



Universidade Federal de Uberlândia

Instituto de Biologia

Programa de Pós-Graduação em Ecologia Conservação e Biodiversidade

**PALEOECOLOGIA ISOTÓPICA DE MASTODONTES (MAMMALIA: PROBOSCIDEA)  
PARA O PLEISTOCENO DE MINAS GERAIS, BRASIL**

**Tawane Carvalho Fonte Boa Machado**

Uberlândia

2023

Tawane Carvalho Fonte Boa Machado

**PALEOECOLOGIA ISOTÓPICA DE MASTODONTES (MAMMALIA: PROBOSCIDEA)  
PARA O PLEISTOCENO DE MINAS GERAIS, BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ecologia, Conservação e Biodiversidade.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eugênio Alves Macedo de Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Mário André Trindade Dantas

Uberlândia

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

M149p Machado, Tawane Carvalho Fonte Boa, 1998-  
2023 Paleoecologia isotópica de mastodontes (Mammalia : proboscidea)  
para o pleistoceno de Minas Gerais, Brasil [recurso eletrônico] / Tawane  
Carvalho Fonte Boa Machado. - 2023.

Orientador: Paulo Eugênio Alves Macedo de Oliveira.

Coorientador: Mário André Trindade Dantas.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e  
Biodiversidade.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2023.7114>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Ecologia. I. Oliveira, Paulo Eugênio Alves Macedo de, 1959,  
(Orient.). II. Dantas, Mário André Trindade, 1979-, (Coorient.). III.  
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em  
Ecologia, Conservação e Biodiversidade. IV. Título.

---

CDU: 574

Glória Aparecida  
Bibliotecária Documentalista - CRB-6/2047



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Ecologia, Conservação e Biodiversidade				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, número 335, PPGEGB				
Data:	dezoito de setembro de dois mil e vinte e três	Hora de início:	09:00	Hora de encerramento:	10:35
Matrícula do Discente:	12122ECR013				
Nome do Discente:	Tawane Carvalho Fonte Boa Machado				
Título do Trabalho:	Taxonomia e Paleoecologia Isotópica de Mastodontes (Mammalia: Proboscidea) para o Pleistoceno de Minas Gerais, Brasil				
Área de concentração:	Ecologia				
Linha de pesquisa:	Ecologia comportamental e evolutiva				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Resgate, preparação e descrição de fósseis proveniente do Cretáceo Superior e ecologia das faunas associadas				

Reuniu-se por videoconferência a Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Biodiversidade assim composta pelos doutores: Lidiane de Asevedo Silva - UFS; Rodrigo Parisi Dutra - UFMG e Mario André Trindade Dantas - UFBA, coorientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Mario André Trindade Dantas, apresentou a Comissão Examinadora e o(a) candidato(a), agradeceu a presença do público e concedeu ao(à) Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do(a) Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o(a) senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Mario André Trindade Dantas, Usuário Externo**, em 19/09/2023, às 09:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Lidiane de Asevedo Silva, Usuário Externo**, em 21/09/2023, às 17:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Parisi Dutra, Usuário Externo**, em 10/10/2023, às 12:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4759041** e o código CRC **99E0C59D**.

---

## **Agradecimentos**

Sou grata à minha família por toda estrutura emocional e financeira que propiciaram meu desenvolvimento pessoal, acadêmico e profissional. Em especial, agradeço aos meus pais, Rita e Arnaldo, e aos meus irmãos, Luisa e Luan, pelo amor e apoio incondicionais.

Ao meu companheiro de vida, Thiago, por trazer leveza a todos os momentos desafiadores. Aos meus amigos, especialmente à Karoline pela cumplicidade dentro e fora do ambiente acadêmico, e à Nathália e Letícia pela presença constante durante esses anos.

Sou grata ao Prof. Dr. Paulo Eugênio por toda assistência e presteza que foram além das questões burocráticas inicialmente postas. Ao meu co-orientador Prof. Dr. Mário Dantas, por toda confiança e incentivo, e por fornecer todo aporte prático e teórico necessários para que esse trabalho acontecesse, e à Prof. Dra. Dimila Mothé, pelo auxílio e generosidade em compartilhar seus conhecimentos. Agradeço também à Prof. Dra. Raquel Cassino pelo empréstimo do material estudado, pertencente à coleção da Universidade Federal de Ouro Preto, e aos Profs. Drs. André Gomide e Maria Paula Delicio, por todas as informações cedidas.

Por fim, agradeço à Universidade Federal de Uberlândia, minha segunda casa; ao Instituto de Biologia e ao Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Biodiversidade, por todas as oportunidades; e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pela bolsa que possibilitou minha dedicação à pesquisa.

## ÍNDICE

Resumo.....	1
Abstract.....	2
1. Introdução .....	4
2. Metodologia .....	5
2.1. <i>Material</i> .....	5
2.2. <i>Descrição</i> .....	6
2.3. <i>Amostragem</i> .....	7
2.4. <i>Datação (<sup>14</sup>C AMS) e análise de isótopos estáveis (<math>\delta^{13}\text{C}</math> e <math>\delta^{18}\text{O}</math>)</i> .....	7
2.5. <i>Interpretação dos resultados (<math>\delta^{13}\text{C}</math> e <math>\delta^{18}\text{O}</math>)</i> .....	8
3. Resultados.....	10
3.1. <i>Sistemática Paleontológica</i> .....	10
3.2. <i>Datação (<sup>14</sup>C AMS) e análise de isótopos estáveis (<math>\delta^{13}\text{C}</math> e <math>\delta^{18}\text{O}</math>)</i> .....	12
4. Discussão.....	14
4.1. <i>Material fóssil</i> .....	14
4.2. <i>Datação (<sup>14</sup>C AMS)</i> .....	15
4.3. <i>Paleoecologia isotópica</i> .....	15
5. Conclusão .....	19
Referências .....	20

## Resumo

Proboscidea é um dos grupos de grandes mamíferos presentes no registro fossilífero brasileiro, representado no país pela espécie *Notiomastodon platensis* (Ameghino, 1888). Em contribuição a todos os estudos que buscam compreender sua taxonomia, cronologia, hábitos alimentares e suas variações anuais, bem como aspectos paleoambientais em a espécie viveu, foram realizadas descrição morfológica, datação absoluta e análise de isótopos estáveis de carbono e oxigênio ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ ) de fósseis de mastodontes advindos das mesorregiões Norte e Triângulo do estado de Minas Gerais, Brasil. O material inclui dentes isolados, porções mandibulares e ossos pós-craniais em diversos níveis de fragmentação, associados a, pelo menos, oito indivíduos adultos e um juvenil. O único indivíduo oriundo de Campina Verde foi datado em 27.715-27.903 Cal anos AP. Apresentou uma dieta mista, baseada em plantas  $\text{C}_4$  ( $p_i\text{C}_4 = 90\%$ ;  $\delta^{13}\text{C} = +0,5\%$ ), o que implica na ocupação de um ambiente aberto, majoritariamente de pastagem. A região era relativamente úmida ( $\delta^{18}\text{O} = +24,7\%$ ), o que é sustentado pela existência de corredores de umidade oriundos da região amazônica. Fitofisionomia similar foi interpretada para a Regional Norte entre pelo menos 21.966-22.279 Cal anos AP e 18.944-19.157 Cal anos AP. Um espécime, porém, apresentou valor de  $\delta^{13}\text{C}$  destoante dos demais ( $p_i\text{C}_3 = 0,87\%$ ;  $\delta^{13}\text{C} = -10,2\%$ ), tendo ocupado um ambiente de transição entre floresta de baixa densidade e savana arbórea, provavelmente em um momento distinto favorável à expansão de árvores e arbustos. A região passou por uma mudança climática, de condições relativamente úmidas ( $\delta^{18}\text{O} = +25,6 \pm 0,16\%$ ) a expressivamente secas ( $\delta^{18}\text{O} = +34,6\%$ ) entre os períodos datados, mudança essa corroborada por alguns dados palinológicos. Já a análise paleoecológica plurianual, com base na amostragem sequencial de três camadas de dentina de um incisivo, indicou relativa estabilidade de vegetação e clima. Uma percebida desassociação entre a dinâmica da vegetação e a hidrologia local corrobora com a ideia de que outros fatores podem atuar como moduladores mais importantes do que a precipitação em regiões do cerrado.

**Palavras-chave:** *Notiomastodon platensis*; Último Máximo Glacial; paleoambiente



## Abstract

Proboscidea is a group of large mammals present in the Brazilian fossil record, represented by the species *Notiomastodon platensis* (Ameghino, 1888). In contribution to all studies seeking to understand the taxonomy, chronology, and diet, including annual variations, as well as the paleoenvironmental aspects of the habitats in which the species lived, a morphological description, absolute dating, and analysis of stable isotopes of carbon and oxygen ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ ) were performed for the mastodon fossils from the North and Triângulo mesoregions of the Minas Gerais State, Brazil. The material includes isolated teeth, mandibular portions, and post-cranial bones in different levels of fragmentation, associated with at least eight adult individuals and one juvenile. The only individual from Campina Verde was dated at 27,715-27,903 Cal yr BP. It presented a mixed diet based on  $\text{C}_4$  plants ( $p_i\text{C}_4 = 90\%$ ;  $\delta^{13}\text{C} = +0.5\%$ ), which implies the occupation of an open environment, mostly pasture. The region was relatively humid ( $\delta^{18}\text{O} = +24.7\%$ ), which is supported by the existence of humidity corridors from the Amazon region. A similar phytophysiognomy was interpreted for the North Region between at least 21,966-22,279 Cal yr BP and 18,944-19,157 Cal yr BP. However, one specimen presented a  $\delta^{13}\text{C}$  value that differed from the others ( $p_i\text{C}_3 = 0.87\%$ ;  $\delta^{13}\text{C} = -10.2\%$ ), occupying a transitional environment between low-density forest and arboreal savannah, probably at a different moment favorable to the expansion of trees and shrubs. The region underwent a climate change, from relatively humid conditions ( $\delta^{18}\text{O} = +25.6 \pm 0.2\%$ ) to expressively dry ( $\delta^{18}\text{O} = +34.6\%$ ) between the dated periods, a change corroborated by some palynological data. The multiannual paleoecological analysis, based on sequential sampling of three dentin layers of an incisor, indicated the relative stability of vegetation and climate. The perceived disassociation between vegetation dynamics and local hydrology corroborates the idea that other factors may act as more important modulators than precipitation in the Cerrado regions.

