

IMPLICAÇÕES MICROSCÓPICAS DA TAFONOMIA AO EMPREGO DE MÉTODOS E TÉCNICAS FORENSES EM ARQUEOLOGIA

André Luiz Campelo dos Santos¹

Henry Socrates Lavalle Sullasi²

Resumo: Uma quantidade cada vez maior de conhecimentos utilizados pelas ciências forenses tem sido apropriada no campo arqueológico. Destacam-se dentre eles a importância da realização de análises tafonômicas visando determinar se remanescentes humanos evidenciados são de natureza arqueológica, bem como outras análises que visem a identificação genética dos mesmos. São abordados aqui dois estudos de caso: o problema da datação direta dos remanescentes humanos evidenciados no sítio arqueológico Pedra do Alexandre; e o problema de se sequenciar o genoma Neandertal. Nestes dois casos, implicações microscópicas dos processos tafonômicos desempenharam um papel inicialmente limitante, dificultando o cumprimento dos objetivos propostos. Desse modo, reconhecer e entender como atuam os processos tafonômicos em remanescentes humanos de natureza arqueológicos mostra-se de fundamental importância para a realização de posteriores análises cronológicas e/ou genéticas dos mesmos. Palavras – Chave: Tafonomia; Pedra do Alexandre; Ciência Forense.

Abstract: An increasing amount of knowledge used by the forensic sciences has been applicable in the archaeological field. Standing out among them are the importance of conducting taphonomic analysis aiming the determination if evidenced human remains are of archaeological nature, as well as others analysis aimed at their genetic identification. This paper discusses two case: the problem of direct dating human remains evidenced in the Pedra do Alexandre archaeological site; and the problem of sequencing the Neanderthal genome. In both cases, microscopic implications of taphonomic processes initially played a limiting role, making it difficult to meet the proposed objectives. Thus, recognize and understand how the taphonomic processes operate in human remains of archaeological nature is of fundamental importance for the conduction of further chronological and/or genetic analysis. Keywords: Taphonomic; Pedra do Alexandre; Forensic Sciences.

¹ Doutorando do Programa de Pós Graduação em Arqueologia da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

² Departamento de Arqueologia da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Introdução

O ofício arqueológico na atualidade envolve um relevante uso de métodos e técnicas advindos das ciências forenses a fim de solucionar problemas relacionados ao percurso do gênero humano ao longo do tempo. Dupras *et al.* (2012) afirmam que dentre as habilidades e os conhecimentos que um arqueólogo (assim como um antropólogo) forense deve possuir, está a de entender e reconhecer os processos tafonômicos associados ao caso de estudo. Para o antropólogo forense, possuir tal conhecimento significa a possibilidade de determinar o tempo decorrido desde a morte de um indivíduo, algo de fundamental interesse também para o arqueólogo.

Dada a natureza histórica da Arqueologia, o estabelecimento das cronologias de eventos pretéritos e/ou a idade de vestígios arqueológicos – dentre os quais se incluem os remanescentes ósseos – é uma das mais importantes informações que podem ser determinadas por esta ciência. Essas cronologias podem possibilitar interpretações que visem desde a inserção de um achado arqueológico em seu contexto histórico, até mesmo a correlação de eventos ocorridos ao longo do tempo (Santos, 2016).

Uma outra preocupação recorrente no meio arqueológico é quanto à determinação da ancestralidade biogeográfica de esqueletos evidenciados, que na atualidade também se torna possível a partir da apropriação de métodos e técnicas forenses originalmente empregadas visando a identificação de remanescentes humanos, em especial a extração e análise de DNA nuclear e/ou mitocondrial.

Em uma escala mais ampla, as efetivas realizações de datações e determinação da ancestralidade biogeográfica de esqueletos humanos podem possibilitar a resolução de problemas que dizem respeito à própria história natural do Gênero, no entanto, os efeitos microscópicos dos processos tafonômicos atuantes no registro arqueológico podem vir a frustrar as tentativas de se realizar tais procedimentos.

Nesse sentido, analisar os pormenores da tafonomia – e os caminhos de atuação da mesma em remanescentes humanos – é primordial para a realização de posteriores análises para fins cronológicos ou de natureza genética.

Tafonomia

A Tafonomia (do grego, *Taphós*: tumba ou sepultura; *Nómos*: lei) é uma subdisciplina da paleontologia que basicamente estuda a transição da biosfera à litosfera de remanescentes de organismos anteriormente vivos, considerando as modificações ocorridas do momento da morte dos mesmos até a sua completa fossilização³ (Bissaro Júnior, 2008; Stooder, 2008).

Segundo Grupe e Harbeck (2015) a análise tafonômica se dá em 3 etapas (Figura 1). A primeira deve ser compreender a necrologia, isto é, os eventos que ocasionaram a morte de um determinado organismo.

A segunda etapa seria o estudo da bioestratinomia, ou seja, das condições e processos enfrentados pelos remanescentes deste organismo antes dos mesmos serem inumados. Incluem-se aqui processos como a desarticulação, o desmembramento e a exposição ao calor – três processos que podem ser acidental ou propositadamente causados pela ação de outros seres vivos, em contextos de práticas funerárias, por exemplo –, os intemperismos, o transporte de um corpo ou de suas partes pela ação do vento, da água (fatores ambientais), de outros seres vivos, e/ou até mesmo da gravidade (Goffer, 2007).

E finalmente, a terceira etapa envolve o estudo da diagênese, ou seja, do período que se inicia quando os restos do organismo são inumados – voluntariamente ou não – e passam a sofrer alterações microscópicas de ordem físico-química provocadas pela sua interação com, por exemplo, águas subterrâneas, sais minerais e/ou, até mesmo, atividade bioquímica presentes no solo (Goffer, 2007; Silva, 2014). Os diferentes processos diagenéticos são conhecidos e podem ser observados no Quadro 1.

³ Em casos extremos, a atuação de processos tafonômicos resultam na total conversão de materiais orgânicos em outros que, por sua vez, são gradualmente integrados aos sedimentos estratificados. O que demonstra que em alguns casos a ausência de vestígios humanos não necessariamente significa uma ausência de ocupação de igual natureza. (Shahack-Gross et al., 2003; shahack-Gross et al., 2004). No entanto, em condições incomuns, os processos tafonômicos podem resultar na preservação da forma exata do organismo. Em alguns casos, até a aparência dos mesmos ainda é mantida. E é como resultado desses processos – em que a matéria biológica morta é substituída por minerais – que os fósseis são formados. A maneira na qual materiais específicos são alterados e a extensão das alterações são determinadas: a) pelas suas composição e características físicas; e b) pelas condições ambientais do entorno (Sillen, Morris, 1996; Ambrose; Krigbaum, 2003).

