

REVISTA DE ARQUEOLOGIA

Volume 39 No. 3 Setembro - Dezembro 2026

Dossiê: Arqueologia de Grupos Caçadores-Coletores no Brasil

ARTIGO

ESTUDOS ISOTÓPICOS EM REMANESCENTES HUMANOS PRÉ-COLONIAIS CONTRIBUEM NA COMPREENSÃO DA PALEODIETA DE POVOS CAÇADORES-COLETORES-AGRICULTORES DO NORDESTE BRASILEIRO

Luzia Maria de Sousa Carvalho Policarpo*, Olívia Alexandre de Carvalho**, Benedito Batista Farias Filho***, Jorge Ezra Cruz Palma****

RESUMO

Esta pesquisa foi conduzida por uma abordagem interdisciplinar, baseada em análises isotópicas aplicadas a treze indivíduos humanos, pré-coloniais, provenientes de três sítios arqueológicos no Nordeste do Brasil: Furna do Estrago/PE, Barra/PB e Toca da Baixa dos Caboclos/PI. Utilizando isótopos estáveis de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, a pesquisa visou identificar aspectos da paleodieta dos povos em estudo. Os dados obtidos contribuem para o avanço das investigações bioarqueológicas na região, evidenciando a relevância dos estudos isotópicos na compreensão dos modos de vida de populações pretéritas. Os resultados revelam variações significativas entre dietas terrestres e marinhas, bem como o uso de diferentes tipos de plantas, permitindo uma leitura mais refinada sobre os ciclos alimentares e as estratégias adaptativas desses grupos humanos.

Palavras-chave: Isótopos estáveis $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$; Paleodieta; Arqueologia brasileira; Nordeste do Brasil.

* Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Arqueologia, Programa de Pós-Graduação em Arqueologia. E-mail: policarpoluzia@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5245-3138>.

** Departamento de Arqueologia, Universidade Federal de Sergipe, 49170-000 Laranjeiras – SE, Brasil. E-mail: ocarvalho@academico.ufs.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6953-2916>.

*** Departamento de Arqueologia, Universidade Federal do Piauí, 64049-550 Teresina – PI, Brasil; E-mail: beneditofarias@ufpi.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6728-0815>.

**** Universidad Nacional Autónoma de México (Unam) – Escuela Nacional de Antropología e Historia e Laboratorio de Estudios Paleoevolutivos. Espacio Ecológico Cuicuilco. E-mail: ezrajorge@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3837-6949>.

ISOTOPIC STUDIES IN PRE-COLONIAL HUMAN REMAINS CONTRIBUTE TO THE UNDERSTANDING OF THE PALEODIET OF HUNTER-GATHERER-FARMERS IN NORTHEAST BRAZIL

ABSTRACT

This research was conducted through an interdisciplinary approach, based on isotopic analyses applied to thirteen pre-colonial human individuals from three archaeological sites in Northeastern Brazil: Furna do Estrago, Pernambuco; Barra, Paraíba; and Toca da Baixa dos Caboclos, Piauí. Using stable isotopes of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$, the study aimed to identify aspects of the paleodiet of the peoples under study. The data obtained contribute to the advancement of bioarchaeological investigations in the region, highlighting the relevance of isotopic studies in understanding the lifestyles of past populations. The results reveal significant variations between terrestrial and marine diets, as well as the use of various plants, enabling a more refined understanding of the food cycles and adaptive strategies of these human groups.

Keywords: Stable isotopes $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$; Paleodiet; Brazilian archaeology; Northeast Brazil.

ESTUDIOS ISOTÓPICOS EN RESTOS HUMANOS PRECOLONIALES CONTRIBUYEN A LA COMPRENSIÓN DE LA PALEODIETA DE LOS PUEBLOS CAZADORES RECOLECTORES AGRICULTORES DEL NORESTE DE BRASIL

RESUMEN

Esta investigación se realizó mediante un enfoque interdisciplinario, basado en análisis isotópicos de trece individuos humanos precoloniales de tres sitios arqueológicos en el Noreste de Brasil: Furna do Estrago, Pernambuco; Barra, Paraíba; y Toca da Baixa dos Caboclos, Piauí. Utilizando isótopos estables de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, este estudio tuvo como objetivo identificar los aspectos de la paleodieta de los pueblos estudiados. Los datos obtenidos contribuyen al avance de las investigaciones bioarqueológicas en la región y destaca la relevancia de los estudios isotópicos para comprender los estilos de vida de las poblaciones pasadas. Los resultados revelan variaciones significativas entre las dietas terrestres y marinas, así como el uso de diferentes tipos de plantas, lo cual permite una comprensión más refinada de los ciclos alimentarios y las estrategias adaptativas de estos grupos humanos.

Palabras clave: Isótopos estables $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$; Paleodieta; Arqueología brasileña; Noreste de Brasil.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os estudos isotópicos consolidaram-se como ferramentas fundamentais na Arqueologia Bioantropológica, permitindo reconstruções mais refinadas dos hábitos alimentares, da mobilidade populacional e das interações ambientais de grupos humanos do passado (Katzenberg, 2008; Schwarcz; Schoeninger, 1991). A aplicação de isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) em remanescentes humanos esqueletizados tem revelado padrões dietéticos e ecológicos que dificilmente seriam acessados por meio de abordagens tradicionais (Neves; Powell; Prous, 2007).

No Brasil, especialmente no Nordeste, essas análises vêm ganhando destaque por sua capacidade de revelar nuances sobre populações pré-coloniais em ecossistemas diversos, como a caatinga, o cerrado e áreas de transição (Oliveira; Bezerra; Lima, 2016). Pesquisas recentes, como as de Carvalho (2023) integra dados isotópicos a informações arqueobotânicas, demonstrando a diversidade alimentar e o manejo de plantas C_3 e C_4 em sítios pré-coloniais e coloniais. Estudos anteriores já haviam explorado dieta e saúde em populações pré-históricas nordestinas, como Wesolowski *et al.* (2007) sistematizou o uso de isótopos estáveis em contextos arqueológicos brasileiros. Apesar desses avanços, permanece uma lacuna regional quanto à integração sistemática dos dados isotópicos com evidências arqueobotânicas, o que reforça a necessidade de ampliar esse campo de investigação (Mendonça de Souza, 2018).

Este artigo apresenta os resultados de uma investigação aplicada a treze indivíduos provenientes de três sítios arqueológicos do Nordeste brasileiro: Furna do Estrago/PE, Barra/PB e Toca da Baixa dos Caboclos/PI. O objetivo é compreender os hábitos alimentares, as práticas de manejo de plantas e os modos de vida dessas populações pré-coloniais, discutindo a base alimentar, a importância relativa dos recursos vegetais e animais e a possível existência de práticas agrícolas e de ocupação sedentária. A relevância do estudo está na integração inédita de dados isotópicos e arqueobotânicos provenientes de diferentes sítios, contribuindo para sistematizar informações dispersas e ampliar o conhecimento sobre as estratégias de subsistência desenvolvidas por populações do sertão nordestino.

Isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$)

A aplicação de isótopos estáveis em análises de paleodieta humana tem se mostrado uma ferramenta fundamental para a reconstrução dos padrões alimentares e das estratégias de subsistência de populações antigas. Ambrose (1990) destacou a relevância das razões isotópicas de carbono e nitrogênio para identificar padrões alimentares, enquanto Schoeninger e DeNiro (1985) demonstraram como diferentes tecidos corporais refletem a dieta em escalas temporais distintas. Esses estudos pioneiros abriram caminho para análises mais refinadas, permitindo compreender não apenas o consumo de proteínas animais e vegetais, mas também as variações sazonais e geográficas dos hábitos alimentares.

Posteriormente, pesquisas como as de Lee-Thorp (2008) e Bocherens (1999) ampliaram o escopo das interpretações isotópicas, explorando diferentes contextos paleoecológicos e arqueológicos. A integração entre dados isotópicos e evidências arqueológicas é essencial para interpretações robustas, evitando conclusões simplistas. Assim, a literatura especializada demonstra que o uso combinado dessas abordagens fornece uma base sólida para compreender a complexidade das práticas alimentares no passado, fortalecendo a fundamentação teórica deste trabalho.

A análise de isótopos estáveis, ferramenta essencial na Arqueologia Bioantropológica, permite reconstruções de aspectos relacionados à dieta, à mobilidade e às interações ambientais de populações antigas. Entre os isótopos mais utilizados, destacam-se o carbono e o nitrogênio, cujos sinais isotópicos fornecem informações valiosas sobre os recursos alimentares consumidos e os ecossistemas explorados (Katzenberg, 2008). O isótopo estável de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) é particularmente útil na distinção entre plantas de diferentes vias fotossintéticas, como C_3 e C_4 , que apresentam mecanismos distintos de fixação de carbono e, consequentemente, valores isotópicos diferenciados, além de indicar o consumo de recursos marinhos e terrestres. Já o isótopo de nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) reflete a posição trófica dos indivíduos, permitindo inferências sobre o consumo de proteína animal e a complexidade das cadeias alimentares (DeNiro, 1985).

A aplicação desses marcadores isotópicos em remanescentes humanos tem revolucionado a compreensão das práticas alimentares e das estratégias de subsistência em diferentes períodos históricos e pré-históricos. A análise do colágeno ósseo, por exemplo, fornece uma média integrada da dieta ao longo de vários anos da vida do indivíduo (Ambrose, 1993), especialmente em adultos, devido à lenta taxa de remodelação do tecido ósseo. Em indivíduos subadultos, esse processo ocorre de forma mais acelerada, fazendo com que o colágeno reflita intervalos temporais mais curtos da dieta (Hedges; Reynard, 2007; Sealy; Pfeiffer, 2019). Estudos arqueológicos realizados em diferentes regiões do mundo têm demonstrado a eficácia dos isótopos estáveis na identificação de mudanças alimentares associadas a transformações culturais, como a adoção da agricultura, o contato entre populações e os processos de urbanização. Essas mudanças são frequentemente refletidas em variações nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ (Tykot, 2004).

A proporção dos isótopos estáveis de um determinado elemento permanece relativamente constante em diferentes materiais e fontes, como rochas, solos, água e plantas (Carvalho, 2019, 2023). A incorporação desses isótopos ocorre quando os organismos consomem tais recursos, de modo que seus tecidos passam a registrar informações relacionadas à alimentação e ao ambiente. Uma das formas de investigar aspectos da vida de indivíduos do passado por meio de análises isotópicas consiste no estudo de remanescentes biológicos, como ossos e dentes. A composição química desses tecidos pode variar em função de diferentes fatores ambientais, fisiológicos e nutricionais.