**Keywords:** *Notiomastodon platensis*; Last Glacial Maximum; paleoenvironment

## **CAPÍTULO ÚNICO**

Dissertação apresentada em português, sob as normas da revista *Quaternary International*.

## Paleoecologia isotópica de mastodontes (Mammalia: Proboscidea) para o Pleistoceno de Minas Gerais, Brasil

### 1. Introdução

A linhagem dos proboscídeos alcançou a América do Sul durante o Grande Intercâmbio Biótico entre as Américas (GIBA 2), provenientes da América do Norte e Central, em um intenso fluxo faunístico propiciado pelo soerguimento do Istmo do Panamá no Plioceno Superior (Cione et al., 2015). Essa ordem de mamíferos foi representada no continente durante o Pleistoceno por duas espécies, *Cuvieronius hyodon* (Fischer, 1814) e *Notiomastodon platensis* (Ameghino, 1888), que compuseram com expressividade a megafauna sul-americana até sua extinção no início do Holoceno (Mothé et al., 2012; Dantas et al., 2013).

No Brasil, o grupo é conhecido a partir de centenas de espécimes com idades entre 460 e 9 mil anos (Dantas et al., 2013, 2022) encontrados em mais de 150 localidades na maioria dos estados federativos (Simpson e Paula-Couto, 1957; Mothé et al., 2017), com todos os materiais diagnósticos (i.e., craniais e dentários) indicando a ocorrência de apenas uma das espécies sul-americanas, *Notiomastodon platensis* (Mothé et al., 2012).

Assim como outros grandes mamíferos do Quaternário, a espécie é expressivamente encontrada na chamada Região Intertropical Brasileira (RIB), uma região biogeográfica proposta por Cartelle (1999) que atualmente inclui todos os estados do Nordeste, exceto Maranhão, todos os estados do Sudeste, exceto São Paulo, e todos os estados do Centro-Oeste, exceto Mato Grosso (Figura 1; Pansani et al., 2019).

Tratando-se de Minas Gerais (MG), materiais associados a *N. platensis* são coletados desde o final do século XVIII. O primeiro deles, oriundo das proximidades do atual município de Ibituruna, representa o primeiro registro de um fóssil da megafauna brasileira (Fernandes, 2011). Além do pioneirismo, Minas Gerais destaca-se por outros achados importantes para a espécie, como a associação fossilífera de Araxá (Simpson e Paula-Couto, 1957; Mothé et al., 2010) e espécimes com marcas de interação com o homem pré-histórico (Mothé et al., 2020), sendo do estado mineiro, também, os materiais de mastodontes estudados neste trabalho.

A extensa distribuição geográfica de *N. platensis* se traduz na ocupação de uma ampla gama de condições ambientais, habitando regiões com temperatura, umidade e composição bióticas significativamente distintas. Esse sucesso dispersivo é atribuído a uma estratégia alimentar generalista-oportunista (Asevedo, 2015; Mothé e Avilla, 2015; Mothé et al., 2017), inferida a partir dos resultados obtidos de técnicas como análise de microdesgaste do esmalte dentário (Asevedo et al., 2012; Asevedo, 2015), avaliação de microfósseis vegetais contidos no cálculo dentário

(Asevedo et al., 2012, 2020) e, principalmente, análise de isótopos de carbono e oxigênio de tecidos mineralizados (Sánchez et al., 2004; Lopes et al., 2013; Dantas et al., 2013; 2017; 2020; França et al., 2014).

A análise isotópica de carbono e oxigênio se baseia nas impressões geoquímicas deixadas pela água e alimentos na bioapatita (componente inorgânico) e colágeno (componente orgânico) dos ossos e dentes de seus consumidores. Em mamíferos herbívoros, os isótopos estáveis de carbono são provenientes de seus alimentos e estão intimamente relacionados às vias fotossintéticas utilizadas pelas plantas consumidas (Fricke et al., 2007; Koch, 2007; Marshall et al., 2007). Os isótopos estáveis de oxigênio, por sua vez, são derivados da água ingerida diretamente ou pela alimentação e trazem importantes inferências relacionadas a fatores climáticos dos habitats das espécies (Fricke et al., 2007; Koch, 2007).

Recentemente, essa metodologia tem sido utilizada não só para investigar a paleodieta de *N. platensis* e suas implicações, como também para compreender as mudanças nos padrões alimentares ao longo dos anos de vida dos indivíduos (El Adli et al., 2017; Dantas et al., 2022). Para isso, são performadas análises de isótopos estáveis de carbono e oxigênio em incisivos modificados (*i.e.* presas). Esses dentes crescem continuamente paralelos à cavidade pulpar cônica, por meio de incrementos periódicos de dentina em intervalos anuais, semanais e diários (Fisher, 1996), de modo que a análise isotópica seriada das camadas de dentina permite recuperar informações da história de vida da espécie, elucidando mudanças na dieta e no uso de habitats ao longo de períodos plurianuais (Fisher, 2001; Fisher et al., 2014; Uno et al., 2020).

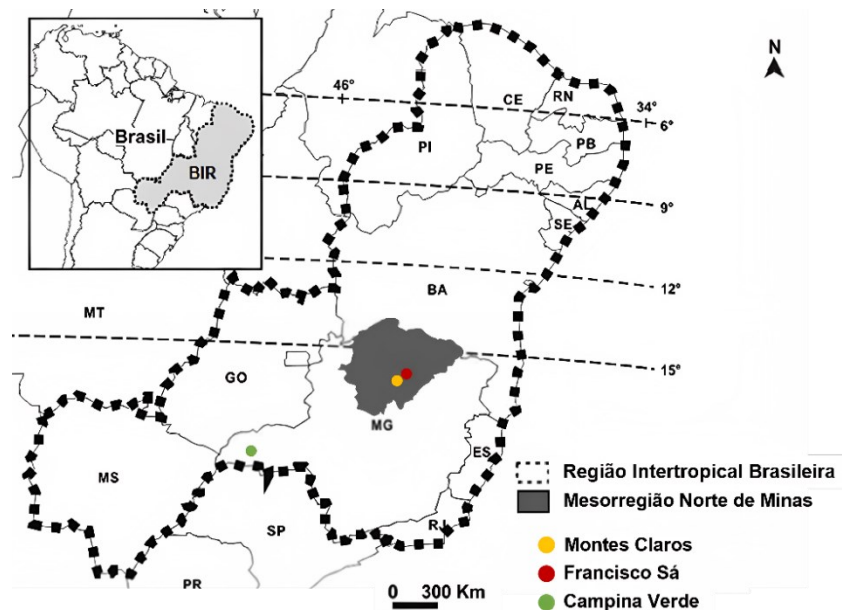
Em contribuição a todos os estudos que buscam compreender a taxonomia, cronologia, hábitos alimentares e suas variações anuais, bem como aspectos paleoambientais em que *N. platensis* viveu, e visando preencher o hiato no conhecimento paleontológico das regiões, este trabalho se propôs a produzir um compilado de informações sobre material fóssil de mastodonte advindo das mesorregiões Norte e Triângulo do estado de Minas Gerais, Brasil, aportando novos dados e análises que incluem: (1) a descrição morfológica dos espécimes, (2) a datação absoluta e análise isotópica de exemplares de molares das duas localidades e (3) a análise isotópica seriada de um incisivo.

## **2. Metodologia**

### **2.1. Material**

Foram estudados materiais do mastodonte *Notiomastodon platensis* provenientes do estado de Minas Gerais, Brasil (Figura 1). Do município de Campina Verde (19° 32' 11" Sul, 49° 29' 12" Oeste), localizado na mesorregião do Triângulo Mineiro, têm-se um molar atualmente depositado na coleção do Museu de Biodiversidade do Cerrado da Universidade Federal de Uberlândia sob o

número de tombo PAL000189. O espécime foi encontrado casualmente no leito do Córrego da Cruz da Retirada Bonita, região da comunidade rural de Andrelândia, na segunda metade dos anos 1960, e entregue à instituição em 2015. Os demais espécimes, que se configuram em molares isolados, mandibulares e pós-craniais, pertencem à coleção do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto. Os fósseis carecem de dados de coleta precisos; sabe-se, porém, serem oriundos da região dos municípios de Montes Claros e Francisco Sá (Gomes, 1934; Pinto, 1986) e serão aqui referidos de forma geral à mesorregião do Norte de Minas.



**Figura 1.** Mapa da Região Intertropical Brasileira (RIB), destacando-se os municípios de Montes Claros e Francisco Sá na mesorregião Norte de Minas, e Campina Verde (Modificado de Pansani et al., 2019).

## 2.2. Descrição

Os espécimes dentários foram descritos seguindo a terminologia proposta por Tassy (1996). A fórmula dentária de *Notiomastodon platensis* inclui três dentes decíduos ( $Dp^{2/2}$ ,  $Dp^{3/3}$  e  $Dp^{4/4}$ ) e três dentes molares definitivos ( $M^{1/1}$ ,  $M^{2/2}$  e  $M^{3/3}$ ), substituídos horizontalmente. Na espécie, os dentes são bunodontes (constituídos por cúspides arredondadas) e variam no número de lofos/lófidios de acordo com sua classificação, sendo os  $Dp^{2/2}$  bilofodontes, os  $M^{3/3}$  tetrapentalofodontes e os intermediários trilofodontes (Mothé et al., 2017). O posicionamento dos dentes nos maxilares foi determinado com base na obliquidade entre prétrites e póstrites – em dentes superiores, as prétrites são anteriores em relação às póstrites, sendo o oposto em inferiores. Considerou-se também que em dentes superiores a prétrite localiza-se lingualmente, enquanto nos inferiores sua localização é labial. As prétrites são geralmente mais complexas e sempre mais desgastadas, desgaste este gerado em vida pelo uso na mastigação (Tassy, 1996). O estágio de desgaste foi estabelecido conforme Simpson e Paula-Couto (1957).

A descrição dos espécimes ósseos seguiu a terminologia anatômica utilizada por Smuts e Bezuidenhout (1993, 1994), Bezuidenhout e Seegers (1996) para a espécie de proboscídeo atual *Loxodonta africana*, e por Ferretti (2010) para a espécie *Haplomastodon chimborazi* (= *Notiomastodon platensis*).