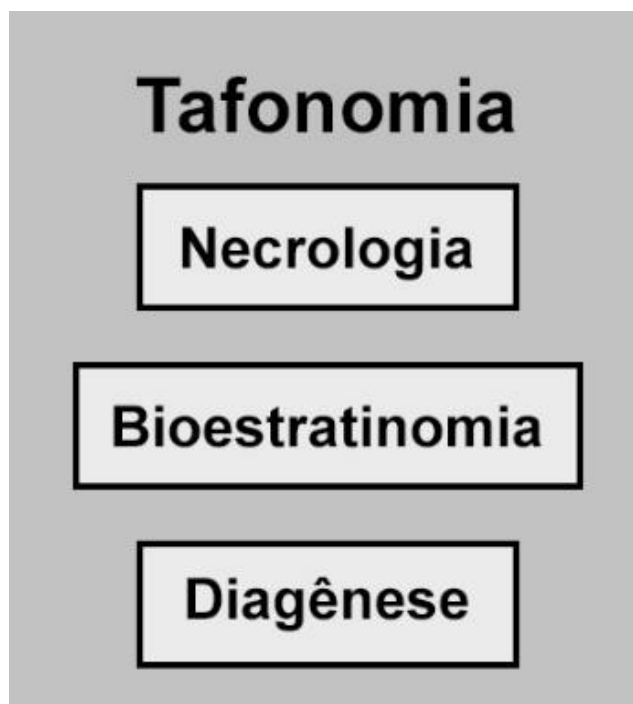


Figura 1 – Etapas da análise tafonômica. Fonte: elaborada pelo autor (2016).

Quadro 1 – Lista dos diferentes processos diagenéticos. Fonte: adaptado de Goffer (2007, p. 213).

PROCESSOS DIAGENÉTICOS	MUDANÇAS FÍSICAS E/OU QUÍMICAS
Autigênese	Cristalização que ocorre entre partículas de um determinado material, ou em espaços vazios entre sedimentos, ou em novos minerais introduzidos por água subterrânea.
Bioturbação	Revolvimento de camadas de sedimentos pela atividade de organismos vivos.
Cimentação	Ligação de partículas de um determinado material ocorrida pela chegada de novos sólidos, esta última possibilitada a partir da precipitação de água subterrânea.
Compactação	Redução do volume de poros e espaços vazios nos materiais em decorrência do rearranjo de partículas.
Dissolução	Dissolução de um determinado material por água subterrânea.
Recristalização	Reorientação de cristais, que compõem um determinado material, como resultado da dissolução e subsequente reprecipitação dos mesmos, ambas ocasionadas pela ação de água subterrânea.
Substituição	Substituição de minerais previamente existentes por novos minerais formados <i>in situ</i> .

Tais mudanças físicas e/ou químicas geralmente resultam em uma alteração gradual da composição, porosidade, permeabilidade, densidade, bem como de outras propriedades físicas de remanescentes humanos, uma vez que os processos tafonômicos, apesar de geralmente iniciarem-se na superfície dos mesmos, podem continuar por longos períodos de tempo e afetar também seu interior, penetrando, justamente, pelos poros, espaços vazios e/ou por fendas presentes (Collins et al., 2002; Goffer, 2007).

No Brasil, análises tafonômicas realizadas em vestígios bioarqueológicos são presentes em pequeno número nos últimos anos. Podem ser citados o trabalho de Bartolomucci (2008) que realizou um estudo pleno – envolvendo as três etapas de atuação – das variáveis tafonômicas em remanescentes ósseos humanos dos sambaquis fluviais do Vale do Ribeira (SP), e os trabalhos de Bissaro Júnior (2008), Santos e Farias (2009), Andrade (2013), Farias (2013) e Santos (2016), nos quais uma ou duas etapas da análise tafonômica fora(m) realizada(s) em vestígios arqueológicos, paleontológicos associados a arqueológicos, e até modernos em experimentações⁴.

Análises acerca da atuação microscópica da tafonomia em remanescentes humanos de natureza arqueológica geralmente focam nos indicadores diagenéticos, uma vez que a partir destas observações outros fatores necrológicos e bioestratinômicos podem eventualmente emergir – caso não tenham sido constatados macroscopicamente ou por fontes etnográficas, dentre outras, por exemplo. Além disso, as análises a partir de indicadores diagenéticos oferecem os subsídios mais confiáveis para avaliar as chances de uma amostra arqueológica óssea ou dentária estar apta ou não para ser datada por técnicas como a por Radiocarbono ou para se realizar extração de DNA.

Para se compreender então como se dão estas alterações microscópicas em remanescentes humanos, é necessário antes entender a composição dos mesmos.

4 Onde são reproduzidos ou simulados cenários de diferentes tipos de manipulação de ossos em contextos funerários, por exemplo, como a pintura dos mesmos; e/ou outros fatores, como a queima natural ou não dos mesmos, por exemplo. A finalidade de tais experimentações é constatar a presença de indicadores bioestratinômicos, para além dos diagenéticos e necrológicos. Neste caso destaca-se o trabalho de Farias (2013).

Composição Óssea e Possíveis Alterações Microscópicas

O osso é um tecido composto que consiste em fosfatos de cálcio (material inorgânico) precipitados em uma matriz de colágeno (material orgânico). O componente inorgânico corresponde a aproximadamente 69% do material ósseo, enquanto o componente orgânico corresponderia a 22% do total e os restantes 9% seriam preenchidos por água (Santos, 2016).

O mineral chamado Hidroxiapatita (HAp), altamente insolúvel, é o fosfato de cálcio predominante no componente inorgânico ósseo (Pate; Huton, 1988; Mays, 1998; Goffer, 2007). Já o componente orgânico é composto por proteínas, sendo a mais abundante o colágeno Tipo I (Collins et al., 2002; Goffer, 2007; Weiner, 2010).

A alta concentração de colágeno no osso e a sua facilidade de isolamento em uma amostra torna este material ideal para datações por Radiocarbono, análises de isótopos estáveis e extração de DNA antigo (aDNA) (Collins et al., 2002; Walker, 2005).