As razões isotópicas presentes na parte mineral dos ossos e dos dentes, denominada bioapatita, e na parte orgânica, denominada colágeno, podem variar em função da influência desses fatores (Terlato, 2012). Tanto o tecido ósseo quanto a dentina fazem parte dos tecidos conjuntivos mineralizados, apresentando uma matriz orgânica composta predominantemente por colágeno, enquanto a fração mineral corresponde à maior parte de sua massa (Terlato, 2012, p. 95). No caso do esmalte dentário, o grau de mineralização é mais elevado. Os dentes apresentam uma matriz inorgânica correspondente a 99% de sua massa, composta principalmente por hidroxapatita. Diferentemente do tecido ósseo e da dentina, sua matriz orgânica é reduzida e não apresenta colágeno conforme Terlato (2012, p. 96).

No contexto sul-americano, pesquisas isotópicas têm revelado padrões alimentares distintos entre grupos costeiros e do interior, bem como entre populações indígenas e coloniais. A diversidade ecológica da região contribui para uma ampla gama de sinais isotópicos, tornando os estudos locais particularmente relevantes para a compreensão das estratégias de subsistência e das adaptações humanas ao ambiente (Bastos; Dias, 2019). No Brasil, os estudos isotópicos concentraram-se, inicialmente, em populações litorâneas das regiões Sul e Sudeste, além de contextos específicos como Lagoa Santa/MG. Para o Nordeste brasileiro, os dados disponíveis ainda são mais restritos,

embora pesquisas desenvolvidas na Serra da Capivara/PI já tenham indicado a presença de grupos caçadores-agricultores.

Nesse contexto, estudos realizados em diferentes sítios arqueológicos nordestinos contribuem para ampliar e sistematizar informações sobre alimentação, manejo de plantas, subsistência e modos de vida de populações pré-coloniais da região. Além da dieta, os isótopos estáveis também têm sido empregados para investigar aspectos de mobilidade e migração. A comparação entre os valores isotópicos de indivíduos e os valores esperados para determinada região pode indicar deslocamentos geográficos ou integração entre grupos distintos (Fernandes; Nogueira; Lima, 2021).

A interpretação dos dados isotópicos requer uma abordagem multidisciplinar, envolvendo conhecimentos de bioquímica, ecologia, antropologia e arqueologia. A integração com outras linhas de evidência, como dados zooarqueológicos, paleobotânicos e históricos, fortalece as conclusões obtidas (Katzenberg, 2008). É importante considerar fatores que podem influenciar os valores isotópicos, como o estado de preservação do colágeno, o tipo de tecido analisado e as variações ambientais locais. O controle desses parâmetros é essencial para garantir a confiabilidade dos resultados (Ambrose, 1993, p. 12).

Além disso, a interpretação dos dados depende da qualidade das amostras analisadas e da adequada contextualização arqueológica dos indivíduos estudados, aspectos fundamentais para a construção de inferências sobre alimentação, mobilidade e uso dos recursos disponíveis no ambiente. A crescente disponibilidade de bancos de dados isotópicos regionais tem facilitado a comparação entre sítios arqueológicos e populações, promovendo uma visão mais integrada das dinâmicas culturais e ecológicas do passado. Esses bancos são fundamentais para contextualizar os valores obtidos em novas amostras (Bastos; Dias, 2019).

Apesar dos avanços, ainda existem desafios na interpretação dos dados isotópicos, especialmente em contextos com dietas mistas ou em regiões com sobreposição de fontes alimentares. A modelagem estatística e o uso de softwares especializados têm sido importantes ferramentas para auxiliar na interpretação desses elementos (Fernandes; Nogueira; Lima, 2021). Em suma, os isótopos estáveis de carbono e nitrogênio representam uma importante fonte de informações sobre populações do passado, contribuindo para a compreensão de aspectos relacionados à alimentação, à subsistência e às interações entre grupos humanos e ambiente. Neste estudo, a aplicação de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ está direcionada à investigação das práticas alimentares e do uso de recursos vegetais e animais por populações pré-coloniais representadas pelos sítios Furna do Estrago/PE, Barra/PB e Toca da Baixa dos Caboclos/PI.

Os valores isotópicos são expressos em relação a padrões internacionais de referência, permitindo a comparação entre diferentes amostras e estudos. Dessa forma, os valores de delta (δ) representam a razão isotópica de uma amostra em relação a um padrão previamente estabelecido (Hoefs, 2015; Sharp, 2017). Valores negativos indicam enriquecimento relativo do isótopo leve (ou empobrecimento do isótopo pesado), enquanto valores positivos indicam enriquecimento relativo do isótopo pesado em comparação ao padrão utilizado (Hoefs, 2015; Sharp, 2017).

Esses padrões internacionais são empregados para garantir a comparabilidade dos resultados obtidos em diferentes laboratórios e estudos. Entre os mais utilizados, destacam-se o Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB), adotado para análises de carbono, o Atmospheric Air (AIR), utilizado para nitrogênio, e o Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW), empregado em análises de oxigênio e hidrogênio (Coplen, 2011; Werner; Brand, 2001). Os principais padrões empregados nas análises isotópicas encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Padrões internacionais de referência para razões isotópicas.

Razão Isotópica	Unidade	Padrão Internacional	Valor do Padrão
$^2\text{H}/^1\text{H}$ ou D/H	‰	Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW)	0,00015575
$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	‰	Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB)	0,0111802
$^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$	‰	Ar atmosférico (AIR)	0,0036782
$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	‰	VSMOW / VPDB	VSMOW = 0,0020052 / VPDB = 0,0020672
$^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$	‰	Vienna Canyon Diablo Troilite (VCDT)	0,0451509

Fonte: Adaptado pela autora com base em Werner e Brand (2001).

Isótopos estáveis de carbono

O carbono, elemento pertencente à família IVA (Grupo 14) da Tabela Periódica, possui quatro elétrons na camada externa, por meio dos quais estabelece ligações químicas compartilhando elétrons de forma covalente. Os primeiros estudos envolvendo a aplicação dos isótopos estáveis de carbono remontam ao início da década de 1950, com pesquisas realizadas por Nier (1947) no primeiro espectrômetro de massa dedicado à medida das razões isotópicas do carbono, nitrogênio e oxigênio. Os trabalhos iniciais sobre as variações do carbono na natureza foram realizados por Wickman e Ubisch (1951) e posteriormente por Wickman (1952). A partir de 1953, os isótopos de carbono começaram a ser estudados em plantas por Craig, mas foi somente a partir de 1971 que se realizaram estudos considerados mais seguros sobre o fracionamento dos isótopos ^{13}C e ^{12}C durante a fixação do CO_2 pelas plantas (Smith; Epstein, 1971).

Segundo dados de Howe (2007), os três isótopos mais conhecidos deste elemento apresentam abundâncias médias em torno de $^{12}\text{C} = 98,88\%$, $^{13}\text{C} = 1,12\%$ e $^{14}\text{C} \approx 1$ ppt (parte por trilhão) (Machado, 2013). Desse modo, dos três isótopos, o ^{14}C (ou radiocarbono) é o único que é instável – decaindo para ^{14}N com meia-vida de 5.580 anos, por emissão de uma partícula β^- , sendo utilizado em datações por decaimento radioativo de materiais carbonosos, com alcance seguro de até sessenta mil anos (Margolis *et al.*, 1975).

Os fracionamentos ou variações da composição isotópica por meios naturais são restritos, assim, aos isótopos estáveis ^{12}C e ^{13}C . Sua principal fonte em estudos de dieta é o CO_2 atmosférico, a molécula mais abundante em carbono da atmosfera, que ingressa na biosfera e é utilizada pelas plantas durante o processo de fotossíntese. Nesse processo, ocorre a produção de matéria orgânica (glicose), que passa a apresentar valores de $\delta^{13}\text{C}$ associados às diferentes vias fotossintéticas das plantas terrestres, incluindo os ciclos C_3 , C_4 e CAM (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), conforme esclarecido por Llano (1978 *apud* Farias Filho, 2010, p. 21).

Nesse sentido, as plantas com ciclo fotossintético C_3 reduzem o CO_2 a fosfoglicerato, um composto com três carbonos, por meio da enzima ribulose-bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), durante o processo de carboxilação ou fixação do carbono (Farias Filho, 2010). Aproximadamente 85% das espécies vegetais apresentam o ciclo C_3 , incluindo plantas como trigo, soja e arroz. Essas espécies são dominantes na maioria dos ecossistemas, desde as regiões boreais até os trópicos, sendo mais favorecidas em ambientes com temperaturas entre 10 °C e 25 °C (Farias Filho, 2010). Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ das plantas C_3 variam aproximadamente entre -20‰ e -35‰, com média de -27‰ (Boutton, 1991).

Por outro lado, as plantas com ciclo fotossintético C_4 reduzem o CO_2 a ácido aspártico ou ácido málico, compostos com quatro carbonos, por meio da enzima fosfoenolpiruvato-carboxilase (PEP-carboxilase), utilizando a enzima ribulose-bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) nas etapas subsequentes da fixação do carbono (Rosnow *et al.*, 2015). Essas plantas discriminam menos o CO_2 durante a fotossíntese e, por essa razão, apresentam valores de $\delta^{13}C$ mais elevados, geralmente entre -9‰ e -17‰ (Boutton, 1991; Farias Filho, 2010).

Contudo, as espécies de plantas C_4 compreendem apenas cerca de 5% de todas as espécies vegetais, pertencendo a aproximadamente dezoito famílias botânicas, com distribuição geográfica restrita (Osmond; Anderson; Björkman, 1980). Essas plantas são mais favorecidas em ambientes com temperaturas entre 30 °C e 45 °C, elevada luminosidade e condições climáticas específicas, apresentando valores de $\delta^{13}C$ entre -9‰ e -17‰ (Farias Filho, 2010).

Cerca da metade das espécies C_4 é composta por gramíneas de origem tropical e subtropical, como a cana-de-açúcar e o milho. Além disso, ambientes dominados por vegetação C_4 , como pastagens, savanas e pântanos salinos, apresentam predominância dessas gramíneas (Carvalho, 2019, 2023). Considerando sua distribuição global, aproximadamente 17% da superfície terrestre é coberta por plantas C_4 , responsáveis por cerca de 20% a 30% da fotossíntese mundial (Smith, Epstein, 1971).

