

MEMÓRIAS DA ACADEMIA DAS CIÊNCIAS DE LISBOA

CLASSE DE CIÊNCIAS

**Importância da datação por luminescência e por ressonância
de spin eletrónico, para se compreenderem arquivos
terrestres dos últimos 3 milhões de anos**

PEDRO PROENÇA E CUNHA



**ACADEMIA DAS CIÊNCIAS
DE LISBOA**

LISBOA • 2025

Título: Importância da datação por luminescência e por ressonância de *spin* eletrônico, para se compreenderem arquivos terrestres dos últimos 3 milhões de anos

Edição: Academia das Ciências de Lisboa

Data de edição: 2025

DOI: <https://doi.org/10.58164/p35f-rz81>

Importância da datação por luminescência e por ressonância de *spin* eletrónico, para se compreenderem arquivos terrestres dos últimos 3 milhões de anos

PEDRO PROENÇA E CUNHA¹

RESUMO

Os estudos de Geomorfologia, Geologia do Quaternário e Geoarqueologia exigem idades absolutas credíveis, para: se datarem com precisão eventos sedimentares; ajudar na correlação estratigráfica; quantificar processos sedimentares; bem como para se datarem elementos de património construído ou artefactos. A determinação por luminescência e por ressonância eletrónica de spin (ESR) permite saber o momento da última exposição à luz ou a forte aquecimento, de sedimentos ou rochas. Em alguns casos podem ser datados eventos com poucas décadas (por ex. por luminescência em sucessões eólicas) e em outros até mais de um milhão de anos (neste caso, só por ESR). Estes métodos baseiam-se na medição de uma Paleodose e da respetiva Taxa de Radiação Ambiental, sendo necessário que o material a datar não tenha significativa dose residual quando ocorreu o evento a datar. Os minerais usados como dosímetros são o quartzo e o feldspato-K, abundantes em rochas sedimentares. Doses residuais podem afetar idades do Holocénico, mas têm pouca relevância nas do Plistocénico, pois nestes a energia residual é, geralmente, muito pequena relativamente à acumulada. Sedimentos coluvionares, glaciários e fluviais apresentam uma maior tendência para terem maiores doses residuais do que os depositados em ambientes litorais ou eólicos, deles resultando idades sobrestimadas.

Palavras-chave: Geomorfologia, estratigrafia, datação por luminescência, dose de radiação ambiental, dose equivalente.

Relevance of the luminescence and electron spin resonance dating methods to understand terrestrial archives of the last 3 million years ago

ABSTRACT

Studies of Geomorphology, Quaternary Geology and Geoarchaeology need the incorporation of reliable numerical ages, in order to: date sedimentary events, with accuracy; help in the stratigraphic correlation; provide quantification of processes; but also, to date elements, monuments or artefacts. These methods can be used to date events a few decades old (e.g. by luminescence in aeolian sequences) and in others even more than a million years old (in this case only by ESR). These methods are based

¹ Academia das Ciências de Lisboa, Universidade de Coimbra, MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente/ARNET – Rede de Investigação Aquática, Departamento de Ciências da Terra – FCTUC

on the measurement of a Paleodose and the respective Environmental Radiation Rate, requiring that the material to be dated does not have a significant residual dose at the time the event to be dated occurred. The elimination of the residual dose occurs during exposure to light or heating. The typical minerals used are quartz and K-feldspar, which are abundant in sediments. Residual doses can be significant in Holocene sediments, but have little relevance in Pleistocene materials, as in these the residual energy present at the time of burial is generally very small compared to that accumulated afterwards. Colluvial, glacial and river sediments have a greater tendency to have residual doses than those deposited in coastal or aeolian environments, resulting in overestimated ages.

Keywords: Geomorphology, stratigraphy, luminescence dating, dose-rate, equivalent dose.

1. INTRODUÇÃO

A determinação de idades por luminescência e por ressonância eletrônica de *spin* (ESR) tem tido um desenvolvimento exponencial na última década, permitindo estabelecer a idade de sedimentos, materiais arqueológicos líticos ou cerâmicas, bem como superfícies de pedra, que se encontravam enterrados após uma eficaz exposição à luz ou ao calor.

Uma das grandes vantagens da utilização destes processos de datação absoluta é que podem ser utilizadas para intervalos que abranjam poucas décadas até várias centenas de milhares de anos (por luminescência), ou mesmo centenas de milhares de anos a alguns milhões de anos (por ESR), necessitando da medição em quartzo ou feldspato potássico (principais minerais usados como dosímetros).

A necessidade de restringir no tempo registos sedimentares do Quaternário e os eventos geológicos que eles representam tem levado os investigadores a incluir datações absolutas nos seus estudos.

