1999. Evolution of the Brazilian phytogeography classification systems: implications for biodiversity conservation. *Ciência e Cultura*, **51**:331–348.
- Kennedy, E.M.; Arens, N.C.; Reichgelt, T.; Spicer, R.A.; Spicer, T.E.V.; Stranks, L. & Yang, J. 2014. Deriving temperature estimates from Southern Hemisphere leaves. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **412**:80–90. doi:10.1016/j.palaeo.2014.07.015
- Kowalski, E.A. 2002. Mean annual temperature estimation based on leaf morphology: a test from tropical South America. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **188**:141–165. doi:10.1016/S0031-0182(02)00550-3
- Ledru, M.P.; Mourguiart, P. & Riccomini, C. 2009. Related changes in biodiversity, insolation and climate in the Atlantic rainforest since the last interglacial. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **271**:140–152. doi:10.1016/j.palaeo.2008.10.008
- Melo, M.S.; Coimbra, A.M. & Cuchierato, G. 1997. Fácies sedimentares da Formação Rio Claro, Neocenoico da Depressão Periférica Paulista. *Revista Instituto Geológico*, **18**:49–63.
- Mezzalira, S. 1961–1962. Novas ocorrências de vegetais fósseis cenozóicos no Estado de São Paulo. *I.G.G.*, **15**:73–94.
- Mezzalira, S. 1989. *Os Fósseis do Estado de São Paulo*. São Paulo, Instituto Geológico, 155 p.
- Oliveira, P.E.; Garcia, M.J.; Medeiros, V.B.; Pessenda, L.C.R.; Sallun, A.E.M.; Suguio, K.; Santos, R.A.; Siqueira, E. & Fernandes, R.S. 2014. Paleoclimas e paleovegetação do Quaternário no Estado de São Paulo, Brasil. In: I.S. Carvalho; M.J. Garcia; C.C. Lana & O. Strohschoen Jr. (eds.) *Paleontologia: Cenários de Vida-Paleoclimas*, Interciência, p. 457–469.
- Oliveira-Filho, A.T. & Fontes, M.A.L. 2000. Patterns of floristic differentiation among Atlantic forests in Southeastern Brazil, and the influence of climate. *Biotropica*, **32**:793–810. doi:10.1111/j.1744-7429.2000.tb00619.x
- Penteado, M.M. 1976. *Geomorfologia do setor centro-ocidental da Depressão Periférica Paulista*. São Paulo, USP - Instituto de Geografia, Série Teses e Monografia, vol. 22.
- Peppe, D.J.; Baumgartner, A.; Flynn, A. & Blonder, B. 2018. Reconstructing Paleoclimate and Paleoecology Using Fossil Leaves. In: D.A. Croft; D.F. Su & S.W. Simpson (eds.) *Methods in Paleoecology: Reconstructing Cenozoic Terrestrial Environments and Ecological Communities*, Springer International Publishing AG, p. 289–317. doi:10.1007/978-3-319-94265-0_13
- Peppe, D.J. *et al.* 2011. Sensitivity of leaf size and shape to climate: global patterns and paleoclimatic applications. *New Phytologist*, **190**:724–739. doi:10.1111/j.1469-8137.2010.03615.x
- Perinotto, J.A.J.; Etchebehere, M.L.C.; Zaine, J.E. & Saad, A.R. 2006. Nova contribuição ao conhecimento da Formação Rio Claro (T) na folha Rio Claro (SP). *Revista Geociências*, **25**:297–306.