Além das plantas C_3 e C_4 , existem também as plantas CAM, cuja via fotossintética representa uma adaptação a ambientes com restrição hídrica. Essas plantas correspondem a aproximadamente 10% das espécies vegetais e ocorrem em pelo menos trinta famílias botânicas, incluindo a Cactaceae, a Euphorbiaceae e a Bromeliaceae (Bender; Bales; Hooper, 1973, p. 428). Popularmente conhecidas como suculentas, apresentam valores de $\delta^{13}C$ que variam entre -28‰ e -10‰, dependendo das condições ambientais (Boutton, 1991).

As composições isotópicas presentes nos consumidores da cadeia alimentar refletem as composições dos produtores primários que, por sua vez, refletem características do ambiente onde esse ciclo ocorre (Carvalho, 2019, 2023). Com isso, os dois elementos mais utilizados em estudos de dieta para inferir aspectos ambientais e alimentares de uma determinada comunidade ou indivíduo são os isótopos de carbono (^{13}C e ^{12}C) e de nitrogênio (^{15}N e ^{14}N) (Machado, 2013). Os aspectos relacionados ao nitrogênio serão discutidos na seção seguinte. Nesse sentido, os resultados das análises isotópicas voltadas à compreensão da alimentação de um determinado grupo baseiam-se na determinação das proporções $\delta^{13}C/\delta^{12}C$ e $\delta^{15}N/\delta^{14}N$, respectivamente. Ao longo da cadeia alimentar, os sinais isotópicos do carbono são incorporados pelos organismos e podem ser detectados por meio da espectrometria de massa, contribuindo para a reconstrução de padrões alimentares e aspectos do comportamento humano no passado (Martinelli *et al.*, 2009).

Isótopos estáveis de nitrogênio

Com relação aos isótopos estáveis de nitrogênio ($\delta^{15}N$), esse elemento químico gasoso não é absorvido diretamente pelo organismo humano, sendo assimilado apenas de forma indireta por meio da cadeia alimentar. O nitrogênio atmosférico pode ser fixado por algumas plantas leguminosas, bactérias e algas marinhas, conforme apresentado por DeNiro *et al.* (1985). Dessa forma, as primeiras aplicações dos isótopos de nitrogênio buscaram compreender as diferenças entre recursos alimentares de origem marinha e terrestre consumidos por populações humanas, bem como os respectivos valores isotópicos registrados (Carvalho, 2019, 2023).

A partir dessas observações, verificou-se que indivíduos com dietas predominantemente terrestres tendem a apresentar valores de $\delta^{15}\text{N}$ inferiores a +6,0‰, enquanto dietas fortemente associadas a recursos marinhos podem apresentar valores superiores a +12,0‰ (Ambrose, 1993). Já recursos provenientes de ambientes de água doce costumam apresentar valores intermediários, em torno de +10,0‰. De acordo com Farias Filho (2010, p. 21), essa diferença nos valores isotópicos associados aos ambientes marinhos está relacionada aos processos biogeoquímicos do nitrogênio nesses ecossistemas, interpretação também discutida por Klepinger (1984).

As diferentes proporções de isótopos podem indicar se as principais fontes de proteína são derivadas de recursos marinhos ou terrestres (através do valor $\delta^{13}\text{C}$), ou de plantas e animais (valor $\delta^{15}\text{N}$), conforme discutido por Terlatto (2012, p. 97). Enquanto os valores dos consumidores terrestres, identificados por meio do $\delta^{13}\text{C}$, estão mais próximos de $-20 \pm 2\text{‰}$ – semelhantes aos observados em ecossistemas de água doce –, é importante destacar que o $\delta^{13}\text{C}$ também sofre enriquecimento ao longo dos níveis tróficos, embora em menor magnitude, geralmente em torno de +1‰ (Ambrose, 1990; Schoeninger; DeNiro, 1984; Tykot, 2004). Já o $\delta^{15}\text{N}$ apresenta incrementos médios mais expressivos, entre 3‰ e 5‰, sendo amplamente utilizado como indicador da posição trófica dos indivíduos (Bocherens; Drucker, 2003; Minagawa; Wada, 1984).

Terlatto (2012, p. 97) estabelece, em sua pesquisa, uma comparação desse modelo trófico aplicado ao ser humano no período Pleistocênico com uma base alimentar voltada para vegetais. Nesse modelo, as plantas apresentam, geralmente, valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre 0‰ e 2‰, obtendo nitrogênio do solo ou da atmosfera. Os herbívoros que consomem essas plantas tendem a apresentar valores de $\delta^{15}\text{N}$ na proteína corporal entre 3‰ e 5‰ superiores aos observados nos vegetais. Da mesma forma, os carnívoros que consomem esses herbívoros apresentam valores de $\delta^{15}\text{N}$ no colágeno ósseo aproximadamente 3‰ a 5‰ superiores aos dos herbívoros (Bocherens; Drucker, 2003). Ainda de acordo com Terlatto (2012, p. 97-102), é necessário ressaltar que os valores isotópicos observados em omnívoros (humanos) podem situar-se entre os intervalos registrados para herbívoros e carnívoros. Isso ocorre em função da proporção de proteínas vegetais e animais presentes na dieta (Ambrose, 1993).

Quando comparados aos valores isotópicos de carnívoros e herbívoros do mesmo ambiente, os dados obtidos para populações humanas podem contribuir para a compreensão da origem predominante das proteínas consumidas, sejam elas derivadas de fontes animais, vegetais ou de ambas. Dessa forma, a análise combinada de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ permite reconstruções mais robustas da paleodieta e das estratégias de subsistência de populações humanas pretéritas.

SÍTIOS ARQUEOLÓGICOS: A FONTE DOS ISÓTOPOS

No Brasil, estudos isotópicos têm sido aplicados com sucesso em diferentes contextos arqueológicos, contribuindo para a compreensão das estratégias de subsistência e dos hábitos alimentares de populações pretéritas. Neves, Powell e Prous (2007) demonstraram que populações pré-históricas do litoral paulista apresentavam dietas ricas em recursos marinhos, enquanto Oliveira, Bezerra e Lima (2016) identificaram padrões mistos de consumo vegetal e animal em grupos do semiárido nordestino.

Em sítios como Furna do Estrago, os dados isotópicos revelaram estratégias alimentares complexas, com uso de plantas cultivadas e recursos silvestres (Oliveira; Bezerra, Lima, 2016). Além desses exemplos, pesquisas em sambaquis do Rio de Janeiro, como o Arapuan (Cunha *et al.*, 2022), e de Santa Catarina, como o Forte Marechal Luz, evidenciaram dietas predominantemente marinhas e processos posteriores de

diversificação alimentar. Estudos realizados na Baía da Babitonga (Bandeira, 2004) reforçam que as análises isotópicas vêm sendo aplicadas em múltiplos contextos costeiros e continentais, ampliando o entendimento sobre as estratégias adaptativas de populações pré-coloniais brasileiras.

Nos últimos anos, estudos isotópicos aplicados a grupos pré-coloniais do Nordeste brasileiro têm revelado padrões alimentares complexos e regionalmente diferenciados. A seguir, destacam-se alguns exemplos representativos. Na Furna do Estrago/PE, análises de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ realizadas por Oliveira, Bezerra e Lima (2016) em indivíduos sepultados no sítio indicaram uma dieta predominantemente terrestre, além de variações isotópicas entre as amostras analisadas. No sítio Pedra do Cachorro/PE, estudos isotópicos apontaram uma dieta baseada em recursos vegetais e proteína animal terrestre, evidenciando a complexidade das estratégias de subsistência desses grupos (Bezerra; Oliveira; Lima, 2014).

De acordo com Bastos e Dias (2019), os indivíduos desse sítio apresentaram valores isotópicos compatíveis com uma dieta predominantemente composta por plantas C_3 , sugerindo baixo consumo de recursos C_4 , como milho ou cana-de-açúcar. Em conjunto, esses estudos demonstram o potencial das análises isotópicas para compreender a variabilidade alimentar e as estratégias de adaptação das populações pré-coloniais do semiárido nordestino.

Kipnis (2006) analisou dados de indivíduos provenientes de sepultamentos em diferentes sítios da Serra da Capivara, em São Raimundo Nonato, e identificou valores elevados de $\delta^{15}\text{N}$, compatíveis com o consumo de proteína animal. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$, por sua vez, foram interpretados pelo autor como indicativos de uma dieta baseada predominantemente em recursos vegetais do tipo C_3 . Esses exemplos demonstram como os estudos isotópicos têm contribuído para a reconstrução da paleodieta e para a compreensão das estratégias adaptativas de grupos humanos pré-coloniais no semiárido nordestino.

A aplicação dessas técnicas permite não apenas identificar os tipos de alimentos consumidos, mas também inferir aspectos culturais, sociais e ambientais que moldaram os modos de vida desses grupos. Em contextos arqueológicos regionais, os sítios arqueológicos abordados neste estudo – Furna do Estrago/PE, Barra/PB e Toca da Baixa dos Caboclos/PI – representam recortes distintos em termos cronológicos, ambientais e funerários. As datas obtidas por radiocarbono variam entre 1860 ± 50 e 230 ± 50 anos do presente (AP), intervalo que possibilita uma análise diacrônica das práticas alimentares e estratégias de subsistência dessas populações. No caso da Furna do Estrago, as datações foram publicadas por Lima (1985), que apresentou resultados consistentes para sepultamentos pré-coloniais da região.

Para o sítio Barra/PB, as cronologias reforçam a presença de contextos funerários preservados e datados dentro desse intervalo. Já para a Toca da Baixa dos Caboclos/PI, as datações foram inicialmente apresentadas e aprofundadas por Guidon (1991), no âmbito das pesquisas da Serra da Capivara. A seleção desses sítios fundamentou-se na disponibilidade de remanescentes humanos com potencial para análises isotópicas, na ocorrência de materiais vegetais associados aos enxovais funerários e na existência de cronologias radiocarbônicas publicadas em literatura especializada, o que garante a confiabilidade das interpretações.

