

# Cartografia geomorfológica glaciária e delimitação da paleoglaciação da Serra Amarela

## Glacial and geomorphological cartography and paleoglacial limits of Serra Amarela

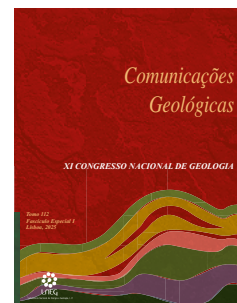
E. Figueira<sup>1\*</sup>, A. Gomes<sup>1,2</sup>, J. Costa<sup>1,2</sup>

DOI: <https://doi.org/10.34637/I71z-a245>

Recebido em 08/10/2023 / Aceite em 16/02/2024

Publicado online em abril de 2025

© 2025 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP



Artigo original  
Original article

**Resumo:** A investigação geomorfológica sobre a glaciação pliocénica da Serra Amarela, inserida no Parque Nacional da Peneda-Gerês (PNPG), remonta ao início da década de 80. No entanto, os limites da área glaciada permanecem imprecisos para a reconstrução glaciária. Esta montanha de baixa altitude com 1361 m caracteriza-se pela sua topografia assimétrica W-E e predominio de litologia granítica sobre afloramentos metamórficos restritos. As encostas ocidentais íngremes são dominadas por formas de relevo relíquias fluviais e periglaciárias. Por outro lado, as encostas orientais íngremes revelam evidências de erosão e depósitos glaciários anteriores, particularmente no circo glaciário do Ramisquedo. O presente estudo apresenta um novo mapa geomorfológico da Serra Amarela, utilizando dados LiDAR de elevada resolução espacial e interpretações das formas de relevo validadas por trabalho de campo. Os dados recolhidos, relativamente à glaciação da Serra Amarela, permitiram, metricamente, definir: a Máxima Extensão Glaciária (MEG) de 1 km<sup>2</sup>, a espessura máxima de gelo de 92 m, o volume estimado em 26,4 hm<sup>3</sup>, e posicionar a ELA-AABR nos 1122 m.

**Palavras-chave:** Serra Amarela, glaciações pliocénicas, LiDAR, cartografia geomorfológica

**Abstract:** Geomorphological research on the Pleistocene glaciation of Serra Amarela, located in the Peneda-Gerês National Park (PNPG), dates to the early 1980s. However, the boundaries of the glaciated area remain imprecise for glacial reconstruction. This low-lying mountain with 1361 m of altitude is characterized by its W-E asymmetric topography and by the dominance of granitic lithology and sparse metamorphic rocks. Fluvial and relict periglacial landforms dominate the steep western slopes. On the other hand, the steep eastern slopes reveal evidence of former glacial activity with traces of erosion and deposits, particularly in the Ramisquedo glacial cirque. The current study introduces a new geomorphological map of Serra Amarela, created using high-resolution LiDAR data and supplemented with interpretations of landforms and validated through fieldwork. The collected data, on the glaciation of Serra Amarela, allowed us to make several key measurements: the Maximum Glacial Extent (MGE) at 1 km<sup>2</sup>, the maximum ice thickness at 92 m, an estimated volume of 26,4 hm<sup>3</sup>, and the ELA-AABR at 1122 m.

**Keywords:** Serra Amarela, Pleistocene glaciations, LiDAR, geomorphological mapping

### 1. Introdução

A cartografia geomorfológica mais detalhada dos vestígios glaciários das montanhas do Noroeste de Portugal que albergaram glaciares, durante o Pliocénico, resume-se aos esboços cartográficos produzidos e publicados nos trabalhos de Coudé-Gaussen (1981) sobre a Serra da Peneda, Amarela e Gerês, e Ferreira *et al.* (1999) que direcionou a sua atenção para a Serra do Gerês. Essa cartografia geomorfológica assentou no reconhecimento de campo, na análise da topografia e toponímia da Carta Militar de Portugal na escala 1:25.000, na Carta Geológica de Portugal na escala 1:50.000 existente, e na interpretação de fotografias aéreas.

O reconhecimento e interpretação dos vestígios glaciários da Serra Amarela realizado por Coudé-Gaussen (1981), concretizam-se num mapa geomorfológico das formas glaciárias e fluvioglaciárias do maciço, enquanto Ferreira *et al.* (1999) dedica apenas alguma atenção ao maciço no esboço geomorfológico da área que analisa.

Recentemente, Pérez-Alberti (2022) aprofunda a análise e cartografia geomorfológica, apontando limites glaciários mais precisos, morfometrias paleoglaciárias tais como: área, comprimento, espessura, altitudes máximas e mínimas e valor da Altitude da Linha de Equilíbrio pelo método da Máxima Elevação das Moreias Laterais (MELM).