Embora com as problemáticas associadas à correção do efeito “reservatório” para sedimentos de transição, da possibilidade de reciclagem de matéria orgânica antiga e do seu limite máximo de aplicabilidade a depósitos com idade até ca. 50 ka, a datação por C^{14} tem sido extensivamente usada. Contudo, para sedimentos sem matéria orgânica ou mais antigos, é necessário fazer a datação absoluta por outros métodos.

O método por U-Th permite a datação de carbonatos, ossos e dentes fósseis, cuja idade esteja compreendida entre 10 e 500 ka. No caso de ossos e dentes fósseis, o urânio só penetra neles depois da morte e enterramento dos animais e pode acontecer de várias formas (precoces ou progressivas), o que representa uma limitação na confiabilidade do método. O modelo de incorporação precoce dá uma idade mínima à amostra.

2. PRINCÍPIOS DA DATAÇÃO POR LUMINESCÊNCIA E POR RESSONÂNCIA ELETRÔNICA DE *SPIN*

Os métodos de datação por luminescência e por ressonância eletrônica de spin são usados para determinar o tempo decorrido desde que:

- Um sedimento foi pela última vez exposto à luz;
- Ocorreu o último aquecimento significativo de cerâmicas ou clastos (por ex. em fogueiras).

Quando grãos minerais estão enterrados, recebem radiação ionizante proveniente de elementos radioativos (por ex. Th, U e ⁴⁰K) existentes nos sedimentos próximos, mas também da radiação cósmica, que tem alguma penetração em profundidade.

A interação das radiações ionizantes naturais com a matéria cristalina gera cargas elétricas que ficam retidas em armadilhas no edifício cristalino de minerais (por ex., do quartzo e feldspato) e constituem a Paleodose.

É crucial que antes do enterramento de um sedimento, ele seja convenientemente exposto à luz solar, pois esta descarrega a energia latente anterior, processo designado por branqueamento (bleaching). Permite que o “relógio” da contagem do tempo seja colocado a zero; caso contrário, a idade da amostra ficará sobrestimada. O incompleto branqueamento pode ser significativo em sedimentos do Holocénico, mas tem pouca relevância em sedimentos do Plistocénico, pois nestes a energia presente na altura do enterramento é, geralmente, muito pequena relativamente à acumulada após a última exposição à luz. Sedimentos coluvionares, glaciários e aluviais apresentam muito maior tendência para um incompleto branqueamento do que os depositados em ambientes fluviais, litorais ou eólicos.

Em laboratório, obtém-se a Dose equivalente (De), expressa em Grays (Gy), pretendendo esta representar a Paleodose. Na sua estimação os grãos minerais habitualmente usados como dosímetros são o quartzo (Qz) e o feldspato potássico (Fk). A idade de uma amostra obtém-se dividindo a Dose equivalente pela Taxa de Radiação Ambiental (*dose-rate*), expressa em Gy/ka (Figura 1).

A Taxa de Radiação Ambiental pode ser medida no campo, através de um espectrómetro gama de baixa resolução, mas é recomendável que seja medida em laboratório por meio de um espectrómetro gama de alta resolução. Este quantifica os elementos radioativos, permitindo saber se houve manutenção da relação entre isótopos-pai e isótopos-filhos durante o período de enterramento; caso

contrário, a taxa de radiação ambiental não esteve constante e o valor atual não representa o valor médio (e não se pode usar para determinar a idade real da amostra). Quando a medição da taxa de radiação é feita em laboratório é necessário que a subamostra medida seja representativa de um volume esférico com cerca de 0,5 m de diâmetro que no campo envolvia a amostra recolhida; caso contrário, a taxa de radiação medida no laboratório não é igual à que afetou a amostra recolhida (e a idade fica subestimada ou sobrestimada). Quando se pretende datar uma camada pouco espessa de sedimento com taxa de radiação diferente da dos sedimentos enquadrantes (por exemplo, uma camada de 10 cm de areia de *tsunami* intercalada em siltes estuarinos) é necessário fazer a modelação espacial da dose de radiação.