### 2.3. Amostragem

Foram retiradas amostras únicas de esmalte e dentina dos espécimes PAL000189, DGO-M-259, DGO-M-258 e DGO-M-286. Já o espécime DGO-M-265, que corresponde a um fragmento de incisivo, foi amostrado conforme o número de camadas de incremento de dentina presentes. Ao todo três camadas foram identificadas, sendo cada uma delas correspondente a um crescimento anual (Fisher, 1996; 2001; Fisher et al., 2014), o que poderia fornecer informações sobre a dieta, paleoambiente e paleoclima durante três anos de vida do indivíduo. Cada camada foi perfurada usando-se uma furadeira elétrica a 8.000 rpm e as amostras em pó foram coletadas. As perfurações foram feitas o mais superficialmente possível para minimizar o corte através das linhas de crescimento e o cálculo da média do tempo da amostra de maneira descontrolada.

### 2.4. Datação ( $^{14}\text{C}$ AMS) e análise de isótopos estáveis ( $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ )

Todas as amostras foram enviadas ao Centro de Estudos Isotópicos Aplicados da Universidade da Geórgia, Estados Unidos, onde foram submetidas à análise de isótopos estáveis de carbono e oxigênio do carbonato estrutural da bioapatita, e três delas (PAL000189, DGO-M-259 e DGO-M-265) associadas à datação absoluta. A datação foi realizada por Radiocarbono via Espectrometria de Massa com Aceleradores (AMS). A datação por Radiocarbono é essencialmente um método desenvolvido para medir a radioatividade residual, baseando-se no decaimento beta do carbono-14, cuja meia-vida equivale a 5.730 anos (Cherkinsky, 2009).

Na técnica AMS são contados o número de átomos de carbono 14 presentes na amostra, e não as partículas beta como na datação radiométrica. No processo, a amostra passa por um pré-tratamento, onde é quimicamente limpa. Após, é reagida sob vácuo com ácido fosfórico a 100%, dissolvendo o mineral ósseo e liberando o dióxido de carbono da bioapatita. O dióxido de carbono resultante é purificado e convertido em grafite. Os índices de  $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$  do grafite são medidos utilizando o espectrômetro de massa do acelerador CAIS 0,5 MeV (Cherkinsky, 2009).

A idade radiocarbônica tem sido corrigida pelo fracionamento isotópico. A confiabilidade da técnica aplicada para a purificação da hidroxiapatita foi previamente demonstrada por Cherkinsky (2009), no entanto, hoje já se reconhece que as idades realizadas em bioapatita são mais recentes do que as realizadas em colágeno (*e.g.* Zazzo, 2014). Deste modo, usamos a correção proposta por Dantas e Cherkinsky (2023) que corrige a datação feita em bioapatita ( $^{14}\text{C}_{\text{bioapatita}}$ ) para o padrão de

colágeno ( $^{14}\text{C}_{\text{colágeno}}$ ; equação 1), que apresenta alta correlação ( $R^2 = 0,98$ ), baixo erros preditos ( $\text{PE}\% = 0,01$ ) e erro padrão da estimativa ( $\text{SEE}\% = 21,83$ ).

$$\text{Log}_{10}^{14}\text{C}_{\text{colágeno}} = 1,09 * \text{log}_{10}^{14}\text{C}_{\text{bioapatita}} - 0,31 \text{ (Equação 1)}$$

A datação corrigida para colágeno foi depois calibrada usando o erro padrão encontrado na datação feita em bioapatita com a curva de calibração SHCal20 (Hogg et al., 2020;  $2\sigma$ , intervalo de confiança de 95%) em idades do calendário antes do presente (Cal anos AP) usando o software CALIB 8.1 (Reimer et al., 2020) apresentadas entre parêntesis após as idades convencionais.

A análise de isótopos estáveis foi realizada seguindo-se o mesmo processo de preparação e grafitação da amostra. A medição, entretanto, foi feita separadamente usando um espectrômetro de massa com razão isotópica estável. As razões isotópicas são obtidas a partir da equação  $\delta = [(R_{\text{amostra}} / R_{\text{padrão}}) - 1] \times 1000$ , onde R é a relação entre o isótopo mais pesado e o mais leve ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ;  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) e representa desvios na razão isotópica em relação a um padrão. Os padrões utilizados para os valores isotópicos de carbono e oxigênio são o Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB) e o Standard Mean Ocean Water (SMOW), respectivamente (Coplen, 1994). Cabe aqui ressaltar que a composição isotópica da hidroxiapatita pode ser preservada com mínima ou nenhuma alteração diagenética significativa (Cherkinsky, 2009).

### **2.5. Interpretação dos resultados ( $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ )**

As diferenças nas razões de isótopos estáveis de carbono em tecidos mineralizados de mamíferos são derivadas dos alimentos consumidos e, portanto, podem ser usadas para reconstruir a dieta do animal em estudo (Sánchez et al., 2004; Koch, 2007; Marshall et al., 2007).

Os tipos de materiais vegetais, classificados de acordo com a via fotossintética utilizada pela planta, possuem assinaturas isotópicas de carbono distintas entre si; isto é, diferenciam-se na relação entre isótopos leves e pesados de carbono impressos em seus tecidos. Plantas  $\text{C}_3$  (árvores, arbustos, ervas e algumas gramíneas) realizam maior discriminação isotópica, apresentando em seus tecidos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-27 \pm 3$  ‰. Plantas  $\text{C}_4$  (gramíneas e ciperáceas tropicais) por sua vez, exibem valores maiores de aproximadamente  $-13 \pm 2$  ‰ (MacFadden 2005; Koch, 2007; Marshall et al., 2007).

Ao se alimentarem, mamíferos herbívoros de médio e grande porte registram, na hidroxiapatita, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  da vegetação ingerida com um enriquecimento que varia de acordo com a massa corporal do indivíduo (Tejada-Lara et al., 2018). *Notiomastodon platensis*, com massa estimada de quase sete toneladas (Dantas, 2022), possui enriquecimento de  $+15$  ‰. Considerou-se, portanto, que animais com alimentação exclusiva de plantas  $\text{C}_3$  apresentam valores

de  $\delta^{13}\text{C} \leq -12 \text{ ‰}$ , enquanto consumidores exclusivos de  $\text{C}_4$  apresentam valores de  $\delta^{13}\text{C} \geq +2 \text{ ‰}$ . Valores intermediários (entre  $-12$  e  $+2 \text{ ‰}$ ) indicam uma dieta mista de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ .

Para animais com dieta mista calculou-se a proporção das fontes alimentares ( $f_1$  e  $f_2$ ) através das fórmulas abaixo, onde  $\delta^{13}\text{C}_{\text{mix}}$  é o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  obtido da bioapatita da amostra do animal em estudo e  $\delta^{13}\text{C}_1$  e  $\delta^{13}\text{C}_2$  são os valores enriquecidos das plantas  $\text{C}_3$  ( $-12 \text{ ‰}$ ) e  $\text{C}_4$  ( $+2 \text{ ‰}$ ), respectivamente (Phillips, 2012).

$$\begin{aligned}\delta^{13}\text{C}_{\text{mix}} &= \delta^{13}\text{C}_1 f_1 + \delta^{13}\text{C}_2 f_2 \\ 1 &= f_1 + f_2\end{aligned}$$

A partir da proporção de recursos obtidas, calculou-se também a largura de nicho ecológico pela fórmula de Levins (1968), sendo  $B$  a largura de nicho e  $p_i$  a proporção de recursos. Por fim, essa medida foi padronizada ( $B_A$ ), sendo  $B_A$  a largura de nicho padronizada,  $B$  a largura de nicho ecológico e  $n$  o número de recursos consumidos. O resultado, apresentado em uma escala de 0 a 1, indica se o indivíduo era generalista ( $>0,5$ ) ou especialista ( $\leq 0,5$ ).

$$\begin{aligned}B &= 1 / \sum p_i^2 \\ B_A &= B - 1 / n - 1\end{aligned}$$

Já a relação de isótopos estáveis de oxigênio em mamíferos reflete a composição isotópica de oxigênio que entra no organismo pela respiração e ingestão e sai pela respiração, transpiração e excreção (Koch, 2007). Os valores da razão isotópica do  $\text{O}_2$  atmosférico, porém, são relativamente constantes, fazendo com que as variações da razão isotópica de oxigênio em grandes mamíferos herbívoros, que obtêm grande parte da água bebendo diretamente, reflitam as variações da razão isotópica da água ingerida. Estas, por sua vez, respondem a condições climáticas como temperatura e/ou umidade/precipitação de água em corpos d'água locais (MacFadden et al., 1999; Sanchez et al., 2004), que podem ser influenciadas por fatores como continentalidade, latitude e altitude (Fricke, 2007). Nas regiões tropicais, destaca-se a ação do fator chamado “efeito de quantidade” que estabelece uma correlação negativa entre o valor de  $\delta^{18}\text{O}$  e a quantidade de precipitação mensal (Dansgaard, 1964).

De modo geral, os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  registrados nos tecidos de mamíferos em ecossistemas terrestres são interpretados considerando-se que ambientes mais secos e/ou quentes apresentam valores de  $\delta^{18}\text{O}$  maiores do que ambientes mais úmidos e/ou frios, uma vez que ambientes com alta evaporação e baixa precipitação tem altas proporções de  $^{18}\text{O}$  nos corpos d'água locais, gerando valores de  $\delta^{18}\text{O}$  mais enriquecidos (Dansgaard, 1964; Fricke et al., 2007; Koch, 2007).