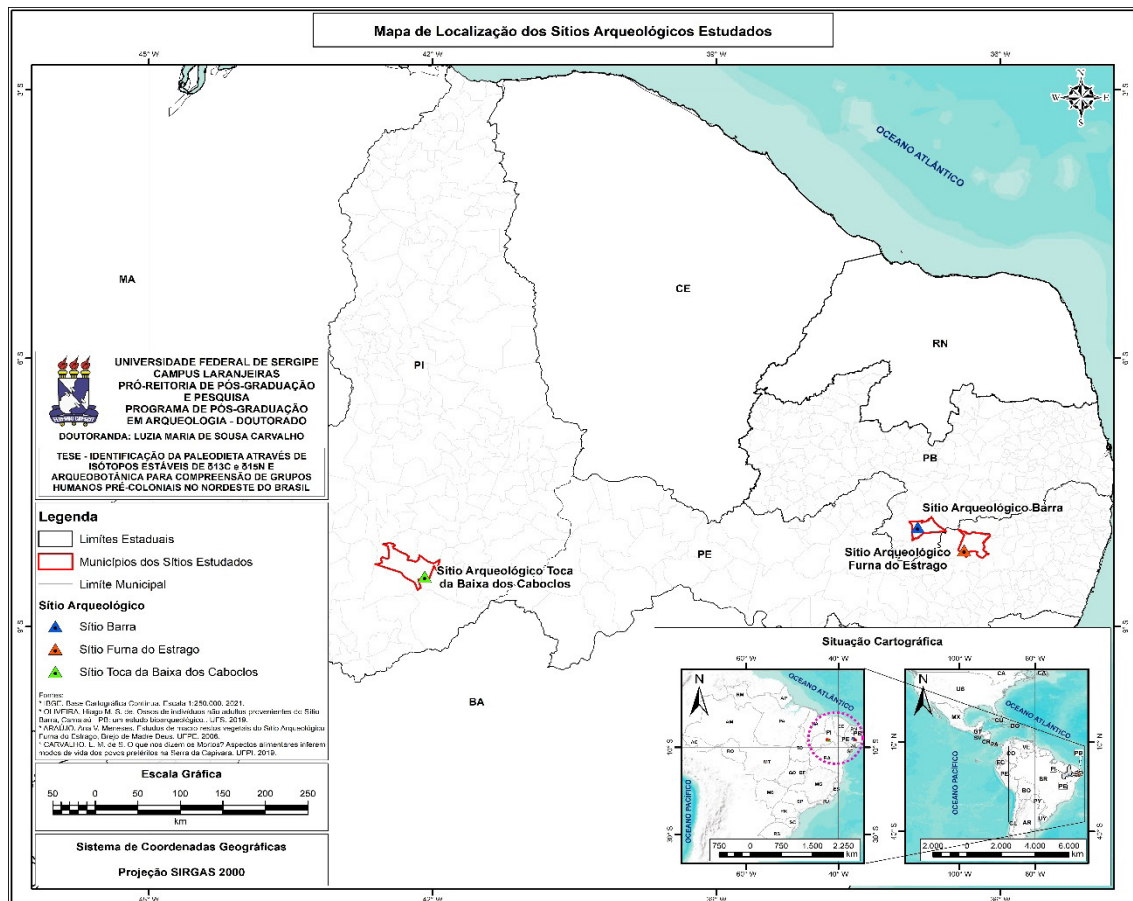
Dessa forma, o conjunto de evidências cronológicas e arqueológicas sustenta a abordagem comparativa proposta neste estudo, permitindo integrar dados isotópicos e arqueobotânicos em diferentes recortes espaciais e temporais do sertão nordestino. Os sítios arqueológicos aqui analisados correspondem a cemitérios pré-coloniais com

diferentes cronologias e contextos espaciais, cujos sepultamentos incluem indivíduos adultos e não adultos, enterramentos diretos e indiretos, além de contextos com distintos estados de preservação e materialidades funerárias associadas (Guidon, 1991; Lima, 1985; Mendonça de Souza, 1992; Pessis, 2003).

A seleção desses sítios fundamentou-se na presença de contextos funerários bem preservados – com remanescentes humanos com potencial para recuperação de colágeno –, na acessibilidade aos acervos arqueológicos, na existência de materiais vegetais associados aos enxovais funerários e na possibilidade de comparação entre diferentes contextos cronológicos e regionais. Os enxovais funerários incluíam elementos vegetais, como fibras, trançados, cestarias e restos de plantas, depositados junto aos indivíduos, indicando o uso simbólico e ritualístico desses materiais.

Também foram consideradas a presença de estruturas sob abrigo rochoso, a associação entre áreas de deposição e ocupação humana e a possibilidade de integração entre análises isotópicas, bioarqueológicas e arqueobotânicas. A localização dos sítios arqueológicos contemplados neste estudo pode ser observada na Figura 1.

Figura 1. Mapa de localização dos sítios arqueológicos Furna do Estrago/PE, Barra/PB e Toca da Baixa dos Caboclos/PI, Nordeste do Brasil.



Fonte: Carvalho (2023).

Além de apresentarem materiais vegetais associados aos contextos funerários, os sítios abrangem um intervalo cronológico que se estende de 1860 ± 50 AP a 240 ± 40 AP, possibilitando comparações entre diferentes momentos de ocupação humana no sertão nordestino. Os sítios estão localizados em três estados do Nordeste

brasileiro. O sítio arqueológico Furna do Estrago, localizado em Pernambuco (Figura 2), apresenta datações de 1860 ± 50 AP, 1730 ± 70 AP e 1610 ± 70 AP (Lima, 1985).

No local, foram exumados 87 esqueletos bem preservados, correspondendo a um Número Mínimo de Indivíduos (NMI) estimado em 86 (Lima, 1985). As datações radiocarbônicas foram obtidas a partir dos indivíduos FE 18 (1860 ± 50 AP), FE 87.23 (1730 ± 70 AP) e FE 45 (1610 ± 70 AP), indicando a utilização recorrente desse espaço funerário ao longo do tempo. Os remanescentes humanos encontram-se sob guarda da Universidade Católica de Pernambuco (Unicap).

As três datações obtidas em contexto funerário indicam que o local foi utilizado como cemitério por aproximadamente 250 anos (Lima, 1985). A população da Furna do Estrago apresenta características bioarqueológicas que a distinguem de outros grupos pré-coloniais do Nordeste brasileiro, destacando-se a ocorrência de alterações congênitas e paleopatológicas, entre elas sacralização, deformações cranianas, espondilólise associada ao fechamento incompleto do tubo neural, sinostose craniana e outras condições registradas nos remanescentes humanos (Lima, 1985; Mendonça de Souza; Mello e Alvim, 1992; Mendonça de Souza, 2018).

Figura 2. Vista da área do Sítio Arqueológico Furna do Estrago/PE.



Fonte: Tese de Luzia Policarpo (2023).

Em seguida, o sítio arqueológico Barra, no Estado da Paraíba (1220 ± 30 AP) (Figura 3) configura-se como um abrigo formado pelo desabamento e rebatimento de afloramentos da rocha matriz, localizado no alto de uma pequena serra situada no topo da vertente direita do Rio Paraíba, condição que favoreceu sua utilização como local de deposição dos mortos.

O material arqueológico identificado no sítio é composto por ossos humanos, tecido epitelial, cinzas, ossos calcinados, material cerâmico, artefatos líticos, cestarias e fibras trançadas, como apresentado por Santos (2019) e Carvalho (2023). Além disso,

possui uma variedade relevante de material arqueológico, sobretudo de ossos humanos, provenientes de um conjunto funerário com NMI estimado em aproximadamente trinta indivíduos, entre adultos e não adultos (Mendonça de Souza, 1992; Santos, 2019).

O contexto, composto por ossos desarticulados e revolvidos, além de materiais associados, como trançados, cestarias, restos vegetais e sedimentos, contribui de forma significativa para abordagens relacionadas à inferência de estratégias de subsistência, mobilidade, migrações, consumo e uso de vegetais e animais, permitindo reconstruções da paleodieta a partir da análise de ossos e dentes. Os remanescentes humanos provenientes do sítio encontram-se sob guarda do Laboratório de Bioarqueologia da Universidade Federal de Sergipe (LABIARQ/UFS).

Figura 3. Vista da área do Sítio Arqueológico Barra/PB.



Fonte: Fotos cedidas por Carlos Xavier.

Logo, o sítio Toca da Baixa dos Caboclos (Figura 4), localizado no Parque Nacional Serra da Capivara, no sudeste do Estado do Piauí, apresenta nove enterramentos de indivíduos adultos e infantis, incluindo um lactente em estado de mumificação intencional por cloreto de sódio (NaCl) (Carvalho, 2019, 2023). As datações obtidas variam entre 450 ± 40 AP e 230 ± 50 AP, correspondendo aproximadamente ao período compreendido entre os séculos XVI e XVII da Era Cristã, momento associado ao processo de contato colonial na região.

As análises isotópicas de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) e nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$) realizadas em colágeno ósseo e dentina, associadas às análises de microvestígios vegetais, incluindo fitólitos e grãos de amido recuperados de cálculos dentários e sedimentos funerários, contribuíram para a identificação dos recursos alimentares consumidos pelos indivíduos do sítio.

Essa abordagem integrada permitiu reconhecer padrões de dieta baseados em plantas C_3 e proteína animal terrestre, além de indicar o uso de espécies vegetais em diferentes contextos, como alimentação e práticas rituais. A combinação dos dados isotópicos com

os microvestígios ampliou a compreensão sobre as estratégias de subsistência e o manejo de plantas por populações pré-coloniais da região, oferecendo evidências consistentes sobre a diversidade alimentar e cultural desses grupos.

Figura 4. Vista do Sítio Arqueológico Toca da Baixa dos Caboclos, localizado no Parque Nacional (Parna) Serra da Capivara/PI.



Fonte: Elaboração própria (2023).

No contexto arqueológico do sítio Toca da Baixa dos Caboclos, ainda é possível observar a utilização e reutilização do mesmo espaço ao longo de centenas de anos, assim como a reelaboração das práticas funerárias associadas às urnas cerâmicas com proximidade cronológica, sugerindo, assim, a permanência de tradições culturais ao longo do tempo (Carvalho, 2019, 2023). Por conseguinte, os dados obtidos foram utilizados para a comparação entre os sítios quanto à variação dos recursos alimentares, à disponibilidade de recursos naturais e ao manejo de plantas cultivadas.