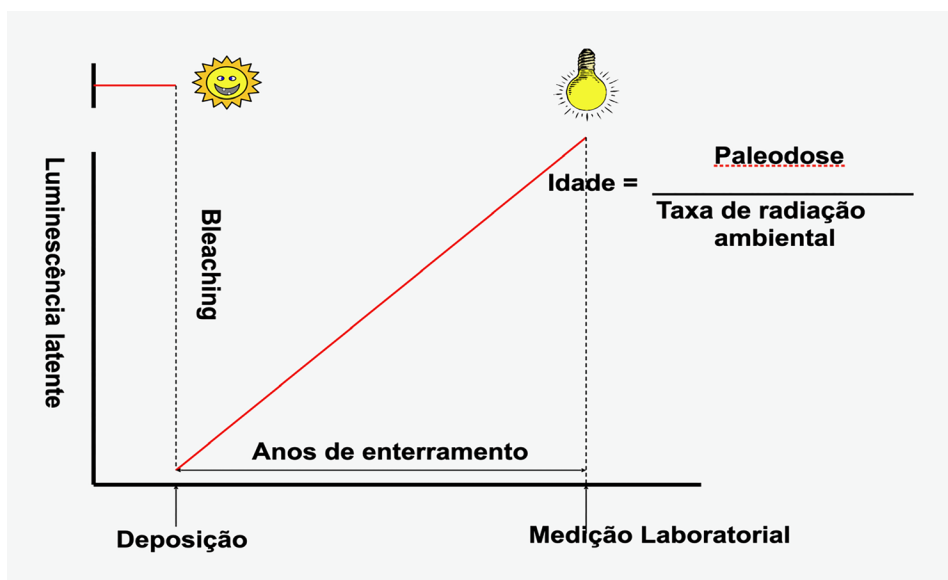


Figura 1. Esquema ilustrativo da determinação de idade por luminescência e por ressonância eletrônica de *spin*.

Outro parâmetro que influencia o cálculo da Taxa de Radiação é o teor em água do sedimento e a quantidade de cimento carbonatado, pois estes reduzem a penetração da radiação (e a resultante ionização). Assim, deve-se determinar o teor de água no momento de colheita da amostra e o valor em saturação; com base nestes valores e tendo em conta a provável posição do nível freático durante o período de enterramento, estima-se o valor adequado a inserir no cálculo da taxa de radiação ambiental.

Desta forma, a dose de radiação (energia absorvida por ano) por um sedimento enterrado resulta de:

- Radionuclídeos internos – fornecendo a dose de radiação interna beta (e alpha) (~30% do total para um feldspato-K, negligenciável em quartzo);
- Radionuclídeos externos – fornecendo dose de radiação externa alpha, beta e gamma, a partir da matriz envolvente. A concentração em carbonatos e o teor em água (teor de campo, teor de saturação, estimativa para o tempo de enterramento, tendo em conta a provável posição do nível freático) afetam o resultado da idade até 10%;
- Radiação cósmica, uma pequena % do total, e que se atenua rapidamente em profundidade.

3. METODOLOGIAS PARA DATAÇÃO POR LUMINESCÊNCIA E POR RESSONÂNCIA ELETRÔNICA DE *SPIN*

Atualmente são várias as metodologias usadas rotineiramente na datação por luminescência, e muitas outras se encontram em desenvolvimento:

- Termoluminescência (TL; *Thermo-Luminescence*), havendo emissão de luz induzida por aquecimento;
- Luminescência Oticamente Estimulada (LOE; OSL – *Optically Stimulated Luminescence*), havendo emissão de luz induzida por estimulação de fotões; o método de rotina é por quartzo OSL;
- Luminescência estimulada no infravermelho (IRSL), aplicável a feldspato-K, mas acarretando uma correção de uma perda de energia com o tempo (*anomalous fading*);
- Pós-infravermelhos por Luminescência estimulada pós-infravermelho (*post-IR IRSL*; pIRIR), metodologia nova aplicável a feldspato-K e não tendo *anomalous fading*.

As datações por OSL estão muito mais generalizadas do que por TL. Isto deve-se ao facto de o sinal luminescente resultante da estimulação pela luz ser mais rápida e eficazmente “branqueado” (eliminação da energia residual) do que o sinal resultante da estimulação pela temperatura, sendo essa uma das principais vantagens da OSL relativamente à TL. Além disso, as frações medidas por TL são feitas em grãos muito finos (10-4 µm), pelo que a sua composição pluri-mineral também não permite as necessárias correções às medições e também, porque existem sedimentos desprovidos dessa fração de silte fino (por ex., areias de praia ou eólicas).

4. AMOSTRAGEM PARA DATAÇÃO POR LUMINESCÊNCIA OU POR RESSONÂNCIA ELETRÔNICA DE *SPIN*

A estratégia da amostragem deve ser previamente estabelecida em função dos objetivos do estudo e do financiamento disponível para ser gasto em datações. Sedimentos ricos de quartzo (plutônico ou metamórfico) ou de feldspato-K são possíveis de ser datados por luminescência, enquanto a ressonância eletrônica de *spin* apenas usa grãos de quartzo.

