CAPÍTULO 7

DATAÇÕES ARQUEOLÓGICAS EM SERGIPE: UMA DISCUSSÃO ARQUEOMÉTRICA

Vinicius Pedra da Silva
Iury Santos Silva
Davinízia do Nascimento Souza
Albérico Nogueira de Queiroz
Olivia Alexandre de Carvalho
Carolina Melo de Abreu

Introdução

A arqueologia é uma ciência em constante transformação que faz uso de numerosas metodologias e técnicas científicas para obter informações sobre as antigas formas de organização humana, permitindo um maior entendimento desta e uma adequada conservação do patrimônio histórico e cultural. Através do registro arqueológico é possível se obterem informações que permitem identificar diversas áreas de atividades em uma sociedade, como seus estilos de vida, crenças, relação com o meio ambiente e organização social, ideológica e política (Childe, 1987; Bastos, 2011).

Com o advento das técnicas de análises físico-químicas e com a grande variedade de materiais arqueológicos e antiguidades que podem ser analisados, foi possível observar nas últimas décadas um aumento expressivo no uso de técnicas de caracterização para investigar artefatos arqueológicos, que frequentemente requerem a utilização de métodos não destrutivos ou micro-destrutivos. Do ponto de vista científico, informações como origem de matérias-primas empregadas, composição química, idade cronológica, grau de degradação, autenticidade, entre outras, podem ser extraídas por meio destes métodos analíticos.

A partir do século XX, a contribuição das ciências físicas, químicas e biológicas aos estudos arqueológicos ficou conhecida como Arqueometria e vem envolvendo a interdisciplinaridade de profissionais das áreas de ciências humanas, sociais, exatas e da terra (Faria, 2012; Ozçatal et al., 2014; Munita & Carvalho, 2015).

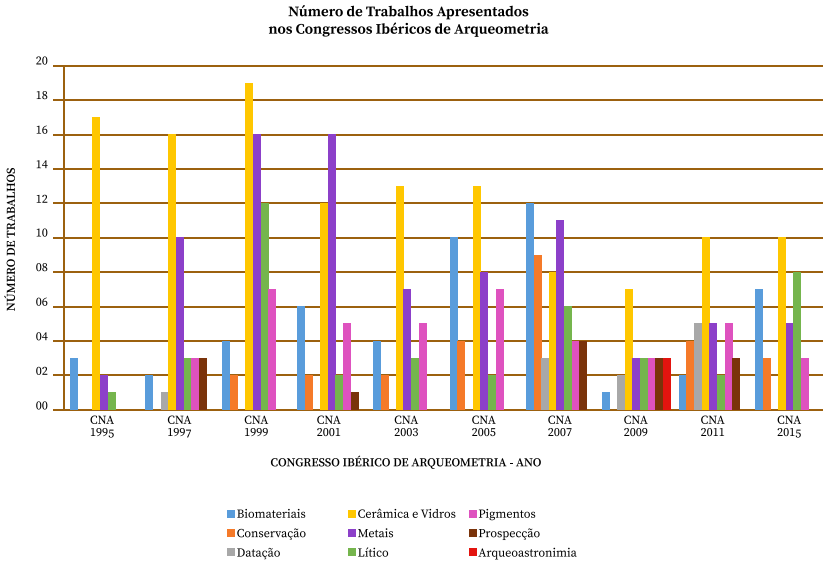
A arqueometria, atualmente, é considerada um dos ramos mais promissores e ativos da arqueologia moderna, de modo

que as técnicas analíticas são usualmente aplicadas em materiais como cerâmicas, rochas, pigmentos, fósseis, ossos, conchas, dentre outros (Silva et al., 2004; Jones, 2004; Rosado et al., 2007). Atualmente, aceita-se que os campos de atuação da arqueometria são (Tite, 2004; Ruiz et al., 2007):

- a) Datação;
- b) Análise físico-química de materiais como cerâmica, vidros, metais, lítico e pigmentos (tecnologia, origem e uso dos mesmos);
- c) Estudos paleoambientais;
- d) Prospecção geofísica e teledetecção espacial;
- e) Métodos matemáticos e estatísticos (ferramentas para interpretar dados de outros campos de estudo);
- f) Conservação e restauração de materiais do patrimônio;
- g) Biomateriais.

Na Figura 1.1 tem-se, quantitativamente, os trabalhos apresentados por áreas temáticas no Congresso Ibérico de Arqueometria (CIA) nos últimos 20 anos. O CIA é considerado um dos principais eventos de divulgação de trabalhos arqueométricos na comunidade internacional. Na análise de números de trabalhos por ano é possível observar que a área de análises físico-químicas de cerâmicas e vidros corresponde ao campo de atuação mais estudado, enquanto a área de datação apresenta poucos trabalhos divulgados. As cerâmicas e vidros são os artefatos mais analisados devido à grande abundância desses materiais em sítios arqueológicos, pois sofrem pouca degradação no ambiente. Em relação à datação, a baixa quantidade de estudos científicos nesse campo pode estar relacionada com o alto custo financeiro envolvido nas análises, principalmente de datações por radiocarbono. Além disso, muitos estudos são financiados por uma arqueologia de contrato, que não tem como objetivo principal a divulgação de resultados científicos, mas apenas a identificação da datação para registros arqueológicos.

Figura 1.1: Trabalhos publicados por área temática nos Congressos Ibéricos de Arqueometria (CIA) nos últimos 20 anos (Adaptado de Ruiz et al., 2007).



Apesar do pouco número de trabalhos com datação se compararmos a outras áreas da arqueometria como a caracterização de cerâmicas, para os pesquisadores dessa área, uma das principais informações a ser descoberta sobre um objeto arqueológico ainda se refere à idade do material em estudo. A datação de objetos arqueológicos permite estabelecer uma cronologia de maneira a promover uma reconstituição da história e/ou pré-história. Atualmente, várias técnicas de datação arqueológica são utilizadas, e uma

das mais conhecidas é o método de radiocarbono (C-14), bastante usado em amostras que absorveram carbono no passado. As técnicas conhecidas como termoluminescência (TL), luminescência opticamente estimulada (LOE) e ressonância paramagnética eletrônica (RPE) vêm sendo amplamente utilizadas e se baseiam na deposição parcial de energia de uma radiação ionizante no material cuja idade se deseja estimar (Watanabe et al., 2005-2006). Recentemente um novo método de datação, conhecido como rehidroxilação (RHX), vem sendo aplicado exclusivamente em cerâmicas, com resultados bastante promissores e com alto grau de confiabilidade (Wilson et al., 2012).

No Brasil, a expansão da arqueometria se faz de maneira lenta, porém constante, de modo que a difusão do conhecimento e a criação de parcerias com o objetivo de intensificar o estudo de vestígios arqueológicos vêm crescendo nos principais laboratórios e centros de pesquisas, principalmente na região Sul e Sudeste. Na região Nordeste, a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) destaca-se com alguns trabalhos em arqueometria, enriquecendo o conhecimento da comunidade científica. Recentemente, no estado de Sergipe, mais especificamente na Universidade Federal de Sergipe (UFS), criou-se uma linha de pesquisa voltada para estudos arqueométricos de peças arqueológicas da região. O desenvolvimento dessa linha de pesquisa na UFS tem promovido o fortalecimento dos programas científicos do Departamento de Física (DFI) e do Departamento de Arqueologia (DARQ), e envolve diversos profissionais, além de físicos e arqueólogos, inclusive biólogos, químicos e geólogos.

MÉTODOS DE DATAÇÃO

Para arqueólogos e historiadores, o tempo é uma das ferramentas mais importantes em um estudo arqueológico. Portanto, na arqueologia, um dos principais objetivos dos pesquisadores é ordenar cronologicamente eventos passados por meio da investigação de vestígios antigos que refletem o comportamento humano. Atualmente, existe uma variedade de métodos de datação disponíveis que podem ser usados para diferentes tipos de materiais como conchas, ossos, cerâmicas, carvão, entre outros. Esses métodos podem ser classificados em métodos de datação relativa e absoluta (Michels, 1972; Bowman, 1990; Tuniz et al., 2000; Walker, 2005).

Na datação relativa, a estimativa da idade é feita pela simples comparação de objetos/ peças entre si, obtendo-se apenas provas circunstanciais, como a mudança de técnica de fabricação ou de estilo na produção de cerâmicas. Este tipo de datação determina apenas se um objeto ou evento em questão é mais antigo ou mais novo do que o outro. Correlação bioestratigráfica, estratigrafia paleomagnética, datação por flúor em fósseis, dendrocronologias (estudo dos anéis de crescimento das árvores) são exemplos de datações relativas.

