

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

ÉRICA CAVALCANTE OMENA

**UTILIZAÇÃO DE ISÓTOPOS DE C, O E N COMO FERRAMENTA PARA
AVALIAR A DIETA E HABITAT DE MAMÍFEROS PLEISTOCÊNICOS DO
SEMIÁRIDO DOS ESTADOS DE ALAGOAS E PERNAMBUCO, NORDESTE DO
BRASIL**

RECIFE/2015

ÉRICA CAVALCANTE OMENA

**UTILIZAÇÃO DE ISÓTOPOS DE C, O E N COMO FERRAMENTA PARA
AVALIAR A DIETA E HABITAT DE MAMÍFEROS PLEISTOCÊNICOS DO
SEMIÁRIDO DOS ESTADOS DE ALAGOAS E PERNAMBUCO, NORDESTE DO
BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pelo Prof. Dr. Alcides Nóbrega Sial, como preenchimento parcial dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Geociências, área de concentração Geologia Sedimentar e Ambiental.

RECIFE/2015

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

- O55u Omena, Érica Cavalcante.
Utilização de isótopos de C, O e N como ferramenta para
Avaliar a dieta e habitat de mamíferos pleistocênicos do Semiárido
dos Estados de Alagoas e Pernambuco, nordeste do Brasil / Érica
Cavalcante Omena. - Recife: A Autora, 2015.
42folhas, Il. e Tab..
- Orientador: Prof. Dr. Alcides Nobrega Sial.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação Geociências, 2015.
Inclui Referências, e Apêndices.
1. Geociências. 2. Isótopos. 3. Mamíferos pleistocênicos. 4. Dieta
I. Sial, Alcides Nobrega. (Orientador). II. Título.
- UFPE
- 551 CDD (22. ed.) BCTG/2015-226

**UTILIZAÇÃO DE ISÓTOPOS DE C, O E N COMO FERRAMENTA PARA
AVALIAR A DIETA E HABITAT DE MAMÍFEROS PLEISTOCÊNICOS DO
SEMIÁRIDO DOS ESTADOS DE ALAGOAS E PERNAMBUCO, NORDESTE DO
BRASIL**

Érica Cavalcante Omena

APROVADA

Alcides Nobrega Sial

31 de Julho de 2015

Edison Vicente Oliveira

31 de Julho de 2015

Ramsés Capilla

31 de Julho de 2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela saúde, pelas oportunidades e pelos anjos da guarda na forma de pessoas queridas no meu caminho;

À CAPES, pela bolsa de estudos que possibilitou a concretização deste mestrado;

Ao meu orientador, Prof. Alcides N. Sial, por todo o aprendizado que tem me proporcionado, cuja contribuição extrapola o desenvolvimento profissional quando através do próprio exemplo nos dá lições de vida;

À Prof^a. Valderez Ferreira e a toda equipe do NEG-LABISE por compartilharem leveza e alegria. A Gilsa Santana e Vilma Sobral, pelas análises isotópicas realizadas, a Daysi Araújo, Paulina Severina, Mariucha, Thyego e Bruna pelo companheirismo. A todos vocês, que muito além de colegas de trabalho, se tornaram grandes amigos;

Ao Prof. Jorge Luiz Lopes da Silva e Ana Paula Lopes por todas as contribuições ao meu trabalho e ao meu desenvolvimento pessoal;

À Prof. Alcina Magnólia, ao Prof. Eduardo De Oliveira e à Dra. Sônia Agostinho, que foram apoios importantes e decisivos nesta trajetória;

Aos professores, funcionários e amigos do Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFPE, com destaque para Yumi Asakura, Anderson Lino, Cícero Vicente, Juliana Guzman, Paula Sucerquia e Cristian Usman.

Aos meus pais, Nadja C. Omena e José Antônio W. Omena, a minha irmã, Ilka Omena, e ao meu tio, Edvaldo Bento Cavalcante, pelas lições de vida, pelos valores, pelas bases que formam meu caráter e pelo apoio incondicional à minha educação e formação profissional;

A Natan Silva Pereira, pelo carinho, cuidado, incentivo e força que me impedem de fraquejar e me fazem erguer o olhar e caminhar sempre em frente;

A minha tia Laura e meus primos Jefferson, Juliana, Janaína, Jurandir, Júlia, Thiago e Sophia, pelo apoio e carinho;

A todos os meus amigos e amigas do coração que contribuíram de forma direta ou indireta para o meu desenvolvimento profissional e que são sempre fonte de apoio emocional.

RESUMO

Informações biogeoquímicas extraídas do esmalte de dentes têm se mostrado uma importante ferramenta na investigação da paleoecologia de organismos extintos nas últimas décadas. Isótopos estáveis tradicionais (C, O, N e S) servem como proxies para diferentes parâmetros ecológicos (e.g. dieta, temperatura, nível trófico) que auxiliam em reconstruções de ambientes pretéritos. $\delta^{13}\text{C}$ em bioapatita e em colágeno dos ossos de mamíferos estão relacionados à dieta e são utilizados na reconstituição de preferências e disponibilidade de recursos alimentares. Amostras de esmalte dentário e ossos dos mamíferos pleistocênicos *Toxodon* sp., *Eremotherium laurillardi*, *Hippidion* sp., *Xenorhinotherium bahiense*, *Notiomastodon platensis* e cervídeo do Semiárido dos Estados de Alagoas e Pernambuco tiveram suas razões de isótopos de carbono, oxigênio e nitrogênio avaliados com o objetivo de inferir suas paleodietas e parâmetros ecológicos que permitam uma reconstituição do paleoambiente. Os dados indicam que a maioria das espécies tinham uma alimentação composta por vegetação mista, com plantas C_3 e C_4 em ambas as regiões. Cervídeo, *X. bahiense* e *Hippidion* se alimentavam predominantemente de C_3 . Estes resultados indicam um ambiente com vegetação mista com predominância de plantas do tipo C_4 , que são típicas de ambientes secos com baixa disponibilidade de água no solo, sugerindo que a vegetação destas regiões era similar à atual caatinga. As análises de $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ e $\delta^{15}\text{N}$ mostraram que o colágeno não resistiu à diagênese, exceto por uma amostra de *E. laurillardi*, que corrobora com uma alimentação mista com predominância de plantas C_4 .

Palavras chave: Isótopos. Mamíferos pleistocênicos. Dieta.

ABSTRACT

Stable isotopes in tooth enamel and bone collagen are an important tool in the investigation of the paleoecology of extinct organisms and are applied as proxies for different environmental parameters (e.g, diet, temperature, trophic level) that assist in reconstitutions of past environments. $\delta^{13}\text{C}$ in bioapatite and bone collagen of mammals is related to diet and are widely used to reconstruct food preferences and food resources availability. Enamel and bone samples of Pleistocene *Toxodon* sp., *Eremotherium laurillardi*, sp., *Hippidion* sp., *Xenorhinotherium bahiense*, *Notiomastodon platensis* e cervidae from the semiarid of Alagoas and Pernambuco States in Brazil, on latitude 9° S, had $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{16}\text{O}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysed to infer their paleodiet and ecological parameters that allow a reconstruction of past environment. Our data indicate that majority species had mixed diet of C_3 and C_4 in booth regions. Cervidae, *X. bahiense* and *Hippidion* fed mainly on C_3 plants. These results indicate an environment with mix vegetation with predominance of C_4 plants, which are typical of arid environments with low water availability in the soil, suggesting that the area at the time was similar to the current in more arid and open areas of the scrub savannah. $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ e $\delta^{15}\text{N}$ showed that collagen did not resist to diagenesis and only one *E. laurillardi* sample showed that this specie fed on C_4 plants.

Key words: Isotopes. Pleistocenic mammals. Diet.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização dos Municípios de onde são provenientes os materiais analisados.	18
Figura 2. Reconstituição de um mastodonte.....	19
Figura 3. Desenho de paleolhama, à esquerda, e uma preguiça gigante, à direita	20
Figura 4. Representação de <i>Xenohinotherium</i>	21
Figura 5. Relação entre $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ e $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ dos taxa estudados.	25
Figura 6. Relação entre $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ na espécie <i>Eremotherium laurillardi</i>	26
Figura 7. Relação entre $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ na espécie <i>Notiomastodon platensis</i>	27
Figura 8. Relação entre $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ na espécie <i>Toxodon platensis</i>	27
Figura 9. Relação entre $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ para o gênero <i>Hippidion</i>	28

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REVISÃO DA LITERATURA	10
1.1. Isótopos de Carbono	10
1.2. Isótopos de oxigênio	12
1.3. Isótopos de Nitrogênio	13
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
2.1. Área de estudo	16
2.2. Breve descrição das espécies	19
2.3. Análise isotópica	21
2.3.1. Análise de isótopos de oxigênio e carbono da hidroxiapatita	21
2.3.2. Análise de isótopos de nitrogênio e carbono orgânico.....	22
3. RESULTADOS	24
3.1. Isótopos de carbono	24
3.2. Isótopos de oxigênio	26
3.3. Isótopos de Nitrogênio e Carbono orgânico	28
4. DISCUSSÃO	29
4.1. Isótopos de Carbono	29
4.2. Isótopos de Oxigênio	34
4.3. Isótopos de Nitrogênio e Carbono orgânico	35
5. CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS	37
APÊNDICE A – TABELA 1	42
APÊNDICE B – TABELA 2	45

1. INTRODUÇÃO

Informações biogeoquímicas extraídas do esmalte de dentes têm se mostrado uma importante ferramenta na investigação da paleoecologia de organismos extintos nas últimas décadas. Isótopos estáveis tradicionais (C, O, N e S) servem como “proxies” para diferentes parâmetros ecológicos (e.g. dieta, temperatura, nível trófico) que auxiliam em reconstruções de ambientes pretéritos (BRYANT et al., 1996; HOPPE et al., 2004; SPONHEIMER; LEETHORP, 2001).

Dentre os isótopos estáveis tradicionais, os isótopos de C, O e N são os mais utilizados como indicadores paleobiológicos e paleoclimatológicos (PALMQVIST et al., 2003; KOCH, 1998; MACFADDEN, 2005). Os mamíferos apresentam grande potencial na reconstrução de paleoambientes, uma vez que possuem hábitos alimentares característicos e exigências por determinadas espécies de plantas, possibilitando deduções quanto à vegetação e ao ambiente no qual viveram (SILVA, 2009).

Dentes e ossos de megafauna tem sido utilizado com mais frequência por serem mais resistentes à diagênese, de modo que, análises geoquímicas do esmalte do dente e da dentina de herbívoros fósseis fornecem informações sobre as dietas e habitats desses organismos (CERLING et al., 1997; KOCH, 1998; KOHN, 1999; MACFADDEN, 2000). O esmalte dos dentes se destaca na reconstrução de dietas por ser minimamente suscetível à diagênese (CERLING; HARRIS, 1999), devido à sua constituição muito mineralizada e pouco porosa, composta principalmente de hidroxiapatita (KOCH, 1998).

Portanto, a interpretação de dados isotópicos extraídos de esmaltes dentários constitui uma ferramenta bastante útil na compreensão da ecologia das espécies e da dinâmica ambiental ao longo do tempo. Por isso, este trabalho busca reconstruir a dieta e o habitat de animais pleistocênicos que viveram no semiárido alagoano e pernambucano por meio de análise isotópica do esmalte, dentina e ossos, utilizando $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{15}\text{N}$.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Estudos de paleodietas são importantes na reconstrução da ecologia e do clima de ambientes passados (CERLING; HARRIS, 1999). Razões de isótopos estáveis em tecidos animais podem ser usadas para reconstruir hábitos alimentares (HOBSON; CLARK, 1992), para traçar movimentos de migração, para acessar condições fisiológicas (HOBSON; SEASE, 1998) e para determinar o destino dos nutrientes assimilados no animal (TIESZEN et al., 1983; TIESZEN; FAGRE, 1993).

De todas as fases de apatita biogênica (osso, dentina e esmalte), o esmalte tem demonstrado ser o mais resistente a alterações diagenéticas da assinatura primária do carbono (QUADE et al., 1992; WANG; CERLING, 1994). Porém, a apatita dos ossos e da dentina também pode conservar o sinal isotópico primário do carbono sob circunstâncias favoráveis (LEE-THORP, 2002).

Estudos de ossos fósseis indicam que a apatita dos ossos é um registro pobre das dietas devido à recristalização e às trocas isotópicas durante a diagênese (AYLIFFE et al., 1994; WANG; CERLING, 1994; CERLING; SHARP, 1996). O esmalte dentário é muito mais resistente à diagênese que a dentina e o tecido ósseo, nesta ordem (QUADE et al., 1992; WANG; CERLING, 1994; CERLING; SHARP, 1996). Há menos entusiasmo com o uso dos isótopos de oxigênio nos carbonatos da apatita biogênica devido à preocupação de que os valores de $\delta^{18}\text{O}$ são facilmente alterados durante a diagênese (CERLING; SHARP, 1996). Porém, demonstrou-se que o esmalte conserva o sinal isotópico original (WANG; CERLING, 1994).

Conhecendo-se as possibilidades oferecidas pelo estudo de isótopos estáveis no esmalte e na dentina de dentes de mamíferos, pretende-se analisar as razões isotópicas de carbono e oxigênio e inferir a dieta de diferentes espécies da megafauna pleistocênica distribuídas no semiárido alagoano, no intuito de determinar o habitat destes grandes mamíferos e as mudanças ambientais ocorridas desde então.

1.1. Isótopos de Carbono

O carbono está presente em tecidos mineralizados de animais vertebrados tanto na forma mineral (hidroxiapatita: 2 a 5% de carbonato), na forma de apatita biogênica no esmalte dentário mineralizado e nos ossos, como na forma orgânica (cerca de 90% de colágeno na dentina e nos ossos) fazendo parte da composição das proteínas, como o colágeno da dentina (BOCHERENS et al., 1994; LEE-THORP et al., 1989).

$\delta^{13}\text{C}$ em bioapatita de mamíferos está relacionada à dieta, a qual é preservada em escalas de tempo arqueológicas e geológicas, e é amplamente utilizada para reconstruir as preferências alimentares e disponibilidade de recursos alimentares para diferentes mamíferos (KOCH, 1998).