Sedimentos arenosos ou lutíticos, em função da sua consolidação, podem ser amostrados com tubos opacos de plástico (PVC) ou metálicos (em geral com 6-8 cm de diâmetro e ~30 cm de comprimento). Sedimentos mais grosseiros (cascalhentos) exigem uma adequada metodologia para a determinação da dose de radiação e amostragem. A amostragem também pode ser feita durante a noite, para sacos de plástico pretos espessos (opacos à luz), com o auxílio de lanternas de luz vermelha fraca. Sedimentos consolidados por cimentação carbonatada exigem a destruição desse cimento sob condições laboratoriais, com iluminação adequada para não se afetar a Paleodose dos grãos a medir. Também se podem datar sedimentos de sondagens, com recolha em tubo opaco (por ex. para datar sucessões holocénicas estuarinas ou dunares).

A amostragem para datação por luminescência ou ESR deve ser feita por investigador com experiência, para se evitarem contextos impróprios de recolha. Nomeadamente, devem-se evitar: a) sedimentos que mostrem perturbações posteriores à deposição e que promovam a entrada de luz (fendas de dissecação, bioturbação e interferência de raízes, revolvimento agrícola, movimentação de vertente, etc.); b) modificações diagenéticas (existência de solo, lavagem pela água de infiltração, formação e transporte de matriz argilosa, migração de isótopos radioativos, etc.); c) heterogeneidades espaciais da radiação ambiental. Colheitas impróprias acarretam que se meçam no laboratório doses-equivalentes e doses de radiação incorretas, produzindo-se idades diferentes dos eventos reais a datar.

5. PREPARAÇÃO DE FRAÇÕES MINERAIS EM SALA COM LUZ “VERMELHA”

A preparação de frações minerais para medição OSL ou ESR efetua-se em sala com iluminação específica (“vermelha”) e compreende as seguintes fases:

- Abertura das amostras (geralmente tubos opacos);
- Crivagem por via húmida, para se obterem várias frações dimensionais;
- Geralmente é a fração 250-180 μm que é selecionada para depois ser sujeita a ataques por HCl (10%) e H_2O_2 (10%); lavagens com H_2O ;
- Secagem em estufa a 40 °C;
- Separação das frações de quartzo e feldspato-K por líquido com densidade 2,56; depois separação do quartzo dos minerais pesados;
- Ataque com HF, HCl e lavagens das frações minerais;
- Secagem e acondicionamento das frações minerais puras (por ex., quartzo, feldspato-K);
- Em equipamento leitor de luminescência, medição de De em aliquotes com diferentes quantidades de grãos de um mineral e realização de vários testes.

6. ALCANCE TEMPORAL DA DATAÇÃO POR LUMINESCÊNCIA OU DA DATAÇÃO POR RESSONÂNCIA ELETRÔNICA DE *SPIN*

A principal limitação do quartzo nas datações por OSL é a saturação dos grãos, que ocorre a ~ 200 Gy. Assim, na medição de grãos de quartzo usando o protocolo SAR (Murray & Wintle, 2000), a OSL permite datar sedimentos até cerca de 140 ka, caso a taxa de radiação ambiental seja inferior a ~ 2 Gy.

Areias e siltes do Holocénico podem ser datados com precisão por OSL em Qz e, conseqüentemente, servir para determinar a cronologia de eventos geológicos recentes e calcular taxas de sedimentação.

Também se podem usar sedimentos de idade já conhecida — por ex. depósitos do tsunami de 1755 (Cunha et al., 2010) ou da cheia de 1909 do rio Tejo — para aferir o processo de medição laboratorial ou determinar a importância do incompleto branqueamento nos ambientes com transporte aquoso turbulento.

Idades da ordem da dezena de anos, por exemplo, em areias eólicas, podem ser obtidas usando procedimentos de medição apropriados (Huntley & Lian, 1999; Wallinga, 2002).

As datações OSL em Qz, apesar de precisas, são praticamente inviáveis para, por exemplo, datar depósitos sedimentares Plistocénicos que possuam altas doses de radiação ambiental, como os de terraços do Baixo Tejo (geralmente 3 a 7 Gy/ka; Martins & Cunha, 2006).

Quando a datação por Qz-OSL só fornece idade mínima (sinal saturado) o método de Luminescência estimulada em infravermelho (IRSL; *Infra Red Stimulated Luminescence*), que usa o feldspato-K (Fk) como dosímetro, é uma alternativa viável. Isto porque a saturação do sinal geralmente só ocorre aos ~1000 Gy. Contudo, as idades obtidas por IRSL precisam de ser corrigidas relativamente à perda de energia (anomalous fading) que ocorre nos grãos de Fk ao longo do tempo (Wintle, 1973) e mudanças de sensibilidade nos defeitos do cristal (Wallinga, 2002); estes dois fenómenos são ainda mal compreendidos e as correções são problemáticas. Infelizmente, na maior parte dos casos, os métodos de correção de fading não são adequados e geram subestimação nas idades obtidas (Cunha, 2010).