A facilidade de acesso ao topo da Serra Amarela, a disponibilidade de dados altimétricos mais detalhados (Cartografia 1:10.000 e dados LiDAR disponibilizados recentemente), e o uso dos SIG, nomeadamente, pela exploração de Modelos Digitais de Terreno e de Superfície (MDT e MDS), abrem novas possibilidades de identificação e interpretação das heranças glaciárias. Para além disso, a disponibilidade de novos métodos e métricas para quantificar a extensão, a espessura e volume de gelo, assim como o posicionamento da ELA (Equilibrium Line Altitude) nos picos da glaciação, suportam reconstruções paleoglaciárias com base na modelação. Assim, face à disponibilidade de novos dados e de novos métodos, tais como as *toolboxes* Glacier Reconstruction - GlaRe (Pellitero *et al.*, 2016) e a ELA Calculation (Pellitero *et al.*, 2015), decidiu-se revisitar o maciço da Serra Amarela de forma a obter uma cartografia mais detalhada das formas glaciárias e proceder à modelação de alguns parâmetros relativos às áreas glaciadas.

Deste modo, este estudo visou cumprir três objetivos principais: 1) apresentar um esboço geomorfológico das evidências glaciárias da Serra Amarela; 2) efetuar uma paleoreconstrução da massa glaciária, considerando a Máxima Extensão Glaciária (MEG); 3) discutir os resultados da paleoreconstrução glaciária da Serra Amarela no contexto das montanhas do NW de Portugal.

<sup>1</sup> Departamento de Geografia, Universidade do Porto, Via Panorâmica s/n, 4150-564 Porto, Portugal.

<sup>2</sup> CEGOT—Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Via Panorâmica s/n, 4150-564 Porto, Portugal.

\* Corresponding author / Autor correspondente: [edgarjunceiro@gmail.com](mailto:edgarjunceiro@gmail.com)

## 2. Contexto Geológico e Geomorfológico

Orograficamente, a Serra Amarela, com topo a 1361 m na Louriça (Figura 1a), insere-se no conjunto montanhoso do NW de Portugal. A disposição da serra contrasta com os maciços montanhosos vizinhos. Enquanto as Serras da Peneda, e Cabreira apresentam um desenvolvimento preferencial N-S, a Serra Amarela, tal como a Serra do Gerês, está disposta preferencialmente de NE-SW, sendo limitada a Norte pelo vale do Rio Lima, e pelo vale do Rio Homem a Sul. Acima dos 1000 m de altitude possui uma área de aproximadamente 21 km<sup>2</sup>. A Serra Amarela apresenta uma significativa assimetria entre as vertentes orientadas a W (declives mais suaves) e E (as mais abruptas) e serve como elemento da barreira orográfica do Noroeste de Portugal. O relevo da Serra Amarela apresenta um forte controlo estrutural, com destaque para três direções de fracturação: N-S, NNE-SSW e NW-SE. Destaca-se o acidente tectónico que guia o vale profundamente escavado do rio Cabril e que estabelece um degrau topográfico significativo entre o bloco da Louriça (1355 m) e o bloco de Eiras (1218 m) a leste.

Litologicamente, o maciço da Serra Amarela é constituído por rochas graníticas, registando-se ainda a ocorrência de afloramentos circunscritos de rochas metamórficas, intrusões de massas aplíticas e filões de quartzo, particularmente abundantes com a direção NNE-SSW (Figura 1a).

Segundo Daveau (1977), no maciço podem ocorrer precipitações orográficas volumosas (3750 mm de precipitação média anual). Em termos de temperatura, segundo os valores estimados no relatório apresentado pela AEMET e IM (2011), no setor da Serra Amarela, as temperaturas médias máximas anuais variam entre 14°C e 16°C e temperaturas médias mínimas entre 0°C e 10°C. A temperatura média anual estabelece-se entre 10°C e 12,5°C, chegando a atingir valores médios entre 2,5°C e 5°C no inverno, e durante o verão valores médios entre 17,5°C e 20°C.

## 3. Materiais e Métodos

Neste estudo foram usadas como bases cartográficas: nuvens de pontos LiDAR (MDT e MDS com 50 cm de resolução), cedidas pela comunidade Intermunicipal do Alto-Minho (CIM); Carta Militar de Portugal na escala 1:25.000 (folhas 17 e 30); Carta Geológica de Portugal na escala 1:50.000 (folhas 01-D e 05-B); e ortofotomapas de 2018 e 2021,

disponíveis no Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG). O mapa geomorfológico que cobre uma área de 72 km<sup>2</sup>, foi validado por reconhecimentos de campo e por análise bibliográfica, incluindo também o registo dos elementos geomorfológicos na aplicação móvel Survey123 contabilizando 37 pontos georreferenciados. Na representação geomorfológica, adotou-se a Legenda Geomorfológica da Universidade de Lausanne (Lambiel *et al.*, 2013), combinada com simbologias usadas por Ferreira *et al.* (1999).