Levando-se em consideração, então, que ossos são materiais compostos por um componente inorgânico – HAp – e um orgânico composto majoritariamente por fibras de colágeno, as alterações microscópicas neste tipo de material ocorre, geralmente, através de três caminhos (Collins et al., 2002; Hedges, 2002; Ceccanti et al., 2007; Goffer, 2007):

- a deterioração química do componente orgânico;
- a deterioração química do componente inorgânico; e
- uma ação microbiológica que afeta de uma maneira mais rápida a ambos os componentes do vestígio ósseo.

No primeiro processo, uma lenta perda do componente orgânico se dá majoritariamente pela ocorrência da hidrólise⁵ em ambientes ácidos⁶, que provoca um maior evidenciamento da

⁵ A decomposição de um material devido ao seu contato com água (Goffer, 2007; Malainey, 2011).

⁶ O intemperismo de minerais presentes nos entornos dos solos geralmente ocasiona a geração de certos íons como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , H^{+} , Na^{+} , NH_4^{+} e Al^{3+} , liberando-os no solo. O pH ácido de um sedimento depende mais especificamente da concentração dos íons de hidrogênio (H^{+}) e de alumínio (Al^{+}) presentes no mesmo. Já em sedimentos alcalinos, íons de formações básicas substituem ou se apresentam em maior quantidade que os de alumínio e de hidrogênio (Garrison, 2003). O estudo da composição de sedimentos tem contribuído grandemente para reconstituir os processos que ocasionam alterações microscópicas em remanescentes humanos ao longo do tempo. (Pate, 2000; Loftus, Sealy, 2012).

porosidade do vestígio ósseo. Simultaneamente à ocorrência da hidrólise, acontece também o reenchimento desses poros por materiais do seu entorno, que é presumidamente um dos principais mecanismos que conduzem à fossilização de ossos (Mutzenberg et al., 2015; Santos, 2016).

Fatores bioestratinômicos também podem agir aqui. Por exemplo, Collins *et al.* (2002) afirmam que uma prática funerária em particular, que prevê a adição de cal (óxido de cálcio) ou cal apagada – também chamada de cal hidratada ou cal extinta – em cadáveres teria como efeito, não necessariamente consciente de quem o fazia, a aceleração da perda de colágeno. Semelhante efeito pode também ser observado em ossos queimados (Goffer, 2007; Weiner, 2010).

Já de acordo com o segundo caminho – nos casos da deterioração do componente inorgânico – geralmente os lentos processos de dissolução e recristalização imperam, uma vez que os minerais ósseos são particularmente sensíveis à água da chuva (Collins et al., 2002; Brown; Brown, 2011). Além disso, raízes de plantas no solo podem tornar os seus entornos mais ácidos e conseqüentemente possibilitar uma dissolução localizada do componente inorgânico do osso (Shahack-Gross et al., 2004; Goffer, 2007).

Vários tipos de bactérias existentes no solo também são capazes de torná-lo ácido. Isso acontece quando as mesmas produzem ácido sulfúrico, o que consistiria na ocorrência do terceiro caminho pelo qual se apresentam as alterações microscópicas em remanescentes ósseos (Ambrose; Krigbaum, 2003; Shahack-Gross et al., 2004).

A deterioração microbiana – que inclui também a ação de fungos – é provavelmente o mecanismo mais comum de deterioração do osso como material composto e ocorre de uma forma mais rápida do que os caminhos anteriormente apresentados (Binford, 1981). A mesma é otimizada em condições onde o pH do solo é inicialmente neutro, ironicamente, um fator que ajudaria na preservação dos ossos em caso da ocorrência de hidrólise (Pruvost et al., 2007; Brady et al., 2008).

A dissolução do componente inorgânico por meio de hidrólises permite que micro-organismos acessem o colágeno e o utilizem como alimento a partir da liberação de enzimas extracelulares. Tal ação microbiana gera mais ácidos, o que ocasiona zonas focadas de

destruição, evento conhecido como destruição focal microscópica (Collins et al., 2002; Hedges, 2002; Ambrose; Krigbaum, 2003; Shahack-Gross et al., 2004; Goffer, 2007).

É possível perceber então que os processos de deterioração do osso podem ser descritos por três vias fundamentais cada uma produzindo alterações microscópicas que afetam a integridade deste tipo de material.

É importante lembrar que a bioestratinomia pode vir a ser a etapa mais crítica na “história tafonômica” de remanescente ósseos. Collins *et al.* (2002, p. 386) afirmam que as transformações observadas nos ossos após procedimentos funerários “aparecem indistinguíveis” daquelas observadas após a ocorrência de certos processos diagenéticos. Além disso, em ossos não necessariamente inumados, mas que sofreram queima, alterações microscópicas também ocorrem⁷ (Stiner et al., 1995).

Dessa forma, os arqueólogos devem estar cientes de que alguns fatores como a espécie a qual pertence o(s) remanescente(s) ósseo(s), a idade à época da morte, as práticas culturais que podem ter sido realizadas no(s) mesmo(s) – parte da bioestratinomia – e o modo pelo qual se deu a morte do organismo (a necrologia) desempenham um papel importante na reconstituição do padrão tafonômico que afetou tal(is) remanescente(s) (Collins et al., 2002; Hedges, 2002).

Tafonomia em Dentes

Os dentes por sua vez são formados por três tecidos compostos – assim como os ossos – majoritariamente inorgânicos: o esmalte, a dentina e o cemento (Tabela 1); e pela câmara pulpar e suas extensões (canal radicular e ápice), totalmente preenchidas por matéria orgânica (Figura 2).

7 A velocidade das alterações evidentemente dependerá da temperatura de queima. Alterações ósseas em altas temperaturas – acima de 650 °C – são praticamente instantâneas, ocorrendo o processo de recristalização do componente inorgânico ósseo. Até 650 °C não são percebidas diferenças significativas nos graus de alterações microscópicas provocadas pelo aumento da temperatura (STINER et al., 1995).

Tabela 1 – Porcentagens aproximadas das composições dos tecidos dentários. Fonte: elaborada pelo autor (2016) com dados de Hoppe, Koch e Furutani (2003).

TECIDO	COMPONENTE INORGÂNICO (HAP)	COMPONENTE ORGÂNICO	ÁGUA
Esmalte	96%	3%	1%
Dentina	70%	20%	10%
Cemento	50%	30%	20%



Figura 2 – Anatomia do dente. Fonte: adaptada do site da White Clinic: <<http://linhawhite.blogs.sapo.pt/sensibilidade-dentaria-133966>>. Acesso em: 28 Mai. 2016.