Nos métodos absolutos, as cronologias são baseadas em fenômenos dependentes do tempo e relacionadas com a radioatividade natural. Na medição absoluta, a estimativa da idade é feita com precisão, de modo que se busca determinar com acurácia o tempo de existência dos objetos. Como exemplos de métodos de datação absoluta temos (Michels, 1972; Bowman, 1990; Tuniz et al., 2000; Walker, 2005):

- i) Método de radiocarbono: decaimento exponencial de longa duração de radionuclídeos cosmogênicos;
- ii) Termoluminescência (TL)/ Luminescência opticamente estimulada (LOE)/ Ressonância Paramagnética Eletrônica (RPE): crescimento linear da intensidade do sinal com a exposição da radiação;

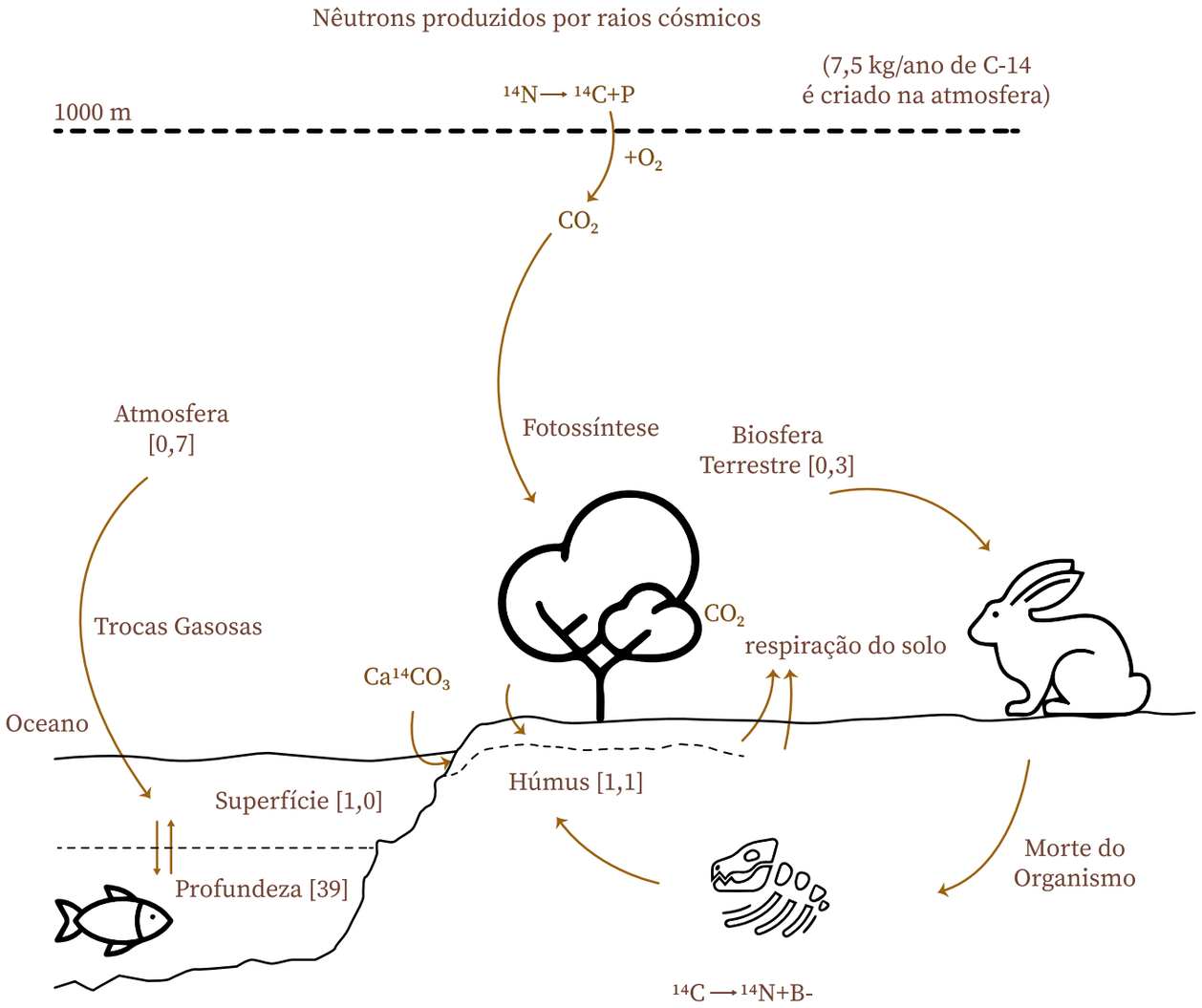
A seguir serão abordadas algumas das técnicas mais utilizadas atualmente em estudos de datação absoluta.

MÉTODO DO RADIOCARBONO (C-14)

A técnica de datação por radiocarbono é basicamente um método que mede a radioatividade do material. O carbono é um elemento essencial para a vida na Terra, sendo um dos constituintes presentes em plantas e animais. Na Terra existem três isótopos de carbono: ^{12}C (98,89 %), ^{13}C (1,11 %) e ^{14}C (10^{-10} %). Todos eles são quimicamente idênticos, porém o ^{14}C é instável e radioativo, devido ao número extra de nêutrons em seu núcleo. A Figura 2.1 apresenta um esquema que demonstra o caminho do ^{14}C na natureza. Quando os raios cósmicos atingem a superfície da terra temos a formação de nêutrons (denominados de nêutrons térmicos). De maneira secundária, esses nêutrons interagem com átomos de nitrogênio ^{14}N resultando na emissão de um próton (^{1}H) e um átomo de ^{14}C, conforme mostra a reação (Bowman, 1990; Higham & Petchey, 2000):

$$^{14}N + n \rightarrow {}^{14}C + {}^{1}H$$

Figura 2.1: Caminhos do ^{14}C no meio ambiente. As quantidades entre colchetes correspondem aos teores de ^{12}C em milhões de toneladas em cada um dos reservatórios selecionados (Adaptado de Higham & Petchey, 2000).



Após sua produção, o ^{14}C é oxidado e se torna gás carbônico ($^{14}CO_2$). A vida vegetal e animal absorve o gás carbônico e incorpora o ^{14}C por meio da fotossíntese e trocas gasosas da água com o oceano. Desse modo, o ^{14}C é eventualmente incorporado dentro de todos os organismos vivos na biosfera e sua concentração mantêm-se em equilíbrio com o nível atmosférico durante o tempo de vida desses organismos. Com a morte de um organismo, cessa a interação dele com a biosfera e o ^{14}C do mesmo vai se reduzindo ao longo do tempo devido o processo de decaimento radioativo (emissão de partícula beta), conforme mostra a reação (Higham & Petchey, 2000):

$$^{14}C \rightarrow {}^{14}N + \beta.$$

O decaimento do ^{14}C leva milhares de anos (5730 ± 50 anos) e esse comportamento representa a base da datação por radiocarbono, de maneira que a técnica é uma ferramenta muito eficaz para desvendar o passado (Higham & Petchey, 2000; Bayliss, 2009).

Atualmente, existem três métodos usuais de datação por radiocarbono: contagem proporcional de gás, contagem por cintilação líquida e espectrometria de massas com aceleradores. A contagem proporcional de gás é uma técnica convencional baseada na contagem de partículas betas emitidas pela amostra a ser analisada. Nesta técnica, a amostra contendo carbono é convertida em gás dióxido de carbono antes que a medição seja realizada por contadores proporcionais de gás. Na outra técnica utilizada, conhecida como contagem por cintilação líquida, a amostra deve estar na forma líquida, enquanto um cintilador é adicionado. Este cintilador, ao interagir com uma partícula beta proveniente do decaimento radioativo emite um flash de luz. A contagem dessa luz emitida fornecerá a base para a datação do material.

O método mais moderno de datação por radiocarbono é conhecido como espectrometria de massas com aceleradores (EMA) e até o momento é considerado como a maneira mais eficiente de medir ^{14}C de uma amostra. Este método não se baseia na contagem de partículas betas, mas no número de átomos de carbono ^{14}C presentes na amostra e a proporção dos isótopos ^{12}C e ^{13}C presentes (Analytic, 2016; Bayliss, 2009; Higham & Petchey, 2000).

No cálculo da idade de uma amostra por radiocarbono, considera-se que a desintegração do ^{14}C segue uma cinética exponencial, onde a atividade radioativa do material cai pela metade a cada ciclo de meia vida, de modo que a idade (t) pode ser calculada pela equação (2.1):

$$t = [\ln (N_f/N_0) / (-0{,}693)] \times t_{1/2} \quad (2.1)$$

em que *ln* é o logaritmo neperiano, N_0 é a atividade no momento da morte do organismo, N_f é a atividade atual e $t_{1/2}$ é a meia-vida do ^{14}C (Lee, 1981; Higham & Petchey, 2000; Santos, 2002; Farias, 2002).