Dada a ausência de registos cronológicos sobre as idades dos depósitos glaciares, considerou-se o limite glaciário identificado como a máxima área ocupada pelo glaciar, correspondendo ao MEG. Vários estudos abordam os métodos de reconstrução de paleoglaciar através de modelos numéricos (Vieira, 2008; Pérez-Alberti e Gómez-Pazo, 2023), ou seguindo outros métodos (Schilling e Hollin, 1981; Benn e Hulton, 2010; Pellitero *et al.*, 2016).

Assim, usou-se a toolbox Glacier Reconstruction (GlaRe), para reconstruir o paleoglaciar do Ramisquedo, mediante quatro etapas: (1) definição da área ocupada pelo glaciar; (2) definição da linha de fluxo glaciário; (3) definição da equidistância de pontos (10 m) e do valor de tensão de cisalhamento (*shear stress*) em 190 kPa; (4) interpolação dos pontos e obtenção do modelo numérico da hipsometria glaciária.

Quanto ao cálculo do Equilibrium Line Altitude (ELA), face aos diversos métodos que estimam a altitude da ELA (Pêwé e Reger, 1972; Benn e Lehmkuhl, 2000; Lichtenecker, 1938), optou-se pelos métodos Accumulation Area Ratio (AAR) (Kerschner *et al.*, 2000) e Area Altitude Balance Ratio (AABR) (Osmaston, 2005), tendo em conta que o segundo é mais robusto em paleoglaciar controlados pelo contexto topográfico (Rea, 2009; Santos González *et al.*, 2013).

De acordo com Rea (2009), para o cálculo da ELA por meio de AAR e AABR, é recomendável utilizar rácios representativos para glaciares de média latitude e com proximidade oceânica de 0.6/±0.05 e 1.9/±0.81, respetivamente.

## 4. Resultados

O reconhecimento de campo permitiu a identificação de morfologias típicas de três ambientes geomorfológicos distintos (Figura 2a): glaciário (circos, acumulações morénicas, blocos erráticos, e superfícies graníticas

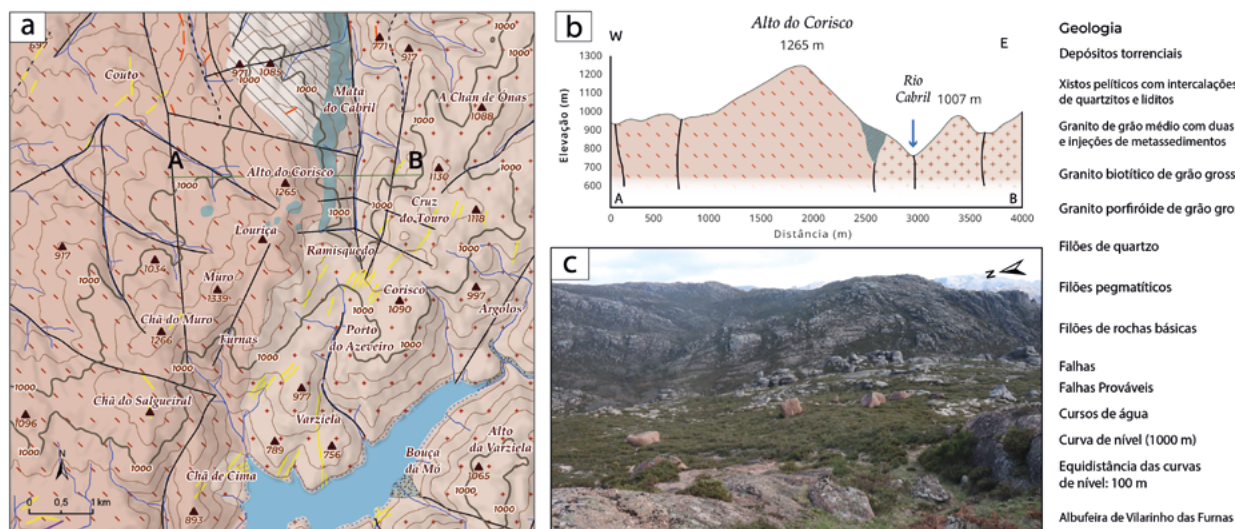


Figura 1. Enquadramento geológico da área de estudo: (a) mapa geológico da Serra Amarela; (b) corte geológico intersectando a cabeceira granítica do Alto do Corisco e o vale de falha do rio Cabril; (c) relevos graníticos residuais na Costa da Cabra (ao fundo) e blocos deslocados de granito rubefacto de grão grosseiro (mais próximos).