### 3. Resultados

#### 3.1. Sistemática Paleontológica

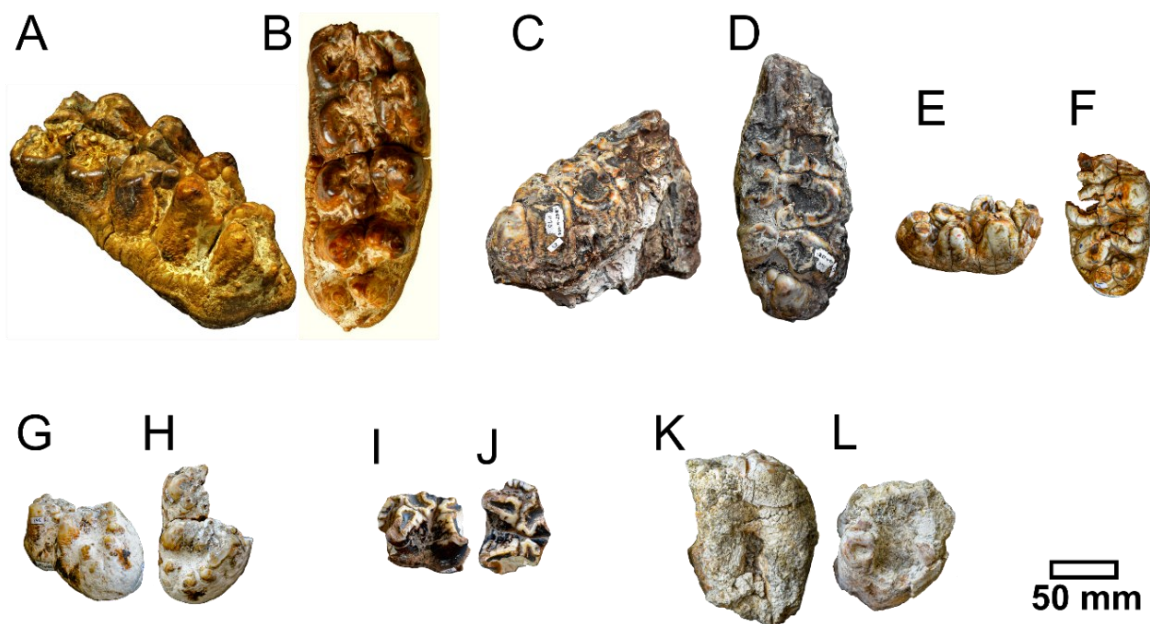
PROBOSCIDEA Illiger, 1811

ELEPHANTOIDEA Gray, 1821

GOMPHOTHERIIDAE Hay, 1922

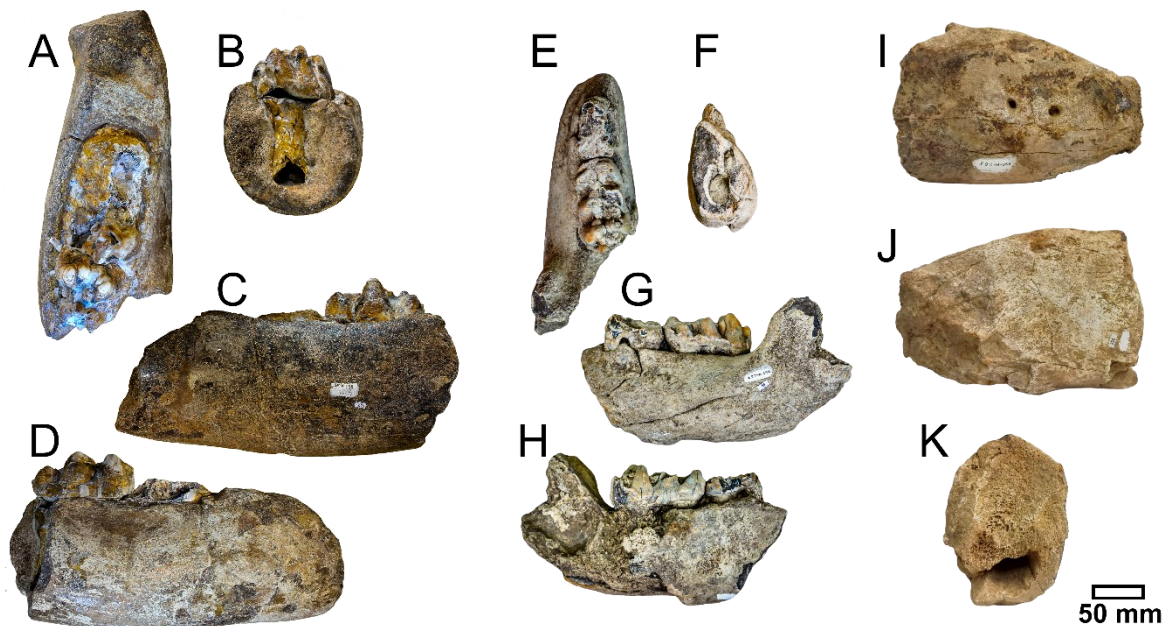
*Notiomastodon platensis* (Ameghino, 1888)

*Dentes isolados.* São seis molares definitivos incompletos e dois fragmentos de presa. A dentição inferior é representada por um terceiro molar esquerdo (PAL000189; Figura 2A-B) pentalofofonte com metacônido fraturado; um terceiro molar direito (DGO-M-258; Figura 2C-D), provavelmente pentalofofonte com raízes presentes e a região anterior (i.e., primeiro lófidio) fragmentada; e a porção posterior de um terceiro molar esquerdo (DGO-M-286; Figura 2E-F), composto por três lófidios mais íntegros e vestígios de um quarto. De dentição superior, além de fragmentos de incisivos adjacentes (DGO-M-265 e DGO-M-264), há um fragmento de porção medial de um molar direito (DGO-M-267; Figura 2I-J) e uma porção final (i.e., últimos dois lófos; DGO-M-274; Figura 2G-H) que, juntamente com cúspides isoladas tombadas separadamente (DGO-M-268, 278, 270 e 279), parecem pertencer a um terceiro molar direito. O DGO-M-275 (Figura 2K-L), reconhecido como fragmento de um molar pela presença de raízes e parcas cristas de esmalte, não pôde ser classificado.



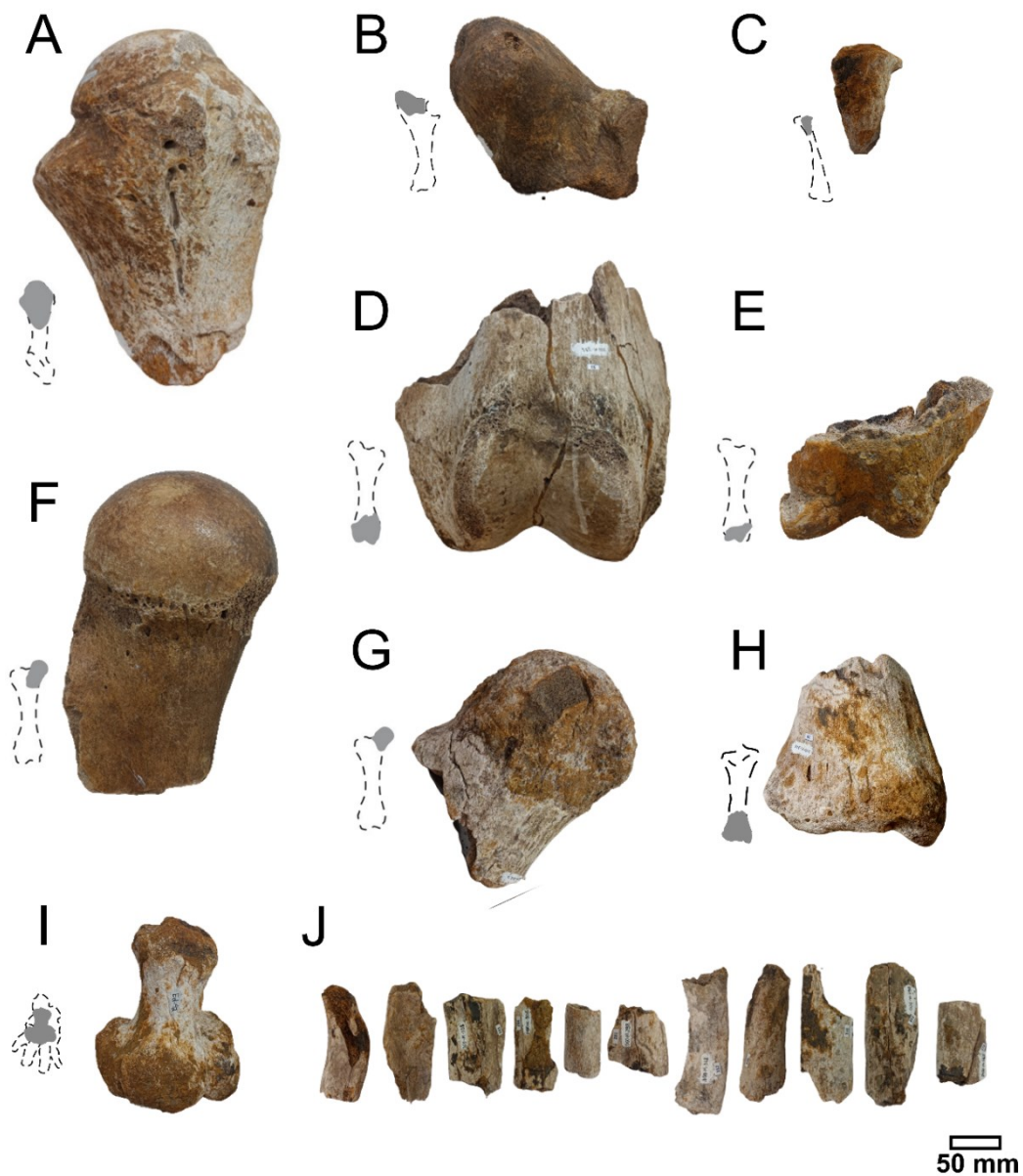
**Figura 2.** Molares isolados de *Notiomastodon platensis*: A-B) PAL000189, M<sub>3</sub> esquerdo. C-D) DGO-M-258, M<sub>3</sub> direito. E-F) DGO-M-286, M<sub>3</sub> esquerdo. G-H) DGO-M-274, M<sup>3</sup> direito. I-J) DGO-M-267, molar direito. K-L) DGO-M-275, molar.

*Dentários.* Há três fragmentos de mandíbulas, sendo: um fragmento da porção direita de um dentário (DGO-M-259; Figura 3A-D) formado pelo corpo mandibular e parte da região sinfisiária, com um terceiro molar ( $M_3$ ) pentafodonte parcialmente preservado; um fragmento da porção esquerda de um dentário de um indivíduo jovem (DGO-M-257; Figura 3E-H) associada a dois dentes decíduos trifodonte, reconhecidos como um  $Dp_3$  e  $Dp_4$ ; e um fragmento da porção direita de um dentário (DGO-M-263; Figura 3I-K), constituído de parte do corpo mandibular que se finda antes da região alveolar.



**Figura 3.** Dentários de *Notiomastodon platensis*: A-D) DGO-M-259, ramo mandibular direito associado a  $M_3$  em vista oclusal, posterior, lateral e medial. E-H) DGO-M-257, ramo mandibular esquerdo associado a  $Dp_3$  e  $Dp_4$  em vista oclusal, anterior, lateral e medial. I-K) DGO-M-263, ramo mandibular direito em vista lateral, medial e posterior.