Apesar destas dificuldades, foi possível datar por IRSL em feldspato-K os três níveis inferiores de terraços do Tejo português, tendo-se obtido idades corrigidas até ~280 ka (Cunha et al., 2008; Martins et al., 2009, 2010a, 2010b).

O recente protocolo pIRIR290 usa o Fk como dosímetro e uma alta temperatura na estimulação pós-IRIR (Thomsen et al., 2008; Buylaert et al., 2009). Este método constitui a melhor alternativa atual para a datação de amostras que possuem o sinal Qz-OSL em saturação; tem fading irrelevante e pode fornecer resultados precisos até ca. 600 ka (Buylaert et al., 2012).

Muito interessante é a possibilidade de se datarem superfícies de rocha (por ex., Sohbaty et al., 2012).

7. AVALIAÇÃO DO SINAL LUMINESCENTE RESIDUAL

No processo de averiguação do incompleto branqueamento, usualmente reduz-se o número de grãos em cada alíquota (disco contendo grãos, usado para a medição da Dose equivalente) para detetar subpopulações com diferentes De, chegando-se a fazer medições grão a grão. Uma distribuição muito heterogênea da De ou a existência de alguns alíquotas com valores muito superiores aos valores mais frequentes da população são indicadores de incompleto branqueamento (Murray & Olley, 2002). A presença de sinal latente anterior à deposição tem de ser tomada em conta no cálculo da idade de depósitos modernos.

8. EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA DATAÇÃO OSL E ESR A ESTUDOS DE ARQUIVOS DO QUATERNÁRIO E NA INTERPRETAÇÃO DA EVOLUÇÃO DAS PALEO-PAISAGENS DO RIO TEJO EM PORTUGAL

A caracterização da escadaria de terraços do Baixo Tejo, na área da bacia sedimentar cenozoica, conheceu um grande desenvolvimento nas duas últimas décadas. Durante este período realizou-se uma cartografia geomorfológica detalhada e obteve-se o conhecimento da posição rigorosa (acima do leito atual) de cada nível de terraço, em diferentes áreas cruzadas pelo rio Tejo (Figura 2). Em paralelo prosseguiu a caracterização litostratigráfica e sedimentológica dos depósitos de terraço, bem como a utilização de técnicas de datação absoluta, principalmente por U-Th (por ex., Raposo, 1995), por OSL (Martins *et al.*, 2009, 2010a, 2010b; Cunha *et al.*, 2008, 2012, 2016, 2017), mas também por ESR (Rosina *et al.*, 2014; Gouveia *et al.*, 2020) (Figura 3).

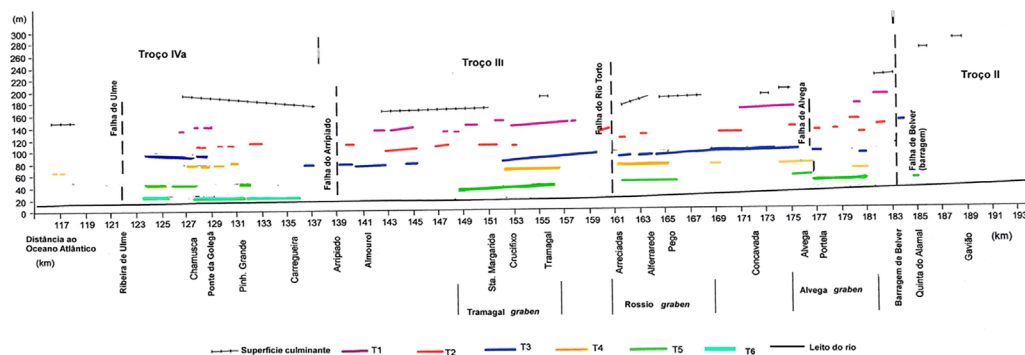


Figura 2. Perfil longitudinal do rio Tejo, junto à margem esquerda, abrangendo o troço III e parte dos troços adjacentes. Representa-se o leito atual, bem como a superfície dos terraços (T1 a T6) e da unidade sedimentar culminante. Observa-se que a unidade sedimentar culminante e os terraços estão localmente basculados e desnivelados por várias falhas (adaptado de Martins *et al.*, 2009b).