Figure 1. Geological setting of the study area: (a) geological map of the Serra Amarela; (b) geological section intersecting the granite headland of Alto do Corisco and the fault valley of the Cabril river; (c) residual granite reliefs on the Costa da Cabra (in the background) and displaced blocks of coarse-grained rubefact granite (closer).

polidas); periglaciário (acumulações crioclásticas e formas de granito pseudo-estratificado); paraglaciário (desmantelamento de depósitos morênicos e movimentos de vertente de vários tipos).

Relativamente às morfologias glaciárias, destaca-se o Circo de Ramisquedo (Figs. 2 e 3), onde são evidentes os processos de desmantelamento das vertentes (*plucking*) e de sobreescavação glaciária (Pérez-Alberti *et al.*, 1993). Os perfis da Figura 3, permitem-nos evidenciar as suas características morfológicas, tais como o fundo ligeiramente aplanado e o formato côncavo que remetem para o efeito da abrasão subglaciária no substrato rochoso. Observaram-se três depósitos com expressão subtil na paisagem (Figura 2c – DP1, DP2, DP3). No entanto permanece a dúvida sobre a génese dos mesmos, sendo interpretados como depósitos.

As morfologias periglaciárias são mais evidentes acima dos 1050m de altitude, sobretudo nas vertentes orientadas a W e NW, e pontualmente a E. Estas abrangem lajes graníticas associadas à pseudo-estratificação do granito e substrato rochoso gelifaturado com fraca imbricação de

blocos crioclásticos. É junto dos topos aplanados de Muro, Louriça e vertentes de baixo-médio declive de Alto do Corisco que estas morfologias predominam de forma contínua (Figura 2a). Nas visitas ao local identificou-se o desenvolvimento de pingentes de gelo e de agulhas de gelo (*needle ice*), acima dos 1000 m de altitude, particularmente, nas vertentes umbrias da montanha (Figura 2a).

A validação de campo das interpretações de gabinete, permitiu aferir a extensão máxima da área glaciada. Esta geometria é balizada a W pelas cabeceiras graníticas da Louriça (1354 m ±), a N pela crista morênica ML2 (1080 m) e a S pela ML1 (1135 m), terminando a E, no fundo do vale do rio Cabril (848 m), perfazendo aprox. 1 km<sup>2</sup> de área glaciada. Assumindo estes limites como o MEG, estima-se que o paleoglaciário do Ramisquedo foi um pequeno glaciário de vale (1340 m de comprimento) que implicou uma sobreescavação expressiva, drenado para E, em direção ao vale do rio Cabril (Figura 3a).

A hipsometria glaciária modelada (Figura 3a), indica que o glaciário do Ramisquedo atingiu um diferencial altimétrico de 483 m em 1340 m de