*Pós-crânio.* Dos membros anteriores tem-se um fragmento proximal de úmero (DGO-M-328; Figura 4A), composto apenas pela cabeça do úmero e parte do colo; uma epífise proximal de ulna esquerda incompleta (DGO-M-321; Figura 4B), estando a superfície articular ausente; e uma epífise proximal de rádio direito (DGO-M-323; Figura 4C), com leve fratura na cabeça e colo. Dos membros posteriores foram reconhecidos quatro fragmentos de fêmur, sendo duas epífises distais, uma esquerda (DGO-M-325; Figura 4D) e outra muito fraturada para ser identificada (DGO-M-331; Figura 4E), e duas cabeças de fêmur (DGO-M-329 e DGO-M-327; Figura 4F e G); uma epífise distal de tibia direita (DGO-M-326; Figura 4H); e um calcâneo (DGO-M-319; Figura 4I). Há ainda diversos fragmentos de costela (Figura 4J) e outros materiais não identificáveis.



**Figura 4.** Espécimes pós-craniais de *Notiomastodon platensis*: A) DGO-M-328, fragmento proximal de úmero. B) DGO-M-321, epífise proximal de ulna esquerda. C) DGO-M-323, epífise proximal de rádio direito. D) DGO-M-325, epífise distal de fêmur esquerdo. E) DGO-M-331, epífise distal de fêmur. F) DGO-M-329, cabeça de fêmur. G) DGO-M-327, cabeça de fêmur. H) DGO-M-326, epífise distal de tíbia direita. I) DGO-M-319, calcâneo. J) Fragmentos de costelas.

### 3.2. Datação ( $^{14}\text{C}$ AMS) e análise de isótopos estáveis ( $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ )

O indivíduo de Campina Verde (PAL000189) foi datado em 27.715-27.903 Cal anos AP ( $^{14}\text{C}_{\text{bioapatita}} = 19.890 \pm 45$ ;  $^{14}\text{C}_{\text{colágeno}} = 23.742 \pm 45$ ; Tabela 1). O valor de  $\delta^{13}\text{C}$  obtido da amostra foi de +0,5 ‰, o que indica uma dieta mista de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ . O cálculo da proporção de recursos

ingeridos, por sua vez, revela uma expressiva preferência por plantas  $C_4$ , que compuseram 90 % de sua dieta. A largura de nicho, em concordância com essa constatação, aponta uma tendência a hábito especialista ( $B_A = 0,23$ ). A razão isotópica de oxigênio encontrada foi de +24,7 ‰.

**Tabela 1.** Valores isotópicos (‰) de carbono ( $\delta^{13}C_{VPDB}$ ) e oxigênio ( $\delta^{18}O_{SMOW}$ ), proporção de recursos da dieta ( $p_iC_3$  e  $p_iC_4$ ), largura de nicho padronizado ( $B_A$ ) e datações ( $^{14}C$ ) com suas respectivas conversões e calibrações de *Notiomastodon platensis* das mesorregiões Norte e Triângulo do estado de Minas Gerais, Brasil.

Espécime	$\delta^{13}C_{VPDB}$	$p_iC_3$	$p_iC_4$	$B_A$	$\delta^{18}O_{SMOW}$	$^{14}C_{bioapatita}$	$^{14}C_{colágeno}$	Cal AP
PAL000189	+0,5	0,10	0,90	0,23	+24,7	19.890±45	23.742±45	27.715-27.903
DGO-M-259	+0,1	0,14	0,86	0,31	+34,3	13.720±30	15.839±30	18.944-19.157
DGO-M-258	-1,3	0,23	0,77	0,56	+31,8	-	-	-
DGO-M-286	-10,2	0,87	0,13	0,29	+29,0	-	-	-
DGO-M-265 (1)	-2,1	0,30	0,70	0,71	+25,1			
(2)	-0,6	0,19	0,81	0,44	+25,6			
(3)	-1,2	0,23	0,77	0,55	+26,1	15.580±60	18.193±60	21.966-22.279

Para a Regional Norte foram obtidas datações calibradas em 18.944-19.157 Cal anos AP ( $^{14}C_{bioapatita} = 13.720\pm30$ ;  $^{14}C_{colágeno} = 15.839\pm30$ ) e 21.966-22.279 Cal anos AP ( $^{14}C_{bioapatita} = 15.580\pm60$ ;  $^{14}C_{colágeno} = 18.193\pm60$ ). A análise de isótopos estáveis de carbono aponta dieta mista de plantas  $C_3$  e  $C_4$  para todos os espécimes amostrados, porém com grande variação na proporção de recursos. As dietas de DGO-M-259 ( $\delta^{13}C = +0,1$  ‰) e DGO-M-258 ( $\delta^{13}C = -1,3$  ‰) foram compostas em sua maioria por plantas  $C_4$ , que corresponderam a 86 % (especialista,  $B_A = 0,31$ ) e 77 % (generalista,  $B_A = 0,56$ ) de seus recursos alimentares, respectivamente. O DGO-M-286, em contrapartida, apresentou consumo majoritário de plantas  $C_3$  ( $\delta^{13}C = -10,2$  ‰), que representaram 87 % de sua dieta. A alta proporção de plantas  $C_3$  configurou-o como especialista nesse tipo vegetal ( $B_A = 0,29$ ). Para esses molares, os valores de  $\delta^{18}O$  variaram de +29 a +34,3 ‰.

O incisivo (DGO-M-265), amostrado em três camadas de incremento de dentina com espessura variável, apresentou valores isotópicos de carbono que variaram entre -2,1 e -0,6 ‰. Assim, apesar da preferência por plantas  $C_4$  ter sido constante, a largura de nicho oscilou entre hábito generalista no primeiro e terceiro anos registrados ( $B_A = 0,71$  e  $0,55$ ) e especialista no segundo ano ( $B_A = 0,44$ ). A razão isotópica de oxigênio aumentou +0,5 ‰ ao ano, com valores entre +25,1 e +26,1 ‰.

## 4. Discussão

### 4.1. Material fóssil

O único espécime oriundo de Campina Verde (PAL000189) representa o primeiro registro de *Notiomastodon platensis* para o município e segundo para a mesorregião do Triângulo Mineiro. Na Regional Norte de Minas Gerais, em contraste, os materiais associados a mastodontes são mais abundantes. Há registros para os municípios de Itacambira, Brejo das Almas (atual Francisco Sá; Spix e Martius, 1828) e Janaúba (Cartelle, 1989). Gomes (1934), ao descrever os fósseis de Frutal/MG, menciona material dos arredores de Montes Claros, incluso uma porção mandibular reconhecida como a peça DGO-M-259. Novos achados em Francisco Sá foram reportados por Pinto (1986) e Monteiro (1998), sendo provavelmente a localidade de origem de grande parte do material deste trabalho.

Os dentes estudados são todos bunodontes e apresentam uma variação morfológica esperada para *N. platensis* (Mothé et al., 2012; Mothé e Avilla, 2015). Os molares oriundos da Regional Norte são, no geral, menos robustos do que o de Campina Verde, em especial o espécime DGO-M-258 cuja largura máxima é de apenas 62 mm, enquanto o PAL000189 possui 87 mm na mesma medida. Além da robustez, o espécime de Campina Verde destaca-se pela presença de conulidos centrais anteriores e posteriores nas préritas do 1º, 2º e 3º lófidis e na póstrite do 2º, fornecendo uma relativa complexidade capaz de gerar o padrão de trevo duplo. Para os exemplares do norte do estado observa-se um nível de complexidade da coroa variável, com padrão morfológico mais simples (DGO-M-286, Figura 2E-F) até consideravelmente complexo (DGO-M-274, Figura 2G-H). Por se tratar de fragmentos de porções posteriores, porém, não foi possível atestar a ocorrência de padrões de desgaste simples ou duplo, geralmente observados nos primeiros lófos/idos. O desgaste oclusal varia, ocorrendo espécimes em estágio 1 (PAL000189, DGO-M-259 e 257/Dp<sub>4</sub>), 2 (DGO-M-286, 274, 267), 3 (DGO-M-258) e 4 (DGO-M-257/Dp<sub>3</sub>). Os espécimes ósseos possuem morfologia concordante com materiais associados ao grupo de outras localidades (Marcon, 2007; Ferreti, 2010).

*Notiomastodon* e *Cuvieronius* são ambos bunodontes e possuem a mesma fórmula dentária (Mothé e Avilla, 2015). A complexidade dos últimos molares já foi proposta como característica distintiva entre as duas espécies (Alberdi et al., 2002, 2004). Entretanto, exceto para exemplares de *Notiomastodon* com alta complexidade, o número de cúspides não é válido para diferenciar os táxons sul-americanos (Mothé e Avilla, 2015). Até o momento, as diagnoses concentram-se em características do crânio e incisivos (Mothé et al., 2012; Mothé e Avilla, 2015) e indicam distribuições geográficas distintas, sem evidência de simpatria (temporal e/ou geográfica), sendo *C. hyodon* restrito à Bolívia, Peru e Equador e *N. platensis* a única espécie já registrada em terras brasileiras (Mothé et al., 2017).

Com base na classificação e estágio de desgaste dentário, o molar de Campina Verde é atribuído a um indivíduo adulto maduro. Para o material da Regional Norte, por sua vez, a carência de informações relacionadas à coleta e procedência do material dificulta as interpretações acerca do número de indivíduos e suas partes correspondentes. Os espécimes dentários são compatíveis com sete indivíduos distintos, sendo um juvenil e os demais adultos maduros; já os materiais ósseos permitem a atribuição com confiança a pelo menos dois indivíduos, baseado na notória diferença nas dimensões das duas cabeças de fêmur, DGO-M-329 e DGO-M-327 (52 e 43 cm de circunferência, respectivamente). Grande parte do material encontra-se mal preservado e quebradiço. A incompletude das peças limita sua contribuição aos estudos taxonômicos que buscam estabelecer diagnoses a nível genérico para elementos isolados e pós-craniais.

#### **4.2. Datação ( $^{14}\text{C}$ AMS)**

As idades obtidas para Campina Verde e Regional Norte de Minas situa os registros no final do Pleistoceno, testemunhas do Último Máximo Glacial (UMG), e está em acordo com a extensão temporal de 460 a 9 mil anos atribuída à espécie no registro fossilífero brasileiro (Dantas et al. 2013; 2022).