A análise do contexto arqueológico compreende o espaço como uma construção social e simbólica, representada, neste caso, por um local sagrado destinado aos mortos. O local escolhido como cemitério, espaço exclusivo para a deposição dos sepultados, está relacionado ao controle territorial, ao acesso a recursos e, principalmente, às associações simbólicas que os grupos humanos estabelecem com a morte (Carvalho, 2019, p. 168-169, 2023).

Nessa perspectiva, as escolhas culturais dos grupos humanos pretéritos que habitaram o sertão nordestino ao longo de diferentes períodos estavam voltadas para diversos aspectos, tais como disponibilidade de recursos, áreas favoráveis à habitação, meios de subsistência, estratégias de sobrevivência, domínio territorial, proteção do grupo e cuidado com os seus falecidos. A escolha simbólica dos locais de deposição dos mortos e as práticas funerárias associadas refletem aspectos dos modos de vida dessas populações, atualmente compreendidos por meio dos vestígios materiais preservados no registro arqueológico.

PARTE EXPERIMENTAL

Materiais

As amostras para a análise de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ foram ósseas humanas provenientes dos enterramentos E01-OH01 (fragmento de vértebra da região lombar), E06-OH02 (fragmento de costela superior direita) e E07-OH02 (fragmento de costela) do sítio arqueológico Toca da Baixa dos Caboclos, no sudeste do estado do Piauí. Para o sítio Barra, foram coletados ossos e dentes (quatro amostras) de indivíduos adultos, sem identificação de sexo. Por último, na Furna do Estrago, foram coletadas seis amostras de indivíduos adultos masculinos e femininos, totalizando onze amostras ósseas e dois dentes superiores destinados às análises de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ em remanescentes humanos.

As amostras analisadas no Centro Multiusuário de Espectrometria de Massas de Razão Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA-USP) pertenciam a indivíduos adultos, masculinos e femininos: CX51CT5A FE-OH-06 (sep. 01), CX2ACT5 FE-OH-04 (sep. 02), CX4CT05 FE-OH-05 (sep. 04), CX06CT05 FE-OH-02 (sep. 06), CX10CT05 FE-OH-03 (sep. 10) e CX11CT02 FE-OH-01 (sep. 11), do sítio Furna do Estrago.

As amostras correspondentes ao sítio arqueológico Barra são provenientes de sepultamentos adultos desarticulados, a saber: AVII-OH-01B, AII-OH-02B, BIII-OH-03B e AII-DH-01B. Por último, para os remanescentes humanos do sítio arqueológico Toca da Baixa dos Caboclos, foram analisadas amostras de três indivíduos adultos jovens do sexo masculino – 51386 / E07-OH02, 51264 / E07-OH01 e 51008 / E06-OH02 –, no Laboratório Beta Analytic, em Miami, Flórida (Estados Unidos). Para as análises de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, foram coletados fragmentos ósseos e dentes, com dimensão média de 2,0 cm, priorizando costelas e vértebras, por apresentarem maior potencial de preservação de colágeno (Carvalho; Carvalho, 2022; Carvalho, 2023).

As amostras estavam preservadas e secas, condição que possibilitou a realização dos procedimentos de pré-tratamento antes do envio aos laboratórios de análise. O pré-tratamento foi realizado no Laboratório de Arqueometria e Química do Departamento de Ciências da Natureza da Universidade Federal do Piauí e consistiu na remoção de sedimentos aderidos por meio de escovação suave, na seleção dos fragmentos com melhor potencial de preservação de colágeno, no registro fotográfico e na catalogação das amostras. Posteriormente, os fragmentos foram submetidos à maceração manual até atingirem massa mínima de 0,5 mg por amostra, sendo então encaminhados aos laboratórios responsáveis pelas análises por Espectrometria de Massas de Razão Isotópica (IRMS).

Métodos

Todas as amostras foram pesadas em balança de precisão Shimadzu BL2200H. Antes dos procedimentos destrutivos, os remanescentes humanos foram fotografados em vista geral e em detalhe para fins de documentação e preservação da informação visual. Inicialmente, foi realizada a remoção de sedimentos aderidos por meio de escovação suave, seguida da seleção dos fragmentos com melhor potencial de preservação de colágeno, do registro fotográfico e da catalogação das amostras.

Em seguida, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos duplos com fecho *zip lock*, envoltas em papel-alumínio para evitar danos durante o transporte e posteriormente acondicionadas em caixas de polipropileno forradas internamente, garantindo a integridade física do material. Após a maceração mecânica, as amostras

foram armazenadas em tubos de polipropileno com capacidade para 10 ml. Os fragmentos foram então submetidos à limpeza mecânica, realizada com escova de cerdas macias, raspagem superficial com bisturi e lixa fina para remoção de incrustações externas, seguida de limpeza química por meio de lavagem em água destilada, banhos rápidos em solução de HCl 0,1 M para remoção de carbonatos superficiais e enxágue em água ultrapura.

Em seguida, a extração e a purificação do colágeno foram realizadas pelos laboratórios responsáveis pelas análises, por meio de hidrólise ácida e gelatinização, seguindo protocolos modificados de Longin (1971) e refinados por Brown *et al.* (1988). A qualidade do colágeno foi avaliada por meio da razão C, que variou entre 2,9 e 3,6, dentro dos padrões considerados confiáveis para análises isotópicas (DeNiro, 1985). Além da razão C, foram considerados os teores de carbono (%C) e nitrogênio (%N), conforme os critérios de qualidade propostos por Ambrose (1990).

Todas as análises foram realizadas a partir de amostras previamente maceradas em pó, procedimento adotado pelos laboratórios responsáveis pelas determinações isotópicas. Após a extração, o colágeno obtido a partir das amostras maceradas foi submetido às análises isotópicas, sendo os resultados expressos em $\delta^{13}\text{C}$ ($\pm 0,3\text{‰}$ em relação ao padrão VPDB), $\delta^{15}\text{N}$ ($\pm 0,5\text{‰}$ em relação ao padrão AIR-N₂), além dos valores de %C, %N e C (Carvalho, 2019; 2023; Carvalho; Carvalho, 2022). As incertezas analíticas apresentadas foram fornecidas pelos próprios laboratórios responsáveis pelas análises.

Para as amostras analisadas, as razões C/N estão dentro do padrão das razões propostas por DeNiro (1985), sem contaminação. Ramostra corresponde à razão isotópica medida na amostra, e Rpadrão, à mesma razão de um padrão, que geralmente é um material de referência do laboratório calibrado contra um padrão internacional. Dessa forma, valores δ são reportados em comparação a um padrão internacionalmente reconhecido, que é arbitrariamente fixado em 0‰ (Carvalho, 2023; DeNiro, 1984) conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Modelos comparativos de intervalos de referência.

Fonte Alimentar	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
Plantas C ₃	-26 a -20	2 a 6
Plantas C ₄ / Milho	-14 a -10	2 a 6
Proteína animal terrestre	-20 a -15	8 a 12
Recursos marinhos	-13 a -10	12 a 18

Fonte: Neves, Powell e Prous (2007), Oliveira, Bezerra e Lima (2016), Schoeninger e Moore (1992).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Sítio Arqueológico Furna do Estrago/PE

Os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ identificados nos remanescentes humanos do sítio Furna do Estrago indicam padrões isotópicos compatíveis com dietas predominantemente terrestres, baseadas em recursos vegetais e proteína animal. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ observados nas amostras FE-OH-01 e FE-OH-02 (-19,52‰ e -19,21‰) são compatíveis com uma dieta baseada predominantemente em recursos vegetais, com possível contribuição combinada de plantas C₃ e C₄, não permitindo afirmar, isoladamente, a predominância de recursos do ciclo C₄. Os respectivos valores de $\delta^{15}\text{N}$ (18,31‰ e 11,71‰) indicam

consumo de proteínas animais e posições tróficas relativamente elevadas, embora a identificação de recursos específicos dependa da comparação com dados faunísticos de referência e com o contexto arqueológico regional.

O valor de $\delta^{15}\text{N} = 18,31\text{‰}$ identificado em um dos indivíduos merece atenção especial, por se tratar de um resultado elevado em comparação aos padrões geralmente observados em populações pré-coloniais do semiárido nordestino. Estudos realizados na própria região, como aqueles conduzidos no sítio Pedra do Cachorro/PE, registraram valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ entre 10‰ e 12‰, compatíveis com dietas baseadas em plantas C_3 e proteína animal terrestre (Bastos; Dias, 2019).

De forma semelhante, Oliveira, Bezerra e Lima (2016) observaram valores próximos de 11‰ para indivíduos da Furna do Estrago, reforçando a predominância de recursos vegetais e animais terrestres. O resultado de 18,31‰ ultrapassa significativamente esse intervalo, sugerindo a atuação de fatores ambientais ou fisiológicos capazes de contribuir para o enriquecimento isotópico. Entre esses fatores, destacam-se variações locais na disponibilidade de nitrogênio no solo, processos de aridez que podem elevar os valores de $\delta^{15}\text{N}$ em plantas e animais, bem como condições metabólicas específicas dos indivíduos analisados (Ambrose, 1990; Schoeninger; DeNiro, 1984).

Quando comparado a outros contextos brasileiros, esse valor também se mostra excepcionalmente elevado. Em grupos do interior paulista apresentam valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ entre 9‰ e 12‰, enquanto populações do Sul do Brasil apresentaram intervalos semelhantes, raramente superiores a 13‰. Em sambaquis do litoral Sudeste e Sul, como os estudados por Cunha *et al.* (2022), os valores variaram entre 12‰ e 15‰, refletindo dietas com forte participação de recursos marinhos, mas ainda inferiores ao resultado observado para a Furna do Estrago.

Dessa forma, o valor de 18,31‰ deve ser interpretado com cautela, considerando tanto os fatores ambientais regionais quanto as possíveis particularidades individuais. A comparação com outros conjuntos isotópicos brasileiros reforça que, embora incomuns, valores elevados de $\delta^{15}\text{N}$ podem ocorrer em contextos de maior estresse ambiental ou associados a dietas específicas, devendo ser analisados em conjunto com os demais dados isotópicos e arqueológicos disponíveis.