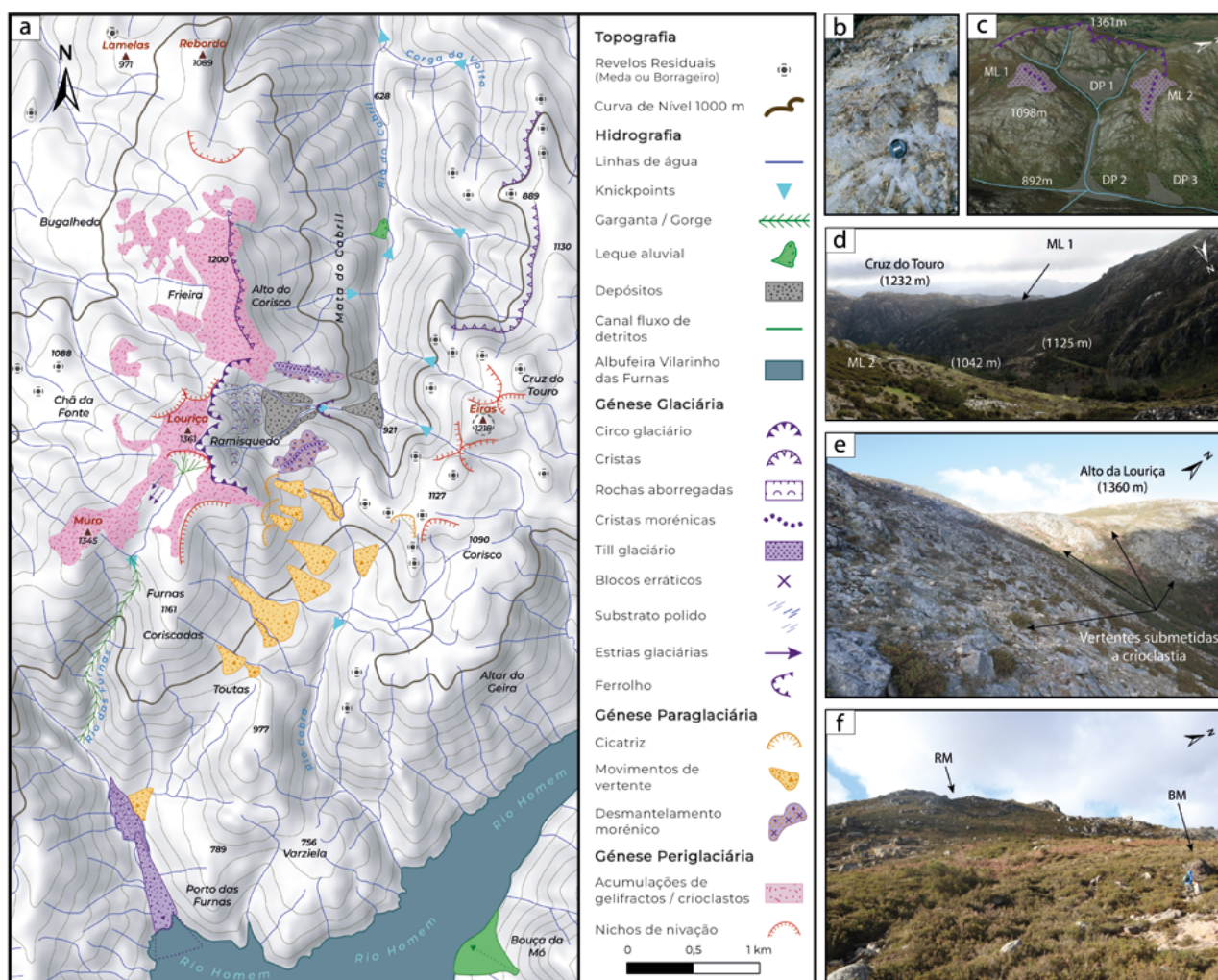


Figura 2. Mapa geomorfológico e registos fotográficos da Serra Amarela: a) mapa geomorfológico; b) foto de agulhas de gelo/pipkrakes com 8 cm de altura, nos taludes da estrada de acesso ao cume da Louriça (27/01/2023); c) vista global do circo glaciário do Ramisquedo (ML1 - moreia lateral sul, ML2 - moreia lateral norte, DP1, DP2, DP3 – Depósitos); d) paredes íngremes da cabeceira do circo glaciário do Ramisquedo e depósitos glaciários laterais ML1 e ML2; e) foto de vestígios periglaciários ao longo das cabeceiras do relevo da Louriça; f) vista de um cone de detritos, com destaque para o bloco metamórfico (BM) alimentado a partir da localização da cicatriz de arranque (RM).

Figure 2. Geomorphological map and photographic records of Serra Amarela: a) geomorphological map; b) photo of needles ice/pipkrake formations with 8 cm of height, at the road embankments facing the Louriça summit (27/01/2023); c) global view of Ramisquedo glacial cirque (ML1 - south lateral moraine, ML2 - north lateral moraine, DP1, DP2, DP3 – Undifferentiated Deposits); d) Ramisquedo glacial cirque steep headwalls resulting from plucking and glacial deposits ML1 and ML2; e) photo of periglacial traces across the headwaters of Louriça relief; f) debris cone view, noting the metamorphic boulder (BM) nourished from the source scar (RM).