Caracterizaram-se oito unidades geomorfológicas/litostratigráficas que resultaram da evolução do rio Tejo em Portugal, desde a unidade culminante do enchimento sedimentar (SLD13) até ao leito atual. São enumeradas, da mais antiga para a mais recente (Cunha *et al.*, 2016): uma unidade culminante do enchimento sedimentar (o ancestral Tejo, antes da etapa de incisão fluvial) – SLD13 (+142 a 262 m acima do leito atual; com provável idade 3,7 a 1,8 Ma), sem indústrias líticas identificadas; terraço T1 (+84 a 180 m; ca. 1 Ma? a 900 ka), sem indústrias; terraço T2 (+57 a 150 m; idade do topo estimada em ca. 600 ka), sem indústrias; terraço T3 (+43 a 113 m; ca. 460 a 440? ka), sem indústrias; terraço

T4 (+26 a 55 m; ca. 430 a 160 ka), Paleolítico Inferior (Acheulense) em níveis da base e intermédios, mas Paleolítico Médio inicial em níveis do topo; terraço T5 (+5 a 34 m; 135 a 73 ka), Paleolítico Médio (com talhe Mustierense, *Levallois*); terraço T6 (+3 a 14 m; 62 a 32 ka), Paleolítico Médio final (Mustierense final); Areias da Carregueira (areias eólicas) e coluviões (+3 a ca. 100 m; 32 a 12 ka), Paleolítico Superior a Epipaleolítico; enchimento da planície aluvial (+0 a 8 m; ca. 12 ka a atual), Mesolítico e indústrias mais recentes. As diferenças na elevação (a.r.b.) das escadarias de terraços resultam de soerguimento diferencial, devido a falhas ativas.

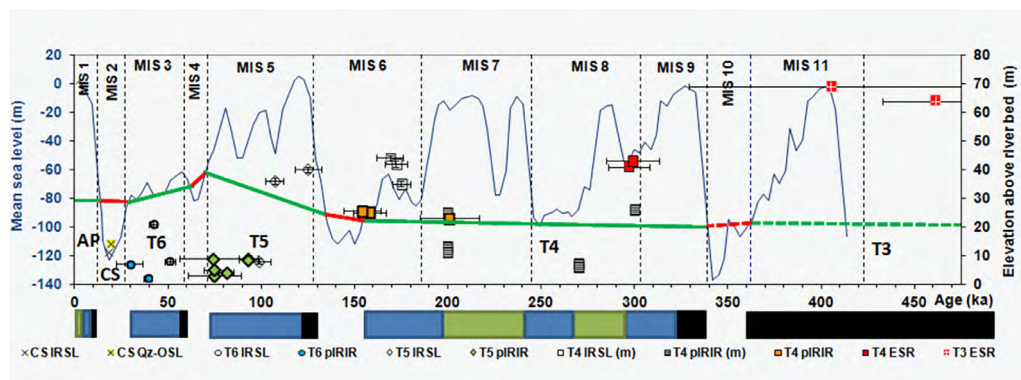


Figura 3. Curva de variação eustática do nível médio do mar (isótopos da V19-30, segundo Cutler et al., 2003) e projeção das idades (não mínimas) de OSL e ESR obtidas nos terraços T3 a T6 e Formação de Carregueira (areias eólicas) no sector inferior do Baixo Tejo (Cunha et al., 2016). As barras horizontais representam as litologias dominantes em cada unidade sedimentar (preto – cascalheira; azul – areia; verde – argila siltosa) e o provável intervalo de idade da agradação de cada terraço. Para os troços estudados, os prováveis períodos com espaço de acomodação estão representados pelos segmentos verdes e os períodos de incisão e alargamento do vale estão representados por segmentos de cor vermelha. Os intervalos dos MIS estão de acordo com Lisiecki & Raymo (2005).

As idades dos terraços inferiores, atrás descritas, obtiveram-se mediante diversos métodos de datação absoluta, que também possibilitaram estimar a idade do topo do terraço T2 (ca. 600 ka) e a provável idade do início da etapa de incisão (ca. 1,8 Ma). As idades permitiram restringir a fase de agradação dos terraços baixos e médios: T6 – 30 ka; T5 – 62 ka; T4 – ca. 180 ka. Concluiu-se que durante o Plistocénico Médio e Final, no sector inferior do Baixo Tejo, a fase de incisão e alargamento do vale foram curtas (ca. 11-25 ka) e ocorreram durante períodos de nível do mar muito baixo, alternando com mais longas fases de inundação e de agradação do vale durante níveis do mar mais altos. Estas oscilações eustáticas (alternância de períodos glaciários e interglaciários) estão

sobrepostas a um contexto de soerguimento de longo termo, possibilitando o desenvolvimento vertical das escadarias.

Cunha *et al.* (2016) calculou que para os últimos ca. 160 ka as taxas de incisão de curto-termo apresentam valores (0,09 a 0,41 m/ka), aproximadamente, duplos dos calculados para o intervalo ca. 155 a 900 ka (0,04 a 0,28 m/ka); este aumento na taxa de incisão deve estar relacionado com um aumento na taxa de soerguimento por intensificação da compressão devido à progressiva convergência entre as placas Africana e Eurasiática.