Na prática, a datação por radiocarbono apresenta algumas dificuldades que de maneira direta ou indireta podem provocar determinações errôneas de idades, tais como (Santos, 2002):

- i. Na datação com ^{14}C é necessário considerar que a concentração do radionuclídeo é constante no tempo e no espaço e que todos os seres vivos possuem o mesmo teor de ^{14}C. No entanto, essa afirmação não é verdadeira como mostra estudos dendrocronológicos que indicam que a concentração do ^{14}C varia em função da atividade solar.
- ii. Não é possível afirmar que a percentagem de ^{14}C absorvida pelo organismo em tempos passados seja igual às quantidades absorvidas pelos espécimes conhecidos atualmente.

- iii. A contaminação de amostras com raízes e ácido húmico não pode ser descartada.

- iv. A determinação da idade ocorre em função da fraca atividade do ^{14}C, o que leva a um limite de detecção de até 50.000 anos. Além disso, quanto menor for essa atividade maior será o erro percentual associado.

- v. A meia-vida do carbono não está completamente determinada. Cada fonte bibliográfica usa um valor diferenciado. No início do século XX, a meia-vida do carbono foi fixada em 5720 ± 40 anos, porém nos dias atuais a grande maioria dos pesquisadores utilizam o valor 5730 ± 50 anos.

Como existem muitas variáveis a serem consideradas em uma datação por radiocarbono, hoje em dia se assume que a medição por radiocarbono é denominada de idade convencional de radiocarbono (ICR) ou idade radiocarbônica. A ICR pode estar mais ou menos próxima da idade real a depender de cada situação e do peso de cada variável mencionada anteriormente (Lee, 1981).

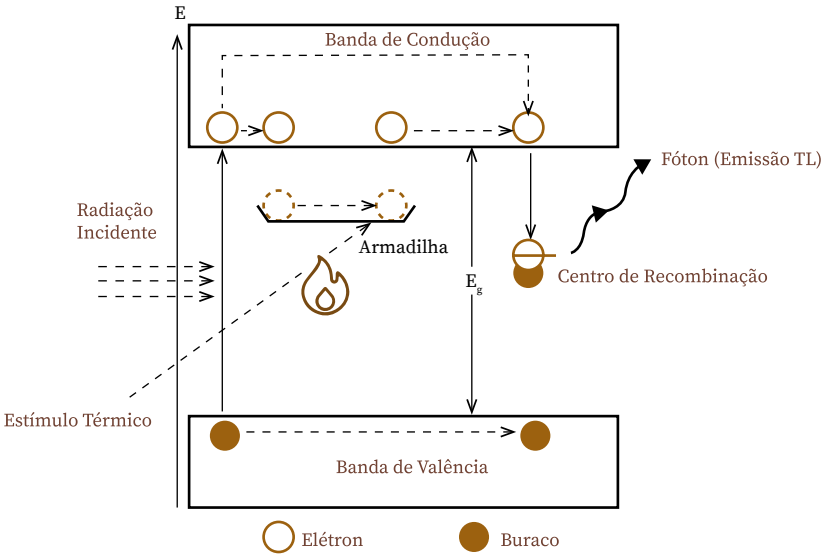
O método de radiocarbono geralmente é aplicado em materiais orgânicos, mas há relatos de pesquisas em alguns materiais inorgânicos. Na literatura encontram-se relatos de datações em carvão, madeira, sementes, pólen, ossos, conchas, corais, couro, turfa, lama de lagos, solo, cerâmica, pinturas de parede, resíduos de sangue, cabelo, tecidos, papel ou pergaminho, resinas, água, entre outros. Pré-tratamentos físicos e químicos são feitos nesses materiais para remover possíveis contaminantes antes de serem analisados por seu conteúdo de radiocarbono. Na coleta, retira-se uma quantidade mínima de material para cada amostra que será datada. O material é recolhido e armazenado em papel alumínio, etiquetado e colocado em saco plástico. Para realização de uma medida de radiocarbono, a quantidade de amostras pode variar de 2 miligramas a 100 gramas a depender do tipo de material em estudo (Analytic, 2017).

TERMOLUMINESCÊNCIA (TL)

O fenômeno da termoluminescência corresponde à emissão termicamente estimulada de luz por um isolante ou semicondutor após o mesmo ter absorvido previamente algum tipo de radiação (UV, raios X, raios gama, partículas beta, etc.). A Figura 2.2 apresenta de forma mais detalhada como ocorre o processo de emissão TL em um sólido.

Com a incidência de radiação no material, ocorre a formação de pares elétrons-vacâncias (elétrons-buracos) na estrutura cristalina, de modo que os elétrons se movem em direção à banda de condução e os buracos permanecem na banda de valência. Parte desses elétrons e buracos criados pode ser capturada por armadilhas que representam níveis metaestáveis localizados na banda proibida e, a depender da profundidade das armadilhas, os portadores de cargas (elétrons e buracos) podem ficar armadilhados por tempo indeterminado. Ao aquecer o material, fornecemos um estímulo energético que favorece o desarmadilhamento de cargas e permite que os elétrons e buracos voltem a se movimentar livremente na rede, de modo que ao se recombinarem em um centro de recombinação ocorre a emissão termoluminescente. Para que haja uma nova emissão TL, é necessário que o material seja novamente exposto a uma fonte de radiação, e não somente ser resfriado ou aquecido (Mckeever, 1985; Ferraz, et al., 2006; Ahmed, 2007).

Figura 2.2: Esquema do processo de emissão TL em um sólido (Adaptado de Ahmed, 2007).



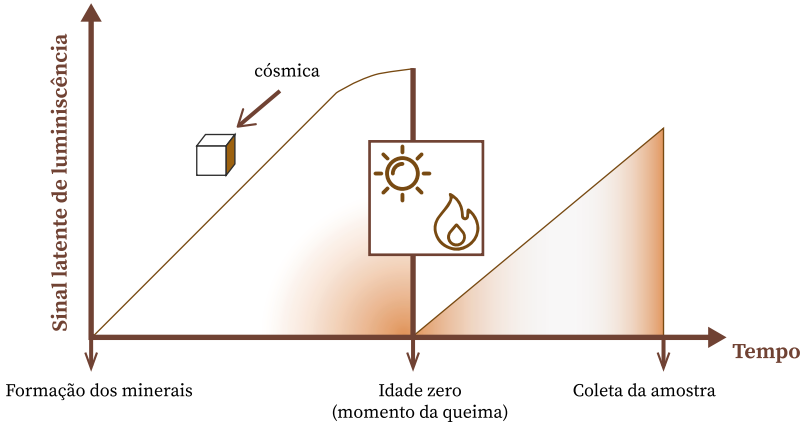
A intensidade da luz emitida durante o processo TL deve ser proporcional tanto ao número de elétrons originalmente armadilhados quanto à quantidade de radiação recebida pelo material. Essa é uma característica que permite seu uso em datações arqueológicas. A TL pode ser considerada um fenômeno inerente aos minerais, como o quartzo, presente na argila utilizada na manufatura das cerâmicas. Quando pequenos fragmentos de cerâmicas arqueológicas são aquecidos, é possível observar uma pequena liberação de luz que pode ser mensurável. Esta quantidade de luz é proporcional à dose de radiação absorvida. A fonte de excitação nesse caso está diretamente relacionada à exposição prolongada de fluxos de radiação emitidos por impurezas radioativas da própria cerâmica e do solo no qual a peça cerâmica estava enterrada (Mckeever, 1985; Ferraz, et al., 2006).

Durante a queima da cerâmica, na sua etapa de produção, a luminescência presente nos cristais de quartzo da argila é apagada (zerada), eliminando a energia acumulada nos cristais. O momento da queima representa a idade zero da cerâmica e essa idade irá aumentar até que o objeto em questão seja coletado. Nesse caso, os cristais presentes na argila acumularam doses ao longo do tempo devido à radiação ambiental, o que permite a datação por TL. A Figura 2.3 apresenta um esquema do princípio da datação por luminescência ao considerarmos como objetos de estudo as cerâmicas arqueológicas.

Caso seja possível obter a dose acumulada (D_{ac}) pela cerâmica com o passar dos anos e estabelecer a taxa de irradiação (dose anual) proveniente da ação dos radioisótopos presentes no ambiente (potássio 40, tório e urânio) e da radiação cósmica, é possível estimar a idade da peça através da equação (2.2) (Ferraz, et al., 2006; Azevedo, 2011):

$$\text{Idade} = D_{ac}/\text{dose anual} \qquad (2.2)$$

Figura 2.3: Ilustração da datação por termoluminescência de materiais cerâmicos (Adaptado de Azevedo, 2011).