As demais amostras analisadas apresentaram valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -18,75‰ e -17,30‰ e valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre 10,39‰ e 12,33‰. Em conjunto, esses resultados sugerem dietas baseadas em recursos vegetais com possível contribuição combinada de plantas C_3 e C_4 , associadas ao consumo de proteína animal terrestre. Embora algumas amostras apresentem valores de $\delta^{13}\text{C}$ compatíveis com maior contribuição de recursos C_4 , a interpretação de sua predominância depende da comparação com dados isotópicos de referência e do contexto arqueológico. De modo geral, observa-se relativa consistência isotópica entre os indivíduos analisados, com exceção da amostra que apresentou $\delta^{15}\text{N} = 18,31\text{‰}$, indicando um padrão alimentar amplamente compartilhado pela população estudada.

A amostra FE-OH-06 apresenta uma particularidade em relação às demais, com $\delta^{15}\text{N} = 12,33\text{‰}$. Esse valor sugere uma posição trófica elevada e consumo de proteínas animais, diferenciando-se dos demais indivíduos analisados. Contudo, a atribuição desse resultado ao consumo de recursos marinhos ou de peixes depende da comparação com dados isotópicos da fauna regional e de outras evidências arqueológicas, não sendo possível confirmar essa interpretação apenas com base nos valores obtidos. Dessa forma, os resultados sugerem uma possível diferenciação alimentar, hipótese que deve ser considerada em conjunto com o contexto arqueológico e ambiental do sítio.

A interpretação dos valores isotópicos obtidos para os indivíduos da Furna do Estrago deve considerar dados faunísticos regionais como parâmetro comparativo. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -19‰ e -18‰ observados nas amostras analisadas sugerem uma dieta baseada em recursos vegetais com possível contribuição combinada de plantas C_3 e C_4 , sem indicar necessariamente predominância de recursos C_4 . Essa interpretação é compatível com os intervalos isotópicos descritos para plantas C_3 (entre -20‰ e -35‰) e para plantas C_4 (entre -9‰ e -16‰).

No caso dos valores de $\delta^{15}\text{N}$, a comparação com dados faunísticos regionais auxilia na interpretação dos resultados. Herbívoros associados a ambientes dominados por plantas C_3 , como veados e capivaras, apresentam valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre 5‰ e 7‰, enquanto herbívoros relacionados a ambientes mais abertos podem apresentar valores entre 6‰ e 8‰. Carnívoros terrestres, como felinos e canídeos, tendem a registrar valores entre 10‰ e 12‰, ao passo que recursos marinhos podem alcançar intervalos entre 12‰ e 15‰ (Ambrose, 1990; Bocherens, 1999; Schoeninger; DeNiro, 1984). Dessa forma, o valor de $\delta^{15}\text{N} = 12,33\text{‰}$ observado na amostra FE-OH-06 sugere um enriquecimento isotópico compatível com uma posição trófica elevada. Entretanto, na ausência de evidências diretas de fauna marinha associada ao sítio, sua interpretação deve permanecer cautelosa, sendo mais plausível presumir uma dieta terrestre enriquecida em proteína animal do que o consumo sistemático de recursos marinhos.

De modo geral, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ observados na Furna do Estrago situam-se dentro do intervalo esperado para grupos com consumo predominante de plantas C_3 , embora com possível contribuição de vegetais C_4 em menor proporção. Esse padrão é semelhante ao identificado por Bastos e Dias (2019) no sítio Pedra do Cachorro/PE, cujos indivíduos apresentaram dieta baseada principalmente em plantas C_3 e baixo consumo de recursos C_4 .

Os resultados obtidos não indicam contribuição significativa de plantas CAM para a dieta dos indivíduos analisados, aspecto compatível tanto com o contexto ecológico regional quanto com os padrões isotópicos descritos para outras populações do Nordeste brasileiro (Bastos; Dias, 2019; Oliveira; Bezerra; Lima, 2016). Assim, a análise isotópica da Furna do Estrago reforça a interpretação de uma dieta predominantemente terrestre, baseada em plantas C_3 e proteína animal, inserindo-se em um quadro mais amplo de adaptações alimentares documentadas para diferentes contextos pré-coloniais brasileiros.

Sítio Arqueológico Barra/PB

A amostra BIII-OH-03B de um indivíduo adulto não apresentou colágeno suficiente para a realização das análises isotópicas. Para a amostra AVII-OH-01B, apesar de o material encontrar-se muito fragmentado, foi possível coletar um fragmento de costela esquerda para análise. Devido ao elevado grau de fragmentação dos remanescentes do sítio Barra, não foi possível identificar o sexo nem estimar a faixa etária do indivíduo, sendo possível apenas classificá-lo como jovem adulto.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ apresentaram uma proporção de -18,85‰, compatível com uma dieta baseada predominantemente em recursos vegetais, com possível contribuição de plantas C_3 e C_4 . Para os valores de $\delta^{15}\text{N} = 8,29\text{‰}$, os resultados sugerem consumo de proteínas animais e uma posição trófica intermediária, sem permitir a identificação de recursos específicos apenas com base nesse resultado. Esses resultados são compatíveis com padrões observados em outros sítios do semiárido nordestino, como a Furna do Estrago/PE, onde valores semelhantes foram interpretados como reflexo de dietas terrestres diversificadas (Oliveira; Bezerra; Lima, 2016).

Para a amostra AII-OH-02B, o material do sítio Barra permitiu a seleção de amostras adequadas para a extração de colágeno, uma vez que se encontrava bastante fragmentado. Dessa maneira, foi possível coletar uma amostra da 2ª costela esquerda do indivíduo AII-OH-02B, do qual não foi possível identificar o sexo nem estimar a faixa etária, sendo possível afirmar apenas que se trata de um jovem adulto.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ apresentaram uma proporção de $-18,76\text{‰}$, compatível com uma dieta baseada predominantemente em recursos vegetais, com possível contribuição de plantas C_3 e C_4 . A proporção do $\delta^{15}\text{N}$ indicou um valor de $11,78\text{‰}$, sugerindo consumo de proteínas animais e uma posição trófica relativamente elevada, sem permitir a identificação de recursos específicos apenas com base nesse resultado. Esse resultado aproxima-se dos valores registrados em Pedra do Cachorro/PE, onde Bastos e Dias (2019) identificaram dietas predominantemente de plantas C_3 , mas com variações individuais que indicam flexibilidade nas estratégias de subsistência. Os resultados isotópicos obtidos para as amostras analisadas encontram-se apresentados na Tabela 3.

A amostra AII-DH-01B (Tabela 3) corresponde ao primeiro molar permanente superior esquerdo, selecionado para análise isotópica. Como a formação desse elemento dentário ocorre durante a infância e a juventude, os valores obtidos refletem a dieta consumida nesse período da vida, diferindo dos tecidos ósseos, que registram padrões alimentares de longo prazo.

O valor isotópico obtido para essa amostra deve, portanto, ser interpretado como um indicador da alimentação infantil, permitindo comparações entre os hábitos alimentares da infância e da idade adulta. Essa distinção é particularmente relevante para investigações paleodietéticas, uma vez que possibilita identificar possíveis mudanças alimentares ao longo da vida, conforme discutido em outros contextos arqueológicos brasileiros (Ambrose, 1990; Lee-Thorp, 2008).

Tabela 3. Dados isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, ‰) e razão C/N das amostras dos sítios Furna do Estrago e Barra. Análises realizadas por Espectrometria de Massas de Razão Isotópica (IRMS).

Amostras código	Sexo	Idade do indivíduo no momento da morte	Abundância ($\delta^{13}\text{C}$ ‰)	Abundância ($\delta^{15}\text{N}$ ‰)	Material
CX11CT02 / FE-OH-01	M	40	-19,52	18,31	Fragmento da 2ª costela direita (C/N)
CX06CT05 / FE-OH-02	F	± 35	-19,21	11,71	Fragmento da 5ª costela direita (C/N)
CX10CT05 / FE-OH-03	F	20	-17,30	11,15	Fragmento da 12ª vértebra torácica (C/N)
CX2ACT5 / FE-OH-04	F	20 ± 26	-18,75	11,45	Fragmento da 5ª costela direita (C/N)
CX4CT05 / FE-OH-05	M	20 ± 25	-17,65	10,39	Fragmento da 6ª costela direita (C/N)
CX51CT5A / FE-OH-06	M	Adulto	-18,70	12,33	Fragmento da 2ª costela esquerda (C/N)

continua...

Tabela 3. Continuação

Amostras código	Sexo	Idade do indivíduo no momento da morte	Abundância ($\delta^{13}\text{C}$)	Abundância ($\delta^{15}\text{N}$)	Material
AVII-OH-01B	NI	Adulto	-18,85	8,29	Fragmento de costela esquerda
AII-OH-02B	NI	Jovem adulto	-18,76	11,78	Fragmento da 2ª costela esquerda
BIII-OH-03B*	NI	Jovem adulto	—	—	Fragmento da 4ª costela direita
AII-DH-01B	NI	Adulto	-18,19	9,89	Primeiro pré-molar superior esquerdo

Fonte: Adaptado pela autora a partir de dados do Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA-USP (2021).

De forma comparativa, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ em torno de -19‰ e -18‰ observados no sítio Barra são consistentes com padrões intermediários entre plantas C_3 (-20‰ a -35‰) e C_4 (-9‰ a -16‰), sugerindo mistura de recursos sem indicar dominância exclusiva de C_4 . Já os valores de $\delta^{15}\text{N}$, variando entre 8‰ e 12‰, situam-se dentro do intervalo esperado para dietas terrestres com consumo de herbívoros e carnívoros de baixo nível trófico, sem evidência direta de recursos marinhos. Essa interpretação é reforçada pela comparação com sítios do interior paulista e do Sul do Brasil, onde valores semelhantes foram associados a dietas terrestres diversificadas (DeNiro, 1985).

Sítio Arqueológico Toca da Baixa dos Caboclos / PI

Os resultados isotópicos obtidos para os indivíduos da Toca da Baixa dos Caboclos encontram-se apresentados na Tabela 4. As amostras analisadas apresentaram valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -16,10‰ e -16,77‰ e de $\delta^{15}\text{N}$ entre 14,63‰ e 14,86‰, indicando um padrão isotópico bastante homogêneo entre os indivíduos estudados. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ sugerem contribuição significativa de recursos C_4 na dieta, embora a interpretação de sua predominância deva considerar dados isotópicos de referência e o contexto arqueológico. Já os valores de $\delta^{15}\text{N}$ indicam uma posição trófica elevada e consumo de proteínas animais, sem permitir a identificação de recursos específicos apenas com base nesses resultados (Carvalho, 2019, 2023).