O suporte para a utilização de isótopos de carbono na reconstrução da dieta de mamíferos extintos é o grau em que as plantas consumidas, que constituem a fonte primária de carbono para os herbívoros, fracionam isótopos de carbono durante a fotossíntese (FOX; FISHER, 2004). Deste modo, é possível a realização de reconstruções florísticas de ambientes, baseando-se no fato de que plantas que serviam de alimento para os herbívoros realizam a fotossíntese por diferentes vias metabólicas que produzem diferentes valores de $\delta^{13}\text{C}$ (MACFADDEN, 2005), sendo classificadas em plantas C3, C4 e CAM, de acordo com a via metabólica utilizada para a fixação do CO_2 atmosférico.

As plantas C3 representam aproximadamente 85% dos biomas vegetais terrestres e se diferenciam das plantas CAM e C4 por realizarem a fotossíntese através do ciclo de Calvin-Benson ou ciclo de fosfato de pentose C3. No decorrer deste ciclo, o hidrogênio proveniente da quebra de moléculas de água e capturados pelo NADP (nicotinamida-adenina-dinucleotídeo-fosforado), formando NADPH₂ e ATP (trifosfato de adenosina) provenientes das reações de fotofosforilação, são utilizados para produzir açúcares a partir de moléculas de CO_2 . O açúcar produzido contém três átomos de carbono e é chamado gliceraldeído 3-fosfato, o que dá a denominação às plantas C3. Posteriormente, duas moléculas deste açúcar se unem para formar uma molécula de glicose (AMABIS; MARTHO, 1999). As plantas com metabolismo do tipo C4 reduzem o CO_2 através do ciclo do ácido dicarboxílico C4. Estas plantas, além de utilizar a via de Calvin-Benson, fixam o CO_2 em compostos de quatro carbonos, como malato e aspartato, por isso o nome das plantas C4 (SILVA, 2009). Em geral, as plantas preferem utilizar $^{12}\text{CO}_2$ a $^{13}\text{CO}_2$. As enzimas utilizadas nos ciclos em cada tipo de planta, porém, levam a diferentes fracionamentos. Plantas C3 utilizam a enzima ribulose 1,5-bifosfato carboxilase que prefere $^{12}\text{CO}_2$, enquanto as plantas C4 utilizam fosfoenolpiruvato carboxilase que seleciona menos entre $^{12}\text{CO}_2$ e $^{13}\text{CO}_2$ (PALMQVIST et al., 2003). Como consequência, plantas C4 apresentam $\delta^{13}\text{C}$ entre -15‰ e -7‰, enquanto as plantas C3 apresentam $\delta^{13}\text{C}$ entre -21 e -34‰. As plantas CAM, por poderem realizar a fotossíntese por ambas as vias, apresentam $\delta^{13}\text{C}$ que podem cobrir todo o intervalo da razão isotópica do ^{13}C das C3 e C4 (PALMQVIST et al., 2003).

O metabolismo e a biomineralização fracionam o carbono ingerido através das plantas, de modo que o esmalte dentário é enriquecido em ^{13}C em aproximadamente 14‰. Sugere-se

que herbívoros que se alimentam exclusivamente de plantas do tipo C3 apresentam $\delta^{13}\text{C}$ entre -16‰ e -8‰, enquanto aqueles cuja dieta é baseada exclusivamente em plantas C4 apresentam $\delta^{13}\text{C}$ entre -2‰ e +3‰. Os valores intermediários definem a dieta mista, composta por plantas do tipo C3 e C4 (PALMQVIST et al., 2003; LEE-THORP et al., 1989; CERLING; HARRIS, 1999).

Wang e Cerling (1994) realizaram análises de $\delta^{13}\text{C}$ em apatita de esmalte fóssil de mamíferos plio-pleistocênicos, e mostraram que este tecido retém o sinal biogênico associado com o consumo de vegetação do tipo C3 ou C4 no paleoambiente. É possível, ainda, estimar as proporções relativas entre plantas C3 e C4, com algum grau de incerteza na proporção exata devido a variações específicas de cada ambiente na composição das plantas (FOX; FISHER, 2004).

$\delta^{13}\text{C}$ medida em colágeno reflete principalmente a abundância de isótopos de carbono das proteínas consumidas enquanto o carbonato da hidroxiapatita reflete a média isotópica do carbono de todo o conjunto alimentar, como aminoácidos, carboidratos e lipídios (AMBROSE; NORR, 1993). A composição isotópica do Carbono nestas diferentes frações bioquímicas apresentam variações dentro de uma dieta, de modo que os lipídios são empobrecidos em $\delta^{13}\text{C}$ em relação aos carboidratos enquanto os aminoácidos são enriquecidos em $\delta^{13}\text{C}$ em relação aos carboidratos (DENIRO; EPSTEIN, 1978). A diferença entre as razões isotópicas do carbono no colágeno e no carbonato da hidroxiapatita de um mesmo indivíduo também se refere ao nível trófico do animal, pois herbívoros consomem principalmente carboidratos enquanto os carnívoros tem dietas enriquecidas em aminoácidos e lipídios (AMBROSE; KRIGBAUM, 2003; LEE-THORP et al., 1989). Por isso, a diferença entre a razão isotópica de carbono no colágeno e no carbonato da hidroxiapatita de um mesmo indivíduo é maior em herbívoros do que em carnívoros, e intermediária em onívoros (LEE-THORP et al., 1989).

1.2. Isótopos de oxigênio

Os valores de isótopos de oxigênio nos minerais biogênicos são formados em equilíbrio isotópico com a água corporal e refletem a temperatura de formação do mineral e $\delta^{18}\text{O}$ da água do corpo do animal (KOCH, 1998).

A razão isotópica do O do esmalte dentário dos vertebrados reflete valores de $\delta^{18}\text{O}$ da água corporal, cuja composição é influenciada pelo valores de $\delta^{18}\text{O}$ do ar, da água consumida diretamente e a água ingerida indiretamente através dos alimentos (PALMQVIST et al.,

2003), possibilitando interpretações sobre a origem da água consumida pela fauna local (AYLIFFE et al., 1994; KOHN et al., 1996; SPONHEIMER; LEE-THORP, 2001), como mostraram Sponheimer e Lee-Thorp (1999) através da hidroxiapatita do esmalte dentário de mamíferos sul africanos, a importância dos isótopos de O na determinação da fonte da água ingerida pelo animal.

Embora o oxigênio esteja presente no esmalte dentário tanto sob forma de fosfato como carbonato e $\delta^{18}\text{O}$ de ambos estarem relacionados (BRYANT; FROELICH, 1995; BRYANT et al., 1996; IACUMIN et al., 1996), a maioria dos estudos da composição isotópica de oxigênio tem focado no oxigênio do fosfato porque a ligação química entre o P e o O é muito mais forte que a ligação C-O. De fato, a ligação P-O é tão forte que procedimentos mais lentos e mais potentes quimicamente são necessários para extrair o oxigênio e convertê-lo em CO_2 para análises isotópicas. Isto sugere que o oxigênio do fosfato é menos suscetível aos processos diagenéticos que o oxigênio do carbonato. Estudos mostram que os sinais isotópicos nos ossos são gravemente alterados devido à alta porosidade e pouco mineralizado (WANG; CERLING, 1994). Estudos posteriores mostram que sinais de oxigênio podem ser conservados em carbonatos de esmaltes antigos por este ser muito mais denso e mais mineralizado que os ossos (SPONHEIMER; LEE-THORP, 1999).

1.3. Isótopos de Nitrogênio

Segundo Schoeller (1999), 98% do nitrogênio tanto do corpo como da dieta fazem parte da estrutura das proteínas e dos aminoácidos que as sintetizam. Os 2% restantes estão nos ácidos nucleicos, ureia e amônia. A proteína nos tecidos dos consumidores tem valor $\delta^{15}\text{N}$ mais elevado que o da proteína consumida (AMBROSE; DENIRO, 1986), o que pode ser explicado por fracionamento do nitrogênio pelas enzimas responsáveis pela aminação e transaminação (MACKO et al., 1986) pois as enzimas de desaminação preferem o ^{14}N , tornando a amônia, o ácido úrico e a ureia mais leve que as proteínas da dieta e do corpo do animal (GANNES; MARTI, 1998; GANNES et al. 1997). Devido a este fracionamento se chegou à conclusão de que quanto maior o nível trófico na cadeia alimentar mais enriquecidos em ^{15}N serão os seus tecidos (MINAGAWA; WADA, 1984).

$\delta^{15}\text{N}$ mostra valores enriquecidos em 2 a 5‰ a cada nível trófico (DENIRO; EPSTEIN, 1981; DENIRO; SCHOENIGER, 1983; PRICE et al., 1985). Porém, condições ambientais como aridez também tem o poder de alterar os valores de $\delta^{15}\text{N}$. Além disso, há uma grande variação nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre o colágeno da dentina e dos ossos em

mamíferos, pois o animal apresenta valores de $\delta^{15}\text{N}$ mais altos quando está sendo amamentado. A dentina, que é formada ainda durante a fase de amamentação, apresenta valores mais altos que o colágeno dos ossos, que mostra os valores da alimentação na fase adulta (BOCHERENS et al., 1994).

Os tecidos de animais famintos mostram um aumento progressivo na $\delta^{15}\text{N}$ na forma de massa corporal magra (HOBSON et al, 1993), pois o animal utiliza seus próprios tecidos como fonte de energia, levando a um mecanismo de fracionamento de N igual àquele que diferencia os níveis tróficos (GANNES et al., 1997). Por esta razão, mudanças na composição dos isótopos de N nos tecidos animais podem ser utilizados como indicadores de mudanças nas condições corporais (HOBSON et al., 1993).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para este trabalho foram analisados espécimes da coleção de vertebrados do Setor de Geologia e Paleontologia do Museu de História Natural da Universidade Federal de Alagoas (SGP-MHN-UFAL) e da coleção de vertebrados do Setor de Paleontologia da Universidade Federal de Pernambuco. Os números de tombamento serão apresentados ao lado de cada espécime analisado, e um código de controle para as análises foi atribuído a alguns espécimes da coleção do SGP-MHN-UFAL que ainda não estavam tombados. O material consistiu em ossos e fragmentos de dentes, com apenas algumas exceções em que exemplar estava bem preservado em suas principais características morfológicas.

Foram analisadas nove amostras de ossos e seis de esmalte da espécie *Eromotherium laurillardi*, oito de *Toxodon platensis*, oito de esmalte e três de ossos de *Notiomastodon platensis* e uma amostra de esmalte de *Xenorhinotherium baiense* para o Estado de Alagoas. Para o Estado de Pernambuco, foram analisadas seis ossos de *E. laurillardi*, dez amostras de esmalte de *Notiomastodon platensis*, uma de esmalte de cervídeo não identificado e três de esmalte de *Hippidion* sp., totalizando, portanto, vinte e um amostras de *E. laurillardi*, vinte e um de *N. platensis*, oito de *T. platensis*, uma de *X. baiense*, três de *Hippidion* e uma de cervídeo.

No Estado de Alagoas, o material é proveniente dos municípios de Cacimbinhas, Delmiro Gouveia, Inhapi, Olho D'Água do Casado, Piranhas, Maravilha, Poço das Tricheiras e São José da Tapera. Destes, apenas o material de Maravilha e de Poço das Trincheiras foram datados em trabalhos anteriores. Em Maravilha, as idades conhecidas são de 10.816 ± 1.914 e 42.972 ± 3.689 anos A.P (SILVA, 2009).

Em Pernambuco, os municípios de origem do material analisado são São Bento do Una, Brejo da Madre de Deus e Santa Cruz do Capibaribe. Destes, somente Brejo da Madre de Deus possui material datado, com idades que vão de 71.000 ± 15.000 B.P. a 66.000 ± 15.000 , situando os fósseis no período interestadial do Último Máximo Glacial (UMG – aproximadamente 60.000 A.P.) (SILVA, 2013). Portanto, o período considerado neste trabalho será o Pleistoceno Tardio a início do Holoceno.

Todas estas localidades estão na Região Intertropical Brasileira, definida com a região situada entre as latitudes 6°S e 14°S. Os municípios citados neste trabalho se situam entre as latitudes 7°S e 10°S.

2.1. Área de estudo

O material selecionado para as análises isotópicas neste estudo são provenientes de sítios paleontológicos situados nos Estados de Alagoas e Pernambuco, Nordeste do Brasil, na Região Intertropical Brasileira, definida com a região situada entre as latitudes 6°S e 14°S (DANTAS et al., 2013). Os municípios citados neste trabalho se situam entre as latitudes 7°S e 10°S (Figura 1).

No Estado de Alagoas, o material é proveniente dos municípios de Cacimbinhas, Delmiro Gouveia, Inhapi, Olho D'Água do Casado, Piranhas, Maravilha, Poço das Tricheiras e São José da Tapera. Em Pernambuco, os municípios de origem do material analisado são São Bento do Una, Brejo da Madre de Deus e Santa Cruz do Capibaribe.

Os municípios de Santa Cruz do Capibaribe e Brejo da Madre de Deus, em Pernambuco, e Delmiro Gouveia (Alagoas), estão inseridos na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, que representa a paisagem típica do semi-árido nordestino. Esta unidade é caracterizada por uma superfície de pediplanação monótona, relevo predominantemente suave-ondulado, cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas. Elevações residuais, cristas e/ou outeiros pontuam a linha do horizonte. Esses relevos isolados testemunham os ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino (BELTRÃO et al., 2005; MASCARENHAS et al., 2005a, b).