O esmalte é extremamente compacto, com pouco espaço poroso e grandes cristais de fosfato. Devido à sua composição de 96% de HAp, ou seja, ser um material quase totalmente inorgânico, o mesmo apresenta uma maior resistência aos processos tafonômicos quando comparado com vestígios ósseos (Greene et al., 2004; Szostek et al., 2011).

Já a dentina é porosa, apresentando um maior teor de matéria orgânica e cristais de fosfato de menor tamanho. Isto a torna mais suscetível às alterações tafonômicas quando comparada ao esmalte, porém mais resistente do que um vestígio ósseo (Kohn; Schoeninger; Barker, 1999).

Uma maior quantidade de componente orgânico no cimento parece demonstrar que tal tecido dentário é ainda mais suscetível aos processos tafonômicos do que os ossos (Koch; Tuross; Fogel, 1997).

Por quase sempre estarem associados a remanescentes ósseos, dentes geralmente apresentam os mesmos indicadores tafonômicos encontrados nos ossos. O que espera-se, no entanto, é que os dentes demonstrem ter sofrido menos alterações que os ossos associados (Silva, 2014).

Desse modo, amostras dentárias são mais indicadas para datações por Radiocarbono, análises de isótopos estáveis e extração de aDNA, uma vez que seu componente orgânico – localizado principalmente na câmara pulpar – tem maiores chances de ter persistido ao longo do tempo (Budd et al., 2000). Outro fator para tal seria que o esmalte, o tecido dentário mais externalizado, é também o mais resistente aos processos tafonômicos.

Implicações Tafonômicas: O Caso do Sítio Arqueológico Pedra do Alexandre

No município de Carnaúba dos Dantas, no estado do Rio Grande do Norte, localiza-se o sítio arqueológico Pedra do Alexandre que entre os anos de 1990 e 2010 foi cenário de 17 campanhas de escavações efetuadas no âmbito do Projeto Arqueológico do Seridó, coordenado pela professora Gabriela Martin da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) (Mutzenberg, 2007; Martin, 2008; Macedo, 2009).

Durante as escavações foram detectadas as presenças de pelo menos 36 indivíduos humanos enterrados na área do sítio. Todos foram exumados e estão agora acondicionados no Laboratório de Arqueologia Biológica e Forense (Labifor) da UFPE (Martin, 1995/1996; Borges, 2008; Santos, 2016).

Datações radiocarbônicas de carvões vegetais associados aos esqueletos possibilitaram o estabelecimento de uma sequência cronológica, para uma ocupação humana não necessariamente contínua do sítio, que partiria de aproximadamente 9400 anos AP e se prolongaria até 2620 anos AP. (Martin, 1995/1996). A tais datações é atribuído o caráter de maior fonte de dados cronológicos para a ocupação pré-histórica do próprio sítio e da Área Arqueológica do Seridó, onde o mesmo está inserido.

Amostras de osso e um dente, ambos provenientes de um mesmo indivíduo (29), foram enviados no segundo semestre de 2011 para o laboratório estadunidense de datações por Radiocarbono *Beta Analytic* a fim de serem datados por meio do emprego da modalidade de AMS⁸. Tal aplicação, no entanto, não gerou resultados, nem mesmo laudos, uma vez que segundo o próprio laboratório as amostras não mais possuíam quantidades de material orgânico suficientes para a realização da datação, ou seja, as amostras apresentavam-se microscópica e tafonomicamente alteradas (Santos, 2016).

A partir desta constatação Santos (2016) deu início a uma investigação para saber quais fatores ocasionaram os processos tafonomômicos no sítio, ou seja, foi dada ênfase à etapa diagenética, ao mesmo tempo em que experimentou a datação direta de um dente de um dos indivíduos exumados mediante emprego de uma técnica radiométrica chamada espectroscopia de Ressonância Paramagnética Eletrônica (RPE).

A espectroscopia de RPE é uma técnica análoga à Termoluminescência (TL) e a Luminescência Opticamente Estimulada (LOE), a partir das quais é medida a dose de radiação que incidiu sobre a amostra ao longo do tempo. Tal medição é possível a partir da quantificação de registros (centros paramagnéticos) deixados pela radiação em estruturas cristalinas de minerais presentes na amostra. Na datação de dentes por meio do emprego da espectroscopia de RPE, tais registros são encontrados na estrutura cristalina da HAp dos tecidos dentários, em especial do esmalte. Desse modo, esta é uma técnica que não depende da persistência da matéria orgânica na amostra para ser efetivamente realizada⁹ (Santos, 2016).

Também foram aplicadas espectroscopias no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) e Difrações de Raio-X (DRX) em amostras ósseas aleatórias provenientes de 6 esqueletos exumados no Sítio. A finalidade de tais análises seria calcular determinados índices

8 Espectrometria por Aceleração de Partículas, em tradução livre. Em vez de se estimar as taxas de emissão de partículas-beta (radiação- β), produto da desintegração natural do carbono-14, como o faz o método tradicional radiométrico, o que é estimado é a quantidade de radioisótopos do carbono (12C, 13C e 14C) presentes na amostra. Ao final, uma triagem é então realizada para que somente a quantidade relativa aos átomos de carbono-14 (14C) seja determinada (Malainey, 2011; Pollard et al., 2006).

9 No caso, a atuação da tafonomia para a degradação do componente orgânico do esmalte (2% da massa) favoreceria a aplicação da espectroscopia de RPE, uma vez que teria-se então uma amostra pura de esmalte/HAp, possibilitando resultados de melhor qualidade.

diagnéticos – o Índice de Cristalinidade (CI)¹⁰ nos difratogramas e o Infrared Splitting Factor (IR-SF)¹¹ e a relação Carbonato/Fosfato (C/P)¹² nos espectros FTIR –, que por sua vez possibilitariam aferir a extensão da diagênese óssea nas amostras. Ao se comparar os índices obtidos nas amostras arqueológicas com os mesmos de uma amostra óssea moderna foi possível constatar que todas apresentavam extensa perda de colágeno, condizentes com sua natureza (Tabela 2).

Tabela 2 – Índices diagnéticos calculados para as amostras ósseas na pesquisa de Santos (2016). Fonte: elaborado pelo autor com dados de Santos (2016).