Para datação TL, alguns cuidados devem ser tomados devido à sensibilidade da técnica à luz e ao calor. As amostras cerâmicas devem ser coletadas e retiradas da área escavada seguindo um protocolo de coleta. O primeiro passo é envolver as amostras cerâmicas em papel alumínio ou em sacos plásticos na cor preta fosco, logo após serem identificadas, evitando a exposição à luz solar, e consequentemente, à perda do sinal TL. Os fragmentos cerâmicos deverão possuir, de preferência, dimensões maiores a 5 x 5 cm^2, para garantir quantidade suficiente de material para datação. Retiradas de pequenas quantidades de sedimento ao redor da amostra é fundamental para estimar a taxa de dose anual (Azevedo, 2011).

LUMINESCÊNCIA OPTICAMENTE ESTIMULADA (LOE)

Recentemente, a luminescência opticamente estimulada (LOE) vem se tornando popular como um método de datação e, assim como a TL, tem como princípio de datação a determinação de doses absorvidas de radiação por materiais geológicos e arqueológicos (Botter-Jensen et al., 2003; Yukihara & Mckeever, 2011). Semelhante ao fenômeno da termoluminescência, na LOE a emissão de luz também ocorre após o material ter absorvido previamente algum tipo de radiação. No entanto, a principal diferença acontece quanto ao estímulo fornecido para que haja liberação dos elétrons armadilhados por conta de uma prévia excitação. Na TL estímulos térmicos provocam a emissão do sinal TL, enquanto na LOE o estímulo responsável é óptico, de modo que se incide luz visível, infravermelha ou ultravioleta para estimular opticamente o desarmadilhamento de elétrons. O sinal LOE é convenientemente emitido quando escolhemos medir em uma região espectral diferente dos fótons de excitação.

Enquanto em uma curva de emissão TL, durante o aquecimento, temos a presença de picos em diferentes temperaturas que estão relacionadas com os níveis de energia das armadilhas, em uma curva LOE o sinal característico apresenta um decréscimo exponencial na intensidade durante a exposição à luz de intensidade luminosa constante. Assim como na TL, a intensidade de emissão LOE é proporcional à dose de radiação que o sólido recebeu previamente. Portanto, o cálculo da idade por LOE também utiliza a equação (2.2) apresentada na datação por TL (Watanabe et al., 2005-2006; Yukihara & Mckeever, 2011).

A datação por LOE tem ampla faixa de abrangência temporal que vai de 100 anos AP até 1 milhão de anos. Esse intervalo temporal torna a LOE um dos métodos mais indicados pela comunidade científica para determinar a idade de vários tipos de materiais que se formaram ou sofreram modificações no período Quaternário. Além disso, a LOE é altamente recomendada em datações de sedimentos (de origem costeira e fluvial) recentemente depositados. A datação de grãos sedimentares é feita considerando a última vez na qual os grãos foram expostos à luz solar, ou seja, a idade do sedimento é medida a partir da sua última estabilização e exposição ao sol (Godfrey-Smith et al., 1998; Maia et al., 2011).

Na coleta de materiais para datação por LOE é necessário que haja alguns cuidados. Recomenda-se o uso de trado manual e canos de PVC de cor preta, bem como lonas de plástico pretas, para proteger as amostras contra a radiação solar nos pontos de coletados (Godfrey-Smith et al., 1998; Maia et al., 2011).

RESSONÂNCIA PARAMAGNÉTICA ELETRÔNICA (RPE)

Técnicas espectroscópicas em geral envolvem absorção de energia pela matéria. A depender da faixa de energia estudada temos a espectroscopia na região do visível, infravermelho e ultravioleta, onde cada região indica uma faixa do espectro de ondas eletromagnéticas empregadas. O mesmo princípio ocorre na ressonância paramagnética eletrônica (RPE), em que temos ondas eletromagnéticas incidindo sobre uma amostra, seguida da absorção e medição dessas ondas. No entanto, no caso da RPE existe uma particularidade: as ondas só serão absorvidas se um campo magnético estiver presente de forma simultânea na amostra. A presença do campo é necessária para orientar os centros paramagnéticos, geralmente constituídos por moléculas ou íons com spins desemparelhados.

É importante ressaltar que a energia absorvida geralmente está muitas ordens de grandeza abaixo que aquela do espectro visível e é comumente conhecida como microondas. Em um espectrômetro RPE, um gerador produz micro-ondas que são enviadas através de guias de ondas para a amostra. Quando a amostra absorve energia (condição de ressonância) diminui a intensidade de micro-ondas e passa a ser detectada por um sistema eletrônico, sendo, portanto, a informação de saída transformada em um espectro RPE de intensidade versus campo magnético. Normalmente, o resultado é dado em função da primeira derivada do sinal de absorção (Baffa & Kinoshita, 2004; Sullasi et al., 2009). Na Figura 2.4 podemos observar uma ilustração simplificada de um espectrômetro RPE.

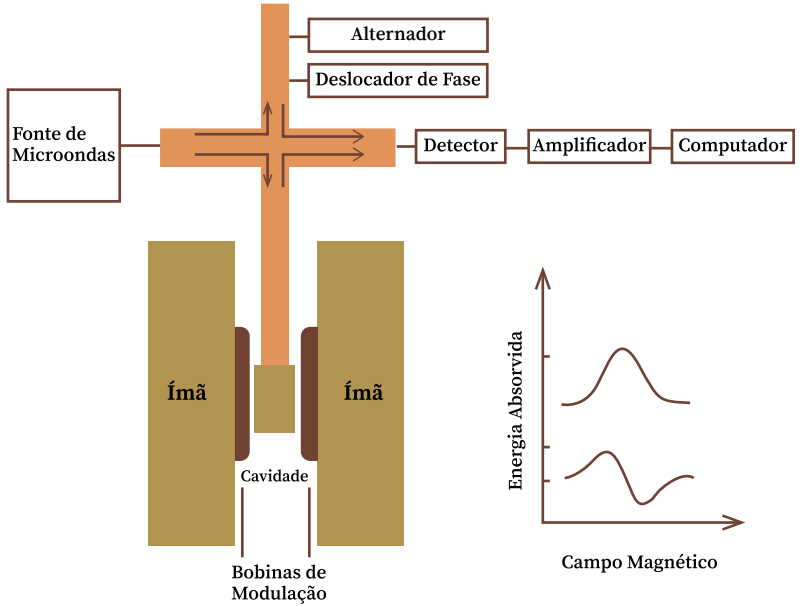


Figura 2.4: Ilustração de um espectrômetro RPE (Adaptado de Baffa & Kinoshita, 2004).

Nas aplicações arqueológicas, a RPE pode ser utilizada como uma ferramenta espectroscópica tradicional para detectar substâncias paramagnéticas em diferentes tipos de amostras. Ao correlacionar esses resultados com outros estudos, é possível obter informações relevantes quanto à origem e autenticidade de objetos. Esta técnica vem demonstrando grande potencial na determinação de idades de sítios arqueológicos do período paleolítico e da geologia quaternária, devido a datação de materiais como carbonatos, espeleotemas, dentes, ossos, madeira, conchas, corais, rochas, calcitas, quartzo, entre outras. A faixa de tempo que pode ser medida por essa técnica se estende desde centenas até milhões de anos, onde se destaca a faixa entre 40.000 – 200.000 anos que se encontra além do período que pode ser datado fazendo uso do método de radiocarbono (Ikeya, 1993; Baffa, 1997; Baffa & Kinoshita, 2004; Sullasi et al., 2009).

O tratamento de dados da datação arqueológica por RPE funciona de forma semelhante à datação por TL e LOE. Por exemplo, vamos considerar que uma amostra fóssil fique exposta por um longo período à radiação ionizante ambiental que é produzida por radionuclídeos como U, Th, K e raios cósmicos. A taxa de dose (TD) anual pode ser considerada baixa (TD = 1 Gy/1000 anos ou 0,1 rad/ano) e não causa problemas em um período de vida normal de um ser humano, porém o acúmulo ao longo de milhares de anos pode depositar uma dose da ordem de 10 Gy em um material. A dose depositada no material provoca quebra de ligações químicas que podem ser visualizadas como uma produção de fragmentos moleculares contendo excesso e falta de elétrons, separados em um meio isolante eletricamente. Logo, quanto maior for a dose, maior será a amplitude do sinal RPE e maior será o número de fragmentos, portanto, a dose arqueológica (DA) corresponderá ao produto do tempo (t) pela taxa de dose (TD), conforme mostra a equação (2.3) (Ikeya, 1993; Baffa & Kinoshita, 2004; Sullasi et al., 2009):

$$t = DA / TD \qquad (2.3)$$

A técnica RPE apresenta algumas vantagens em relação à datação por TL, sendo que uma delas está relacionada ao fato que como a amostra não precisa ser aquecida, materiais orgânicos, que normalmente queimam quando aquecidos, podem também ser estudados por RPE. Outra vantagem é que a informação não é destruída durante o processo e medidas *in situ* podem ser realizadas através do uso de instrumentação apropriada. Na datação por RPE não é necessário tomar cuidados especiais na coleta, como ocorre na datação por TL e LOE. No entanto, isso não significa que a amostra não deva ter um armazenamento adequado. Para complementar o estudo, parte dos sedimentos que estão ao redor da amostra deve ser coletado para determinar a taxa de dose anual do local (Ikeya, 1993; Sullasi et al., 2009).