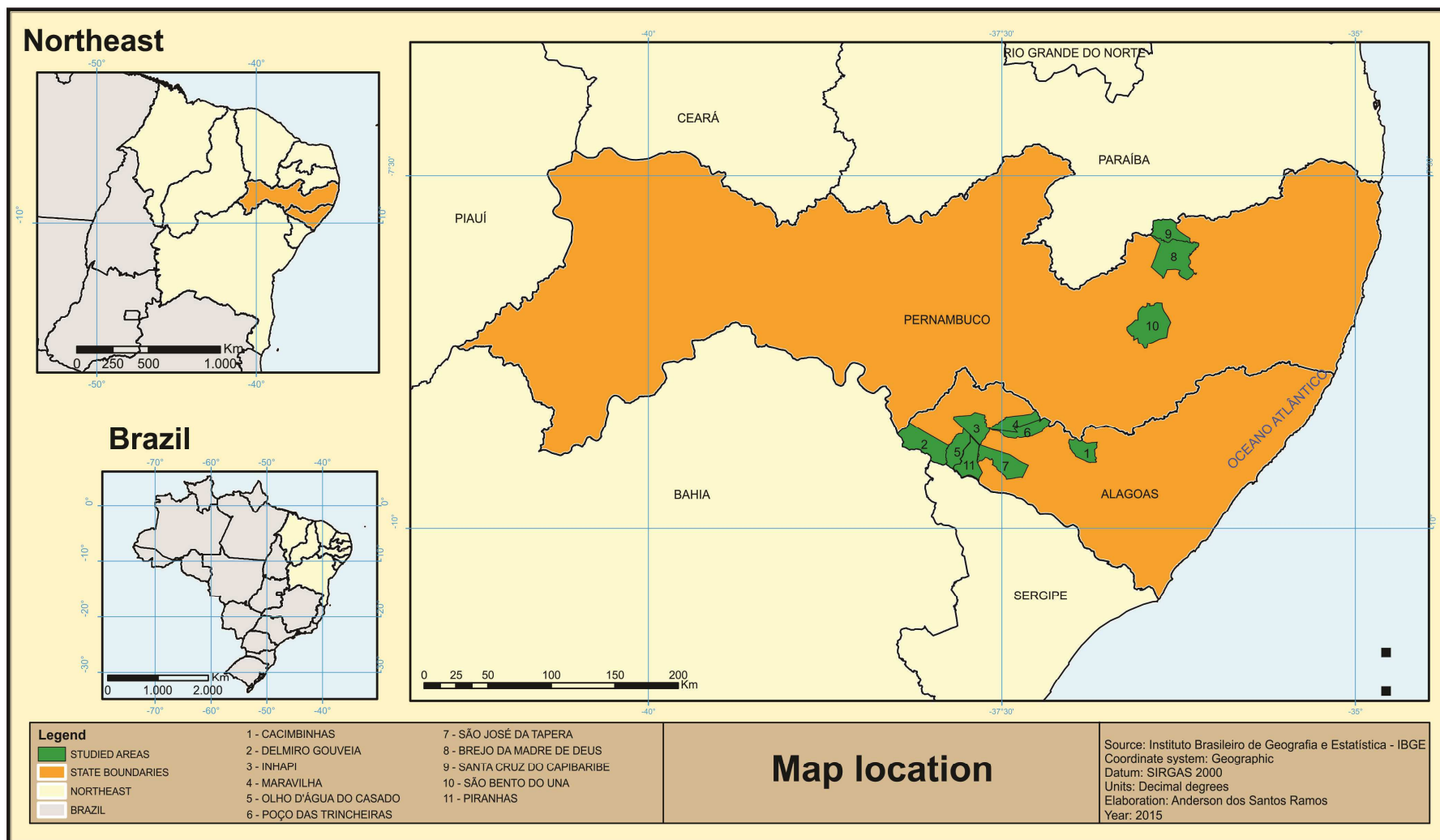
Os municípios de São Bento do Una (PE), Maravilha, Inhapi, Poço das Trincheiras e cerca de 60% da área do município de São José da Tapera (AL) estão inseridos na unidade geoambiental do Planalto da Borborema. O Planalto da Borborema é formado por maciços e outeiros altos, com altitude variando entre 650 a 1.000 metros. Ocupa uma área de arco que se estende do sul de Alagoas até o Rio Grande do Norte. O relevo é geralmente movimentado, com vales profundos e estreitos dissecados (MASCARENHAS et al., 2005 a, b, c).

A vegetação característica da Depressão Sertaneja é basicamente composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. O clima é do tipo Tropical Semi-Árido, com chuvas de verão. O período chuvoso se inicia em novembro com término em abril, com precipitação média anual em torno de 431,8mm (BELTRÃO et al., 2005; MASCARENHAS et al., 2005 a, b).

O Planalto da Borborema possui vegetação formada por Florestas Subcaducifólia e Caducifólia, próprias das áreas agrestes. O clima é do tipo Tropical Chuvoso, com verão seco. A estação chuvosa se inicia em janeiro/fevereiro com término em setembro, podendo se

adiantar até outubro. Esta área é recortada por rios perenes, porém de pequena vazão e possui baixo potencial de água subterrânea (Beltrão et al., 2005; Mascarenhas et al., 2005 a, b).

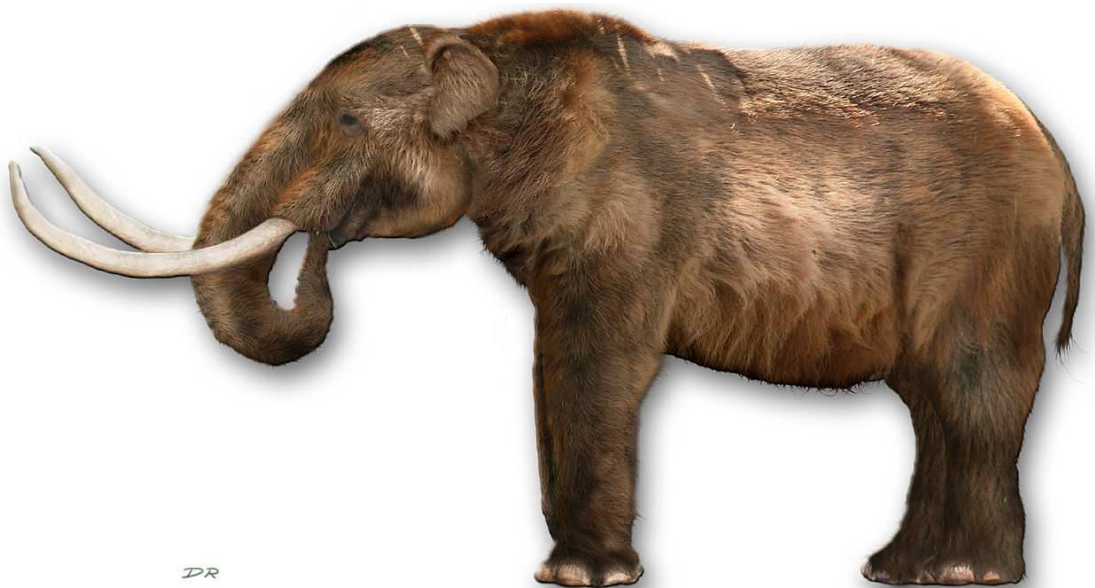
Figura 1. Mapa de localização dos Municípios de onde são provenientes os materiais analisados.



2.2. Breve descrição das espécies

Proboscídeos: São os herbívoros de maior tamanho e mais especializados ocupantes da América do Sul durante o Quaternário (Figura 2). Os Proboscídeos são importantes disseminadores de sementes de árvores tropicais e palmeiras. Por analogia com representantes dos grupos atuais, como os elefantes africanos que comem em média 300 kg de vegetais por dia, supõem-se que os mastodontes devoravam uma grande quantidade de alimento, eram considerados esbanjadores, pois não digeriam todo o alimento ingerido, disponibilizando inclusive biomassa através das fezes, para outros níveis tróficos da cadeia alimentar, como acontece com os proboscídeos atuais (SILVA, 2009).

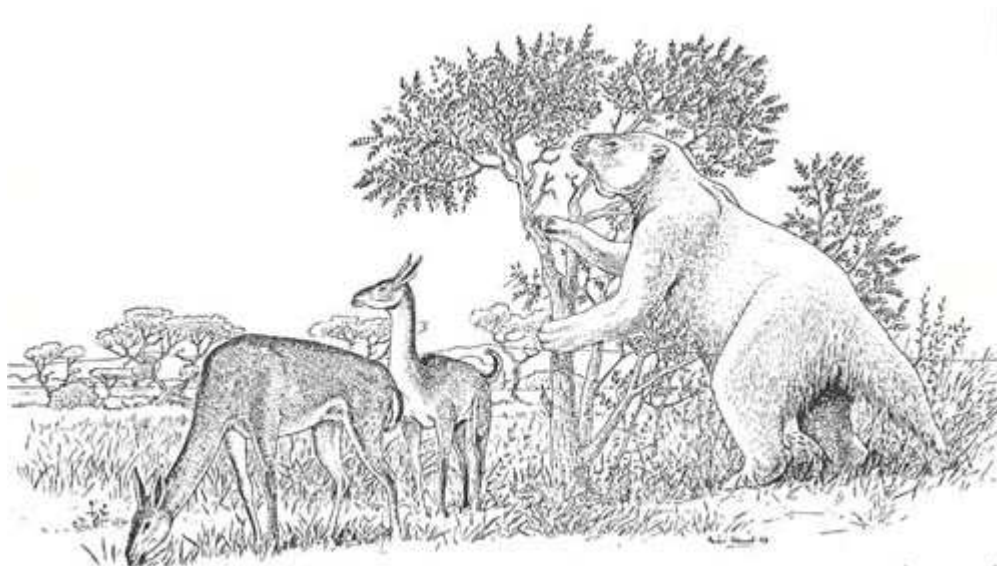
Figura 2. Reconstituição de um mastodonte.



(Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Mastodonte#mediaviewer/File:BlankMastodon.jpg>)

Eremotherium: Eram as preguiças gigantes (Figura 3). Megaherbívoros podadores. Com longa pelagem, caminhavam apoiando-se sobre os lados de pés e mãos. Braços de grande tamanho utilizados para caminhar e quando na posição bípede puxar os ramos das árvores em direção à boca para com a língua longa e os 18 dentes prismáticos, arrancar os ramos mais finos e os brotos das árvores. Os dentes são do tipo hipsodontes de crescimento contínuo com duas cristas transversas que formavam entre si, no centro do dente uma vala. O conjunto superior de dentes encaixava-se perfeitamente no inferior. As cristas funcionavam como facas cortantes que picotavam a grama e as folhas tenras ou abrasivas (SILVA, 2009).

Figura 3. Desenho de paleolhama, à esquerda, e uma preguiça gigante, à direita

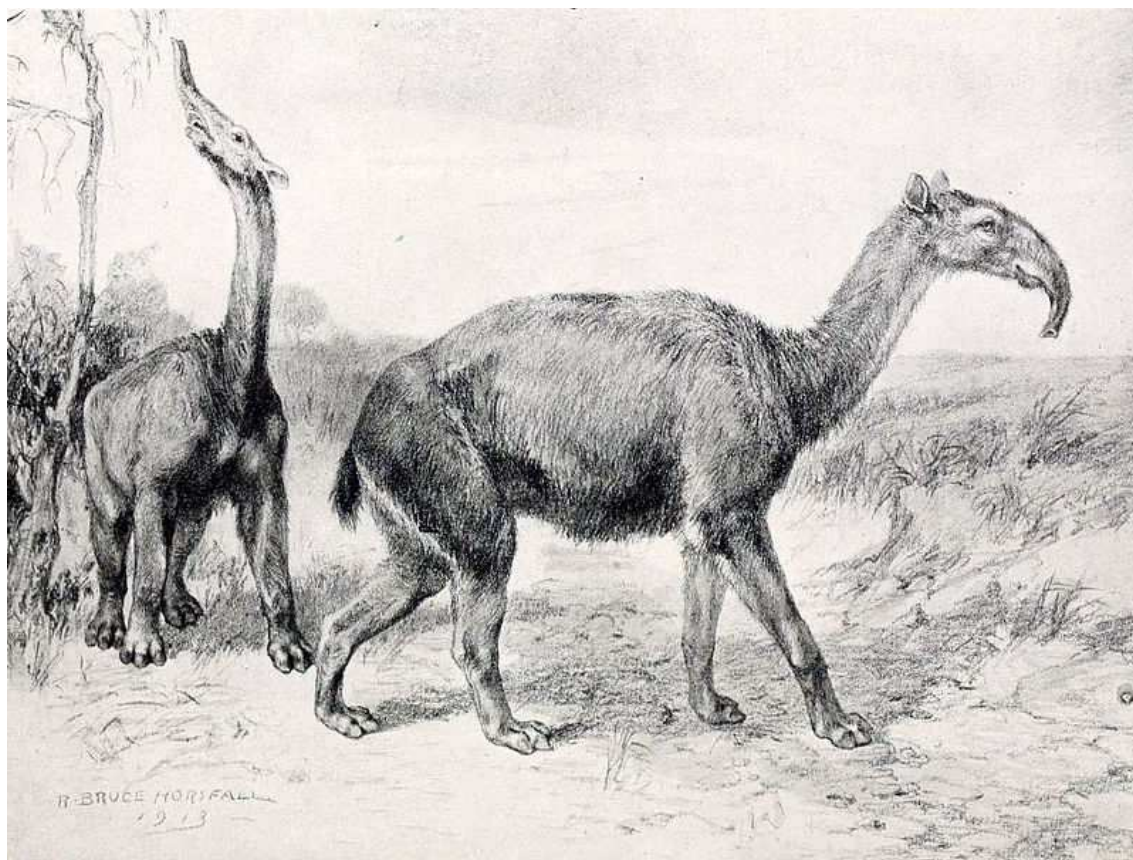


(Fonte: <http://www.fumdam.org.br/pesquisas/paleontologia/palaeolama.asp>)

Xenorhinotherium: Habitou a região semi-árida do Nordeste brasileiro atingindo o tamanho de um camelo, ao qual eram semelhantes pelo pescoço comprido, as patas robustas e longas, terminadas em três cascos pequenos e arredondados (Figura 3). Animal de porte intermediário, provavelmente podadores e pastadores, com a dentição hipsodonte semelhante a dos perissodáctilos. As aberturas nasais externas situadas muito para trás, no meio do crânio, quase sobre as órbitas faz acreditar que esses animais eram dotados de uma pequena tromba como os tapires e as antas (SILVA, 2009).