AMOSTRA	CI	IR-SF	C/P
Moderna	0,31	3,17	0,37
2	0,23	4,93	0,11
15-A	-	7,25	0,03
15-B	0,23	7,15	0,03
27	0,28	4,89	0,13
28	0,26	7,10	0,14
29	0,24	4,44	0,15

Medições de pH realizadas em 6 amostras de sedimentos associados resultaram em valores em geral mais próximos da neutralidade, um tanto distante dos extremos (Quadro 2). Isto leva a concluir que o principal causador das perdas de colágeno teria sido uma intensa atividade microbiana no sedimento e não a ocorrência de hidrólises ácidas, como era pensado no início da pesquisa. Ainda assim, é possível admitir a ocorrência de hidrólises ácidas ao longo dos últimos milênios, uma vez que tais valores de pH podem não ter se mantido constantes, mas como tratam-se de processos lentos, muito provavelmente somente se produziram efeitos superficiais como resultado destas hidrólises.

10 Diz respeito à quantidade de matéria inorgânica em relação à orgânica presente na amostra analisada – dado o processo de recristalização que ocorre quase simultaneamente à perda de colágeno em ossos inumados (Beasley et al., 2014). Desse modo, quanto maior o CI, maior também as alterações ósseas.

11 Índice análogo ao CI calculado em espectros FTIR.

12 Diz respeito à presença de radicais de carbonatos (CO₃) e fosfatos (PO₄) na amostra analisada. A HAP é um fosfato de cálcio e no osso ela se apresenta carbonatada (Beasley et al., 2014).

Quadro 2 – Resultados das medições de pH dos sedimentos associados na pesquisa de Santos (2016).
Fonte: elaborado pelo autor com dados de Santos (2016, p. 117).

AMOSTRA	AMOSTRAS ÓSSEAS ASSOCIADAS	PH	CLASSIFICAÇÃO
544	2	8,44	Moderadamente alcalino
555	2	8,36	Moderadamente alcalino
1314	15-A, 15-B	7,53	Levemente alcalino
1389	15-A, 15-B	6,37	Levemente ácido
4431	27,28, 29	8,24	Moderadamente alcalino
4432	27,28, 29	8,68	Fortemente alcalino

Além disso, foram realizadas também análises quanto à composição de 3 destas 6 amostras sedimentares por meio da DRX, e em uma delas foi acusada uma pequena presença (3,5% da massa amostral) do mineral brushita (Tabela 3). A brushita é um fosfato de cálcio assim como a HAp, no entanto, a mesma é formada em ambientes que apresentam pH ácido, a partir da reação de soluções ricas em fosfato com a calcita e/ou a argila (Anthony et al., 2003). A hipótese mais provável é que a mesma tenha sido formada pelo contato da HAp com ácidos produzidos por micro-organismos do sedimento, ou seja, como produto da destruição focal microscópica já anteriormente apresentada.

Tabela 19 – Composição das amostras sedimentares analisadas por DRX na pesquisa de Santos (2016).
Fonte: elaborado pelo autor com dados de Santos (2016, p. 118).

AMOSTRA	MUSCOVITA	ILITA	ALBITA	CAULINITA	QUARTZO	BRUSHITA
555	33%	28,5%	15,4%	12,5%	7,1%	3,5
1389	35,3%	30,4%	17,6%	13,4%	3,3%	-
4432	35%	30,2%	18,1%	13,3%	3,3%	-

O experimento de datação do dente foi realizado com dificuldade devido à pequena dose de radiação na amostra, o que indicaria a “pouca” idade da mesma, provavelmente posicionada entre 4000 e 5000 AP, no entanto para se aferir a exatidão de tal estimativa, outros procedimentos ainda devem vir a ser realizados. A espectroscopia de RPE mostra-se capaz de datar plenamente dentes provenientes dos indivíduos exumados no sítio arqueológico Pedra do Alexandre.

Implicações Tafonômicas: O Caso do Genoma Neandertal

Neandertais, evolucionariamente falando o parente mais próximo do *homo sapiens*, viveu em grandes porções da Europa e da Ásia ocidental antes de desaparecer há 30.000 anos atrás. No ano de 2010, Green *et al.* apresentaram um “rascunho” de uma sequência do genoma Neandertal obtido no Instituto Max Planck de Leipzig, na Alemanha, a partir de ossos neandertais exumados na caverna de Vindjia, na Croácia; em El Sidron, na Espanha; no Vale Neander, na Alemanha; e na caverna de Mezmaiskaya, na Rússia (Figura 3).



Figura 3 – Sítios onde foram encontrados os ossos neandertais utilizados para a coleta de aDNA, em destaque as idades dos mesmos. Fonte: adaptada de Green et al. (2010, p. 711).

A sequência era composta por mais de 4 bilhões de nucleotídeos provenientes de amostras de três indivíduos (Green et al., 2010). No entanto, dada a natureza das amostras, obter esta relevante quantidade de material genético é uma tarefa difícil (Hermann; Hummel, 2003).

Amostras do chamado DNA antigo (aDNA) são inevitavelmente muito degradadas e, portanto, apresentam quantidades muito pequenas de material genético – menos de 200 bases pares¹³ (bp) (Brown; Brown, 2011; Malainey, 2011). Além disso, as mesmas também apresentam-se muito contaminadas: geralmente apenas uma pequena quantidade do material genético extraído pertencia ao organismo alvo da extração, enquanto que a maior parte do material é proveniente de micro-organismos que colonizaram o espécime após sua morte (Green et al., 2010).

Amostras do chamado DNA antigo (aDNA) são inevitavelmente muito degradadas e, portanto, apresentam quantidades muito pequenas de material genético – menos de 200 bases pares¹⁴ (bp) (Brown; Brown, 2011; Malainey, 2011). Além disso, as mesmas também apresentam-se muito contaminadas: geralmente apenas uma pequena quantidade do material genético extraído pertencia ao organismo alvo da extração, enquanto que a maior parte do material é proveniente de micro-organismos que colonizaram o espécime após sua morte (Green et al., 2010).

No caso das amostras de DNA obtidas em ossos neandertais, somente entre 1 e 5% do material genético era(m) relacionado(s) a primatas, os restantes 95 a 99% eram provenientes de micro-organismos (GREEN et al., 2010). Esta seria a mais imediata implicação tafonômica (diagenética, mais especificamente) às análises de aDNA.

Há alguns fatores que influenciam a persistência ou não do DNA ao longo do tempo, e parte deles já foram anteriormente apresentados quando tratava-se do colágeno. Além do decaimento natural do DNA que se inicia após a morte do organismo, as causas mais comuns de degradação são a hidrólise e a oxidação. Esses processos dependem da presença de água e oxigênio no ambiente, respectivamente, podendo ser intensificados com o aumento da temperatura no local de inumação. De forma inversamente proporcional, é possível encontrar amostras bem preservadas de DNA em ambientes com temperaturas muito baixas e ausência de umidade (Carracedo, 2005; Goodwin; Linacre; Hadi, 2007).