REHIDROXILAÇÃO (RHX)

Materiais à base de argila, como tijolo, telha, louça, faiança e artefatos cerâmicos como cachimbos e vasilhames são frequentemente encontrados em sítios arqueológicos. De modo geral, na produção de cerâmicas é possível observar um aumento de massa e de volume no momento de queima (cozimento) da pasta devido a uma recombinação química com a umidade ambiental, que podemos chamar de rehidroxilação. A rehidratação lenta e contínua ocorre em todas as cerâmicas cozidas até a temperatura de 1150 ºC. Além disso, as cerâmicas podem retornar a seu estado de condição inicial se forem reaquecidas (recozimento) em altas temperaturas. Em outras palavras, verifica-se que pode ocorrer uma inversão da reação de desidroxilação em cerâmicas cozidas (Wilson et al., 2009; Wilson et al., 2012).

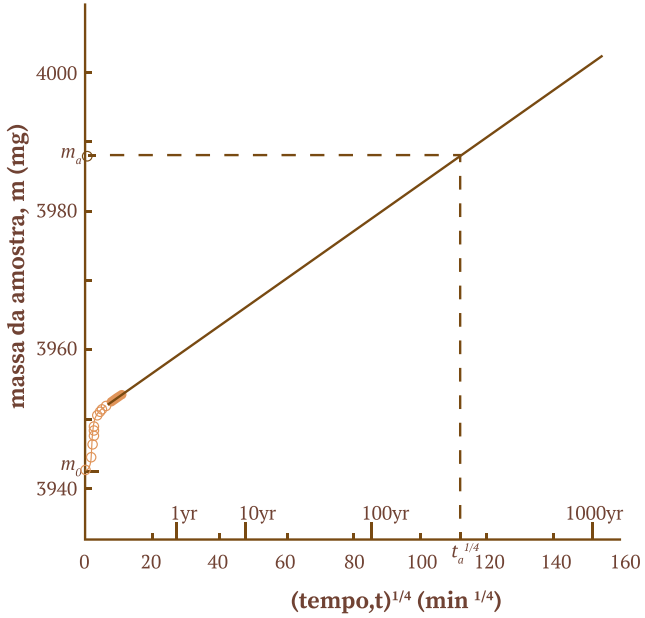
Um grupo de pesquisadores das Universidades de Edinburgh e Manchester e do Museu de Londres no Reino Unido, liderado pelo professor Christopher Hall, vem realizando experimentos de rehidroxilação. Esse grupo observou que o aumento da massa e a expansão do volume no processo de queima das cerâmicas responde de forma linear com o tempo ($t^{1/4}$). Essa variação da massa/ volume com o tempo fornece a base de um novo método de datação arqueológica denominado rehidroxilação (RHX). Na Figura 2.5 pode-se observar uma projeção gráfica da dependência da massa com o tempo no processo de datação por RHX. A equação da velocidade da reação RHX é dada por:

$$y = \alpha (T)\, t^{1/4} \qquad (2.4)$$

sendo y o ganho de massa fracionada na RHX, T a temperatura, t o tempo decorrido e α uma constante de taxa da RHX. A constante α varia de um material para outro, dependendo da composição química da cerâmica e da temperatura máxima de aquecimento (Hamilton & Hall, 2012; Wilson et al., 2012).

Figura 2.5: Método de datação por rehidroxilação mostrando a dependência linear entre a massa (m) e o tempo (t1/4). O tempo em ta representa o valor da idade da amostra obtida por extrapolação da curva de RHX (Adaptado de Wilson et al., 2009).

Datação de cerâmicas por Rehidroxilação



No processo de datação por RHX, uma amostra de cerâmica é primeiramente esquentada, e logo depois pode-se determinar seu ganho vital de massa d'água, expondo-a ao vapor de água para medir sua taxa de ganho de massa e, portanto, a constante cinética para sua rehidroxilação. A metodologia da datação é feita tomando uma amostra de material cerâmico (3-5 g), e após a remoção de qualquer condição de detritos, remove-se a água capilar por aquecimento a 105 ºC para chegar a massa inicial (M_a). A amostra é então aquecida a 500 ºC durante 4 h. A massa resultante depois do reaquecimento é considerada uma "massa zerada (M_0)". Em seguida, a amostra é transferida para uma microbalança onde esfria e é exposta ao vapor de água (a uma temperatura controlada e umidade relativa controladas) para determinar a cinética de ganho de massa por recombinação com a água (Wilson et al., 2009; Hamilton & Hall, 2012; Wilson et al., 2012).

A única informação auxiliar necessária para calcular a idade da amostra é uma estimativa da sua temperatura média de cozimento. Para materiais que tenham sido expostos a condições de calor extremo ou incêndio durante a sua vida com temperaturas superiores a 500 ºC, o relógio de datação é reiniciado. A técnica por datação RHX pode ser utilizada para datar objetos cerâmicos com idade de até 2000 anos. Os pesquisadores que desenvolveram a técnica acham que no futuro a datação por RHX terá potencial para ser utilizada na datação de peças com até 10.000 anos (Hamilton & Hall, 2012; Wilson et al., 2012).

DATAÇÕES ARQUEOLÓGICAS EM SERGIPE

O estado de Sergipe, apesar de ser o menor estado em expansão territorial do Brasil, é considerado um dos estados mais ricos quanto à presença de sítios e materiais arqueológicos em suas terras. No final da década de 1980, um dos maiores projetos de salvamento arqueológico foi realizado em Sergipe, na região de Xingó, situada no município de Canindé de São Francisco. O Projeto Arqueológico de Xingó (PAX) teve como objetivo salvar o maior número possível de informações e peças

arqueológicas antes que houvesse a inundação de parte da região por conta da construção da Usina Hidroelétrica de Xingó (Vergne et al., 1998).

No ano de 2000, para acomodar todos os objetos arqueológicos resgatados pelo PAX foi criado o Museu de Arqueologia de Xingó (MAX). O Museu que atua até os dias de hoje, tem suas atividades voltadas para a exibição de exposições, difusão da educação (presença de um sítio escola) e desenvolvimento de pesquisas. Em 2007, com a criação do curso de Arqueologia na Universidade Federal de Sergipe (UFS), houve uma expansão das atividades arqueológicas em Sergipe, promovendo um crescimento em larga escala que se expande até os dias atuais. Uma prova dessa expansão são as parcerias criadas com outras áreas de pesquisa, como a física, que vem desenvolvendo uma nova linha de pesquisa no estado: a arqueometria. É importante ressaltar que essas parcerias não se restringem somente às instituições locais, mas também contam com instituições de outras regiões e até de outros países. Com base no tema abordado neste capítulo, a seguir, apresentamos uma revisão sucinta de alguns trabalhos acadêmicos realizados em Sergipe cujos temas envolvem a datação de peças arqueológicas sergipanas.

O PROJETO ARQUEOLÓGICO DE XINGÁ, EM SERGIPE E ALAGOAS (VERGNE, 1996)

Este trabalho abordou os pormenores envolvidos no salvamento arqueológico feito na região de Xingó pela professora Cleonice Vergne no ano de 1996. O sítio arqueológico abordado no artigo de Vergne foi o sítio Justino, localizado na fazenda Cabeça de Nego em Canindé de São Francisco (SE), em um terraço aluvial com uma área de pouco mais de 1500 m^2. Na escavação do sítio Justino foram feitas mais de 40 fases de decapagem, sendo localizados 161 esqueletos de ambos os sexos, com caracterizações de diferentes rituais funerários e os dois tipos mais comuns de enterramento, o primário e o secundário. Como boa parte dos esqueletos encontrados em Xingó pertence ao sítio Justino, este sítio ficou caracterizado como um sítio cemitério. Próximo dos esqueletos foram encontradas fogueiras, cerâmicas e líticos que podem caracterizar que o sítio Justino também foi utilizado como um sítio habitação em algumas fases de ocupação.

Neste trabalho, foi feita datação por ^{14}C em amostras de carvão vegetal proveniente das fogueiras encontradas. As datações foram realizadas nos laboratórios do Instituto de Geociências da UFBA (Bahia, BR), Instituto de Radiocarbono da Universidade de Lyon (Lyon, FRA) e Beta Analityc (Miami, EUA). Os resultados das datações obtidas estão apresentados na Tabela 3.1 e mostram a longa ocupação do sítio Justino de cerca de 9000 anos antes do presente. Segundo Santos (2002), o sítio São José II, também obteve datações por ^{14}C provenientes de carvão vegetal, cujas idades foram de 3500 ± 110 AP e 4140 ± 90 AP, o que corrobora com a ideia da região de Xingó possuir uma ocupação antiga.