Para Paula Couto (1979) era um mamífero adaptado a uma vida mais ou menos anfíbia, freqüentador de regiões pantanosas e das margens de lagos e lagoas, habitante provável de estepes.

Figura 4. Representação de Xenohinotherium.



(Fonte: <http://en.wikipedia.org/wiki/Macrauchenia#mediaviewer/File:Macrauchenia.jpg>)

2.3. Análise isotópica

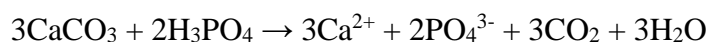
2.3.1. Análise de isótopos de oxigênio e carbono da hidroxiapatita

Para análise de isótopos de C e O da hidroxiapatita, amostras de aproximadamente 40 mg de ossos e de esmalte de cada dente foram extraídas e pulverizadas com um micromotor odontológico portátil. Como a maior parte das amostras consistiu em material bastante fragmentado e o esmalte consiste em uma camada fina (exceto no caso de *N. platensis* cuja camada de esmalte é bastante espessa), então não foi definida uma porção preferencial para extração do esmalte. Além disso, *Eremotherium laurillardi* não possui esmalte, assim como todos os membros da Ordem Xenarthra, então foi amostrada a dentina compacta mais externa (PAULA COUTO, 1979).

Após extraídas e pulverizadas, as amostras foram previamente tratadas com peróxido de hidrogênio (H₂O₂) a 35% por 24 horas. Passado este período, elas foram lavadas com água deionizada e centrifugadas por cinco vezes, até remover completamente os resíduos de H₂O₂. Depois, foi adicionado ácido acético a concentração de 0,1M e a reação durou 4 horas. A

seguir, foi lavada com água deionizada por 5 vezes. Após esta segunda lavagem, foi adicionado álcool etílico a 100% e as amostras foram deixadas a secar, a temperatura ambiente. Este procedimento removeu possíveis contaminações por matéria orgânica, eliminando e/ou reduzindo sobremaneira quaisquer possíveis efeitos diagenéticos (WANG; CERLING, 1994; KOCH; FOGEL, 1997; ZAZZO et al., 2004; GARVIE-LOK et al., 2004).

A análise de isótopos de C e O do carbonato estrutural da bioapatita foi realizada por meio da dissolução do carbonato em H_3PO_4 , liberando CO_2 (MCARTHUR et al., 1980; LAND et al., 1980). Portanto, as amostras foram colocadas a reagir com ácido ortofosfórico a 100% (H_3PO_4) durante 12 horas a 25°C para liberação de CO_2 , conforme a reação seguinte:



O CO_2 liberado foi extraído em uma linha de extração à vácuo e, após limpeza criogênica, foram analisados os valores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ medidos em espectrômetro de massa triplo coletor SIRA II ou Delta V Advantage do Laboratório de Isótopos Estáveis (LABISE) da UFPE, usando o padrão BSC, como gás de referência.

As razões isotópicas foram calculadas de acordo com equação:

$$\delta\text{‰} = \frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}}{R_{\text{padrão}}} \times 10$$

Onde $R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$ ou ${}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}$. Os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ foram expressos em relação ao padrão internacional Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB), e os resultados de $\delta^{18}\text{O}$ foram expressos em VSMOW.

As porcentagens de plantas C_4 na dieta foram calculadas através da equação:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{apatita}} = (\delta^{13}\text{C}_{\text{C}_4 \text{ puro}})(X) + (\delta^{13}\text{C}_{\text{C}_3 \text{ puro}})(1 - X)$$

Onde X é porcentagem de plantas C_4 consumidas na dieta, conforme Koch et al. (1998).

2.3.2. Análise de isótopos de nitrogênio e carbono orgânico

Para as análises de $\delta^{13}\text{C}_{\text{orgânico}}$ e $\delta^{15}\text{N}$ em colágeno, as amostras foram submetidas a pré tratamento para extração do colágeno. As amostras pulverizadas foram desmineralizadas através da reação com ácido clorídrico (HCl) à concentração de 1M por 20 minutos a temperatura ambiente. O resíduo foi lavado com água deionizada e centrifugado cinco vezes até remover completamente os resquícios do ácido. A seguir, o resíduo foi tratado com NaOH

a concentração de 0,125M durante vinte horas a temperatura ambiente, para eliminar outros resíduos orgânicos e ácidos húmicos. A seguir, a amostra foi lavada com água deionizada e centrifugada cinco vezes até que estivessem neutralizadas (KOCH; FOGEL, 1997; SEALY et al., 2014; BOCHERENS et al., 1994).

Após o pré tratamento, cerca de 700µg de cada amostra foi pesada e embalada em cápsulas específicas para análise de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}_{\text{orgânico}}$ em COSTECH (elemental combustion furnace) atrelado a um espectrômetro de massa Delta V Advantage.

3. RESULTADOS

Foram analisados esmaltes de taxa distribuídos nos Estados de Alagoas e Pernambuco. No Estado de Alagoas, foram analisadas seis amostras de dentina da espécie *Eromotherium laurillardi*, oito esmaltes de *Toxodon platensis*, oito esmaltes de *Notiomastodon platensis* e uma amostra de esmalte de *Xenorhinotherium baiense*. No Estado de Pernambuco, foram analisadas dez amostras de *Notiomastodon platensis*, uma de cervídeo não identificado e três de *Hippidion* sp.. Os resultados estão apresentados na tabela 1 (Apêndice A).

3.1. Isótopos de carbono

As amostras da espécie *E. laurillardi* exibiram valor máximo em Poço das Trincheiras, em torno de 0,4‰, e valor mínimo em Delmiro Gouveia, em torno de -8,9‰, com média -5,38‰. Estes valores são condizentes com uma dieta mista com 30% a 74% de plantas do tipo C4 na alimentação.

As amostras de *Toxodon* apresentaram valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -5,3‰ e -0,07‰, exceto por uma amostra em Delmiro Gouveia, cujo valor foi de -12,4‰, sugerindo uma alimentação a base de plantas C3, com aproximadamente 4% de participação de plantas C4 na dieta, o que pode estar relacionado a maior umidade deste local específico. A média, excluindo-se o valor da amostra mais negativa e fora do intervalo de variação das demais, ficou em aproximadamente -3‰. Os valores obtidos sugerem que a espécie tinha dieta mista com participação predominante de plantas C4 (entre 55% e 92%).

As análises para a espécie *N. platensis* exibiram valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -4,7‰ e 1,4‰ exceto por uma única amostra de Santa Cruz do Capibaribe que revelou um valor de -8,6‰ e uma em Inhapi com valor de -8,7‰ indicando uma dieta diferenciada em relação ao que indicam os resultados das análises nas outras espécies. A média obtida, excluindo-se estes valores foi de -1,6‰. Os valores demonstram uma dieta mista com predominância de plantas C4 na alimentação visto que a porcentagem de plantas C4 ficou entre 60% e 100%.

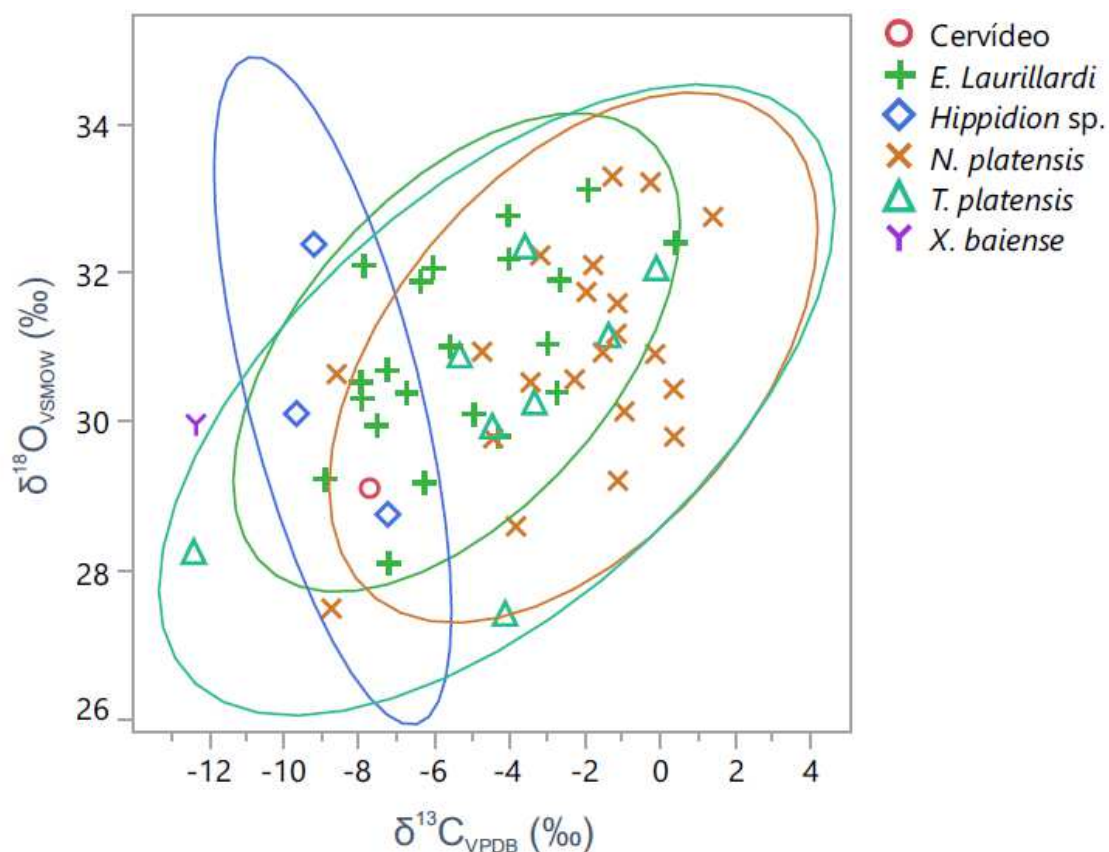
Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ de *Hippidion* sp ficaram entre -9,64‰ e -7,21‰ e média de -8,67‰, com participação de plantas C4 entre 24% e 41%. A amostra de cervídeo mostrou valor de $\delta^{13}\text{C}$ igual a -7,69‰ com aproximadamente 38% da alimentação composta por plantas do tipo C4. Isto indica que tanto *Hippidion* quanto o cervídeo apresentavam dieta mista cuja maior fração era composta por plantas do tipo C3. A amostra referente à espécie *Xenorhinotherium baiense*, mostrou um valor de $\delta^{13}\text{C}$ de -12,31‰, indicando dieta a base de plantas C3.

Os resultados de exemplares únicos não podem ser considerados definitivos quanto aos hábitos alimentares destas espécies, mas podem em associação com dados de outras espécies co-habitantes, fornecer uma visão geral do paleoecossistema.

Não foi observada uma distinção clara de nichos entre *N. platensis*, *E. laurillardii* e *T. platensis*, visto que as espécies se alimentavam dos mesmos tipos de vegetação, com porcentagens de plantas do tipo C4 bastante semelhantes (Figura 5). O gênero *Hippidion* e a Família Cervidae ocupavam um nicho distinto, se alimentando também de vegetação mista, porém com predominância de plantas do tipo C3. Isto sugere que os taxa estudados, que se alimentavam do mesmo tipo de vegetação, podem ter apresentado um alto grau de competição por recursos (Figura 5).

Quando separadas por localidade, Delmiro Gouveia apresentou o valor mais negativo, com valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -8,9‰ e -12,4‰ (média de -11,2‰), mostrando que esta localização apresentava maior umidade, provavelmente pela proximidade ao Rio São Francisco.

Figura 5. Relação entre $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ e $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ dos taxa estudados.



3.2. Isótopos de oxigênio

As amostras da espécie *E. laurillardi* exibiram $\delta^{18}\text{O}$ entre 28‰ e 33‰ com média de 31‰. As amostras referentes a *T. platensis* mostraram valores de $\delta^{18}\text{O}$ entre 27‰ e 32‰ e valor médio de 30,3‰. *N. platensis* mostrou resultados de $\delta^{18}\text{O}$ entre 27,5‰ e 33‰ e média de aproximadamente 31‰. Os resultados das análises em esmalte de *Hippidion* ficaram entre 29‰ e 32‰ com média de 30‰, enquanto a análise de dente de cervídeo resultou um valor de $\delta^{18}\text{O}$ igual a 29‰ e de 30‰ para *X. baiense*.

A correlação entre $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ se mostrou fraca em todas as espécies estudadas indicando que a contribuição isotópica da água das plantas que estes animais consumiam não contribuiu significativamente na composição isotópica da água corporal.

Figura 6. Relação entre $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ na espécie *Eremotherium laurillardi*.

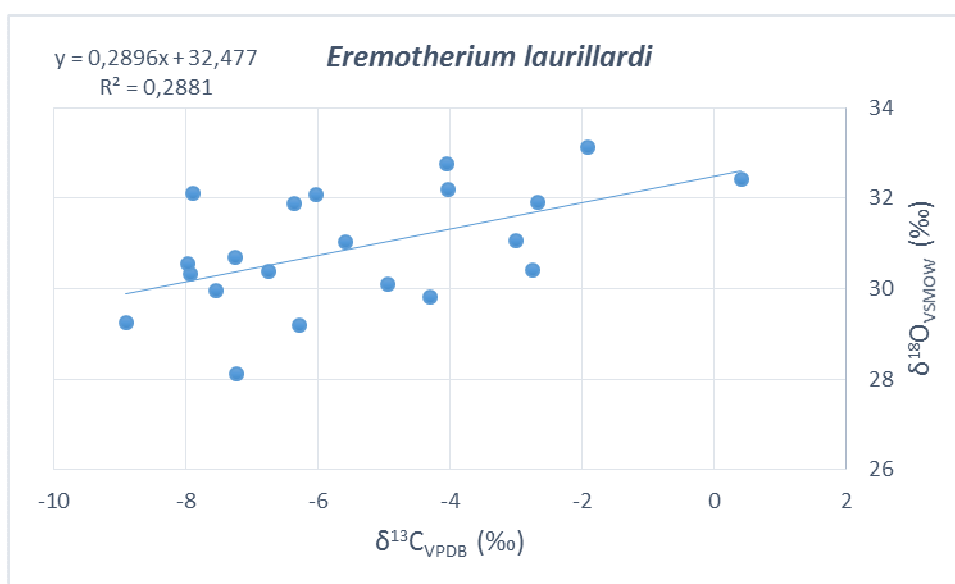


Figura 7. Relação entre $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ na espécie *Notiomastodon platensis*.