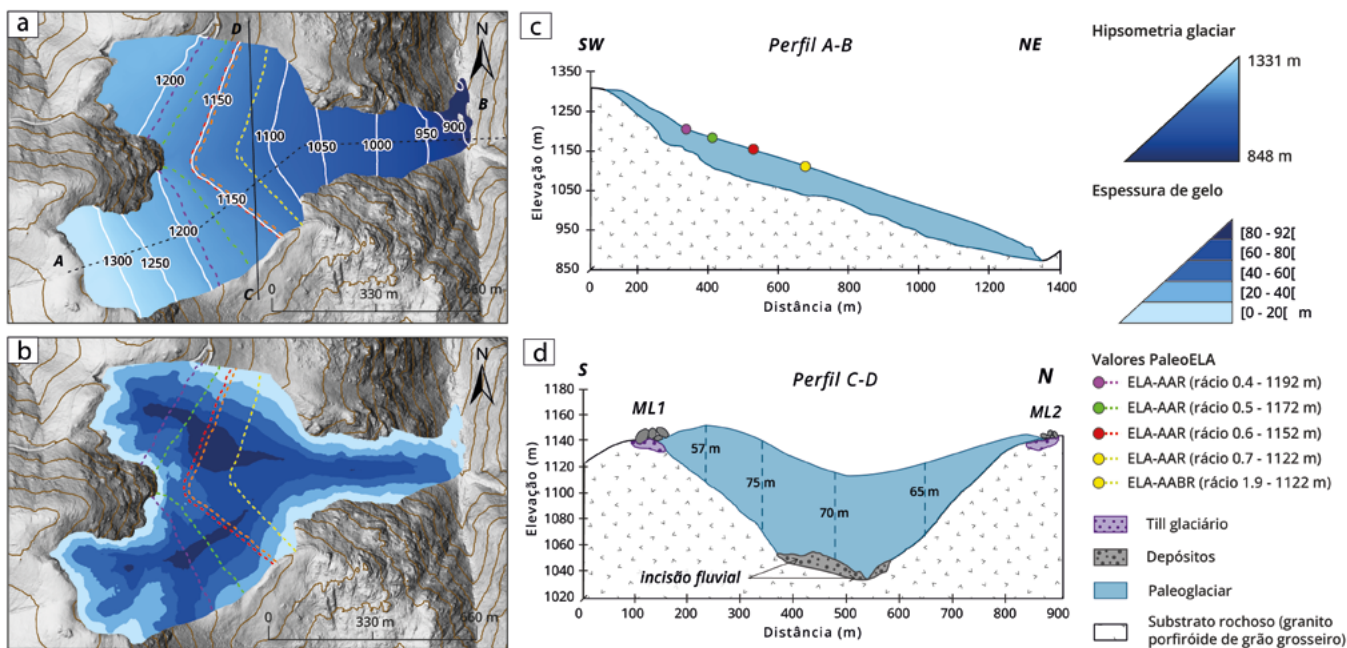


Figura 3. Reconstrução paleoglaciária: a) Hipsometria paleoglaciária do Ramisquedo e b) Espessura de gelo do paleoglaciário, tendo ambas por base o MDT sombreado proveniente de dados LiDAR; c) Perfil longitudinal do paleoglaciário e valores de ELAs; d) Perfil transversal do paleoglaciário do Ramisquedo e ilustração de elementos geomorfológicos identificados.

Figure 3. Paleoglacial reconstruction: a) Ramisquedo paleoglacial hypsometry and b) Paleoglacial's ice thickness, both with LiDAR hillshade in the background; c) Longitudinal profile of the paleoglacial and ELA values; d) Transversal profile of Ramisquedo paleoglacial and illustration of geomorphological landforms.

comprimento, resultando na perda abrupta de altitude e consequentemente na espessura de gelo. Assim, conclui-se que o glaciário do Ramisquedo teve uma área de acumulação curta e, consequentemente, entraria na rapidamente na área de ablação, traduzindo a precoce deposição da ML 1 e 2 logo após a área de acumulação.

O glaciário do Ramisquedo considera-se do tipo simples por se tratar de uma língua glaciária única, que atingiu um máximo de 92 m de espessura de gelo (Figura 3a). Este glaciário terá ocupado, em estimativa, 26,4 km<sup>3</sup> de volume durante o MEG.

Analisando os resultados do cálculo da paleoELA (Figura 2c), segundo os métodos e rácios usados, mostram que os valores finais são relativamente aproximados. O paleoglaciário do Ramisquedo, durante o MEG, no método AAR, registou valores entre 1192 m e 1122 m de altitude. Enquanto que no método AABR, a ELA estabelece-se nos 1122 m de altitude. Relacionando a cota a que se encontram as moreias laterais ML1 e ML2 e a cota atribuída à ELA, o método AABR é mais próximo em termos de valores, justificando a robustez do cálculo pelas variáveis que considera (área glaciada e hipsometria paleoglaciária).

## 5. Discussão e conclusões

Uma boa parte do modelado glaciário apresentado neste estudo, já figurava nos esboços geomorfológicos de Coudé-Gausson (1981), Ferreira *et al.* (1999) e Pérez-Alberti (2022) como o circo do Ramisquedo; a Moreia Lateral Norte (ML 2), localizada aprox. aos 1080 m e com cerca de 226 m de comprimento, a Moreia Lateral Sul (ML 1) com 1135 m de altitude e com ca. de 385 m de comprimento (Figura 2c); e o leque fluvioglaciário de Vilarinho das Furnas, que se estende por 1100 m de comprimento, no setor hoje observável, dado que em 1972, com o enchimento da albufeira de Vilarinho das Furnas, parte dele ficou submerso. Neste trabalho apresentam-se elementos com maior detalhe, tais como: (1) os limites dos depósitos morénicos no circo glaciário do Ramisquedo e os adjacentes depósitos; (2) os limites glaciários máximos; (3) as áreas cobertas por

crioclastos; (4) as dinâmicas de vertente associadas a cones de dejeção e fluxos de detritos; (5) as morfologias fluviais, mais especificamente leques aluviais, incisões fluviais e barrancos (*gullies*). O mapa geomorfológico final revela maior detalhe nas morfologias glaciárias e precisão nos seus limites, enquanto procura atualizar o conhecimento geomorfológico da área em estudo. Em relação aos depósitos DP1, DP2 e DP3, carecem de análises sedimentológicas detalhadas para aferir a sua génese, assim como a caracterização dos leques aluviais e de alguns cones de dejeção sub-tuais.