13 Também chamadas de bases nitrogenadas, são a Adenina (A), a Citosina (C), a Guanina (G) e a Timina (T). No DNA elas se apresentam agupadas em pares de A-T e G-C (Hermann; Hummel, 2003).

14 Também chamadas de bases nitrogenadas, são a Adenina (A), a Citosina (C), a Guanina (G) e a Timina (T). No DNA elas se apresentam agupadas em pares de A-T e G-C (Hermann; Hummel, 2003).

Segundo afirmam Grupe e Harbeck (2015), a taxa de decaimento do DNA já foi calculada com o auxílio de datações por Radiocarbono. Em temperatura ambiente, estima-se a meia-vida da molécula de DNA como sendo algo em torno de 521 anos, enquanto que um pequeno fragmento do próprio DNA de aproximadamente 30 bases - pares terá uma meia-vida de 158.000 anos em ambientes com temperaturas abaixo de zero.

Nestes últimos, a depender do quão baixo é a temperatura, o próprio decaimento natural do DNA pode vir a cessar e um processo de mumificação das células do organismo pode ocorrer. Se este for o caso, tal processo pode durar alguns milhares de anos. O DNA dentro de células mumificadas está protegido dos principais processos diagenéticos que podem afetá-lo inicialmente: a hidrólise e a atividade microbiana, respectivamente, sendo que esta última diminui consideravelmente em temperaturas muito baixas. O DNA irá ainda sofrer uma certa destruição por causa da oxidação, mas ainda assim será muito menos do que sofreria em temperatura ambiente (Goffer, 2007; Malainey, 2011; Hummel, 2015). Percebe-se então que muito dificilmente será possível extrair um aDNA em um bom estado de preservação em ambientes que não sejam muito frios e secos.

No caso da pesquisa que envolveu o sequenciamento do genoma neandertal, um outro problema surgiu: a contaminação das amostras com material genético humano moderno. Este fato foi inicialmente percebido ao se analisar 3 ossos neandertais exumados na caverna de Vindjia (Figura 4). Acredita-se que a contaminação se deu com a manipulação dos mesmos após suas respectivas coletas (Green et al., 2010).



Figura 4 – Ossos neandertais exumados na caverna de Vindija. Fonte: adaptada de Green *et al.* (2010, p. 711).

A contaminação com material humano se torna ainda mais grave quando se leva em consideração que devem haver poucas diferenças genéticas entre as duas espécies envolvidas, tornando a identificação de agentes contaminantes muito complicada. Apesar de este problema ter sido contornado ao longo da pesquisa, foi constatado que os segmentos de aDNA relacionados a primatas (entre 1 e 5% de todo o aDNA extraído dos ossos neandertais) possuíam, por sua vez, índices de contaminação por material genético de humanos modernos da ordem de 11 a 40% (Green *et al.*, 2010).

Uma vez contornadas as implicações microscópicas da atuação tafonômica – e aqui as contaminações por humanos modernos podem talvez ser consideradas como um segundo momento de bioestratigrafia – restaram então somente algumas centenas de nucleotídeos para serem analisados. Então, como transformar esta pequena quantidade de material

genético de neandertal em algumas unidades de bilhões de nucleotídeos? A resposta desta pergunta foi a utilização de uma técnica chamada Reação em Cadeia de Polimerases (PCR, *polymerase chain reaction*).

Desde a década de 1980, quando foi desenvolvida pelo bioquímico estadunidense K. B. Mullis, o emprego de PCR tem tornado possível analisar DNA obtido a partir de apenas algumas células, bem como de amostras humanas altamente degradadas. Desse modo, a PCR tem possibilitado a resolução problemas relacionados à migração de populações humanas e a casos complicados de testes de paternidade onde o suposto pai já não se encontra mais vivo. Além disso, a rápida identificação de indivíduos em desastres em massa tornou-se também uma realidade graças ao desenvolvimento da PCR (Haglund; Sorg, 1997; 2002).

Os princípios básicos da PCR fundamentam-se em processos enzimáticos de replicação do DNA que ocorrem naturalmente em organismos vivos. Durante cada ciclo celular, todo o material genético presente na mesma é duplicado. Tal processo de replicação do DNA pode ser realizado *in vitro*, em ambientes externos às células, a fim de se amplificar específicas regiões do DNA (Hermann; Hummel, 2003; Weiner, 2010; Brown; Brown, 2011).

A PCR consiste então na reprodução em laboratório do natural processo enzimático de replicação do DNA. Tal processo se dá a partir do uso de enzimas conhecidas como polimerases (daí surge o nome da técnica), as quais naturalmente copiam todo o material genético presente nas células de organismos vivos. Neste caso, no entanto, apenas fragmentos específicos do DNA são replicados. O resultado disso é a duplicação do fragmento de DNA alvo após cada ciclo de aplicação, e após algumas dezenas de ciclos, é obtido material genético em quantidades suficientes para o sequenciamento (Goffer, 2007). E assim foi possível obter-se o primeiro “rascunho” do genoma neandertal¹⁵.

É importante salientar que a técnica pode ser empregada em fragmentos de DNA extraídos de diferentes tipos de organismos, por exemplo: animais extintos, plantas e/ou micro-organismos, independentemente do quão antigos sejam, desde que haja material genético persistente, obviamente (Weiner, 2010).

15 Tal pesquisa para o sequenciamento do genoma neandertal continua em andamento no Instituto Max Plack de Leipzig.

Conclusão

Em ambos os casos foi possível perceber então o quanto os fatores tafonômicos microscópicos podem vir a limitar – ou ao menos dificultar – as possibilidades de trabalho do arqueólogo. No entanto, estes fatores não impossibilitaram totalmente o cumprimento dos objetivos propostos.

Reconhecer a atuação tafonômica foi um primeiro passo para se pensar os próximos – tomados com caráter de alternativas, dados os cenários enfrentados – o que demonstra também a importância de o arqueólogo ter conhecimento acerca dos métodos existentes e/ou disponíveis, e em quais momentos recorrer a estes.

A extensão das alterações tafonômicas apresentaram-se condizentes com as idades das amostras analisadas, mostrando que ainda é possível se obter uma certa vantagem destas constatações: uma relação inicial entre a extensão das alterações e a antiguidade do material analisado.

É possível perceber-se então o porquê de ser de fundamental importância para o ofício arqueológico reconhecer e entender como atuam os processos tafonômicos em remanescentes humanos de igual natureza.