Tabela 4. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) obtidos para as amostras do sítio Toca da Baixa dos Caboclos/PI, com razão C/N de +3,2.

Amostra código	Sexo	Idade do indivíduo na data da morte	Abundância ($\delta^{13}\text{C}$)	Abundância ($\delta^{15}\text{N}$)	Material
51008 / E06-OH02	Masculino	Jovem adulto	-18,71	11,56	Fragmento da 5ª costela superior direita
44268 / E01-OH01*	Masculino	Jovem adulto	—	—	Fragmento de osso da 2ª vértebra da região lombar

continua...

Tabela 4. Continuação

Amostra código	Sexo	Idade do indivíduo na data da morte	Abundância ($\delta^{13}\text{C}$)	Abundância ($\delta^{15}\text{N}$)	Material
51264 / E07-OH01	Criança	± 6	-18,77	10,74	Fragmento da 3ª costela superior direita
51386 / E07-OH02	Criança	± 6	-18,69	10,63	Fragmento da 2ª costela superior direita

Fonte: Adaptado pela autora a partir de dados do Laboratório Beta Analytic (2019).

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ observados para os indivíduos da Toca da Baixa dos Caboclos diferem daqueles registrados para a amostra CX51CT5A / FE-OH-06 da Furna do Estrago. No caso da Furna do Estrago, o valor de $\delta^{15}\text{N} = 12,33\text{‰}$ foi interpretado como excepcional em relação ao conjunto analisado para o sítio, cuja média situa-se aproximadamente entre 8‰ e 10‰. Já na Toca da Baixa dos Caboclos, valores próximos de 14‰ ocorrem de forma recorrente em diferentes indivíduos, configurando um padrão alimentar compartilhado pelo grupo. Essa diferença de interpretação decorre do contexto ecológico e arqueológico distinto entre os sítios.

Enquanto na Furna do Estrago os valores elevados foram compreendidos como desvios individuais em um ambiente associado predominantemente a recursos C_3 , na Toca da Baixa dos Caboclos os resultados refletem um contexto com maior participação de plantas C_4 e fauna associada. A recorrência dos valores elevados reforça a hipótese de dietas terrestres de alto nível trófico, sem necessidade de recorrer à interpretação baseada no consumo de recursos marinhos, inexistentes na região.

A interpretação dos valores isotópicos obtidos para os indivíduos da Toca da Baixa dos Caboclos deve considerar os dados disponíveis sobre a fauna e a flora regionais. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ em torno de -16‰ sugerem contribuição significativa de plantas C_4 na dieta. Entre os recursos vegetais potencialmente associados a esse padrão, destacam-se plantas C_4 , como o milho (*Zea mays*) e gramíneas de áreas abertas, além de plantas C_3 , como mandioca (*Manihot esculenta*), batata-doce (*Ipomoea batatas*) e espécies arbóreas nativas. Evidências arqueobotânicas, incluindo grãos de amido e fitólitos recuperados em contextos funerários, reforçam a participação desses recursos vegetais nas estratégias alimentares das populações da região.

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$, por sua vez, indicam consumo de proteínas animais em posição trófica elevada. A fauna regional da Serra da Capivara fornece parâmetros importantes para essa interpretação. Herbívoros associados a ambientes dominados por plantas C_3 , como cervídeos (*Mazama* sp.) e capivaras (*Hydrochoerus hydrochaeris*), apresentam valores de $\delta^{15}\text{N}$ entre 5‰ e 7‰, enquanto herbívoros de áreas mais abertas podem registrar valores entre 6‰ e 8‰. Carnívoros terrestres, como a onça-parda (*Puma concolor*), a jaguatirica (*Leopardus pardalis*), a raposa (*Cerdocyon thous*) e aves de rapina, tendem a apresentar valores mais elevados, geralmente entre 10‰ e 12‰.

O enriquecimento isotópico observado nos indivíduos analisados sugere o consumo de proteína animal proveniente tanto de herbívoros enriquecidos isotopicamente pelas condições ambientais semiáridas quanto de recursos associados a níveis tróficos superiores. A integração dos dados isotópicos com os registros zooarqueológicos da Serra da Capivara, que indicam a presença de cervídeos, roedores e aves em contextos

pré-históricos (Guidon, 1980), reforça a interpretação de uma dieta diversificada baseada na combinação entre recursos vegetais e proteína animal terrestre.

A comparação com os resultados apresentados por Bastos e Dias (2019) para o sítio Pedra do Cachorro/PE permite aprofundar essa interpretação. Enquanto os indivíduos da Toca da Baixa dos Caboclos apresentam valores de $\delta^{13}\text{C}$ em torno de -16‰ e $\delta^{15}\text{N}$ próximos de 14‰ , os indivíduos analisados por Bastos e Dias (2019) registraram valores de $\delta^{13}\text{C}$ mais próximos de -19‰ e $\delta^{15}\text{N}$ entre 10‰ e 12‰ , compatíveis com dietas predominantemente baseadas em plantas C_3 e proteína animal terrestre de níveis tróficos intermediários. Essa diferença sugere adaptações distintas às condições ambientais e à disponibilidade de recursos.

Em Pedra do Cachorro, observa-se maior participação de plantas C_3 na dieta, enquanto na Toca da Baixa dos Caboclos os valores isotópicos indicam contribuição mais expressiva de plantas C_4 , possivelmente associadas ao consumo de milho (*Zea mays*) ou de gramíneas de áreas abertas adaptadas ao semiárido. Os resultados também sugerem que, embora ambos os sítios estejam inseridos no semiárido nordestino, suas populações adotaram estratégias alimentares distintas, refletindo diferenças na disponibilidade e no manejo dos recursos vegetais e animais. A comparação amplia a compreensão da diversidade das práticas alimentares pré-coloniais documentadas para o Nordeste brasileiro.

CONCLUSÕES

As análises de isótopos estáveis realizadas nos remanescentes humanos dos sítios Furna do Estrago/PE, Barra/PB e Toca da Baixa dos Caboclos/PI indicam a participação de recursos vegetais e animais na dieta das populações estudadas. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ são compatíveis com a contribuição combinada de plantas C_3 e C_4 , embora não permitam afirmar diretamente o consumo de espécies específicas apenas com base nos resultados isotópicos. Da mesma forma, os valores de $\delta^{15}\text{N}$ indicam consumo de proteína animal e diferentes posições tróficas entre os indivíduos analisados. Essas interpretações devem ser compreendidas em conjunto com as evidências arqueológicas disponíveis, evitando inferências mais específicas do que aquelas efetivamente sustentadas pelos dados.

A interpretação desses grupos como caçadores-agricultores fundamenta-se na integração entre diferentes linhas de evidência. Além dos resultados isotópicos, foram considerados dados arqueobotânicos, incluindo microvestígios de milho (*Zea mays*), mandioca (*Manihot esculenta*) e batata-doce (*Ipomoea batatas*), evidências zooarqueológicas relacionadas ao consumo de fauna terrestre, registros de fitólitos e grãos de amido em contextos funerários e informações provenientes das análises de cálculos dentários. Em conjunto, essas evidências sugerem estratégias de subsistência diversificadas, combinando caça, coleta e manejo de recursos vegetais, sem que a hipótese de cultivo ou agricultura seja sustentada exclusivamente pelos dados isotópicos.

A comparação entre os sítios evidencia tanto semelhanças quanto diferenças nas estratégias alimentares observadas. Furna do Estrago e Barra apresentam valores de $\delta^{13}\text{C}$ compatíveis com uma dieta baseada principalmente em recursos C_3 , com possível contribuição de recursos C_4 , enquanto a Toca da Baixa dos Caboclos apresenta valores mais enriquecidos, sugerindo maior participação relativa desses recursos na dieta. Em todos os sítios, os valores de $\delta^{15}\text{N}$ indicam consumo de proteína animal terrestre, reforçando a importância desses recursos nas estratégias de subsistência das populações estudadas. Apesar das diferenças cronológicas, espaciais e ambientais existentes entre os sítios, os resultados apontam para padrões recorrentes de adaptação aos recursos disponíveis em cada contexto.

De forma geral, o estudo demonstra a importância da integração entre análises isotópicas, evidências arqueobotânicas, zooarqueológicas e contextuais para a compreensão dos modos de vida das populações pré-coloniais do semiárido nordestino. Os resultados obtidos ampliam o conhecimento sobre padrões alimentares, estratégias de subsistência e relações entre grupos humanos e ambiente, contribuindo para as discussões sobre paleodieta e adaptações bioculturais em diferentes contextos arqueológicos do Nordeste brasileiro.

FINANCIAMENTO

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

AGRADECIMENTOS

Gratidão à agência de fomento pelo apoio financeiro – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) –, pela concessão da Bolsa de Doutorado, ao Laboratório de Bioarqueologia da Universidade Federal de Sergipe (LABIARQ/UFS); à Universidade Federal da Paraíba, pela liberação das amostras do Sítio Arqueológico Barra; à Universidade Católica de Pernambuco (Unicap), pela liberação das amostras do Sítio Arqueológico Furna do Estrago; à Fundação Museu do Homem Americano (FUMDHAM), pela liberação das amostras do Sítio Arqueológico Toca da Baixa dos Caboclos; e ao Laboratório de Química da Universidade Federal do Piauí, pelo processamento prévio das amostras analisadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBROSE, Stanley H. Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. *Journal of Archaeological Science*, v. 17, n. 4, p. 431-451, 1990.
- AMBROSE, Stanley H. Isotopic analysis of paleodiets: methodological and interpretive considerations. In: SANDFORD, Mary K. (ed.). *Investigations of Ancient Human Tissue*. New York: Gordon and Breach, 1993. p. 59-130.
- BANDEIRA, Dorival. Sambaquis da Baía da Babitonga: arqueologia de pescadores coletores do litoral norte de Santa Catarina. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*, v. 14, p. 139-158, 2004.
- BASTOS, Murilo Q. R.; DIAS, Odemar C. Isótopos estáveis em arqueologia: aplicações e perspectivas no Brasil. *Revista de Arqueologia*, v. 32, n. 1, p. 5-24, 2019.
- BENDER, Muriel M.; BALES, Robert C.; HOOPER, Peter R. Carbon isotope ratios of atmospheric CO₂. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 37, n. 2, p. 391-428, 1973. DOI: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(73\)90292-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(73)90292-3).
- BEZERRA, José Fernandes; OLIVEIRA, Rodrigo Elias; LIMA, Hélio Pereira. Análise isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ em restos humanos do sítio Pedra do Cachorro, Pernambuco. *Revista de Arqueologia*, v. 27, n. 2, p. 45-62, 2014.
- BOCHERENS, Hervé; DRUCKER, Dorotée. Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in bone collagen: case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems. *International Journal of Osteoarchaeology*, v. 13, n. 1-2, p. 46-53, 2003.
- BOUTTON, Thomas W. Stable carbon isotope ratios of soil organic matter and their ecological significance. In: COLEMAN, David C.; FRY, Brian. (ed.). *Carbon isotope techniques*. San Diego: Academic Press, 1991. p. 173-200.