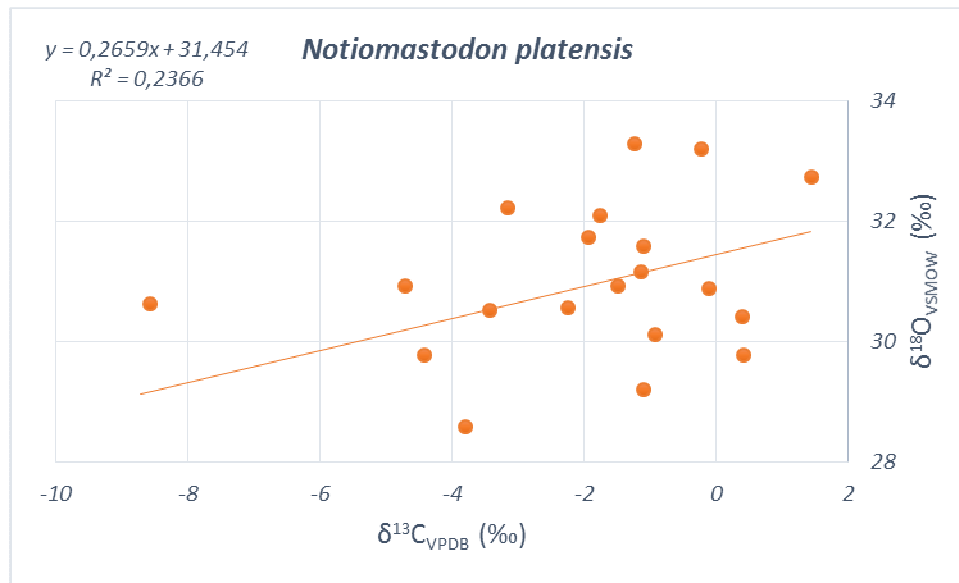


Figura 8. Relação entre $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ na espécie *Toxodon platensis*.

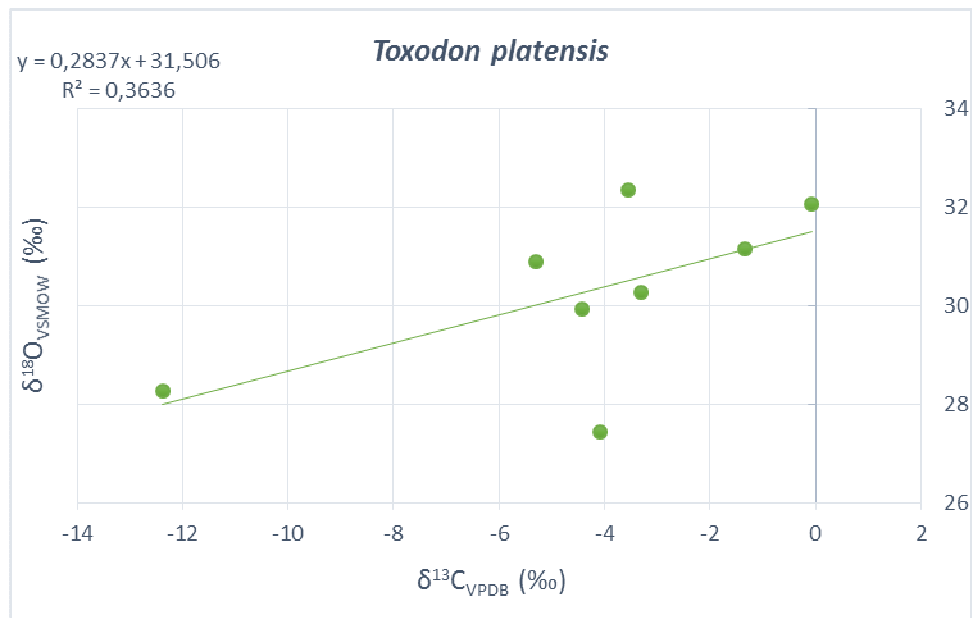
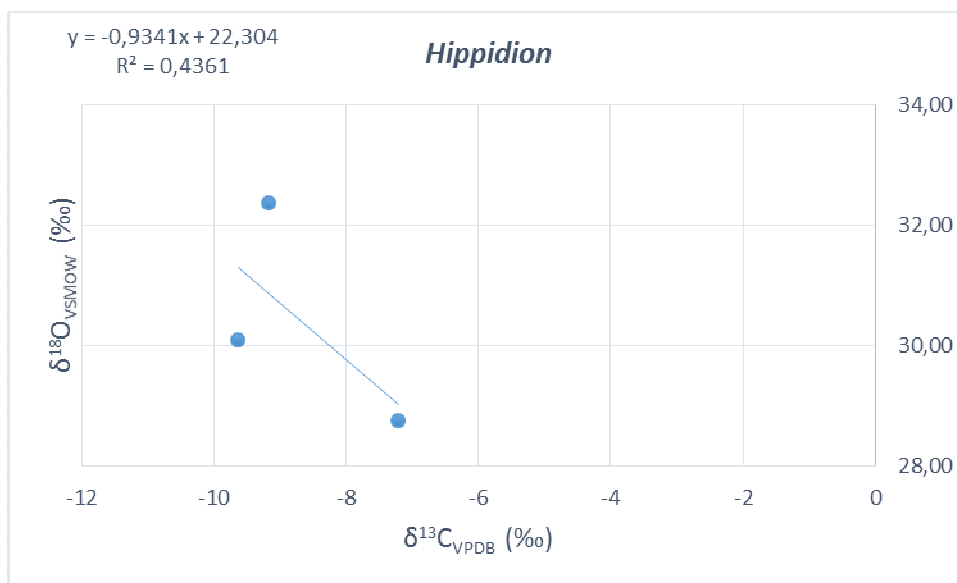


Figura 9. Relação entre $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ para o gênero Hippidion.



3.3. Isótopos de Nitrogênio e Carbono orgânico

Eremotherium laurillardi de Brejo da Madre de Deus mostrou valores de $\delta^{15}\text{N}$ igual a 6,8‰ e $\delta^{13}\text{C}$ de aproximadamente -10‰, com razão C/N igual a 3,27. Estes valores de $\delta^{13}\text{C}$ indicam que *E. laurillardi* se alimentava principalmente plantas do tipo C4. Todas as demais amostras resultaram em valores de C/N que indicam uma alta perda de colágeno no processo diagenético.

4. DISCUSSÃO

As idades das amostras vão de 71.000 ± 15.000 B.P. a 66.000 ± 15.000 , em Brejo da Madre de Deus, a de 10.816 ± 1.914 e 42.972 ± 3.689 anos A.P em Maravilha (SILVA, 2013). Silva (2009) comparou as idades encontradas em Alagoas e Pernambuco àquelas encontradas por Kinoshita et al. (2005) na Paraíba, e concluiu que os megamamíferos de Alagoas, Pernambuco e Paraíba encontrados em depósitos de tanques nestes Estados, são correlatos. Esses resultados sugerem que as características climáticas, e conseqüentemente a vegetação, eram similares ao menos nestes três Estados da Região Nordeste, sofrendo mudanças climáticas e vegetacionais correlacionáveis durante o interestadial de 50.000 – 60.000 anos, com a extinção da megafauna ocorrendo na transição Pleistoceno-Holoceno.

4.1. Isótopos de Carbono

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ encontrados são indicadores do tipo de vegetação que existiu na região estudada durante o intervalo temporal representado pelos fósseis (Pleistoceno Superior – Holoceno). Dados de estudos plalinológicos sugerem a existência de 60 a 70% de plantas herbáceas, principalmente das Famílias Poaceae, Cyperaceae, Borreria, Asteraceae (C4). Pólen de arbustos e árvores representavam de 14 a 25%, representados pelas Famílias Melastomataceae/Combretaceae, Arecaceae, Moraceae/Urticaceae, Alchornea, Myrtaceae, Malpighiaceae, Hedyosmum, Mimosa (C3) (BEHLING et al., 2000), mostrando que a fisionomia da caatinga está presente no Nordeste brasileiro desde 40 mil anos A.P.. Os resultados obtidos evidenciam o predomínio das plantas do tipo C4 e/ou CAM, típicas da fisionomia vegetal de ambientes semi-áridos, como é o bioma de caatinga atual (SILVA, 2009).

Como se observa, as espécies da megafauna analisadas ocupavam nichos semelhantes, o que sugere que se esse padrão era mantido independente da localidade, provavelmente existia um alto grau de competição por recursos. Dantas et al. (2013) concluíram que as espécies *Eremotherium laurillardi*, *Toxodon platensis* e *Notiomastodon platensis* deviam competir por recursos no Estado do Rio Grande do Norte (sub-região A da região inter tropical), entre as latitudes 6°S to 9°S), visto que no estudo realizado encontraram valores semelhantes de $\delta^{13}\text{C}$ para estas espécies, onde se alimentavam exclusivamente de plantas do tipo C4.

Em Alagoas, Silva (2009) encontrou valores semelhantes, ao que interpretou como decorrentes de hábitos alimentares tipicamente a partir de plantas C4 ou CAM facultativas e

obligatórias (Bromeliaceae, Cactaceae, Crassulaceae, Euphorbiaceae e gramineas). Encontrou valores de $\delta^{13}\text{C}$ -12‰ para *E. laurillardi*, $\delta^{13}\text{C}$ -9,47‰ para *S. waringi* e $\delta^{13}\text{C}$ -9,43‰ para *Toxodon* sp., ao quais interpretou como alimentação mista com predominância de plantas C4 e também provavelmente C3, separando as espécies em dois grupos: um grupo composto pelas espécies *Notiomastodon platensis* e *Toxodon* sp., com dieta tipicamente a base de plantas C4 e o segundo grupo composto pela espécie *Eremotherium laurillardii* com uma dieta provavelmente mista por incluir plantas do tipo C3.

Eremotherium laurillardii

Neste trabalho, as amostras da espécie *E. laurillardii* mostraram valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -8,9‰, o mais negativo, na cidade de Delmiro Gouveia em Alagoas, e -2,67‰ e São José da Tapera também em Alagoas, com média -6,06‰. Estes valores são condizentes com uma dieta mista com participação de 29% e 74% de plantas do tipo C4 na alimentação.

Silva (2009) encontrou valores de $\delta^{13}\text{C}$ de até -12‰ para *E. laurillardii* em Alagoas, o que indica uma dieta exclusivamente C3, assim como na Bahia (DREFAHL, 2010). No Rio Grande do Norte, Dantas et al. (2013) encontraram valores de $\delta^{13}\text{C}$ = 0.50‰ e 5.22‰, indicando dieta composta por plantas C4 a vegetação mista. Resultado compatível com dieta a base de plantas do tipo C4 foi encontrado por Viana et al. (2011) no Estado de Alagoas.

Segundo Paula Couto (1979), assim como as espécies do gênero *Megatherium*, as do gênero *Eremotherium* parecem ter sido animais que se alimentavam de plantas xerófilas, as quais possuem metabolismo do tipo C4. Baseando-se na morfologia dental, Bargo et al. (2006) sugerem que, *E. laurillardii*, assim como *Megatherium americanum*, tinham uma mordida forte e alta capacidade de processamento de alimentos na cavidade oral, o que foi relacionado a uma baixa eficiência digestiva, e uma alimentação baseada em materiais de consistência macia a moderada, como frutas e folhas.

Fariña (1996) sugere, ainda, que as preguiças gigantes poderiam apresentar hábitos saprófitos, o que não pode ser concluído com base somente em isótopos de C. Portanto, para interpretar os resultados deste estudo, deconsideramos a possibilidade de um hábito oportunisticamente saprófito e consideramos somente o hábito herbívoro amplamente aceito pela comunidade científica. De qualquer modo, observa-se que *E. laurillardii* pode se alimentar de plantas tanto do tipo C3 quanto do tipo C4 demonstrando um hábito generalista, visto que ela podia se alimentar do que estivesse disponível.

Toxodon platensis

É universalmente aceito no meio científico que os toxodontes eram herbívoros adaptados a campos abertos com dietas abrasivas, particularmente gramíneas (MACFADDEN; BRUCE J., 2005), e assim como os atuais hipopótamos, tinham um modo de vida semi-aquático (PAULA COUTO, 1979; MACFADDEN; SHOCKEY, 1997). Mais recentemente, Shockey (2001) sugeriu que a morfologia do fêmur dos toxodontes indica um modo de vida mais voltado a campos abertos.

Os resultados das análises isotópicas deste trabalho corroboram a ideia de que eles viviam em campos abertos, pois a dieta era composta principalmente por plantas com metabolismo do tipo C4 (média de $\delta^{13}\text{C}$ igual a $-3,16\text{‰}$), típicas de ambientes abertos como savanas e a caatinga atual.

Análises de isótopos de carbono do gênero *Toxodon* indicam padrões bastante similares ao de outros grupos de mamíferos hipsodontes como cavalos, no Pleistoceno da Argentina e da Bolívia (WANG; CERLING, 1994; MACFADDEN, 2005) e rinocerontes na América do Norte (MACFADDEN, 2005). Durante o Mioceno tardio da Bolívia e Argentina, os toxodons se alimentavam principalmente de plantas do tipo C3, com valores de $\delta^{13}\text{C}$ de $-12,6\text{‰}$ há 17 milhões de anos, que foi evoluindo ao longo do tempo de acordo com as mudanças ambientais e climáticas até apresentarem dieta a base de plantas C4 durante o Pleistoceno (MACFADDEN, 2005).