- Pessenda, L.C.R.; Oliveira, P.E.; Mofatto, M.; Medeiros, V.B.; Garcia, R.J.F.; Aravena, R.; Bendassolli, J.A.; Leite, A.Z.; Saad, A.R. & Etchebehere, M.L. 2009. The evolution of a tropical rainforest/grassland mosaic in southeastern Brazil since 28000 14C yr BP based on carbon isotopes and pollen records. *Quaternary Research*, **71**:437–452. doi:10.1016/j.yqres.2009.01.008
- Ricardi-Branco, F.S. & Fanton, J.C.M. 2007. Principais registros paleoflorísticos do Cenozóico brasileiro. In: I.S. Carvalho; R.C.T. Cassab; C. Schwanke; M.A. Carvalho; A.C.S. Fernandes; M.A.C. Rodrigues; M.S.S. Carvalho; M. Arai & M.E.Q. Oliveira (eds.) *Paleontologia: Cenários de Vida*, Interciência, p. 645–655.
- Ricardi-Branco, F.; Pereira, S.Y.; Souza, M.M.; Santiago, F.; Pereira, P.B.P.; Branco, F.C.; Ribeiro, V. & Molina, K. 2015. Relationships among subaquatic environment and Leaf/Palinomorph Assemblages of the Quaternary Mogi-Guaçu River alluvial plain, SP, Brazil. In: M. Ramkumar; K. Kumaraswamy & R. Mohanraj (eds.) *Environmental Management of River Basin Ecosystems*, Springer International Publishing, p. 667–705. doi:10.1007/978-3-319-13425-3_30
- Rohdenburg, H. 1982. Geomorphologisch-bodenstratigraphischer Vergleich zwischen dem nordostbrasilianischen Trockengebiet und immerfeucht-tropischen Gebieten Südbrasilien, mit Ausführungen zum Problemkreis der Pediplain – Pediment – Terrassentreppen. In: F. Ahnert; H. Rohdenburg & A. Semmel (eds.) *Beiträge zur Geomorphologie der Tropen Ostafrika, Brasilien, Zentralund Westafrika*, Catena Supplement 2, p. 73–122.
- Royer, D.L. 2012. Climate reconstruction from leaf size and shape: new developments and challenges. In: L.C. Ivany & B.T. Huber (eds.) *Reconstructing Earth's Deep-Time Climate—The State of the Art in 2012*, The Paleontological Society, p. 195–212.
- Salmazo, G.O. 2015. *Estudo geocronológico de sedimentos correlatos à Formação Rio Claro*. Programa de Pós-graduação

- em Ciência dos Materiais, Universidade Estadual Paulista, Tese de Doutorado, 108 p.
- Salmazo, G.O.; Yukimito, K. & Chang, M.R.C. 2011. Datação dos sedimentos da região de Rio Claro/SP utilizando a técnica da termoluminescência. *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento*, **13**:69–74.
- Santiago, F. & Ricardi-Branco, F. 2020. Reconstrução da temperatura e da precipitação média anual com base em acumulações de macrorrestos vegetais da Bacia do Rio Itanhaém, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **23**:251–258. doi:10.4072/rbp.2020.4.03
- Spicer, R.A.; Yang, J.; Spicer, T.E.V. & Farnsworth A. 2021. Woody dicot leaf traits as a palaeoclimate proxy: 100 years of development and application. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **562**:110138. doi:10.1016/j.palaeo.2020.110138
- Webb, L.J. 1959. A physiognomic classification of Australian rain forest. *Journal of Ecology*, **47**:551–570.
- Wilf, P. 1997. When are leaves good thermometers? A new case for leaf margin analysis. *Paleobiology*, **23**:373–390. doi:10.1017/S0094837300019746
- Wilf, P.; Wing, S.L.; Greenwood, D.R. & Greenwood, C.L. 1998. Using fossil leaves as paleoprecipitation indicators: An Eocene example. *Geology*, **26**:203–206. doi:10.1130/0091-7613(1998)026<0203:UFLAPI>2.3.CO;2
- Zaine, J.E.; Fittipaldi, F.C. & Zaine, M.F. 1995. Novas ocorrências fossilíferas na Formação Rio Claro (Cenozóico). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 4, 1995. *Resumos*, Águas de São Pedro, SBG, p. 92.

Received in 21 April, 2022; accepted in 10 August, 2022.