- BROWN, Tomas A. *et al.* Improved collagen extraction by modified Longin method. *Radiocarbon*, v. 30, n. 2, p. 171-177, 1988.
- CARVALHO, Luzia M. de S. P. *O que nos dizem os mortos? Aspectos alimentares inferem modos de vida dos povos pretéritos na Serra da Capivara*. 2019. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2019.
- CARVALHO, Luzia M. de S. P.; CARVALHO, Olívia A. Dados bioculturais inferem práticas ritualísticas de afro-brasileiros no nordeste do Brasil. *Clio Arqueológica*, v. 37, n. 1, p. 1-44, 2022.
- CARVALHO, Luzia M. S. P. *Das plantas aos ossos: a paleodieta através de isótopos estáveis de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ e microvestígios arqueobotânicos para compreensão de grupos humanos pré-coloniais no Nordeste do Brasil*. 2023. Tese (Doutorado em Arqueologia) – Universidade Federal de Sergipe, Laranjeiras, 2023.
- COPLIN, Tyler B. Guidelines and recommended terms for expression of stable-isotope-ratio and gas-ratio measurement results. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, v. 25, n. 17, p. 2538-2560, 2011.
- CUNHA, Luiz O. C. *et al.* Estudos isotópicos para definir os períodos de ocupação do sítio Arapuan: a datação e a paleodieta. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*, v. 38, p. 285-297, 2022.
- DENIRO, Michael J. Postmortem preservation and alteration of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction. *Nature*, v. 317, n. 6040, p. 806-809, 1985.
- FARIAS FILHO, Benedito B. *Reconstituição da paleodieta de populações humanas pré-históricas do Parque Nacional Serra da Capivara*. 2010. 85 f. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2010.
- GUIDON, Niède. *Toca da Baixa dos Caboclos: estudo arqueológico de ocupação pré-histórica no Parque Nacional Serra da Capivara*. São Raimundo Nonato: Fundação Museu do Homem Americano (FUMDHAM), 1980.
- GUIDON, Niède. *Serra da Capivara: os mais antigos sítios arqueológicos das Américas*. São Paulo: Melhoramentos, 1991.
- CRAIG, Harmon., Isotopic Variations in Meteoric Waters. *Science*, v. 133, n. 3465, p. 1702-1703, 1961.
- HEDGES, Robert E. M.; REYNARD, Linda M. Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology. *Journal of Archaeological Science*, v. 34, n. 8, p. 1240-1251, 2007.
- HOEFS, Jochen. *Stable isotope geochemistry*. 7. ed. Cham: Springer, 2015.
- HOWE, Peter M. Isotopic studies of diet: methodological considerations. In: AMBROSE, Stanley H.; KATZENBERG, M. Anne (ed.). *Biogeochemical approaches to paleodietary analysis*. New York: Springer, 2007. p. 283–298.
- KATZENBERG, M. Anne. Stable isotope analysis: a tool for studying past diet, demography, and life history. In: KATZENBERG, M. Anne; SAUNDERS, Shelley R. (ed.). *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. New York: Wiley-Liss, 2008. p. 413-441.
- KIPNIS, Renato. Foragers and farmers in the interior of Brazil. In: BARNARD, William; PRICE, T. Douglas (ed.). *The Origins of Agriculture: International Perspectives*. Berkeley: University of California Press, 2006. p. 73-94.
- KLEPINGER, Linda L. Nutritional assessment from bone. *Annual Review of Anthropology*, v. 13, p. 75-96, 1984.

- LEE-THORP, Julia A. On isotopes and old bones. *Archaeometry*, v. 50, n. 6, p. 925-950, 2008.
- LIMA, Jeannete M. D. *Furna do Estrago: um estudo arqueológico de ocupação pré-histórica no Agreste Pernambucano*. 1985. Dissertação (Mestrado em História) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1985.
- LONGIN, Robert. New method of collagen extraction for radiocarbon dating. *Nature*, v. 230, n. 5291, p. 241-242, 1971.
- MACHADO, Márcia Corrêa. *Metodologias isotópicas Sr87/Sr86, $\delta^{13}C$ e $\delta^{18}O$ em estudos geológicos e arqueológicos*. 2013. 265 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- MARGOLIS, Stanley V. *et al.* Oxygen and carbon isotopes from calcareous nannofossils as paleoceanographic indicators. *Science*, v. 189, n. 4202, p. 555-557, 1975.
- MARTINELLI, Luiz A. *et al.* *Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- MENDONÇA DE SOUZA, Sheila M. F.; MELLO e ALVIM, Maria C. A população pré-histórica da Furna do Estrago: adaptação humana ao agreste pernambucano. *Symposium*, v. 34, n. 2, p. 123-145, 1992.
- MENDONÇA DE SOUZA, Sheila M. F. Traumatismos vertebrais como indicadores de atividade física na população da Furna do Estrago, Pernambuco. In: ARAÚJO, Adauto J. G. de; FERREIRA, Luiz F. (org.). *Paleopatologia e Paleopidemiologia: estudos multidisciplinares*. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Saúde Pública/Fundação Oswaldo Cruz, 1992. p. 123-139.
- MENDONÇA DE SOUZA, Sheila M. F. Arqueologia funerária e a Furna do Estrago. *Clio Arqueológica*, v. 33, n. 2, p. 44-92, 2018.
- MINAGAWA, Masao; WADA, Eitaro. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}N$ and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 48, n. 5, p. 1135-1140, 1984.
- NEVES, Walter A.; POWELL, Joseph F.; PROUS, André. Diet and health of early Holocene inhabitants of Lagoa Santa, Brazil: stable isotope and dental evidence. *American Journal of Physical Anthropology*, v. 132, n. 3, p. 370-382, 2007.
- NIER, Alfred O. A Mass Spectrometer for Routine Isotope Abundance Measurements. *Review of Scientific Instruments*, v. 18, n. 6, p. 398-411, 1947.
- OLIVEIRA, Rodrigo E.; BEZERRA, José F.; LIMA, Hélio P. Isótopos estáveis e dieta pré-histórica no semiárido nordestino: uma abordagem interdisciplinar. *Revista Brasileira de Arqueometria*, v. 10, n. 1, p. 23-35, 2016.
- OSMOND, Charles B.; ANDERSON, Derek J.; BJÖRKMAN, Olle. *Physiological processes in plant ecology: toward a synthesis with Atriplex*. Berlin: Springer-Verlag, 1980.
- PESSIS, Anne Marie. *Os primeiros habitantes do Brasil*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003.
- RICHARD, Michael; STINER, Mary; TRINKAUS, Erik. Stable isotope evidence for increasing dietary breadth in the Europeans mid-Upper Paleolithic. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 98, n. 11, p. 6528-6532, 2001.

- ROSNOW, Josh J. *et al.*, Kranz and single-cell forms of C4 plants in the subfamily Suaedoideae show kinetic C4 convergence for PEPC and Rubisco with divergent amino acid substitutions. *Journal of Experimental Botany*, v. 66, n. 22, p. 7347-7358, 2015.
- SANTOS, Fábio. Bioarqueologia e paleodemografia: estimativas de NMI em contextos arqueológicos brasileiros. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*, v. 29, p. 85-102, 2019.
- SCHOENINGER, Margaret J.; DENIRO, Michael J. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 48, n. 4, p. 625-639, 1984.
- SCHOENINGER, Margaret J.; MOORE, Katherine M. Bone stable isotope studies in archaeology. *Journal of World Prehistory*, v. 6, n. 2, p. 247-296, 1992.
- SCHWARCZ, Henry P.; SCHOENINGER, Margaret J. Stable isotope analyses in human nutritional ecology. *American Journal of Physical Anthropology*, v. 34, p. 283-321, 1991.
- SEALY, J.; PFEIFFER, S.. Dietary reconstruction from stable isotopes: bone collagen and hair keratin from modern South African populations. *American Journal of Physical Anthropology*, v. 29, p. 85-102, 2019.
- SHARP, Zachary D. *Principles of stable isotope geochemistry*. 2. ed. Albuquerque: Department of Earth and Planetary Sciences, University of New Mexico, 2017.
- SMITH, Bruce N.; EPSTEIN, Samuel. Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. *Plant Physiology*, v. 47, n. 3, p. 380-384, 1971.
- TERLATO, Gabriele. Alimentação humana durante o Paleolítico Médio e Superior na Europa. *Revista Iniciação Científica*, v. 10, n. 1, 2012.
- TYKOT, Robert H. Stable isotopes and diet: You are what you eat. *Proceedings-International School of Physics Enrico Fermi*, v. 154, p. 433-444, 2004.
- WESOLOWSKI, Veronica *et al.* Grânulos de amido e fitólitos em cálculos dentários humanos: contribuição ao estudo do modo de vida e subsistência de grupos sambaquianos do litoral sul do Brasil. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*, n. 17, p. 191-210, 2007.
- WERNER, Roland A.; BRAND, Willi A. Referencing strategies and techniques in stable isotope ratio analysis. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, v. 15, n. 7, p. 501-519, 2001.
- WICKMAN, Frans E.; UBISCH, Hans von. Isotope ratios: a new tool in geology and geochemistry. *Journal of Geology*, v. 59, n. 2, p. 135-150, 1951.
- WICKMAN, Frans E. Variations in isotope ratios of carbon and oxygen in minerals and rocks. *Arkiv för Mineralogi och Geologi*, v. 1, n. 9, p. 1-56, 1952.
- XAVIER, Carlos A. E. *Sítio Barra, Camalaú – PB: estudo arqueológico de ocupação pré-histórica no Cariri Paraibano*. Dissertação (Mestrado em História) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1985.