Estudo conduzido por MacFadden (2005) em diversas áreas da América Central e Sul, em amostras de toxodontes do Pleistoceno e do Holoceno, mostraram resultados de $\delta^{13}\text{C}$ que vão de $-13,4\text{‰}$ a $-0,1\text{‰}$, mostrando que esta espécie apresenta uma ampla gama de adaptações dietéticas. O resultado mais negativo se refere a toxodons que viveram na Amazônia, e indicam que ali, eles se alimentavam de plantas do tipo C3, típicas de ambientes com vegetação fechada e úmida. Na Bolívia, a média de $\delta^{13}\text{C}$ foi de $-0,1\text{‰}$, indicando uma alimentação baseada em plantas do C4. Na Argentina os resultados mostraram uma alimentação com aproximadamente 80% de vegetação C4, com valor médio de $\delta^{13}\text{C}$ de $-4,4\text{‰}$. Valores de $-9,3\text{‰}$ em Honduras, e $-8,6\text{‰}$ no Brasil, indicam dietas mistas compostas de vegetação do tipo C3, C4 e CAM.

Notiomastodon platensis

Dantas et al. (2013), chegaram a resultados de $\delta^{13}\text{C}$ entre -1.86‰ e 0.76‰ em esmaltes de dentes de *N. platensis* do Norte da Bahia, Sergipe e Rio Grande do Norte. Em Alagoas, Silva (2009) e Viana et al. (2011) encontraram valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre 0.00‰ e 1.47‰ , indicando dieta composta de plantas do tipo C4.

Notiomastodon platensis do Pleistoceno Médio a tardio da Argentina, exibem valores de isótopos de carbono mais negativos, sugerindo uma dieta mista com predominância de plantas do tipo C3 com valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -9.08‰ a -6.09‰ (SÁNCHEZ et al., 2006). No Pleistoceno tardio da Península de Santa Helena, Equador, os dados isotópicos sugerem que estes animais tinham uma dieta mista com predominância de plantas do tipo C4. Vaz et al. (2012), através de análise de microdesgaste dentário em dentes de *N. platensis* em Minas Gerais, sudeste do Brasil, chegaram à conclusão de esta espécie tinha hábitos alimentares oportunistas ou generalistas, uma vez que podem se alimentar da vegetação que está disponível. A literatura atribui uma dieta generalista aos mastodontes, que seriam adaptados a áreas mais abertas, com condições climáticas quentes a temperadas (PRADO et al. 2001; 2011; ASEVEDO et al., 2012).

Xenorhinotherium bahiense

A presença de uma tromba, ou a existência de um esfíncter para fechar as narinas é interpretada por alguns autores (e.g. Lavocat, 1958) como sendo útil para enfrentar poeira e tempestades de areia que deveriam ocorrer nos ambientes áridos em que viviam, enquanto outros interpretam a existência de escavações laterais às narinas como uma evidência de hábitos aquáticos (FARIÑA et al., 2013; PAULA COUTO, 1979).

Segundo Silva (2009), manadas de *Stegomastodon waringi* e grupos de *Eremotherium laurillardi* pastavam nas áreas abertas, com *Xenorhinotherium bahiense* e *Palaeolama major*, enquanto indivíduos de *Toxodon* ficavam próximos aos tanques ou no interior destes, alimentando-se de macrófitas aquáticas, saindo provavelmente a noite para pastar, observados e caçados pelos predadores carnívoros.

O resultado de $\delta^{13}\text{C}$ $-12,31$ encontrado em Delmiro Gouveia, Alagoas, indica que esta espécie apresentava hábito alimentar composto por plantas do tipo C3, que pode corresponder a uma alimentação a base de plantas terrestres com metabolismo C3 e/ou complementada com plantas aquáticas, que seria mais condizente com um hábito de vida parcialmente aquático do que com uma vida adaptada a ambientes muito áridos com sujeição a tempestades de areia, o

que não deve ser uma característica dos ambientes da zona intertropical do Brasil no período em que esta fauna habitou a região. Porém, os resultados das análises de isótopos de oxigênio não corroboram com o hábito parcialmente aquático desta espécie, visto que se assim fosse, a $\delta^{18}\text{O}$ seria menor que as demais espécies simpátricas. Portanto, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e de $\delta^{18}\text{O}$ indicam que esta espécie se alimentava de plantas do tipo C3 e hábito de vida terrestre.

Hippidion

Com base na morfologia do crânio das espécies do gênero *Hippidion*, cuja região frontal do crânio mais estreita e narinas separadas que as espécies do gênero *Equus*, alguns autores acreditam que estas características constituem uma adaptação a ambientes mais fechados, como estepes lenhosas (FARIÑA et al., 2013).

$\delta^{13}\text{C}$ em amostras de *Hippidion devillei* do Pleistoceno argentino, mostram que esta espécie se alimentava principalmente de plantas do tipo C3. No mesmo estudo, a espécie *Hippidion principale* exibiu valores entre -12.05‰ e -8.08 ‰, sendo interpretado como uma espécie que podia apresentar hábitos alimentares mistos com predominância de plantas C3 ou a base exclusivamente de plantas C3 (SÁNCHEZ et al., 2006). Prado et al. (2011), estudando espécies do gênero *Hippidion* em amostras de várias localidades da América do Sul, reconheceram um padrão dietético baseado em plantas do tipo C3.

Portanto, os resultados obtidos em Pernambuco, neste estudo, estão de acordo com o que vem sendo reportado na literatura, mostrando que os animais do gênero *Hippidion* exibiram hábitos alimentares mistos com predominância de plantas com metabolismo do tipo C3.

Família Cervidae

Estudando isótopos de carbono e nitrogênio em colágeno em cervídeos do Neolítico chinês, Tian et al. (2011) obtiveram valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -25.6‰ e -20.0‰, indicando que os cervídeos ali se alimentavam exclusivamente com plantas C3 e viviam em ambientes com mata fechada. Parece que este grupo de animais era adaptado a regiões mais temperadas que a regiões tropicais (FARIÑA et al., 2013).

O cervídeo estudado mostrou resultado de -7,69‰, sugerindo uma alimentação mista com plantas C3 e C4, mas com predominância de plantas com metabolismo do tipo C3, aproximadamente 66% da dieta.

4.2. Isótopos de Oxigênio

Plantas C₃ (árvores e arbustos) normalmente tem raízes mais profundas e absorvem águas subterrâneas menos enriquecidas em ¹⁸O, enquanto plantas com metabolismo C₄ tem raízes mais rasas e absorvem a água superficial, que são mais enriquecidas em ¹⁸O (KOHN et al., 1996; SPONHEIMER; LEE-THORP, 1999). Mesmo na própria planta há variação na $\delta^{18}\text{O}$. Raízes e tronco das árvores e arbustos apresentam $\delta^{18}\text{O}$ semelhante ao da água meteórica, mas as folhas são enriquecidas em $\delta^{18}\text{O}$ devido à evaporação preferencial da molécula mais leve ¹⁶O (SPONHEIMER; LEE-THORP, 1999; HELLIKER; EHRLINGER, 2000). Portanto, animais pastadores, que se alimentam de plantas do tipo C₄, exibem valores de $\delta^{18}\text{O}$ mais altos comparados a animais com dieta mista ou exclusivamente C₃ (HELLIKER; EHRLINGER, 2000; SPONHEIMER; LEE-THORP, 1999).

Os resultados de $\delta^{18}\text{O}$ observados neste trabalho parecem corroborar o tipo de alimentação do animal, visto que os valores de $\delta^{18}\text{O}$ foram maiores, ainda que discretamente, nos animais com dieta C₄ e menores nos animais com dieta C₃.

No Rio Grande do Sul, Lopes et al. (2013) encontraram valores de $\delta^{18}\text{O}$ para *Notiomastodon* entre 27.9‰ a 29.6‰ (média=29.1‰), bastante semelhantes a elefantes atuais.

O correspondente mais semelhante ao *Toxodon* na atualidade, em termos de morfologia e hábito de vida semi-aquático, é o hipopótamo africano (PAULA COUTO, 1979). Nos hipopótamos africanos modernos, os valores de $\delta^{18}\text{O}$ são menores em comparação com outros grandes herbívoros da mesma área, o que está relacionado ao hábito semi aquático do animal que previne a perda água corporal pela transpiração (CERLING et al., 2008).

Se *Toxodon* apresentasse hábito semi-aquático, como seus representantes modernos, seria de se esperar que apresentassem valores de $\delta^{18}\text{O}$ menores que as outras espécies nas mesmas localidades. Porém, Lopes et al. (2013) encontraram valores de $\delta^{18}\text{O}$ para *Toxodon* do Rio Grande do Sul entre 31.0‰ e 28.5‰ e média igual a 29.9‰, maiores que os reportados para hipopótamos modernos, e semelhantes aos valores encontrados para *Notiomastodon platensis* na mesma região (27.9‰ a 29.6‰, e média=29.1‰). Constataram que são valores incompatíveis com o hábito de vida semi-aquático supostamente apresentado pelos toxodons. Estudos mais recentes baseados em anatomia do crânio de *Toxodon* corroboram o hábito de vida terrestre destes animais (SHOCKEY, 2001).

O mesmo vale para *Xenorhinotherium baiense*, isto é, se esta espécie apresentasse hábito de vida semi-aquático como sugerem alguns autores, então os valores de $\delta^{18}\text{O}$ deveriam ser menores que os das demais espécies da mesma localidade. Porém o valor de $\delta^{18}\text{O}$ registrado para *X. baiense* em Delmiro Gouveia, Alagoas, onde há registro deste animal, foi de 29,96‰, valor intermediário, entre 29,24‰ de *E. laurillardi* e 28,25‰ de *Toxodon*.

Delmiro Gouveia foi a localidade com menores valores tanto de $\delta^{18}\text{O}$ como de $\delta^{13}\text{C}$, o que indica maior umidade em relação às demais localidades estudadas, talvez pela maior proximidade ao leito do Rio São Francisco, indicando, talvez, a presença de uma mata de galeria. Para as demais espécies provenientes de Alagoas e Pernambuco, os valores de $\delta^{18}\text{O}$ parecem corroborar os resultados de isótopos de carbono.

A correlação entre $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ se mostrou fraca em todas as espécies estudadas sugerindo que a contribuição isotópica da água das plantas que estes animais consumiam não contribuiu significativamente na composição isotópica da água corporal. Esta relação foi encontrada por Lopes (2013) para *Notiomastodon* e *Toxodon*. Isto indica que estes animais obtinham a maior parte da água através da bebida disponível em rios, lagos ou poças e não através da água presente na comida. Sendo assim, os valores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ encontrado provavelmente indicam a composição isotópica da água meteórica no local (LOPES et al., 2013).

4.3. Isótopos de Nitrogênio e Carbono orgânico

A razão C/N é um importante indicador da qualidade de preservação do colágeno do osso e da dentina. São aceitáveis valores entre 2,9 a 3,6 que correspondem à razão C/N no colágeno de animais modernos. Valores de C/N que caem fora deste intervalo demonstram que houve contaminação ou degradação do colágeno devido á diagênese (BOCHERENS; FIZET; MARIOTTI, 1994; BOCHERENS, 2002). Os resultados obtidos demonstram um alto grau de perda de colágeno provavelmente devido a alterações diagenéticas (Tabela 2 – Apêndice B).

Somente *Eremotherium laurillardi* de Brejo da Madre de Deus mostrou valores aceitáveis de C/N (3,27), com $\delta^{15}\text{N}$ igual a 6,8‰ e $\delta^{13}\text{C}$ de aproximadamente -10‰, indicando que esta espécie se alimentava principalmente plantas do tipo C4, o que é compatível com os resultados encontrados por Viana et al. (2011) em carbonato de hidroxiapatita biogênica no Estado de Alagoas.

5. CONCLUSÕES

Os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ indicam que *Eremotherium laurillardii* tinha uma dieta mista, composta por plantas C3 e C4.

Os resultados das análises isotópicas deste trabalho indicam que a espécie *Toxodon platensis* não apresentava hábitos semi aquáticos pois os valores de $\delta^{18}\text{O}$ obtidos são incompatíveis com os valores esperados se esta espécie apresentasse um modo de vida anfíbio. Além disso, a dieta era composta principalmente por plantas com metabolismo do tipo C4, típicas de ambientes abertos como savanas e a caatinga atual.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ para *Notiomastodon platensis* demonstram uma dieta mista com predominância de plantas C4 na alimentação.

Hippidion e cervídeos apresentavam dieta mista com predominância de plantas C3 na dieta.

Xenorhinotherium bahiense apresentava dieta composta por plantas C3 e hábito de vida terrestre.

Em todas as espécies, a correlação entre $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ é fraca, mostrando que esses animais consumiam água além daquela disponível nos alimentos, indicando que o valor de $\delta^{18}\text{O}$ reflete a composição isotópica da água meteórica disponível em lagos, lagoas, rios ou poças e não do alimento.

O conjunto de dados sugere que o ambiente era composto principalmente por plantas C4 e uma menor parte de plantas C3, com uma fitofisionomia bastante semelhante à caatinga atual.