Em 2004, a professora Vergner defendeu uma tese de doutorado na Universidade de São Paulo tratando também sobre arqueologia desse sítio (Vergner, 2004).

Tabela 3.1: Datações do sítio Justino de diferentes decapagens obtidas por 14C (Vergne, 1996).

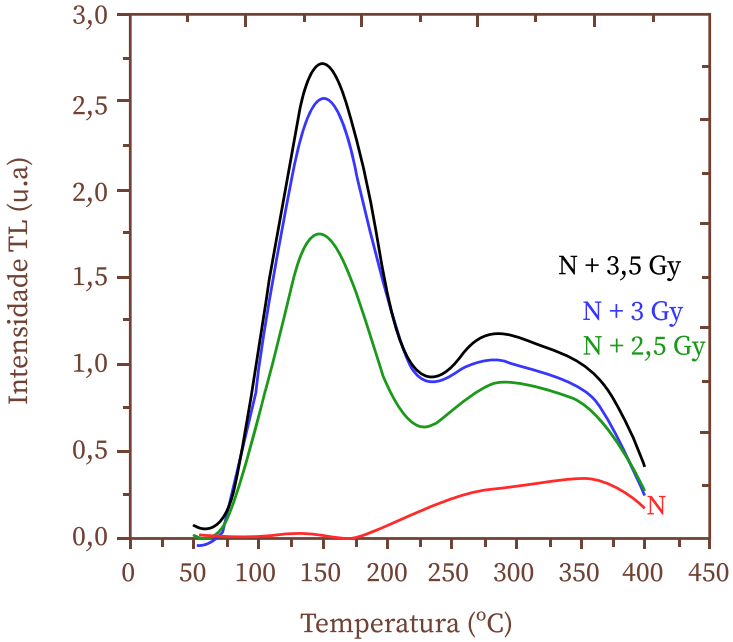
Decapagem	Datação (anos AP)	Decapagem	Datação (anos AP)
3	1280	13	3280
6	1780	20	4380
8	2500	30	5570
10	2600	40	8950

DATAÇÃO ARQUEOLÓGICA POR TERMOLUMINESCÊNCIA A PARTIR DE VESTÍGIOS CERÂMICOS DO SÍTIO JUSTINO DA REGIÃO DO BAIXO SÃO FRANCISCO (SANTOS, 2002)

A dissertação do professor Osman dos Santos, foi desenvolvida no Departamento de Física da UFS, e teve como objetivo utilizar a datação por TL nos sítios arqueológicos de Xingó. A escolha das peças cerâmicas para datação foi feita de maneira visual, sendo selecionadas as cerâmicas com maior quantidade de quartzo. Outras peças que estavam próximas a esqueletos ou fogueiras, também foram selecionadas, para obter uma comparação temporal, já que tinham sido feitas datações com ^{14}C em amostras de carvão vegetal (Vergne, 1996).

A Figura 3.1 apresenta uma curva de emissão TL de uma amostra de quartzo do sítio Justino, quando exposta a doses adicionais. A partir dos dados da curva de emissão, foram obtidas datações TL com uma idade média de 1800 ± 150 AP para a decapagem 8 e 2050 ± 140 AP para a decapagem 10. Comparando com os resultados obtidos por ^{14}C no trabalho de Vergne (1996), os valores podem ser considerados concordantes.

Figura 3.1: Curvas de emissão TL de uma amostra de quartzo encontrada no sítio Justino, onde N representa a dose natural (Santos, 2002).



DATAÇÃO POR RADIOCARBONO-AMS DO SÍTIO ARQUEOLÓGICO JUSTINO, CANINDÉ DE SÃO FRANSCISCO , SERGIPE (SANTANA, 2013)

Em busca de ampliar as interpretações culturais do sítio pré-histórico Justino, este trabalho visou a apresentar novas perspectivas acerca do conhecimento da vida das comunidades que ali habitavam. O objetivo específico foi fornecer novos dados cronológicos das ocupações do Sítio Justino, localizados na área de Xingó. A dissertação de Santana (2013) foi apresentada na área de Geociências da UFS, de modo que esse trabalho assim como o anterior caracteriza a interdisciplinaridade entre os polos de pesquisa da UFS.

Inicialmente, a ideia do trabalho foi datar dentes e ossos humanos através do método de radiocarbono, porém os materiais não continham volume de colágeno necessário para datação. Por conta disso, foram selecionadas amostras de carvão vegetal, de diferentes camadas estratigráficas, extraídas de estruturas de fogueiras do sítio Justino. As datações dos materiais foram feitas por ^{14}C no laboratório Beta Analytic (Miami, EUA) utilizando a técnica de Espectrometria de Massa por Aceleradores (AMS). As datações radiocarbônicas obtidas evidenciam quatro ciclos diferentes de ocupação humana: 2510 ± 30 AP; 4390 ± 30 AP; 7530 ± 30 AP e 12.220 ± 50 AP. Esses resultados mostram que o sítio Justino pode ser mais antigo do que se tinha conhecimento, de modo que pode-se retroceder essa ocupação para o período Quaternário, época Pleistoceno. A Figura 3.2 apresenta uma comparação dos resultados obtidos pelo trabalho de Santana (2013) com os da tese de doutorado de Vergne (2004).

Figura 3.2: Comparação das datações radiocarbônicas obtidas por Vergne (2004) com as obtidas no trabalho de Santana via AMS (Santana, 2013).

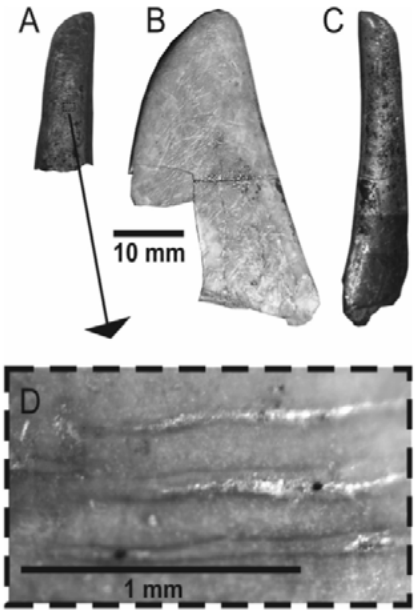
	Fase	Número de ocupação	Decapagem	Cronologia Vergne, 2004 (Laboratório)	Cronologia AMS-idade Convencional (Laboratório)	Datação Calibrada (AMS) (2 sigma)
Cem D	Fase 01	01	59-51	Sem datação		
		02	50-43	Sem datação	122220 ± 50 AP (Beta 347596) (decapagem 48)	Cal AC 122110 para 12020 Cal AP 14160 para 13970
	Fase 02	01	42-35	8950 ± 70 AP (Beta 86745) (decapagem 40)		
Cem C	Fase 03	01	34-29	5570 ± 70 AP (Beta 86744) (decapagem 30)		
		02	28-22	Sem datação	7530 ± 30 AP (Beta 347593) (decapagem 27)	Cal AC 6440 para 6380 Cal AP 8390 para 8330
		03	21-16	4790 ± 80 AP (Beta 86741) (decapagem 20)		
Cem B	Fase 04			3720 ± 135 AP (Lyon 5752) (decapagem 13)		
		01	15-09	2650 ± 150 AP (Bahia 1804) (decapagem 10)	4390 ± 30 AP (Beta 347589) (decapagem 09)	Cal AC 3090 para 2910 Cal AP 5040 para 4860
				2530 ± 60 AP (Bahia 1804) (decapagem 08)		
Cem A	Fase 05	01	08-04	1780 ± 60 AP (Lyon 1804) (decapagem 08)	2510 ± 30 AP (Beta 347586) (decapagem 07)	Cal AC 790 para 700 Cal AP 2740 para 2650 e Cal AC 700 para 540 Cal AP 2650 para 2490 e Cal AC 530 para 520 Cal AP 2480 para 2470
		02	03-01	2530 ± 60 AP (Bahia 1804) (decapagem 08)		

Uma técnica que poderia fornecer bons resultados em amostras de dentes e ossos seria a datação por RPE, pois a falta de colágeno não afetaria a determinação da idade já que o princípio físico que rege a técnica de RPE é diferente do método de radiocarbono. Realizar datações com outras técnicas possibilitaria uma maior confiabilidade dos resultados obtidos, pois a técnica de ^{14}C pode induzir inconsistências associadas a desvios no valor da idade registrada.