O estudo de Pérez-Alberti (2022) estima os valores de máxima espessura de gelo a 50 m e ELA-MELM a 908 m de altitude, *i.e.*, valores mais baixos que os cálculos deste estudo. No entanto, o método MELM, segundo Pellitero *et al.* (2016), é menos robusto quando aplicado a glaciares topograficamente controlados, comparativamente ao método AABR. O presente estudo apresenta a afinação dos valores propostos por Pérez-Alberti (2022) dado que os métodos utilizados são baseados em levantamentos de campo precisos e cálculos geoestatísticos aperfeiçoados a reconstruções paleoglaciárias. Comparativamente os valores ELA-AABR para a Serra Amarela estabelecem-se aos 1122 m de altitude, e aos 1085 m e 1057 m na vizinha Serra da Peneda (Figueira *et al.*, 2023). Estes permitem concluir que o diferencial altimétrico resulta da influência do contexto topográfico.

Segundo Pereira *et al.* (2006) a maior/menor ocorrência de crioclastos está relacionada com a textura do granito e condicionamento estrutural do substrato, ajudando a explicar o desenvolvimento preferencial de blockslope/blockfield em granitos de textura fina. No entanto, na Serra Amarela, onde o substrato granítico apresenta uma textura grosseira, observamos que as morfologias crioclasticas não têm tanta expressividade ou desenvolvimento como nas serras vizinhas da Peneda e da Cabreira (Figueira *et al.*, 2023; Pereira *et al.*, 2006; Pereira e Pereira, 2020).

A fotointerpretação associada ao reconhecimento de campo permitiu a identificação do dismantelamento dos depósitos morénicos, e o reconhecimento de dinâmicas paraglaciárias (Ballantyne e Stone, 2013)

que ajudam a compreender a evolução do relevo após a etapa glaciária, em que os processos de vertente e de incisão fluvial dominam.

A utilidade dos dados LiDAR contribuiu para a realização de cartografia geomorfológica de detalhe, principalmente, na identificação de morfologias com menor expressividade. No entanto, as formas glaciárias mais evidentes carecem de datações por métodos absolutos (Cowton *et al.*, 2009) e relativos (Santos-González *et al.*, 2022), de forma a entender-se a cronologia da glaciação que ocorreu na Serra Amarela.