REFERÊNCIAS

- AMBROSE, Stanley H; NORR, Lynette. *Prehistoric Human Bone*. 1. ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1993. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-02894-0>>.
- AMBROSE, Stanley H.; DENIRO, Michael J. The isotopic ecology of East African mammals. *Oecologia*, v. 69, n. 3, p. 395–406, 1986.
- AMBROSE, Stanley H.; KRIGBAUM, John. Bone chemistry and bioarchaeology. *Journal of Anthropological Archaeology*, v. 22, n. 3, p. 193–199, set. 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278416503000333>>. Acesso em: 12 jun. 2015.
- ASEVEDO, Lidiane *et al.* Análise de microdesgaste dentário de *Notiomastodon platensis* (Mammalia, Proboscidea, Gomphotheriidae): uma síntese do estudo da paleodieta de gonfoterídeos sul-americanos. *Paleontologia em Destaque: boletim informativo da Sociedade Brasileira de Paleontologia.*, v. 1, p. 23, 2012.
- AYLIFFE, L.K; CHIVAS, A.R; LEAKEY, M.G. The retention of primary oxygen isotope compositions of fossil elephant skeletal phosphate. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 58, n. 23, p. 5291–5298, dez. 1994. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016703794903123>>. Acesso em: 18 jun. 2015.
- BARGO, María Susana; DE IULIIS, Gerardo; VIZCAÍNO, Sergio F. Hypsodonty in Pleistocene ground sloths. *Acta Palaeontologica Polonica*, v. 51, n. 1, p. 53–61, 2006.
- BEHLING, Hermann *et al.* Late Quaternary vegetational and climate dynamics in northeastern Brazil, inferences from marine core GeoB 3104-1. *Quaternary Science Reviews*, v. 19, n. 10, p. 981–994, jun. 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379199000463>>. Acesso em: 1 jun. 2015.
- BELTRÃO, Breno Augusto *et al.* *Diagnóstico Do Município Santa Cruz do Capibaribe*. Recife: CPRM/PRODEEM. , 2005
- BOCHERENS, Hervé. Preservation of Isotopic Signals (^{13}C , ^{15}N) in Pleistocene Mammals. [S.l: s.n.], 2002. p. 65–88. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/0-306-47194-9_4><<http://www.springerlink.com/content/x863524770707665/fulltext.pdf>>.
- BOCHERENS, Hervé; FIZET, Marc; MARIOTTI, André. *Diet, physiology and ecology of fossil mammals as inferred from stable carbon and nitrogen isotope biogeochemistry: Implications for Pleistocene bears* by H. Bocherens *et al.* *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. [S.l: s.n.]. , 1994
- BRYANT, J.Daniel *et al.* Biologic and climatic signals in the oxygen isotopic composition of Eocene-Oligocene equid enamel phosphate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 126, n. 1-2, p. 75–89, nov. 1996. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0031018296000715>>.
- CERLING, T. E. *et al.* Stable isotope ecology of the common hippopotamus. *Journal of Zoology*, v. 276, n. 2, p. 204–212, 2008.
- CERLING, Thure E.; HARRIS, John M. Carbon isotope fractionation between diet and bioapatite in ungulate mammals and implications for ecological and paleoecological studies. *Oecologia*, v. 120, n. 3, p. 347–363, 20 ago. 1999. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s004420050868>>.
- CERLING, Thure E.; SHARP, Zachary D. Stable carbon and oxygen isotope analysis of fossil tooth enamel using laser ablation. v. 126, p. 173–186, 1996.

DANIEL BRYANT, J.; FROELICH, Philip N. A model of oxygen isotope fractionation in body water of large mammals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 59, n. 21, p. 4523–4537, nov. 1995. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016703795002504>>.

DANTAS, Mário André Trindade *et al.* Paleoecology and radiocarbon dating of the Pleistocene megafauna of the Brazilian Intertropical Region. *Quaternary Research*, v. 79, n. 1, p. 61–65, jan. 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0033589412001160>>. Acesso em: 27 jun. 2015.

DENIRO, Michael J; EPSTEIN, Samuel. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 45, n. 3, p. 341–351, mar. 1981. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016703781902441>>. Acesso em: 21 maio 2015.

DENIRO, Michael J.; EPSTEIN, Samuel. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 42, n. 5, p. 495–506, maio 1978. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016703778901990>>. Acesso em: 22 jan. 2015.

DENIRO, Michael J.; SCHOENIGER, Margaret J. Stable carbon and nitrogen isotope ratios of bone collagen: Variations within individuals, between sexes, and within populations raised on monotonous diets. *Journal of Archaeological Science*, v. 10, n. 3, p. 199–203, maio 1983. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030544038390002X>>. Acesso em: 18 jun. 2015.

FARIÑA, Richard A. Trophic relationships among Lujanian mammals. *Evolutionary Theory*, v. 11, p. 125–134, 1996.

FARIÑA, Richard A.; VIZCAÍNO, Sergio F.; DE, Juliis Gerry. *Megafauna : giant beasts of Pleistocene South America*. Bloomington: Indiana University Press, 2013.

FOX, David L.; FISHER, Daniel C. Dietary reconstruction of Miocene Gomphotherium (Mammalia, Proboscidea) from the Great Plains region, USA, based on the carbon isotope composition of tusk and molar enamel. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 206, n. 3-4, p. 311–335, abr. 2004. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0031018204000197>>. Acesso em: 4 set. 2014.

GANNES, Leonard Z *et al.* Stable Isotopes in Animal Ecology : Assumptions , Caveats , and a Call for More Laboratory Experiments. v. 78, n. 4, p. 1271–1276, 1997.

GANNES, Leonard Z; MARTI, Carlos. Natural Abundance Variations in Stable Isotopes and. v. 119, n. 3, p. 725–737, 1998.

GARVIE-LOK, Sandra J; VARNEY, Tamara L; KATZENBERG, M Anne. Preparation of bone carbonate for stable isotope analysis : the effects of treatment time and acid concentration. v. 31, p. 763–776, 2004.

HELLIKER, B R; EHLERINGER, J R. Establishing a grassland signature in veins: ^{18}O in the leaf water of C_3 and C_4 grasses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 97, n. 14, p. 7894–8, 5 jul. 2000. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=16641&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>>. Acesso em: 1 jul. 2015.

HOBSON, Keith a; ALISAUSKAS, Ray T; CLARK, Robert G. Stable-nitrogen isotope enrichment in avian tissues due to fasting and nutritional stress: implications for isotopic analyses of diet. *The Condor*, v. 95, p. 388–394, 1993.

HOBSON, Keith a.; CLARK, Robert G. Assessing Avian Diets Using Stable Isotopes I: Turnover of ^{13}C in Tissues. *Condor The*, v. 94, p. 181–188, 1992.

HOBSON, Keith; SEASE, John. Stable Isotope Analyses of Tooth Annuli Reveal Temporal Dietary Records : An Example Using Stellar Sea Lions RECORDS : AN EXAMPLE USING. 1998.

HOPPE, Kathryn a *et al.* Tooth enamel biomineralization in extant horses: implications for isotopic microsampling. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 206, n. 3-4, p. 355–365, abr. 2004. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0031018204000215>>. Acesso em: 3 set. 2014.

IACUMIN, P. *et al.* Oxygen isotope analyses of co-existing carbonate and phosphate in biogenic apatite: a way to monitor diagenetic alteration of bone phosphate? *Earth and Planetary Science Letters*, v. 142, n. 1-2, p. 1–6, jul. 1996. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0012821X96000933>>. Acesso em: 18 jun. 2015.

KOCH, Paul L; FOGEL, Marilyn L. The Effects of Sample Treatment and Diagenesis on the Isotopic Integrity of Carbonate in Biogenic Hydroxylapatite. p. 417–429, 1997.

KOCH, Paul L. Isotopic Reconstruction of Past Continental Environments. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 26, n. 1, p. 573–613, maio 1998. Disponível em: <<http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.earth.26.1.573>>.

KOCH, Paul L.; HOPPE, Kathryn A.; WEBB, S.David. The isotopic ecology of late Pleistocene mammals in North America. *Chemical Geology*, v. 152, n. 1-2, p. 119–138, out. 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009254198001016>>. Acesso em: 14 mar. 2015.

KOHN, Matthew J *et al.* Herbivore tooth oxygen isotope compositions : Effects of diet and physiology. v. 60, n. 20, p. 3889–3896, 1996.

LAND, Lynton S.; LUNDELIUS, Ernest L.; VALASTRO, Salvatore. Isotopic ecology of deer bones. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 32, p. 143–151, jan. 1980. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0031018280900371>>. Acesso em: 27 jun. 2015.

LEE-THORP, Julia a. *Biogeochemical Approaches to Paleodietary Analysis*. [S.l.]: Springer US, 2002.

LEE-THORP, Julia a.; SEALY, Judith C.; VAN DER MERWE, Nikolaas J. Stable carbon isotope ratio differences between bone collagen and bone apatite, and their relationship to diet. *Journal of Archaeological Science*, v. 16, p. 585–599, 1989.

LOPES, Renato P. *et al.* 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*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 369, p. 385–394, jan. 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018212006293>>. Acesso em: 1 jul. 2015.

MACFADDEN, B J; SHOCKEY, B J. Ancient feeding ecology and niche differentiation of Pleistocene mammalian herbivores from Tarija, Bolivia: Morphological and isotopic evidence. *Paleobiology*, v. 23, n. 1, p. 77–100, 1997. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:A1997WU57700005>.

MACFADDEN, Bruce J. Diet and habitat of toxodont megaherbivores (Mammalia, Notoungulata) from the late Quaternary of South and Central America. *Quaternary Research*,

v. 64, n. 2, p. 113–124, set. 2005. Disponível em:

<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0033589405000712>>. Acesso em: 29 ago. 2014.

MACKO, Stephen A. *et al.* Kinetic fractionation of stable nitrogen isotopes during amino acid transamination. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 50, n. 10, p. 2143–2146, out. 1986. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016703786900682>>. Acesso em: 31 maio 2015.

MASCARENHAS, João de Castro; BELTRÃO, Breno Augusto; JUNIOR, Luiz Carlos de Souza; PEREIRA, Manoel Julio da Trindade G. Galvão Simeones Neri; MIRANDA, Jorge Luiz Fortunato De. *Diagnóstico do município de Brejo da Madre de Deus, estado de Pernambuco*. . Recife: CPRM/PRODEEM. , 2005

MASCARENHAS, João de Castro; BELTRÃO, Breno Augusto; JUNIOR, Luiz Carlos de Souza; PEREIRA, Manoel Julio da Trindade G. Galvão Simeones Neri; MIRANDA., Jorge Luiz Fortunato De. *Diagnóstico do município de São Bento do Una, estado de Pernambuco*. . Recife: CPRM/PRODEEM. , 2005

MASCARENHAS, João de Castro; BELTRÃO, Breno Augusto; JUNIOR, Luiz Carlos de Souza. *a. Diagnóstico do município de Delmiro Gouveia, estado de Alagoas*. . Recife: CPRM/PRODEEM. , 2005a

MASCARENHAS, João de Castro; BELTRÃO, Breno Augusto; JUNIOR, Luiz Carlos de Souza. *Diagnóstico Do Município de Inhapi*. . Recife: CPRM/PRODEEM. , 2005b

MASCARENHAS, João de Castro; BELTRÃO, Breno Augusto; JUNIOR, Luiz Carlos de Souza. *Diagnóstico Do Município de Maravilha, Estado de Alagoas*. . Recife: CPRM/PRODEEM. , 2005c

MASCARENHAS, João de Castro; BELTRÃO, Breno Augusto; JUNIOR., Luiz Carlos de Souza. *Diagnóstico Do Município de Poço das Trincheiras, Estado de A*. . Recife: CPRM/PRODEEM. , 2005a

MASCARENHAS, João de Castro; BELTRÃO, Breno Augusto; JUNIOR., Luiz Carlos de Souza. *Diagnóstico do município de São José da Tapera, estado de Alagoas*. . Recife: CPRM/PRODEEM. , 2005b

MCARTHUR, Jm; COLEMAN, Ml; BREMNER, Jm. Carbon and oxygen isotopic composition of structural carbonate in sedimentary francolite. n. June, 1980. Disponível em: <<http://discovery.ucl.ac.uk/957595/>>.

MINAGAWA, Masao; WADA, Eitaro. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 48, n. 5, p. 1135–1140, 1984.

PALMQVIST, Paul *et al.* Paleoecological reconstruction of a lower Pleistocene large mammal community using biogeochemical ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$, Sr : Zn) and ecomorphological approaches. v. 29, n. 2, p. 205–229, 2003.

PAULA COUTO, C. *Tratado de Paleomastozoologia*. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1979.

PRADO, José L; SÁNCHEZ, Begoña; ALBERDI, María T. Ancient feeding ecology inferred from stable isotopic evidence from fossil horses in South America over the past 3 Ma. *BMC ecology*, v. 11, p. 15, jan. 2011. Disponível em:

<<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3129290&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>>.

PRADO, José Luis *et al.* The Pleistocene Gomphotheres (Proboscidea) from South America : diversity , habitats and feeding ecology. 2001, Rome: [s.n.], 2001. p. 337–340.

PRICE, T. Douglas; SCHOENINGER, Margaret J.; ARMELAGOS, George J. Bone chemistry and past behavior: an overview. *Journal of Human Evolution*, v. 14, n. 5, p. 419–447, jul. 1985. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0047248485800221>>. Acesso em: 18 jun. 2015.

QUADE, Jay *et al.* A 16-Ma record of paleodiet using carbon and oxygen isotopes in fossil teeth from Pakistan. *Chemical Geology*, v. 94, n. 3, p. 183–192, mar. 1992. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009254110800038>>. Acesso em: 18 jun. 2015.

SÁNCHEZ, Begoña; PRADO, José Luis; ALBERDI, María Teresa. Ancient feeding, ecology and extinction of Pleistocene horses from the Pampean Region, Argentina. *Ameghiniana*, v. 43, n. 2, p. 427–436, 2006.

SCHOELLER, Dale A. Isotope Fractionation : Why Aren ' t We What We Eat ? p. 667–673, 1999.

SEALY, Judith *et al.* Comparison of two methods of extracting bone collagen for stable carbon and nitrogen isotope analysis: comparing whole bone demineralization with gelatinization and ultrafiltration. *Journal of Archaeological Science*, v. 47, p. 64–69, jul. 2014. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440314001460>>. Acesso em: 8 jul. 2015.

SHOCKEY, Bruce J. Specialized knee joints in some extinct, endemic, South American herbivores. *Acta Palaeontologica Polonica*, v. 46, n. 2, p. 277–288, 2001.

SILVA, Fabiana Marinho Da. *Tafonomia em tanque de Fazenda Nova, município de Brejo da Madre de Deus, Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil*. 2013. 95 f. Universidade Federal de Pernambuco, 2013.

SILVA, Jorge Luis Lopes. *Reconstituição Paleoambiental Baseada No Estudo de Mamíferos Pleistocênicos De Maravilha E Poço Das Trincheiras, Alagoas, Nordeste Do Brasil*. 2009. Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

SPONHEIMER, Matt; LEE-THORP, Julia a. Oxygen Isotopes in Enamel Carbonate and their Ecological Significance. *Journal of Archaeological Science*, v. 26, n. 6, p. 723–728, jun. 1999. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0305440398903880>>.