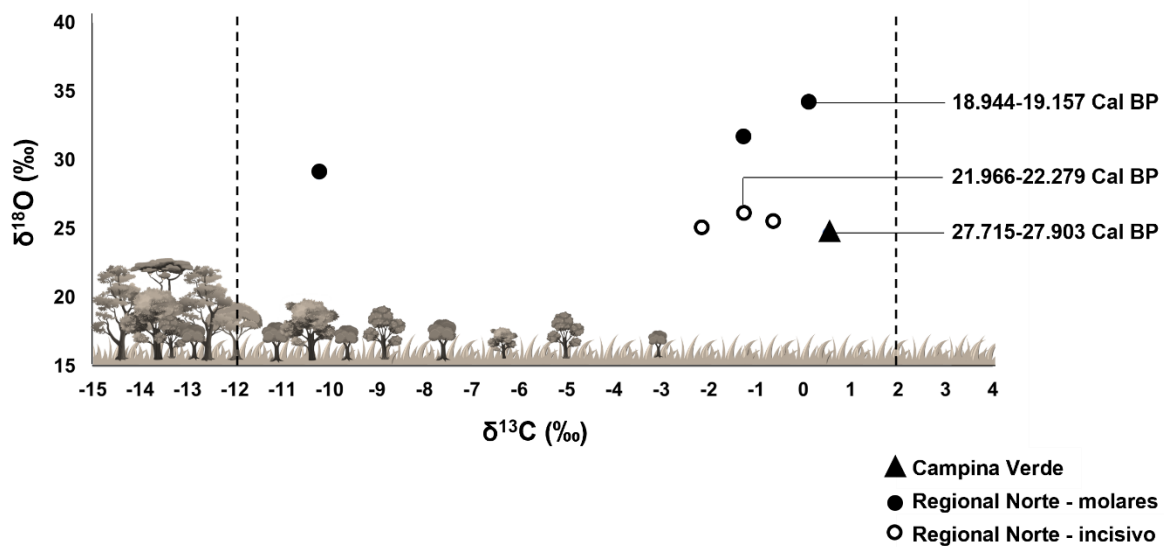
#### **4.3. Paleoecologia isotópica**

Os valores da razão isotópica de carbono obtidos para quase todos os espécimes indicam uma dieta mista composta de 70 a 90 % por plantas  $\text{C}_4$ , resultado similar ao encontrado para a espécie em outras localidades da Região Intertropical Brasileira. Segundo Omena et al. (2021), a razão isotópica de carbono média de *N. platensis* para o Pleistoceno tardio da RIB é de  $-1,9 \pm 2,6$  ‰, refletindo uma dieta mista com consumo majoritário de plantas  $\text{C}_4$  ( $p_i = 72$  %).

Sendo *N. platensis* caracterizado por uma alimentação generalista-oportunista, na qual a dieta segue a fitofisionomia do habitat (Mothé et al., 2017; Azevedo et al., 2020), pode-se inferir a ocorrência de uma savana aberta, com abundância de plantas  $\text{C}_4$ , tanto para a região do município de Campina Verde quanto para a Regional Norte de Minas durante o Último Máximo Glacial (Figura 5). Essa interpretação está em acordo com as reconstruções paleoambientais feitas a partir de análises palinológicas (Ferraz-Vicentini e Salgado-Labouriau, 1996; Behling e Lichte, 1997; Barberi et al., 2000) e isotópicas (Azevedo et al., 2021) para o mesmo período em localidades relativamente próximas.

Em Cromínia (Ferraz-Vicentini e Salgado-Labouriau, 1996), Águas Emendadas (Barberi et al., 2000) e Catas Altas (Behling e Lichte, 1997) os tipos polínicos mais abundantes no intervalo temporal de interesse correspondem a pólen de gramíneas (Gramineae), apontando a ocorrência de pastagens; já em estalagmites das cavernas Lapa sem Fim e Lapa Grande, na regional Norte de

Minas Gerais, foram encontrados valores de  $\delta^{13}\text{C}$  mais positivos entre 27 e 17,3 mil anos (cal AP), com média de aproximadamente 1,3‰, indicativo de vegetação esparsa (Azevedo et al., 2021).



**Figura 5.** Gráfico bivariado com valores  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  e  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  dos espécimes analisados de *Notiomastodon platensis* das mesorregiões Norte e Triângulo do estado de Minas Gerais, Brasil.

Um dos espécimes amostrados, porém, apresentou uma razão isotópica de carbono destoante dos demais. Apesar de ainda se enquadrar como um consumidor misto de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ , a dieta deste indivíduo foi constituída predominantemente por plantas  $\text{C}_3$  ( $p_i = 0,87\%$ ). Seu habitat, portanto, é inferido como um ambiente de transição entre floresta de baixa densidade e savana arbórea (Domingo et al., 2012), o que pode implicar tratar-se de um momento distinto, favorável à expansão de árvores e arbustos. A ocupação em paisagens com vegetação mais densa já é conhecida para a espécie; ao norte, por exemplo, mais especificamente nos estados do Acre e Rondônia, os valores de carbono obtidos de material fóssil de mastodontes são de  $-14,1 \pm 2,4\%$  e  $-15,0 \pm 1,1\%$ , respectivamente, indicando uma dieta especialista em plantas  $\text{C}_3$  e um ambiente de floresta de copa fechada e pastagens arborizadas – em acordo ao encontrado atualmente (Azevedo et al., 2021).

As razões isotópicas de oxigênio encontradas, por sua vez, indicam condições climáticas variadas. Apesar do consenso de que as temperaturas durante o Último Máximo Glacial na América do Sul eram menores do que nos dias atuais, há ainda controvérsias acerca das condições de umidade neste período (Sylvestre, 2009).

O valor associado à Campina Verde ( $\delta^{18}\text{O} = +24,7\%$ ) é o menor já obtido para *N. platensis* na Região Intertropical Brasileira durante o Pleistoceno e afasta-se do valor médio de  $+31,0 \pm 1,7\%$  atribuído à espécie na RIB (Omena et al., 2021). Considerando que valores menores (maiores) de  $\delta^{18}\text{O}$  estão relacionados à maior (menor) precipitação (Dansgaard, 1964), essa diferença sugere que

Campina Verde experienciou um ambiente mais úmido do que outras localidades da RIB durante o Pleistoceno tardio – ou pelo menos parte dele.

Esse resultado corrobora com o sugerido por Pansani et al. (2019) para o Mato Grosso do Sul (MS), onde o registro de valores de  $\delta^{18}\text{O}$  similares ao encontrado aqui ( $+24,6\pm 1,2\text{‰}$ ) para outras espécies (*Eremotherium laurillardi*, *Glyptotherium* sp., *Holmesina paulacoutoi* e *Toxodon platensis*) foi interpretado como um indicativo da influência de corredores de umidade amazônicos. Este argumento é sustentado pela existência do fenômeno Sistema de Monção da América do Sul (SMAS) associado à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que estabelece uma faixa de nebulosidade orientada do noroeste ao sudeste da América do Sul – partindo da bacia amazônica e estendendo-se para latitudes subtropicais – e é responsável pela precipitação de verão na região (Carvalho et al., 2004; Cruz et al., 2006).

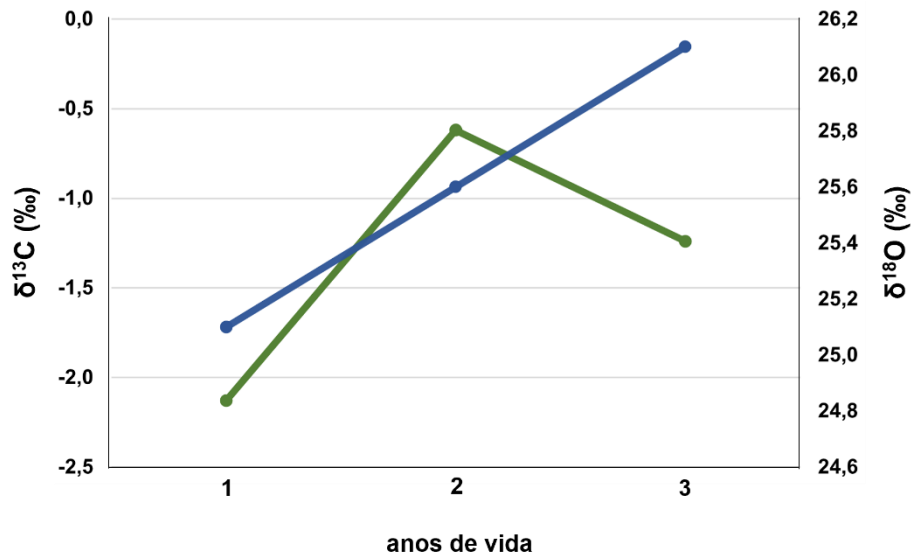
Condições de umidade similares são inferidas para a Regional Norte de Minas há 21.966 - 22.279 Cal anos AP com base nas razões de isótopos de oxigênio encontradas nas camadas de dentina do incisivo ( $\delta^{18}\text{O} = +25,6\pm 0,16\text{‰}$ ). Nos milênios seguintes, porém, observa-se um ambiente expressivamente mais seco para a mesma região ( $\delta^{18}\text{O} = +34,6\text{‰}$  em 18.944-19.157 Cal anos AP). Alguns dados palinológicos documentam essa mudança climática. Em Cromínia, por exemplo, os autores encontraram indícios de clima úmido entre aproximadamente 27.000 e 19.700 anos, com chuva mais abundante do que no presente; de 18.500 a 11.300 anos a umidade diminuiu, de modo que o clima na região tenha sido provavelmente mais seco do que atualmente (Ferraz-Vicentini e Salgado-Labouriau, 1996). Em Águas Emendadas, o período entre 25.790 e 21.450 anos foi caracterizado por clima úmido a semiúmido, mais frio que o presente. A partir de 21.000 anos, porém, a baixa concentração de palinóforos foi interpretada como indicativo de condições semiáridas (Barberi et al., 2000).

Os outros espécimes analisados apresentam valores intermediários ( $\delta^{18}\text{O} = +31,8$  e  $+29\text{‰}$ ) que implicam em condições climáticas comparativamente intermediárias, porém desassociadas de datações. Assim, há duas possibilidades a serem consideradas: estes indivíduos viveram em período distinto dos demais, com composição isotópica diferente nas fontes de água locais disponíveis ou, se compartilharam o mesmo espaço temporal, utilizavam distintas fontes de água, como rios (empobrecidos) ou lagos (enriquecidos).

Variações são observadas não só em escala de tempo maiores, na ordem dos milhares de anos, como também em intervalos anuais para um mesmo indivíduo. As análises sequenciais das camadas de incremento de dentina do incisivo estudado mostram um aumento no consumo de plantas  $\text{C}_4$  do primeiro ( $p_i = 70\%$ ) para o segundo ano ( $p_i = 81\%$ ), concomitante à uma ligeira diminuição na umidade. Essa tendência, porém, não se repetiu no ano seguinte, uma vez que a umidade continuou em queda e o consumo de plantas  $\text{C}_4$  também caiu ( $p_i = 77\%$ ; Figura 6) –



porém mantendo-se maior do que no primeiro ano. Cenário semelhante, de relativa estabilidade ambiental, foi encontrado por Dantas et al. (2022) para o Pleistoceno de Vitória da Conquista (BA), com base na análise de seis séries anuais de um incisivo de *N. platensis*. Os autores também geraram dados para o Holoceno de Coronel João Sá que, em contrapartida, registrou uma alta variação nos índices de precipitação ao longo dos seis anos amostrados.