9. CONCLUSÕES

Os modernos estudos de Geomorfologia e de Geologia do Quaternário exigem a incorporação de idades absolutas para posicionar com precisão os eventos e quantificar processos. A datação por luminescência ou por ESR determinam o tempo decorrido desde o último aquecimento ou exposição à luz do material, com incertezas típicas de 5-10% da idade estimada. Têm uma grande aplicabilidade, dado necessitar de minerais geralmente omnipresentes e permitir datações desde poucas dezenas de anos a várias centenas de milhares de anos (OSL) e desde algumas centenas de milhares de anos a alguns milhões de anos (ESR); facilmente aplicados na datação de cerâmicas, bem como a depósitos eólicos, de praia e fluviais.

A amostragem deve ser convenientemente planeada e realizada com a colaboração de investigador com experiência na datação por OSL/ESR de sucessões sedimentares, e que também depois ajude na interpretação das idades obtidas e informe sobre os condicionalismos que as podem afetar. Uma adequada amostragem no campo é essencial para a obtenção de resultados concordantes com a estratigrafia e geomorfologia. É necessário conhecer o contexto de enterramento e a história geológica ou as incertezas serão maiores.

Grãos incompletamente expostos à luz solar (por ex., depósitos torrenciais, horizontes de solo, megalitos) podem ser datados, mas exigem medições em pequenos aliquotes e as incertezas serão maiores.

A datação em quartzo pode permitir obter idades (não mínimas) até ~140 ka em sedimentos com baixa taxa de radiação, mas em sedimentos fluviais torna-se geralmente necessário usar o feldspato-K como dosímetro. Assim, já foi possível

datar os três mais recentes terraços do Tejo português, tendo-se alcançando idades até 300 ka.

Agradecimentos: Este estudo teve suporte financeiro pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, através dos projetos UID/MAR/04292/2020 (MARE) <https://doi.org/10.54499/UIDP/04292/2020> e LA/P/0069/2020 (ARNET) <https://doi.org/10.54499/LA/P/0069/2020>.

COMUNICAÇÃO APRESENTADA À CLASSE DE CIÊNCIAS
NA SESSÃO DE 21 DE SETEMBRO DE 2023

COMUNICAÇÃO RECEBIDA A 5 DE NOVEMBRO DE 2024

BIBLIOGRAFIA

- Buylaert, J. P., Murray, A. S., Thomsen, K. J., & Jain, M. (2009). Testing the potential of an elevated temperature IRSL signal from K-feldspar. *Radiation Measurements*, 44, pp. 560-565.
- Buylaert, J.-P., Jain, M., Murray, A. S., Thomsen, K. J., Thiel, C., & Sohbati, R. (2012). A robust feldspar luminescence dating method for Middle and Late Pleistocene sediments. *Boreas*, 41, pp. 435-451.
- Cunha, P. P. (2010). Importância da datação por luminescência em estudos de Geomorfologia e de Geologia do Quaternário. Atas do V Congresso Nacional da Geomorfologia Portuguesa (8-11 de dezembro, Univ. Porto). Associação Portuguesa de Geomorfólogos, pp. 1-6. E-book (ISBN 978-989-96462-2-3).
- Cunha, P. P., Buylaert, J.-P., Murray, A. S., Andrade, C., Freitas, M. C., Fatela, F., Munhá, J. M., Martins, A. A., & Sugisaki, S. (2010). Optical dating of clastic deposits generated by an extreme marine coastal flood: The 1755 tsunami deposits in the Algarve (Portugal). *Quaternary Geochronology*, 5(2-3), pp. 329-335.
- Cunha, P. P., Martins, A. A., & Daveau, S., & Friend, P. (2005). Tectonic control of the Tejo River fluvial incision during the late Cenozoic, in Ródão – central Portugal (Atlantic Iberian border). *Geomorphology*, 64, pp. 271-298.
- Cunha, P. P., Martins, A. A., Huot, S., Murray, A., & Raposo, L. (2008). Dating the Tejo River lower terraces in the Ródão area (Portugal) to assess the role of tectonics and uplift. *Geomorphology*, 102, pp. 43-54.
- Cunha, P. P., Almeida, N. A. C., Aubry, T., Martins, A. A., Murray, A. S., Buylaert, J.-P., Sohbati, R., Raposo, L., & Rocha, L. (2012). Records of human occupation from Pleistocene river terrace and aeolian sediments in the Arneiro depression (Lower Tejo River, central eastern Portugal). *Geomorphology*, pp. 165-166, pp. 78-90.