EVIDÊNCIA DATADA DA INTERAÇÃO ENTRE HUMANOS E MEGAFAUNA AO FINAL DO PLEISTOCENO DO ESTADO DE SERGIPE, NORDESTE DO BRASIL (DANTAS *ET AL.*, 2014)

Nessa pesquisa desenvolvida por Dantas et al. (2014), temos a descrição de um dente modificado de um organismo da espécie *Eremotherium Laurillardi* (preguiça gigante) com reflexos da ação humana, encontrado em Sergipe, como mostra a Figura 3.3. Esse estudo utilizando datação concebeu uma nova evidência da interação entre os humanos e a megafauna na América do Sul.

Figura 3.3: Imagem do dente de *Emotheruim Laurillardi* modificado (Dantas *et al.*, 2014).



Com base nessa evidência, Dantas *et al*. (2012) propuseram duas hipóteses tentando explicar quando essa interação entre megafauna e humano ocorreu na região Nordeste do Brasil. A primeira seria no Pleistoceno com base nas datações dos fósseis, sem as marcas antropogênicas (por exemplo, Rossetti *et al.*, 2004; Dantas *et al*., 2013) e a segunda remete ao holoceno, com as datações mais antigas propostas aos paleoíndios encontradas em Sergipe, mas sem evidência de interação com espécies de megafauna (Carvalho, 2003).

Uma amostra de dente de *Eremotherium laurilardi* foi encontrada na fazenda São José, no município de Poço Redondo, Sergipe. O dente foi analisado e datado pela técnica de 14C em 10.740 ± 30 anos. A datação em 14C apresentado pelo dente *Eremotherium Laurillardi* é atribuída ao tempo em

que foram feitas essas marcas, ou seja, fez-se a ligação com a hipótese da chegada dos seres humanos na América do Sul. Com isso o artigo supõe a aceitação da primeira hipótese proposta por Dantas *et al.* (2012), que esse dente representa uma interação megafauna humana no final do Pleistoceno.

PROGRAMA DE RESGATE ARQUEOLÓGICO,EDUCAÇÃO PATRIMONIALE DIAGNÓSTICO ARQUEOLÓGICO SUBAQUÁTICO DO PROJETO CARNALITA DE SERGIPE (FERREIRA, Programa de Resgate Arqueológico, Educação Patrimonial e Diagnóstico Arqueológico, 2015)

O projeto Carnalita foi desenvolvido pela empresa Vale Fertilizantes S.A., com a finalidade de explorar rochas carnalíticas, de maneira que haja a implantação de um empreendimento que contempla a construção de poços de lavra por dissolução, usina de beneficiamento de potássio e adutora/salmouroduto em alguns municípios de Sergipe. Esse empreendimento tem o apoio do governo brasileiro, que busca diminuir as importações de fertilizantes agrícolas. O projeto Carnalita vislumbra a produção de 1,2 milhões de toneladas de cloreto de potássio (KCl), podendo haver possibilidade de expansão, de modo a alcançar até 2,5 milhões de toneladas, o que reduziria em 91% as importações desse fertilizante no Brasil. No entanto, as obras para a implementação do projeto Carnalita eram intrusivas e potencialmente prejudiciais ao patrimônio arqueológico existente nas áreas impactadas pelo empreendimento. Por conta disso, a Vale desenvolveu um programa de resgate arqueológico das regiões impactadas, sob a coordenação do professor arqueólogo Jenilton Ferreira (UFS). No mapeamento da área de interesse a divisão foi feita por setor:

- Alternativa 1: Siririzinho (entre os municípios de Capela e Rosário do Catete) - descartada;
- Alternativa 2: Rosário 2 (município de Rosário) - descartada;
- Alternativa 3: Japaratuba (entre os municípios de Capela e Japaratuba).

A coleta de amostras para datação foi feita nos sítios arqueológicos: Carnalita I, Carnalita II, Carnalita III, Maracujá, Maracujá II e Quizanga. Os métodos escolhidos para datação foram por ^{14}C via AMS, TL e LOE. Essas técnicas serão utilizadas com o objetivo de que um método complemente o outro, com o objetivo de alcançar resultados mais sólidos, confrontando as idades obtidas por diferentes métodos para um mesmo sítio e/ou contexto ocupacional. No projeto Carnalita foram coletados três tipos diferentes de material para datação: carvões (^{14}C), cerâmicas (TL) e sedimentos (LOE). As análises por ^{14}C foram realizadas pelo laboratório Beta Analytic (Miami, EUA) e forneceram datações da ordem de 500 anos. As datações por TL e LOE ainda não tiveram suas idades divulgadas para a comunidade científica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Este capítulo apresentou uma revisão bibliográfica a respeito da arqueometria, abordando com enfoque os principais métodos de datações arqueológicas utilizados na atualidade. Em um contexto sergipano, foram descritos alguns dos principais trabalhos de datações realizados com amostras coletadas em Sergipe. Poucas literaturas de arqueometria com ênfase em datação estão disponíveis para estudantes de

graduação e pós-graduação que tenham interesse no assunto, principalmente se considerarmos o estado de Sergipe, onde até o presente momento não havia um trabalho acadêmico que visasse reunir as principais datações obtidas no estado para objetos arqueológicos.

A escolha do método de datação ideal para um determinado objeto deve levar em consideração fatores como cuidados tomados na coleta de material, quantidade de material disponível, destruição parcial ou total do objeto, custo financeiro envolvido e principalmente, se determinado método responde ou não a um determinado objeto. Esse texto apresenta um bom número de referências bibliográficas que poderão guiar o leitor em um estudo mais aprofundado sobre os tópicos abordados em arqueometria e datação.

Uma das grandes dificuldades encontradas no desenvolvimento deste trabalho está relacionada ao acesso a informações de projetos e trabalhos que possam ter feito uso de datações em peças arqueológicas sergipanas, mas que não tiveram como objetivo efetuar a divulgação para a comunidade científica. A burocracia envolvida no acesso a esses projetos é outro fator que inibe a divulgação dos resultados, principalmente, em projetos financiados pela arqueologia de contrato. Outro fator que pode influenciar no baixo número de trabalhos envolvendo datação é o alto custo financeiro envolvido, principalmente com datações por radiocarbono.

Como perspectivas de datações em Sergipe, temos projetos em andamento nos departamentos DFI/DARQ/UFS que visam datar com diferentes métodos analíticos diversos tipos de amostras em variadas cronologias relativas. É o caso de datações de conchas arqueológicas da região de Xingó que estão sendo datadas por radiocarbono em parceria com o Laboratório de Física Nuclear Aplicada da Universidade Estadual de Londrina (UEL). Outro projeto em andamento visa datar diferentes tipos de cerâmicas arqueológicas (cachimbos e vasilhames) utilizando termoluminescência e luminescência opticamente estimulada. Neste caso, a parceria ocorrerá com pesquisadores da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP). Datações de conchas, cerâmicas, dentes e ossos também vão ser realizadas utilizando a técnica de ressonância paramagnética eletrônica em conjunto com profissionais do Laboratório de Ciências Físicas da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF). Todos os pesquisadores envolvidos nestes projetos apresentam grande domínio e experiência em datação no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AHMED, S. N. **Physics and Engineering of Radiation Detection**. Grã-Bretanha: Academic Press, 2007.

ANALYTIC, B. Datação por Radiocarbono: uma introdução. Disponível em: <http://www.radiocarbon.com/portugues/sobre-carbono-datacao.htm>. Acesso em: 20 de abril de 2017.

AZEVEDO, R. L. **Datação por termoluminescência de cerâmicas do sítio arqueológico Aldeia do Carlos (PI)**. 2011. Recife: Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco, 2011.

BAFFA, O. O método de datação arqueológica por ressonância paramagnética eletrônica. **Rev. do Museu de Arqueologia e Etnologia**, São Paulo, v. 2, p. 151-160, 1997.

BAFFA, O.; KINOSHITA, M. O. Datação arqueológica por ressonância paramagnética eletrônica. **Fundamentos IV**: 1° Encontro da Física e Arqueologia, Piauí, p. 1-7, 2004.

BASTOS, R. L. Registro arqueológico como instrumento de memória social. **Arqueologia Pública**, n. 4, p. 52-60, 2011.

BAYLISS, A. Rolling out revolution: using radiocarbon dating in archaeology. **Radiocarbon**, v. 51, n. 1, p. 123-147, 2009.

BOTTER-JENSEN, L.; MCKEEVER, S. W. S.; WINTLE, A. G. **Optically Stimulated Luminescence Dosimetry**. Amsterdam: Elsevier, 2003.

BOWMAN, S. **Radiocarbon Dating**: interpreting the past. Londres: British Museum Publications, 1990.

CARVALHO, F. L., **A Pré-História Sergipana**. Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, 2003.

CHILDE, V. G. **Introdução à Arqueologia**. Lisboa: Europa-América, 1987.