**Figura 6.** Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  (linha verde) e  $\delta^{18}\text{O}$  (linha azul) da presa de *Notiomastodon platensis* oriunda da Regional Norte de Minas de 21.966-22.279 Cal BP.

Ambientes abertos, compostos majoritariamente por plantas  $\text{C}_4$ , apresentaram-se relacionados a condições climáticas distintas, de maior e menor umidade, com variação de até aproximadamente 10 ‰ no valor de isotópico de oxigênio. Além disso, a única inferência à ocorrência de vegetação mais densa não se mostrou associada a condição climática significativamente diferente das demais. A desassociação entre a dinâmica da vegetação e a hidrologia local pode ser discutida à luz das conclusões de Azevedo et al. (2021) de que outros fatores podem atuar como moduladores mais importantes do que a precipitação. O estudo conduzido na caverna Lapa sem Fim, na Regional Norte de Minas, analisou os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  registrados em estalagmites. No trabalho, os autores identificaram uma transição de vegetação esparsa no Último Máximo Glacial (UMG) para vegetação densa no Holoceno sob a mesma atividade do Sistema de Monções da América do Sul (SMAS). Propuseram, então, que o aumento do  $\text{CO}_2$  atmosférico durante a deglaciação, juntamente com possíveis feedbacks de temperatura e precipitação, desempenhou papel significativo na mudança da vegetação acima da caverna Lapa Sem Fim e, possivelmente, em outras regiões do cerrado.

## 5. Conclusão

Apesar de não incluir diagnoses, a descrição do material fóssil está em acordo com as características morfológicas atribuídas à única espécie de proboscídeo registrada no Brasil, *Notiomastodon platensis*. Assim, sua ocorrência é ampliada para uma nova localidade, o município de Campina Verde, e confirmada para localidades da Regional Norte de Minas Gerais de maneira mais robusta.

A análise de isótopos estáveis de carbono aponta dieta mista de plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> para todos os espécimes amostrados, porém com variação na proporção de recursos. Variações foram registradas, também, nas razões isotópicas de oxigênio, sugerindo diferentes condições climáticas entre as localidades, e em uma mesma localidade ao longo do tempo.

O indivíduo de Campina Verde, especialista em plantas C<sub>4</sub>, viveu há 27.715-27.903 Cal anos AP em uma savana aberta com abundância de plantas C<sub>4</sub>, sob condições relativas de maior umidade. A mesma fitofisionomia é inferida para a Regional Norte entre, pelo menos, 21.966-22.279 e 18.944-19.157 Cal anos AP. Um dos espécimes analisados, porém, apresentou valor de  $\delta^{13}\text{C}$  indicativo de floresta de baixa densidade e savana arbórea, o que pode implicar tratar-se de um momento distinto.

Uma considerável redução na umidade é inferida entre os períodos datados para a região, mudança essa registrada também por alguns dados palinológicos. Oscilações também foram percebidas em escala anual. As análises isotópicas sequenciais das camadas de dentina da presa indicam uma progressiva redução na umidade ao longo dos três anos, quanto o consumo de plantas C<sub>4</sub> aumentou do primeiro para o segundo ano, e diminuiu do segundo para o terceiro.

Uma percebida desassociação entre a dinâmica da vegetação e a hidrologia local corrobora com a ideia proposta por Azevedo et al. (2021) de que outros fatores podem atuar como moduladores mais importantes do que a precipitação em regiões do cerrado.

## Referências

- Alberdi, M.T., Cartelle, C., Prado, J.L., 2002. El registro de *Stegomastodon* (Mammalia, Gomphotheriidae) en el Pleistoceno superior de Brasil. *Rev. Esp. Paleo.* 17 (2), 217-235. <https://doi.org/10.7203/sjp.17.2.21569>
- Alberdi, M.T., Prado, J.L., Salas, R., 2004. The Pleistocene Gomphotheriidae (Proboscidea) from Peru. *N. Jb. Geol. Paleont. Abh.* 231, 423-452. <https://doi.org/10.1127/njgpa/231/2004/423>
- Asevedo, L., 2015. Paleoeecologia alimentar dos gonfotérios (proboscidea: mammalia) pleistocênicos da América do Sul. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro.
- Asevedo, L., D'Apolito, C., Misumi, S.Y., Barros, M.A., Barth, O.M., Avilla, L.S., 2020. Palynological analysis of dental calculus from Pleistocene proboscideans of southern Brazil: A new approach for paleodiet and paleoenvironmental reconstructions. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 540, 109523. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109523>
- Asevedo, L., Ranzi, A., Kalliola, R., Parssinen, M., Ruokolainen, K., Cozzuol, M.A., Nascimento, E.R., Negri, F.R., Souza-Filho, J.P., Cherkinsky, A., Dantas, M.A.T., 2021. Isotopic paleoecology ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ ) of late Quaternary herbivorous mammal assemblages from southwestern Amazon. *Quaternary Science Reviews*, 251, 106700. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106700>
- Asevedo, L., Winck, G.R., Mothé, D., Avilla, L.S., 2012. Ancient diet of the Pleistocene gomphothere *Notiomastodon platensis* (Mammalia, Proboscidea, Gomphotheriidae) from lowland mid-latitudes of South America: stereomicroscopy and tooth calculus analyses combined. *Quat. Int.* <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.08.037>
- Azevedo, V., Strikis, N.M., Novello, V.F., Roland, C.L., Cruz, F.W., Santos, R.V., Vuille, M., Utida, G., Andrade, F.R.D., Cheng, H., Edwards, R.L., 2021. Paleovegetation seesaw in Brazil since the Late Pleistocene: A multiproxy study of two biomes. *Earth and Plan. Sci. Let.* 563, 116880. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2021.116880>
- Barberi, M., Salgado-Labouriau, M.L., Suguio, K., 2000. Paleovegetation and paleoclimate of "Vereda de Águas Emendadas", central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 13, 241-254. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(00\)00022-5](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(00)00022-5)
- Behling, H., Lichte, M., 1997. Evidence of Dry and Cold Climatic Conditions at Glacial Times in Tropical Southeastern Brazil. *Quat. Res.* 48, 348-358. <https://doi.org/10.1006/qres.1997.1932>
- Bezuidenhout, A.J.; Seegers, C.D., 1996. The osteology of the African elephant (*Loxodonta africana*): vertebral column, ribs and sternum. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 63 (2), 131-147.

- Cartelle, C., 1999. Pleistocene mammals of the Cerrado and Caatinga of Brazil. In: Eisenberg, J.B., Redford, K.H. (Eds.), *Mammals of the Neotropics. The Central Neotropics*. University of Chicago Press, Chicago, pp. 27-46.
- Cartelle, C., 1989. Sobre uma pequena coleção de restos fósseis de mamíferos do Pleistoceno final – Holoceno de Janaúba (MG). In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 11. Curitiba. Anais, SBP.
- Carvalho, L.M.V., Jones, C., Liebmann B., 2004. The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall, *J. Clim.* 17, 88–108. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<0088:TSACZI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<0088:TSACZI>2.0.CO;2)
- Cherkinsky, A., 2009. Can we get a good radiocarbon age from “bad bone”? determining the reliability of radiocarbon age from bioapatite. *Radiocarbon* 51, 647–655. <https://doi.org/10.1017/S0033822200055995>
- Cione, A.L., Gasparini, G.M., Soibelzon, E., Soibelzon, L.H., Tonni, E.P., 2015. The great American biotic interchange: A South American perspective. Springer Netherlands, p 97. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9792-4>
- Coplen, T.B., 1994. Reporting of stable hydrogen, carbon, and oxygen isotopic abundances. *Pure Appl. Chem.* 66, 273–276. <https://doi.org/10.1351/pac199466020273>
- Cruz Jr., F.W., Burns, S.J., Karmann, I., Sharp, W.D., Vuille, M. 2006. Reconstruction of regional atmospheric circulation features during the late Pleistocene in subtropical Brazil from oxygen isotope composition of speleothems. *Earth and Planetary Science Letters*, 248, 495-507. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.06.019>
- Dantas, M.A.T, 2022. Estimating the body mass of the Late Pleistocene megafauna from the South America Intertropical Region and a new regression to estimate the body mass of extinct xenarthrans. *Journal of South American Earth Sciences*, 103900. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103900>
- Dantas, M.A.T., Cherkinsky, A., 2023. Interrelation of radiocarbon ages bone fractions in the Brazilian Intertropical Region. *Quaternary Research*. <https://doi.org/10.1017/qua.2023.19>
- Dantas, M.A.T., Cherkinsky, A., Bocherens, H., Drefahl, M., Bernardes, C., França, L. de M., 2017. Isotopic paleoecology of the Pleistocene megamammals from the Brazilian Intertropical Region: feeding ecology ( $\delta^{13}\text{C}$ ), niche breadth and overlap. *Quat. Sci. Rev.* 170, 152–163. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.06.030>
- Dantas, M.A.T., Liparini, A., Asevedo, L., França, L.M., Cherkinsky, A., 2022. Annual isotopic diet ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) of *Notiomastodon platensis* (Ameghino, 1888) from Brazilian Intertropical Region. *Quat. Int.* 610, 38-43. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.06.015>