Referências

AMBROSE, S. H.; KRIGBAUM, J. Bone chemistry and bioarchaeology. *Journal of Anthropological Archaeology*, [S.l.], v. 22, p. 193-199, 2003.

ANDRADE, L. C. A fossilização em vertebrados pleistocênicos de Araras, Rondônia e o desenvolvimento regional. 82f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Fundação Universidade Federal de Rondônia, 2013.

ANTHONY, J. W.; BIDEAUX, R. A.; BLADH, K. W.; NICHOLS, M. C. (eds.). *Handbook of Mineralogy*. Chantilly: Mineralogical Society of America, 2003.

BARTOLOMUCCI, R. Preservação óssea: um estudo tafonômico dos remanescentes ósseos humanos dos sambaquis fluviais do vale da Ribeira de Iguape, SP. 165f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Arqueologia, Universidade de São Paulo, 2008.

BEASLEY, M. M.; BARTELINK, E. J.; TAYLOR, L.; MILLER, R. M. Comparison of transmission FTIR, ATR, and DRIFT spectra: implications for assessment of bone bioapatite diagenesis. *Journal of Archaeological Science*, [S.l.], v. 15, 2014, pp. 16- 22.

BINFORD, L. R. *Bones: ancient men and modern myths*. Orlando: Academic Press, Inc., 1981.

BISSARO JÚNIOR, M. C. Tafonomia como ferramenta zooarqueológica de interpretação: viés de representatividade óssea em sítios arqueológico, paleontológico e etnográfico. 107f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pósgraduação em Ecologia dos Ecossistemas Terrestres e Aquáticos, Universidade de São Paulo, 2008.

BORGES, C. C. L. Uma narrativa pré-histórica. O cotidiano de antigos grupos humanos no sertão do Seridó/RN. 183f. Tese (Doutorado) – Programa de Pósgraduação em História, Universidade Estadual de São Paulo, 2008.

BRADY, A. L.; WHITE, C. D.; LONGSTAFFE, F. J.; SOUTHAM, G. Investigating intra- one isotopic variations in bioapatite using IR-laser ablation and micromilling: Implications for identifying diagenesis? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, [S.l.], v. 266, p. 190-199, 2008.

BROWN, T.; BROWN, K. *Biomolecular Archaeology An Introduction*. Chichester: John Wiley & Sons, 2011.

BUDD, P.; MONTGOMERY, J.; BARREIRO, B.; THOMAS, R. G. Differential diagenesis of strontium in archaeological human dental tissues. *Applied Geochemistry*, Grã-Bretanha, v. 15, p. 687-694, 2000.

CARRACEDO, A. (ed.). *Forensic DNA Typing Protocols*. Totowa: Humana Press, 2005.

CECCANTI, B.; LANDI, A.; BARTOLI, F.; MALLEGGNI, F.; MASCIANDARO, G.; CARMIGNANI, A.; MACCI, C. Study and control of the geochemical processes responsible of diagenetic alteration of archaeological bones. *Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem., Serie A, Toscana*, v. 112, p. 61-68, 2007.

DUPRAS, T. L.; SCHULTZ, J. J.; WHEELER, S. M.; WILLIAMS, L. J. (orgs.). *Forensic recovery of human remains: Archaeological approaches*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2012.

FARIAS, A. A. Diagênese óssea em ambiente semiárido brasileiro: modelagem e experimentações com sedimentos do sítio Pedra do Alexandre. 84f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Arqueologia, Universidade Federal de Pernambuco, 2013.

GARRISON, E. G. *Techniques in Archaeological Geology*. Nova Iorque: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003.

GOFFER, Z. *Archaeological Chemistry*. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2007.

GOODWIN, W.; LINACRE, A.; HADI, S. An Introduction to Forensic Genetics. Colchester: John Wiley & Sons Ltd, 2007.

GREEN, R. E.; KRAUSE, J.; BRIGGS, A. W.; MARICIC, T.; STENZEL, U.; KIRCHER, M.; PATTERSON, N.; LI, H.; ZHAI, W.; FRITZ, M. H.-Y.; HANSEN, N. F.; DURAND, E. Y.; MALASPINAS, A.-S.; JENSEN, J. D.; MARQUES-BONET, T.; ALKAN, C.; PRÜFER, K.; MEYER, M.; BURBANO, H. A.; GOOD, J. M.; SCHULTZ, R.; AXIMU-PETRI, A.; BUTTHOF, A.; HÖBER, B.; HÖFFNER, B.; SIEGEMUND, M.; WEIHMANN, A.; NUSBAUM, C.; LANDER, E. S.; RUSS, C.; NOVOD, N.; AFFOURTIT, J.; EGHOLM, M.; VERNA, C.; RUDAN, P.; BRAJKOVIC, D.; KUCAN, Ž.; GUŠIĆ, I.; DORONICHEV, V. B.; GOLOVANOVA, L. V.; LALUEZA-FOX, C.; DE LA RASILLA, M.; FORTEA, J.; ROSAS, A.; SCHMITZ, R. W.; JOHNSON, P. L. F.; EICHLER, E. E.; FALUSH, D.; BIRNEY, E.; MULLIKIN, J. C.; SLATKIN, M.; NIELSEN, R.; KELSO, J.; LACHMANN, M.; REICH, D.; PÄÄBO, S. A Draft Sequence of the Neandertal Genome. *Science*, [S.l.], v. 328, p. 710-722, Mai., 2010.

GREENE, E. F.; TAUCH, S.; WEBB, E.; AMARASIRIWARDENA, D. Application of diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy (DRIFTS) for the identification of potential diagenesis and crystallinity changes in teeth. *Microchemical Journal*, [S.l.], v. 76, p. 141-149, 2004.

GRUPE, G.; HARBECK, M. Taphonomic and Diagenetic Processes. In: HENKE, W.; TATTERSALL, I. (eds.). *Handbook of Paleoanthropology*. 2. ed. Heidelberg: Springer, p. 417-440, 2015.

HAGLUND, W. D.; SORG, M. H. (eds.). *Forensic Taphonomy: the postmortem fate of humans remains*. Boca Raton: CRC Press, 1997.

HAGLUND, W. D.; SORG, M. H. (eds.). *Advances in forensic taphonomy: method, theory, and archaeological perspectives*. Boca Raton: CRC Press, 2002.

HEDGES, R. E. M. Bone diagenesis: an overview of processes. *Archaeometry*, Oxford, v. 44, n. 3, p. 319-328, 2002.

HERMANN, B; HUMMEL, S (eds.). *Ancient DNA Typing: Methods, Strategies and Applications*. Heidelberg: Springer, 2003.