- Cunha, P. P., Martins, A. A., & Gouveia, M. P. (2016). As escadarias de terraços do Ródão à Chamusca (Baixo Tejo) – caracterização e interpretação de dados sedimentares, tectónicos, climáticos e do Paleolítico. *Estudos do Quaternário*, 14, pp. 1-24.
<http://www.apeq.pt/ojs/index.php/apeq>
- Cunha, P. P., Martins, A. A., Buylaert, J.-P., Murray, A., Raposo, L., Mozzi, P., & Stokes, M. (2017). New data on the chronology of the Vale do Forno sedimentary sequence (Lower Tejo River terrace staircase) and its relevance as a fluvial archive of the Middle Pleistocene in western Iberia. *Quaternary Science Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.11.001>
- Cutler, K. B., Edwards, R. L., Taylor, F. W., Cheng, H., Adkins, J., Gallup, C. D., Cutler, P. M., Burr, G. S., & Bloom, A. L. (2003). Rapid sea-level fall and deep-ocean temperature change since the last interglacial period. *Earth and Planetary Science Letters*, 206, pp. 253-271.
- Gouveia, M. P., Cunha, P. P., Falguères, C., Voinchet, P., Martins, A. A., Bahain, J.-J., & Pereira, A. (2020). Electron spin resonance dating of the culminant allostratigraphic unit of the Mondego and Lower Tejo Cenozoic basins (W Iberia), which predates fluvial incision into the basin-fill sediments. *Global and Planetary Change*, 184, 103081.
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.103081>
- Huntley, D. J., & Lian, O. B. (1999). Using optical dating to determine when a sediment was last exposed to sunlight. In D. S. Lemmen & R. E. Vance (Eds.), *Holocene Climate and Environmental Change in the Palliser Triangle: A Geoscientific Context for Evaluating the Impacts of Climate Change on the Southern Canadian Prairies* (Geological Survey of Canada Bulletin 534, pp. 211-222).
- Lisiecki, L. E., & Raymo, M. E. (2005). A Pliocene–Pleistocene stack of globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography*, 20(1), pp. 1-17.
- Martins, A. A., & Cunha, P. P. (2006). Vantagens e limitações da luminescência opticamente estimulada na datação de terraços do rio Tejo, sua importância na determinação da taxa de incisão fluvial. VII Congresso Nacional de Geologia (Resumos), Univ. Évora.
- Martins, A. A., Cunha, P. P., Huot, S., Murray, A., & Buylaert, J.-P. (2009). Geomorphological correlation of the tectonically displaced Tejo River terraces (Gavião–Chamusca area, Portugal) supported by luminescence dating. *Quaternary International*, 199, pp. 75-91.
- Martins, A. A., Cunha, P. P., Buylaert, J.-P., Huot, S., Murray, A. S., Dinis, P., & Stokes, M. (2010a). K-Feldspar IRSL dating of a Pleistocene river terrace staircase sequence of the Lower Tejo River (Portugal, western Iberia). *Quaternary Geochronology*, 5(2–3), pp. 176-180.
- Martins, A. A., Cunha, P. P., Rosina, P., Oosterbeck, L., Cura, S., Grimaldi, S., Gomes, J., Buylaert, J.-P., Murray, A. S., & Matos, J. (2010b). Geoarchaeology of Pleistocene open-air sites in the Vila Nova da Barquinha–Santa Cita area (Lower Tejo River basin, central Portugal). *Proceedings of the Geologists’ Association*, 121(2), pp. 128-140.
- Murray, A. S., & Olley, J. M. (2002). Precision and accuracy in the optically stimulated luminescence dating of sedimentary quartz: A status review. *Geochronometria*, 21, pp. 1-16.

- Murray, A. S., & Wintle, A. G. (2000). Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurements*, 32, pp. 57-73.
- Raposo, L. (1995). Ambientes, territorios y subsistencia en el Paleolítico Medio de Portugal. *Complutum*, 6, pp. 57-77.
- Rosina, P., Voinchet, P., Bahain, J., Cristovão, J., & Falguères, C. (2014). Dating the onset of Lower Tagus River terrace formation using electron spin resonance. *Journal of Quaternary Science*, 29(2), 1 pp. 53-162.
- Sohbati, R., Murray, A., Buylaert, J.-P., Almeida, N., & Cunha, P. P. (2012). Optically stimulated luminescence (OSL) dating of quartzite cobbles from the Tapada do Montinho archaeological site (east-central Portugal). *Boreas*, 41(3), pp. 452-462.
<https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2012.00249.x>
- Thomsen, K. J., Murray, A. S., Jain, M., & Bøtter-Jensen, L. (2008). Laboratory fading rates of various luminescence signals from feldspar-rich sediment extracts. *Radiation Measurements*, 43, pp. 1474-1486.
- Wallinga, J. (2002). Optically stimulated luminescence dating of fluvial deposits: A review. *Boreas*, 31, pp. 303-322.
- Wintle, A. G. (1973). Anomalous fading of thermoluminescence in mineral samples. *Nature*, 245, pp. 143-144.