- Dantas, M.A.T., Missagia, R.V., Dutra, R.P.; Raugust, T., Silva, L.A., Delicio, M.P., Renó, R., Cherkinsky, A., 2020. Isotopic paleoecology ( $\delta^{13}\text{C}$ ) from mammals from IUIU/BA and paleoenvironmental reconstruction ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) for the Brazilian intertropical region through the late Pleistocene. *Quat. Sci. Rev.* 242. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106469>
- Dantas, M.A.T., Xavier, M.C.T., França, L.M., Cozzuol, M.A., Ribeiro, A.S., Kinoshita, A., Baffa, O., 2013. A review of the time scale and potential geographic distribution of *Notiomastodon platensis* (Ameghino, 1888) in the late Pleistocene of South America. *Quat. Int.* 317, 73–79. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.06.031>
- Dansgaard, W., 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus* 16, 436–468.
- Domingo, L., Prado, J.L., Alberdi, M.T., 2012. The effect of paleoecology and paleobiogeography on stable isotopes of Quaternary mammals from South America. *Quat. Sci. Rev.* 55, 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.08.017>
- El Adli, J.J., Fisher, D.C., Cherney, M.D., Labarca, R., Lacombat, F., 2017. First analysis of life history and season of death of a South American gomphothere. *Quat. Int.* 443, 180–188. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.03.016>
- Fernandes, A.C.S., 2011. Fósseis misteriosos: os primeiros achados na história da paleontologia brasileira. In: Carvalho, I.S.; Srivastava, N.K.; Strohschoen Jr., O.; Lana, C.C. (eds.). *Cenários de Vida*. Rio de Janeiro: Interciência, 4, 785–793.
- Ferraz-Vicentini, K.R., Salgado-Labouriau, M.L., 1996. Palynological analysis of a palm swamp in Central Brazil. *Journal of South American Sciences* 9/3/4, 207–219. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(96\)00007-7](https://doi.org/10.1016/0895-9811(96)00007-7)
- Ferretti, M.P., 2010. Anatomy of *Haplomastodon chimborazi* (Mammalia, Proboscidea) from the late Pleistocene of Ecuador and its bearing on the phylogeny and systematics of South American gomphotheres. *Geodiversitas* 32 (4), 663–721. <https://doi.org/10.5252/g2010n4a3>
- Fisher, D.C., Cherney, M.D., Newton, C., Rountrey, A.N., Calamari, Z.T., Stucky, R.K., Lucking, C., Petrie, L., 2014. Taxonomic overview and tusk growth analyses of Ziegler Reservoir proboscideans. *Quaternary Research* 82 (3), 518–532. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2014.07.010>
- Fisher, D.C., 1996. Extinction of proboscideans in north America. In: Shoshani, J., Tassy, P. (Eds.), *The Proboscidea: Evolution and Palaeoecology of Elephants and Their Relatives*. Oxford University Press, Oxford, pp. 296–315.
- Fisher, D.C., 2001. Season of death, growth rates, and life history of North American mammoths. In: West, D. (Ed.), *Proceedings of the International Conference on Mammoth Site Studies*. *Publications in Anthropology* 22. University of Kansas, Lawrence, KS, pp. 121–135.

- França, L.M., Dantas, M.A.T., Bocchiglieri, A., Cherckinsky, A., Ribeiro, A.S., Bocherens, H., 2014. Chronology and ancient feeding ecology of two upper Pleistocene megamammals from the Brazilian Intertropical Region. *Quat. Sci. Rev.* 99, 78–83. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.04.028>
- Fricke, H., 2007. Stable isotope geochemistry of bonebed fossils: reconstructing paleoenvironments, paleoecology, and paleobiology. In: Rogers, R.R., Eberth, D.A., Fiorillo, A.R. (Eds.), *Bonebeds: Genesis, Analysis, and Paleobiological Significance*. The University of Chicago Press, pp. 437–490. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226723730.003.0008>
- Gomes, F.J.C., 1934. Os restos fósseis de Frutal. *Anais da Escola de Minas de Ouro Preto* 25, 57–65.
- Hogg, A.G., Heaton, T.J., Hua, Q., Palmer, J.G., Turney, C.S., Southon, J., Bayliss, A., et al., 2020. SHCal20 Southern Hemisphere calibration, 0–55,000 years cal BP. *Radiocarbon* 62, 759–778. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.59>
- Koch, P.L., 2007. Isotopic study of the biology of modern and fossil vertebrates. In: Michener, R., Lajtha, K. (Eds.), *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. 2ª Edição. Blackwell Publishing, pp. 99–154. <https://doi.org/10.1002/9780470691854.ch5>
- Levins, R., 1968. *Evolution in Changing Environments*. Princeton University Press, New Jersey. <https://doi.org/10.1515/9780691209418>
- Lopes, R.P., Ribeiro, A.M., Dillenburg, S.R., Schultz, C.L., 2013. Late middle to late Pleistocene paleoecology and paleoenvironments in the coastal plain of Rio Grande do Sul State, Southern Brazil, from stable isotopes in fossils of *Toxodon* and *Stegomastodon*. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 369, 385–394. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.10.042>
- MacFadden, B.J., Cerling, T.E., Harris, J.M., Prado, J., 1999. Ancient latitudinal gradients of C<sub>3</sub>/C<sub>4</sub> grasses interpreted from stable isotopes of New World Pleistocene horse (*Equus*) teeth. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 8, 137–149. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.1999.00127.x>
- MacFadden, B.J., 2005. Diet and habitat of toxodont megaherbivores (mammalia, notoungulata) from the late quaternary of South and Central America. *Quat. Res.* 64, 113–124. <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2005.05.003>
- Marcon, G.T.G., 2007. Contribuição ao estudo dos Proboscidea (Mammalia, Gomphotheriidae) do quaternário do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Marshall, J.D., Brooks, J.R., Lajtha, K., 2007. Sources of variation in the stable isotopic composition of plants. In: Michener, K. (Ed.), *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*, second ed. Blackwell Publishing, Malden, MA, pp. 22–60. <https://doi.org/10.1002/9780470691854.ch2>

- Monteiro, C.A., 1998. Novas ocorrências de mamíferos Pleistocênicos no Norte de Minas Gerais (Brasil). *Acta Geológica Leopoldensia* 21, 137-147.
- Mothé, D., Avilla, L.S., 2015. Mythbusting evolutionary issues on South American Gomphotheriidae (Mammalia: Proboscidea). *Quaternary Sci Rev* 110, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.12.013>
- Mothé, D., Avilla, L.S., Asevedo L., Borges-Silva L., Rosas M., Labarca-Encina R., Souberlich R., Soibelzon E., Roman-Carrion J.L., Ríos S.D., Rincon A.D., Oliveira G.C., Lopes R.P., 2017. Sixty years after ‘the mastodons of Brazil’: the state of the art of South American proboscideans (Proboscidea, Gomphotheriidae). *Quat. Int.* <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.08.028>
- Mothé, D., Avilla, L.S., Cozzuol, M., Winck, G.R., 2012. Taxonomic revision of the quaternary gomphotheres (mammalia: proboscidea: gomphotheriidae) from the south American lowlands. *Quat. Int.* 276, 2-7. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.05.018>
- Mothé, D., Avilla, L.S., Winck, G.R., 2010. Population structure of the gomphothere *Stegomastodon waringi* (Mammalia: Proboscidea: Gomphotheriidae) from the Pleistocene of Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 82, 983-996. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652010000400020>
- Mothé, D., Avilla, L.S., Araújo-Júnior, H.I., Rotti, A., Prous, A., Azevedo, S.A.K., 2020. An artifact embedded in an extinct proboscidean sheds new light on human-megafaunal interactions in the Quaternary of South America. *Quat. Sci. Rev.* 229. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.106125>
- Omena, E.C.; Silva, J.L.L.; Sial, A.N.; Cherkinsky, A.; Dantas, M.A.T., 2020. Late Pleistocene meso- megaherbivores from Brazilian Intertropical Region: isotopic diet ( $\delta^{13}\text{C}$ ), niche differentiation, guilds and paleoenvironmental reconstruction ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ). *Hist. Biol.* <https://doi.org/10.1080/08912963.2020.1789977>
- Pansani, T.R., Muniz, F.P., Cherkinsky, A., Pacheco, M.L.A.F., Dantas, M.A.T., 2019. Isotopic paleoecology (d13C, d18O) of late Quaternary megafauna from Mato Grosso do Sul and Bahia states, Brazil. *Quat. Sci. Rev.* 221 (2019), 105864. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.105864>
- Phillips, D.L., 2012. Converting isotope values to diet composition: the use of mixing models. *J. Mammal.* 93 (2), 342-352. <https://doi.org/10.1644/11-MAMM-S-158.1>
- Pianka, E.R., 1973. The structure of lizard communities. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 4, 53-74. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000413>
- Pinto, A.D.P., 1986. Nota sobre a ocorrência de *Haplomastodon waringi* (Holand) em Francisco Sá (MG) Brasil. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 9, Fortaleza. Resumos SBP, 149.

- Reimer, P.J., et al., 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62(4), 725-757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Sánchez, B., Prado, J.L., Alberdi, M.T., 2004. Feeding ecology, dispersal, and extinction of South American Pleistocene gomphotheres (gomphotheriidae, proboscidea). *Paleobiology* 30, 146-161. [https://doi.org/10.1666/0094-8373\(2004\)030<0146:FEDAEO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1666/0094-8373(2004)030<0146:FEDAEO>2.0.CO;2)
- Simpson, G.G., Paula-Couto, C., 1957. The mastodonts of Brazil. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 112, 125-190.
- Smuts, M.M.; Bezuidenhout, A.J., 1993. Osteology of the thoracic limb of the African elephant (*Loxodonta africana*). *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 60 (1), 1-14.
- Smuts, M.M.; Bezuidenhout, A.J., 1994. Osteology of the pelvic limb of the African elephant (*Loxodonta Africana*). *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 61 (1), 51-56.
- Spix, J.B., Martius, C.F.P., 1828. *Reise in Brasilien anf Betehl. Munchen*, p. 884.
- Sylvestre, F., 2009. Moisture Pattern During the Last Glacial Maximum in South America. In: Vimeux, F., Sylvestre, F., Khodri, M. (eds) *Past Climate Variability in South America and Surrounding Regions. Developments in Paleoenvironmental Research*, 14, 3–27. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-2672-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2672-9_1)
- Tassy, P., 1996. Dental homologies and nomenclature in the Proboscidea. In: Shoshani, J., Tassy, P. (Eds.), *The Proboscidea. Evolution and Palaeoecology of Elephants and Their Relatives*. Oxford University Press, Oxford, pp. 39-48.
- Tejada-Lara, J.V., MacFadden, B.J., Bermudez, L., Rojas, G., Salas-Gismondi, R., Flynn, J.J., 2018. Body mass predicts isotope enrichment in herbivorous mammals. *Proc. R. Soc. B* 285, 20181020. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1020>
- Uno, K.T., Fisher, D.C., Schuster, G., Wittemyer, G., Douglas-Hamilton, I., Omondi, P., Litoroh, M., Cerling, T.E., 2020. High-resolution stable isotope profiles of modern elephant (*Loxodonta africana*) tusk dentin and tail hair from Kenya: implications for identifying seasonal variability in climate, ecology, and diet in ancient proboscideans. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 559. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.109962>
- Zazzo, A., 2014. Bone and enamel carbonate diagenesis: a radiocarbono prospective. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 416, 168–178. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.05.006>