## Referências

- AEMET (Agencia Estatal de Meteorologia, Ministério de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino), IM (Instituto de Meteorologia de Portugal), 2011. Atlas Climático Ibérico: Temperatura do Ar e Precipitação (1971-2000).
- Ballantyne, C. K., Stone, J. O., 2013. Timing and periodicity of paraglacial rock-slope failures in the Scottish Highlands. *Geomorphology*, **186**: 150–161.
- Benn, D. I., Hulton, N. R. J., 2010. An ExcelTM spreadsheet program for reconstructing the surface profile of former mountain glaciers and ice caps. *Computers and Geosciences*, **36**(5): 605–610.
- Benn, D. I., Lehmkuhl, F., 2000. Mass balance and equilibrium-line altitudes of glaciers in high-mountain environments. *Quaternary International*, **65–66**: 15–29.
- Coudé-Gaussens, G., 1981. *Les Serras da Peneda et do Gerês - Étude Geomorphologique*.
- Cowton, T., Hughes, P. D., Gibbard, P. L., 2009. Palaeoglaciation of Parque Natural Lago de Sanabria, northwest Spain. *Geomorphology*, **108**(3–4): 282–291.
- Daveau, S., 1977. Répartition et Rythme des Précipitations au Portugal. *Memórias do Centro de Estudos Geográficos*.
- Ferreira, A. B., Vidal Romani, J., Zêzere, J., Rodrigues, M., 1999. A Glaciação Plistocénica da Serra do Gerês: vestígios geomorfológicos e sedimentológicos. *Centro de Estudos Geográficos*, **37**: 1-150.
- Figueira, E., Gomes, A., Pérez-Alberti, A., 2023. Pleistocene Glaciations of the Northwest of Iberia: Glacial Maximum Extent, Ice Thickness, and ELA of the Soajo Mountain. *Land*, **12**(6): 1-21.
- French, H., Harbor, J., 2013. The Development and History of Glacial and Periglacial Geomorphology. *Treatise on Geomorphology*, **8**.
- J. Weertman., 1971. Shear Stress at the base of a rigidly rotating cirque glacier. *Journal of Glaciology*, **10**(58): 31–37.
- Kerschner, H., Kaser, G., Sailer, R., 2000. Alpine Younger Dryas glaciers as palaeo-precipitation gauges. *Annals of Glaciology International Glaciological Society*, **31**: 80–84.
- Lambiel, C., Maillard, B., Ragamey, B., Martin, S., Kummert, M., Schoeneich, P., Pellitero-Ondicol, R., Reynard, E., 2013. The ArcGIS version of the geomorphological mapping legend of the University of Lausanne. *Institute of Geography and Sustainability, University of Lausanne*, **2**.
- Lichtenecker, V., 1938. Die gegenwärtige und die eiszeitliche Schneegrenze in den Ostalpen. In: GoKtzing, G. (Ed.), *Verhandlungen der III Internationalen Quartar-Konferenz*, Vienna, 141-147.
- Osmaston, H., 2005. Estimates of glacier equilibrium line altitudes by the Area x Altitude, the Area x Altitude Balance Ratio and the Area x Altitude Balance Index methods and their validation. *Quaternary International*, **139**: 22–31.
- Pereira, P., Pereira, D., Rodrigues, L., 2006. Pseudoestratificação granítica na Serra da Cabreira: Geoformas com influência climática e estrutural. *Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, **3**: 215–219.
- Pereira, P., Pereira, D. I., 2020. The Granite and Glacial Landscapes of the Peneda-Gerês National Park. *World Geomorphological Landscapes*, 127–137.
- Pellitero, R., Rea, B. R., Spagnolo, M., Bakke, J., Hughes, P., Ivy-Ochs, S., Lukas, S., Ribolini, A., 2015. A GIS tool for automatic calculation of glacier equilibrium-line altitudes. *Computers & Geosciences*, **82**: 55-62.
- Pellitero, R., Rea, B. R., Spagnolo, M., Bakke, J., Ivy-Ochs, S., Frew, C. R., Hughes, P., Ribolini, A., Lukas, S., Renssen, H., 2016. GlaRe, a GIS tool to reconstruct the 3D surface of palaeoglaciers. *Computers and Geosciences*, **94**: 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.06.008>
- Pérez-Alberti, A. (2021). The glaciers of the Peneda, Amarela, and Gerês-Xurés massifs. In Iberia, Land of Glaciers, Vol. 1: 397–416. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821941-6.00019-0>
- Pérez-Alberti, A., Gómez-Pazo, A., 2023. Glaciers Landscapes during the Pleistocene in Trevinca Massif (Northwest Iberian Peninsula). *Land*, **12**(3): 1-21.
- Perez-Alberti, A., Rodríguez Guitán, M., 1993. Periglacial Forms and block deposits and present periglacial phenomena in Sierras Septentrionales and Sierras Orientales of Galicia (NW Iberian Peninsula).
- Péwé, T. L., Reger, R., 1972. Modern and Wisconsinan snowlines in Alaska. *24th International Geologic Congress*, Section 12.
- Rea, B. R., 2009. Defining modern day Area-Altitude Balance Ratios (AABRs) and their use in glacier-climate reconstructions. *Quaternary Science Reviews*, **28**(3–4): 237–248.
- Rosa M., C., Javier, P., Miguel A., S., David, D.-V., Jane K., W., 2016. El glaciar de Cuerpo de Hombre (Sierra de Béjar, Sistema Central Español) durante la deglaciación: génesis primaria del till supraglaciar de Los Hermanitos. *Geogaceta*, **49**: 39–42.
- Santos-González, J., González-Gutiérrez, R. B., Gómez-Villar, A., Redondo-Vega, J. M., Peña-Pérez, S. A., Melón-Nava, A., Pisabarro-Pérez, A., 2022. The use of Schmidt-hammer for relative-age dating of glacial, periglacial and paraglacial deposits in NW Spain (No. ICG2022-59). Copernicus Meetings.
- Santos-González, J., Redondo-Vega, J. M., González-Gutiérrez, R. B., Gómez-Villar, A., 2013. Applying the AABR method to reconstruct equilibrium-line altitudes from the last glacial maximum in the Cantabrian Mountains (SW Europe). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **387**: 185–199.
- Schilling, D. H., Hollin, J. T., 1981. Numerical reconstructions of valley glaciers and small ice caps. In: Denton, G.H. (Ed.), *The Last Great Ice Sheets*, p. 207–220). Wiley & Sons.
- Vieira, G. T., 2008. Combined numerical and geomorphological reconstruction of the Serra da Estrela plateau icefield, Portugal. *Geomorphology*, **97**(1–2): 190–207.