SPONHEIMER, Matt; LEE-THORP, Julia a. The oxygen isotope composition of mammalian enamel carbonate from Morea Estate, South Africa. *Oecologia*, v. 126, n. 2, p. 153–157, 19 jan. 2001. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s004420000498>>. Acesso em: 26 ago. 2014.

TIAN, XiaoSi *et al.* Carbon and nitrogen stable isotope analyses of mammal bone fossils from the Zhongba site in the Three Gorges Reservoir region of the Yangtze River, China. *Chinese Science Bulletin*, v. 56, n. 2, p. 169–178, 2011.

VAZ, M. T. *et al.* Análise De Microdesgaste Dentário Em *Notiomastodon platensis* (MAMMALIA, PROBOSCIDEA, GOMPHOTHERIIDAE) Adultos Do Pleistoceno Superior De Minas Gerais, Brasil. p. 2010–2013, 2012.

VIANA, Maria Somália Sales *et al.* Hábitos Alimentares Em Herbívoros Da Megafauna Pleistocênica No Nordeste Do Brasil. *Estudos Geológicos*, v. 21, n. 2, p. 89–95, 2011.

WANG, Yang; CERLING, Thure E. A model of fossil tooth and bone diagenesis: implications for paleodiet reconstruction from stable isotopes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 107, n. 3-4, p. 281–289, fev. 1994. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0031018294901007>>. Acesso em: 16 abr. 2015.

ZAZZO, Antoine *et al.* Diagenesis and the reconstruction of paleoenvironments : A method to restore original $\delta^{18}\text{O}$ values of carbonate and phosphate from fossil tooth enamel. v. 68, n. 10, p. 2245–2258, 2004.

APÊNDICE A – TABELA 1

Tabela 1. Resultados da análises isotópicas de carbono e oxigênio em hidroxiapatita.

(continua)

Taxon	Amostra	Local	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	% de plantas
			VPDB	VSMOW	C4 na dieta
<i>E. Laurillardi</i>	ODG 1 A	Delmiro Gouveia - AL	-8,90	29,24	29,29
<i>E. Laurillardi</i>	MRV 1 A	Maravilha -AL	-4,02	32,19	64,14
<i>E. Laurillardi</i>	190 A	Maravilha -AL	-7,22	28,11	41,29
<i>E. Laurillardi</i>	SJT 1 A	São José da Tapera - AL	-2,67	31,91	73,79
<i>E. Laurillardi</i>	936	São José da Tapera - AL	-7,93	30,32	36,19
<i>E. Laurillardi</i>	945	Cacimbinhas - AL	-6,36	31,89	47,40
<i>E. Laurillardi</i>	CAB 2	Cacimbinhas - AL	-1,91	33,12	79,25
<i>E. Laurillardi</i>	916	Olho D'água do Casado - AL	-2,99	31,05	71,51
<i>E. Laurillardi</i>	ITT 1 A	Olho D'água do Casado - AL	-5,58	31,02	53,00
<i>E. Laurillardi</i>	INP 2	Inhapi - AL	-4,05	32,77	63,90
<i>E. Laurillardi</i>	749 A	Piranhas - AL	-7,96	30,54	36,00
<i>E. Laurillardi</i>	671	Piranhas - AL	-6,03	32,07	49,78
<i>E. Laurillardi</i>	675	Piranhas - AL	-6,74	30,39	44,74
<i>E. Laurillardi</i>	682	Piranhas - AL	-7,53	29,96	39,04
<i>E. Laurillardi</i>	623	Piranhas - AL	-7,26	30,70	41,02
<i>E. Laurillardi</i>	6238	Brejo da Madre de Deus-PE	-2,74	30,40	73,27
<i>E. Laurillardi</i>	6239	Brejo da Madre de Deus-PE	-4,30	29,81	62,11
<i>E. Laurillardi</i>	7181	Poço das Trincheiras-AL	0,41	32,41	95,81
<i>E. Laurillardi</i>	5785	Brejo da Madre de Deus-PE	-7,88	32,10	36,56
<i>E. Laurillardi</i>	6005	Brejo da Madre de Deus-PE	-4,94	30,11	57,55
<i>E. Laurillardi</i>	6008	Brejo da Madre de Deus-PE	-6,27	29,19	48,07
Média			-5,38	30,92	
<i>N. platensis</i>	NOTINHAPI A	Inhapi - AL	-1,1	29,20	85,08
<i>N. platensis</i>	NOT LGA A	Inhapi - AL	0,41	29,79	95,81
<i>N. platensis</i>	960 A	Inhapi - AL	-1,74	32,09	80,39
<i>N. platensis</i>	961 A	Inhapi - AL	-2,24	30,56	76,86

Tabela 1. Resultados da análises isotópicas de carbono e oxigênio em hidroxiapatita.

(continuação)					
Taxon	Amostra	Local	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) VPDB	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) VSMOW	% de plantas C4 na dieta
<i>N. platensis</i>	460	Inhapi - AL	-8,71	27,488	30,67
<i>N. platensis</i>	943	Inhapi - AL	1,44	32,738	103,16
<i>N. platensis</i>	1152 A	Maravilha -AL	-1,93	31,73	79,10
<i>N. platensis</i>	OVE 1	Maravilha -AL	-4,70	30,93	59,28
<i>N. platensis</i>	SJT 3A	São José da Tapera - AL	-0,22	33,20	91,27
<i>N. platensis</i>	ITT 2A	Olho D'água do Casado - AL	-0,09	30,90	92,19
<i>N. platensis</i>	863	Olho D'água do Casado - AL	-3,15	32,222	70,33
<i>N. platensis</i>	5737	Santa Cruz do Capibaribe-PE	-0,91	30,13	86,33
<i>N. platensis</i>	6936	Santa Cruz do Capibaribe-PE	-1,10	31,58	85,00
<i>N. platensis</i>	5775	Santa Cruz do Capibaribe-PE	-8,57	30,63	31,66
<i>N. platensis</i>	5895	Brejo da Madre de Deus-PE	-3,41	30,52	68,47
<i>N. platensis</i>	5897	Brejo da Madre de Deus-PE	-3,80	28,59	65,71
<i>N. platensis</i>	6064	Brejo da Madre de Deus-PE	-1,49	30,92	82,21
<i>N. platensis</i>	6851	Brejo da Madre de Deus-PE	-1,23	33,28	84,07
<i>N. platensis</i>	6065	Brejo da Madre de Deus-PE	0,4	30,43	95,71
<i>N. platensis</i>	6976	Brejo da Madre de Deus-PE	-1,13	31,17	84,80
<i>N. platensis</i>	6824	São Bento do Una - PE	-4,41	29,77	61,38
Média			-2,27	30,85	
<i>T. platensis</i>	SJT 2 A	São José da Tapera - AL	-1,34	31,15	83,30
<i>T. platensis</i>	944 A	Cacimbinhas - AL	-3,56	32,34	67,41
<i>T. platensis</i>	1031 A	Delmiro Gouveia - AL	-12,37	28,25	4,48
<i>T. platensis</i>	976 A	Delmiro Gouveia - AL	-4,09	27,42	63,66
<i>T. platensis</i>	TOX LGA A	Inhapi - AL	-5,30	30,88	55,02
<i>T. platensis</i>	1127 A	Inhapi - AL	-0,07	32,05	92,34
<i>T. platensis</i>	INP 3 A	Inhapi - AL	-4,43	29,93	61,19
<i>T. platensis</i>	438 A	Poço das Trincheiras - AL	-3,31	30,25	69,20
Média			-4,45	30,28	

Tabela 1. Resultados da análises isotópicas de carbono e oxigênio em hidroxiapatita.

Taxon	Amostra	Local	(conclusão)		
			$\delta^{13}\text{C}$ (‰) VPDB	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) VSMOW	% de plantas C4 na dieta
<i>Hippidion sp.</i>	7019	Santa Cruz do Capibaribe-PE	-7,21	28,75	41,38
<i>Hippidion sp.</i>	7022	Santa Cruz do Capibaribe-PE	-9,64	30,10	24,02
		Média	-8,67	30,41	
Cervídeo	5900	Brejo da Madre de Deus-PE	-7,69	29,10	37,94
<i>X. baiense</i>	1024	Delmiro Gouveia - AL	-12,31	29,96	4,96

APÊNDICE B – TABELA 2

Tabela 2. Resultados da análises de carbono orgânico e nitrogênio em colágeno. Destaque para a amostra de *E. laurillardi* que resultou em valor de C/N aceitável para interpretações paleoambientais.

(continua)

Taxon	Amostras	Local	Composição Elementar (%)			Composição Isotópica (‰)	
			N	C	C:N	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
<i>E. Laurillardi</i>	749 b	Piranhas - AL	–	35,58	–	–	-20,78
<i>E. Laurillardi</i>	671	Piranhas - AL	–	29,54	–	–	-33,50
<i>E. Laurillardi</i>	682	Piranhas - AL	–	27,54	–	–	-11,34
<i>E. Laurillardi</i>	916	Olho D'Água do Casado - AL	–	21,00	–	–	-9,52
<i>E. Laurillardi</i>	850	Olho D'Água do Casado - AL	–	47,82	–	–	-15,92
<i>E. Laurillardi</i>	inp 2	Inhapi - AL	1,36	27,93	20,61	6,007	-13,65
<i>E. Laurillardi</i>	odg 1b	Delmiro Gouveia - AL	4,25	36,59	8,60	3,903	-24,50
<i>E. Laurillardi</i>	190 b	Maravilha - AL	–	88,40	–	–	-8,98
<i>E. Laurillardi</i>	936	São José da Tapera - AL	1,59	17,08	10,75	7,456	-13,45
<i>E. Laurillardi</i>	6005	Brejo da Madre de Deus-PE	0,48	20,50	42,38	15,89	-9,132
<i>E. Laurillardi</i>	7181	Poço das Trincheiras-AL	–	69,44	–	–	-7,77
<i>E. Laurillardi</i>	6238	Brejo da Madre de Deus-PE	8,91	57,26	6,42	9,185	-26,78
<i>E. Laurillardi</i>	5785	Brejo da Madre de Deus-PE	5,63	69,98	12,44	9,415	-16,89
<i>E. Laurillardi*</i>	6219	Brejo da Madre de Deus-PE	3,46	11,32	3,27	6,812	-10,18
<i>Holmesina</i>	6920	Santa Cruz do Capibaribe-PE	4,79	74,34	15,52	16,08	-21,83
<i>Holmesina</i>	7029	Bom Conselho - PE	2,97	46,88	15,77	–	-5,25
<i>Panocthus gleusebine</i>	inp 8	Inhapi - AL	–	33,21	–	–	-7,15
<i>Panochthus</i>	6964	Brejo da Madre de Deus-PE	2,76	26,52	9,61	12,912	-4,20
<i>Panocthus</i>	5804	Poço das Trincheiras-AL	–	18,36	–	–	-29,68
<i>cervideo</i>	6215	Brejo da Madre de Deus-PE	1,99	41,03	20,58	9,515	-10,77
<i>X. bahiense</i>	1024	Delmiro Gouveia - AL	–	18,84	–	–	-26,33
<i>Palaeolama</i>	178	Maravilha - AL	–	87,06	–	–	-18,28
<i>Hippidion</i>	7019	Santa Cruz do Capibaribe-PE	–	64,49	–	–	-11,83

Tabela 2. Resultados da análises de carbono orgânico e nitrogênio em colágeno. Destaque para a amostra de *E. laurillardi* que resultou em valor de C/N aceitável para interpretações paleoambientais.

(continuação)							
<i>N. platensis</i>	5775 b	Santa Cruz do Capibaribe-PE	–	44,84	–	–	-8,20
<i>N. platensis</i>	6936 b	Santa Cruz do Capibaribe-PE	8,61	37,74	4,38	18,39	-5,18
<i>N. platensis</i>	5737 b	Santa Cruz do Capibaribe-PE	2,77	54,41	19,67	2925	-11,30
<i>N. platensis</i>	728	Piranhas - AL	–	13,76	–	–	-10,89
<i>N. platensis</i>	itt 2b	Olho D'Água do Casado - AL	3,52	36,89	10,48	6424	-5,83
<i>N. platensis</i>	6824 b	São Bento do Una - PE	11,95	75,88	6,35	14,127	-12,59
<i>N. platensis</i>	6851	Brejo da Madre de Deus-PE	–	–	–	4,564	-4,667
<i>N. platensis</i>	6976b	Brejo da Madre de Deus-PE	–	4,19	–	–	-21,50
<i>N. platensis</i>	5895 b	Brejo da Madre de Deus-PE	2,26	114,44	50,61	4,144	-13,71
<i>N. platensis</i>	460	Inhapi - AL	–	74,48	–	–	-11,41
<i>N. platensis</i>	not lga b	Inhapi - AL	21,67	41,69	1,92	14,237	-18,71
<i>N. platensis</i>	943	Inhapi - AL	5,92	42,11	7,11	9,307	-26,98
<i>N. platensis</i>	960 b	Inhapi - AL	–	28,68	–	–	-7,93
<i>N. platensis</i>	943	Inhapi - AL	5,97	42,11	7,05	9,307	-26,98
<i>N. platensis</i>	863 b	Olho D'Água do Casado - AL	7,35	81,31	11,07	9,198	-19,21
<i>N. platensis</i>	1152 b	Maravilha - AL	–	22,94	–	21,707	-5,98
<i>Gliptodonte</i>	6216	Brejo da Madre de Deus-PE	4,50	10,29	2,28	2,946	-8,48
<i>Gliptodonte</i>	6214	Brejo da Madre de Deus-PE	3,56	70,07	19,68	4,69	-13,84
<i>Glyptotherium</i>	6555	Brejo da Madre de Deus-PE	2,34	23,79	10,18	6,052	-13,01
<i>Toxodon</i>	226 b	Maravilha - AL	–	62,08	–	–	-5,97
<i>Toxodon</i>	1031 b	Delmiro Gouveia - AL	–	40,28	–	–	-14,82
<i>Toxodon</i>	438b	Poço das Trincheiras - AL	–	94,87	–	–	-12,99