HOPPE, K. A.; KOCH, P. L.; FURUTANI, T. T. Assessing the Preservation of Biogenic Strontium in Fossil Bones and Tooth Enamel. *International Journal of Osteoarchaeology*, [S.l.], v. 13, n. 1-2, p. 20-28, 2003.

HUMMEL, S. Ancient DNA. In: HENKE, W.; TATTERSALL, I. (eds.). *Handbook of Paleoanthropology*. 2. ed. Heidelberg: Springer, p. 763-790, 2015.

KOCH, P. L.; TUROSS, N.; FOGEL, M. L. The Effects of Sample Treatment and Diagenesis on the Isotopic Integrity of Carbonate in Biogenic Hydroxylapatite. *Journal of Archaeological Science*, [S.l.], v. 24, p. 417-429, 1997.

KOHN, M. J.; SCHOENINGER, M. J.; BARKER, W. W. Altered states: Effects of diagenesis on fossil tooth chemistry. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, [S.l.], v. 63, n. 18, p. 2737- 747, 1999.

LOFTUS, E.; SEALY, J. Technical note: interpreting stable carbon isotopes in human tooth enamel: an examination of tissue spacings from South Africa. *American Journal of Physical Anthropology*, [S.l.], v. 147, n. 3, p. 499-507, 2012.

MACEDO, H. A. M. Pesquisas arqueológicas realizadas em Carnaúba dos Dantas, sertão do Seridó: um balanço. XVII Semana de Humanidades, Natal: UFRN, p. 1-39, 2009.

MALAINÉY, M. E. *A Consumer's Guide to Archaeological Science: Analytical Techniques*. Springer: Nova York, 2011.

MARTIN, G. O cemitério pré-histórico “Pedra do Alexandre” em Carnaúba dos Dantas, RN (Brasil). *CLIO – Arqueológica*, Recife, v. 11., p. 43-57, 1995/1996.

MARTIN, G.. *Pré-História do Nordeste do Brasil*. 5. ed. Recife: Universitária da UFPE, 2008.

MAYS, S. *The archaeology of human bones*. Londres: Routledge, 1998.

MUTZENBERG, D. C. S.; SULLASI, H. S. L.; FARIAS, A. A.; SANTOS, A. L. C.; BARBOSA, M. B. G. Fundamentos da diagenese óssea e suas formas de avaliação usando as técnicas espectroscópicas de FTIR-ATR e DRX. *Clio Arqueológica*, Recife, v. 30, n. 2, p. 154- 88, 2015.

MUTZENBERG, D. S. *Gênese e ocupação pré-histórica do Sítio Arqueológico Pedra do Alexandre: uma abordagem a partir da caracterização paleoambiental do Vale do Rio Carnaúba-RN*. 142f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pósgraduação em Arqueologia e Conservação Patrimonial, Universidade Federal de Pernambuco, 2007.

PATE, F. D. Bone chemistry and palaeodiet: Bioarchaeological research at Roonka Flat, lower Murray River, South Australia 1983 - 1999. *Australian Archaeology*, [S.l.], v. 50, p. 67-74, 2000.

PATE, F. D.; HUTON, J. T. The use of soil chemistry data to address post-mortem diagenesis in bone mineral. *Journal of Archeological Science*, [S.l.], v. 15, n. 6, p. 729-739, 1988.

POLLARD, M.; BATT, C.; STERN, B.; YOUNG, S. M. M. *Analytical Chemistry in Archaeology*. Cambridge: Cambridge Press, 2006.

PRUVOST, M.; SCHWARZ, R.; CORREIA, V. B.; CHAMPLLOT, S.; BRAGUIER, S.; MOREL, N.; FERNANDEZ-JALVO, Y.; GRANGE, T.; GEIGL, E. M. Freshly excavated fossil bones are best for amplification of ancient DNA. *Proceedings of the National Academy of Sciences, Washington*, v. 104, n. 3, 2007, pp. 739-744.

SANTOS, A. L. C. Estudo da diagênese óssea e experimento de datação direta dos sepultamentos do sítio arqueológico Pedra do Alexandre – RN. 158f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Arqueologia, Universidade Federal de Pernambuco, 2016.

SANTOS, J. S.; FARIAS, A. A. Diagênese óssea nos cemitérios indígenas dos sertões da Paraíba. *Clio. Série Arqueológica, Recife*, v. 24, p. 111-125, 2009.

SHAHACK-GROSS, R.; MARSHALL, F.; WEINER, S. Geo-Ethnoarchaeology of Pastoral Sites: The Identification of Livestock Enclosures in Abandoned Maasai Settlements. *Journal of Archaeological Science, [S.l.]*, v. 30, n. 4, p. 439- 459, 2003.

SHAHACK-GROSS, R.; BERNA, F.; KARKANAS, P.; WEINER, S. Bat guano and preservation of archaeological remains in cave sites. *Journal of Archaeological Science, [S.l.]*, v. 31, n. 9, p. 1259-1272, 2004.

SILLEN, A.; MORRIS, A. Diagenesis of bone from Border Cave: implications for the age of the Border Cave hominids. *Journal of Human Evolution, [S.l.]*, v. 31, n. 6, p. 499-506, 1996.

SILVA, S. F. S. M. Arqueologia funerária: corpo, cultura e sociedade. Recife: PROEXT- UFPE & Ed. Universitária da UFPE, 2014.

STINER, M. C.; KUHN, S. L.; WEINER, S.; BAR-YOSEF, O. Differential Burning, Recrystallization, and Fragmentation of Archaeological Bone. *Journal of Archaeological Science, [S.l.]*, v. 22, n. 2, p. 223-237, 1995.

STODDER, A. L. W. Taphonomy and the nature of archaeological assemblages. In: KATZENBERG, M. A.; SAUNDERS, S. R. (eds.). *Biological anthropology of the human skeleton*. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., p. 71-116, 2008.

SZOSTEK, K.; STEPAŃCZAK, B.; SZCZEPANEK, A.; KĘPA, M.; GŁĄB, H.; JAROSZ, P.; WŁODARCZAK, P.; TUNIA, K.; PAWLYTA, J.; PALUSZKIEWICZ, C.; TYLKO, G. Diagenetic signals from ancient human remains – bioarchaeological applications. *MINERALOGIA, Polônia*, v. 42, n. 2-3, p. 93-112, 2011.

WALKER, M. *Quaternary Dating Methods*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2005.

WEINER, S. *Microarchaeology: beyond the visible archaeological record*. Cambridge: Cambri