DANTAS, M. A. T.; QUEIROZ, A. N.; SANTOS, F. V.; COZZUOL, M. A. An anthropogenic modification in an Eremotherium tooth from northeastern Brazil. **Quaternary International**, v. 253, p. 107-109, 2012.

DANTAS, M. A. T.; DUTRA, R. P.; CHERKINSKY, A.; FORTIER, D. C.; KAMINO, L. H. Y.; COZZUOL, M. A.; RIBEIRO, A. S.; VIEIRA, F. S. Paleoecology and radiocarbon dating of the Pleistocene megafauna of the Brazilian Intertropical Region. **Quaternary Research**, v. 79, p. 61-65, 2013.

DANTAS, M. A. T.; SANTOS, D. B.; LIPARINI, A.; QUEIROZ, A. N.; CARVALHO, O. A.; CASTRO, E. S. V.; CHERKINSKY, A. Dated evidence of the interaction between humans and megafauna in the late Pleistocene of Sergipe state, northeastern Brazil. **Quaternary International**, v. 352, p. 197-199, 2014.

FARIA, D. L. A. Espectroscopia RAMAN em arqueometria: uma técnica para muitos problemas. **Boletim eletrônico da ABRACOR,** n. 6, p. 8-17, 2012.

FARIAS, R. F. A Química do Tempo: Carbono-14. **Química Nova Escola**, v. 16, p. 6-8, 2002.

FERRAZ, G. M.; NOGUEIRA, E. O.; WATANABE, S.; SOUZA, S. O. Termoluminescência e datação de peças arqueológicas. **Integração**, n. 46, p. 285-290, 2006.

GODFREY-SMITH, D. I.; HUNTLEY, D. J.; CHEN, W. H. The Optical Behaviour of Quartz and Feldspar Sediment Extracts. **Quarternary Science Review**, v. 7, p. 373-380, 1998.

HAMILTON, A.; HALL, C. A review of rehydroxylation in fired-clay ceramics. **J. Am. Ceram. Soc**., v. 95, n. 9, p. 2673-2678, 2012.

HIGHAM, T.; PETCHEY, F. Radiocarbon dating in archaeology: methods and applications. In: CREAGH, D. C.; BRADLEY, D. A. (eds.). **Radiation in art and archeometry**. Amsterdam: Elsevier Science, 2000. p. 255-284.

IKEYA, M. **New Applications of ESR**: Dating, Dosimetry and Microscopy. Nova Jersey: Scientific World, 1993.

JONES, A. Archaeometry and materiality: materials-based analysis in theory and practice. **Archaeometry**, v. 46, n. 3, p. 327-338, 2004.

LEE, R. E. Radiocarbon: Ages in Error. **Anthropological Journal of Canada**, n. 3, p. 9, 1981.

MAIA, L. P.; GASTÃO, F. G. C.; TATUMI, S. H.; LACERDA, L. D. A utilização do método de luminescência opticamente estimulada para a datação de sedimentos de dunas costeiras do nordeste setentrional do Brasil. **Revista Virtual de Química**, v. 3(2), p. 103-115, 2011.

MCKEEVER, S. W. S. **Thermoluminescence of solids**. 1. ed. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1985.

MICHELS, J. W. Dating Methods. **Annual review of anthropology**, v. 1, p. 113-126, 1972.

MUNITA, C. S.; CARVALHO, P. R. Grupo de estudos arqueométricos do IPEN-CNEN/SP. **Cadernos do CEOM**, Chapecó (SC), v. 28, n. 43, p. 53-59, 2015.

OZÇATAL, M.; YAYGINGÖL, M.; ISSI, A.; KARA, A.; TURAN, S.; OKYAR, F.; TAS, S. P.; NASTOVA, I.; GRUPCE, O.; MINCEVA-SUKAROVA, B. Characterization of lead glazed potteries from Smyrna (Izmir/ Turkey) using multiple analytical techniques; Part II: Body. **Ceramics International**, v. 40, p. 2153-2160, 2014.

ROSADO, A.; SOUZA, L. A. C.; GONÇALVES, Y. F. História da arte técnica e arqueometria: uma contribuição no processo de autenticação de obras de arte. **16° Encontro Nacional da Associação Nacional de Pesquisadores de Artes Plásticas Dinâmicas Epistemológicas em Artes Visuais**, Florianópolis, v. 16, p. 1734-1745, 2007.

ROSSETTI, D. F.; TOLEDO, P. M.; MORAES-SANTOS, H. M.; JUNIOR, A. E. A. S. Reconstructing habitats in central Amazonia using megafauna, sedimentology, radiocarbon, and isotope analyses. **Quaternary Research**, v. 61, p. 289-300, 2004.

RUIZ, I. M.; HERAS, M. G.; LÓPEZ-ROMERO, E. Arqueometría: câmbios y tendencias actuales. **Trabajos de Prehistoria**, v. 64, n. 1, p. 23-40, 2007.

SANTANA, A. D. D. **Datação por radiocarbono-AMS do sítio arqueológico Justino, Canindé de São Francisco, Sergipe**. 2013. São Cristóvão: Dissertação, Programa de PósGraduação em Geociências e Análise de Bacias, Universidade Federal de Sergipe, 2013.

SANTOS, J. O**. Datação arqueológica por termoluminescência a partir de vestígios cerâmicos do sítio Justino da região do Baixo São Francisco**. 2002. Aracaju: Dissertação, Núcleo de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal de Sergipe, 2002.

SILVA, F. A.; APPOLONI, C. R.; QUIÑONES, F. R. E.; SANTOS, A. O.; SILVA, L. M.; BARBIERI, P. F.; FILHO, V. F. N. A arqueometria e a análise de artefatos cerâmicos: um estudo de fragmentos cerâmicos etnográficos e arqueológicos por fluorescência de Raios X (EDXRF) e transmissão Gama. **Revista de Arqueologia**, v. 17, p. 41-61, 2004.

SULLASI, H. L.; AZEVEDO, R. L.; PESSIS, A. M. Datação de dentes por espectroscopia RPE: fundamentos, metodologia e aplicações. **Clio Arqueológica**, v. 24, n. 1, p. 97-117, 2009.

TITE, M. S. Archaeometry: an overview. In: MARTINI, M.; MILAZZO, M.; PIACENTINI, M. (eds**.). Proceedings of the international school of physics "Enrico Fermi".** Amsterdam: IOS Press, 2004. p. 347-356.

TUNIZ, C.; ZOPPI, U.; BARBETTI, M. AMS dating in archaeology, history and art. In: CREAGH, D. C.; BRADLEY, D. A. (eds.). **Radiation in art and archeometry**. Amsterdam: Elsevier Science, 2000. p. 444-471.

WALKER, M. **Quaternary dating methods**. Inglaterra: John Wiley & Sons, 2005.

VERGNE, M. C. S. O Projeto Arqueológico de Xingó, em Sergipe e Alagoas. **Clio**, n. 11, p. 213-216, 1996.

VERGNE, M. C. S.; NÍVEA, L.; SILVA, C. C.; DUARTE, M. B.; NASCIMENTO, A. C.; SILVA, S. G. A.; MOURA, T.; HELMHOTZ, A.; VITÓRIO, S. M.; LUNA, S.; NASCIMENTO, A. L. **Salvamento Arqueológico de Xingó**: Relatório Final. Xingó, UFS/PAX/ CHESF, 1998.

VERGNER, M. C. S. **A arqueologia do Baixo São Francisco: estruturas funerárias do sítio Justino – região de Xingó, Canindé de São Francisco, Sergipe**. 2004. São Paulo: Tese, Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Museu de Arqueologia e Etnologia, p. 362, 2004.

WATANABE, S.; TATUMI, S. H.; FARIAS, T. M. B.; SOUZA, S. O.; GENNARI, R. F.; KUNZL, R.; FARIAS, D. S. E. Testes de confiabilidade dos métodos de datação por termoluminescência (TL) e luminescência oticamente estimulada (OSL). **Rev. Do Museu de Arqueologia e Etnologia**, São Paulo, v. 15-16, p. 383-391, 2005-2006.

WILSON, M. A.; CARTER, M. A.; HALL, C.; HOFF, W. D.; INCE, C.; SAVAGE, S. D.; MCKAY, B.; BETTS, I. M. Dating fired-clay ceramics using long-term power law rehydroxylation kinetics. **Proc. R. Soc. A**, v. 465, p. 2407-2415, 2009.

WILSON, M. A.; HAMILTON, A.; INCE, C.; CARTER, M. A.; HALL, C. Rehydroxylation (RHX) dating of archaeological pottery**. Proc. R. Soc. A**, v. 468, p. 3476-3493, 2012.

YUKIHARA, E. G.; MCKEEVER, S. W. S. **Optically Stimulated Luminescence**: Fundamentals and Applications. Singapura: John Wiley & Sons, 2011.