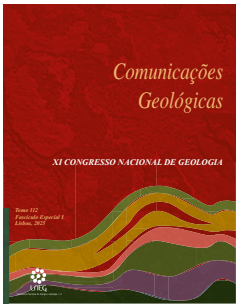
Comunicações Geológicas

Comunicações Geológicas (2025) 112, Especial I, 355-358
ISSN: 0873-948X; **e-ISSN**: 1647-581X

Contribuição para a melhoria da cartografia geológica da Bacia Carbonífera do Buçaco

Contribution to the improvement of the Buçaco Carboniferous Basin geological mapping



P. A. Ferreira[1*], J. M. Romão[1]

DOI: https://doi.org/10.34637/k4re-pj09
Recebido em 30/09/2023 / Aceite em 04/04/2024
Publicado online em abril de 2025
© 2025 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP

Artigo original
Original article

Resumo: A revisão da cartografia geológica da área onde se situa a Bacia Carbonífera do Buçaco (BCB) mostrou que os seus limites se encontram ou fortemente tectonizados ou em discordância angular sobre litologias neoproterozóicas e paleozóicas. Os sedimentos mesocenozóicos cartografados também estabelecem limites com as unidades da BCB. No limite oriental da bacia foi identificada uma falha normal gerada em regime distensivo, ativa durante a deposição das unidades litoestratigráficas datadas do Gzheliano, enquanto no limite ocidental foi identificada uma tectónica compressiva tangencial (direção ENE-WSW), com transporte de material para ENE, posterior ao evento extensional. Os episódios tectónicos descritos estão associados às fases finais da Orogenia Varisca.

Palavras-chave: Bacia Carbonífera do Buçaco, cartografia geológica, estrutura, limites litoestratigráficos e tectónicos.

Abstract: The geological cartography review of the area where the Bussaco Carboniferous Basin (BCB) is located showed that its limits are either strongly tectonized or in angular discordance over Neoproterozoic and Paleozoic lithology's. Mapped mesocenozoic sediments also settle limits with the BCB units. At the eastern limit of the basin, a normal fault generated in an extensional regime was identified, active during the deposition of lithostratigraphic units dated from the Gzhelian, while on the western boundary, a tangential compressive tectonic was identified (ENE-WSW direction), with material transport to ENE, posterior to the extensional tectonic event. The described tectonic episodes are associated with the final stages of the Variscan Orogeny.

Keywords: Bussaco Carboniferous Basin, geological mapping, structure, lithostratigraphic and tectonics limits.

[1] UGHGC, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, LNEG, Portugal.

[*] Autor correspondente / Corresponding author: paulo.ferreira@lneg.pt

1. Introdução

A Bacia Carbonífera do Buçaco (BCB) aflora em áreas dispersas a norte de Coimbra numa extensão de cerca de 30 km, com orientação próxima do N-S. Esta bacia intra-montanhosa insere-se no sector oriental da Zona de Cisalhamento Porto-Coimbra-Tomar (ZCPCT), com uma largura muito variável (0,5 a 2 km, em termos médios), truncando o extremo NW do sinclinal paleozoico do Buçaco. É delimitada, na sua margem ocidental, por contactos irregulares com várias formações geológicas do Mesozóico e Paleozóico e, no sector oriental, por limites relativamente retilíneos com o Grupo das Beiras e unidades do Paleozóico.

Os limites entre a sucessão litosestratigráfica continental da BCB e as formações mais antigas, já estruturadas pelas principais fases de deformação varisca, antes da deposição da sequência mais recente, são de distinta natureza. O contacto oriental é efetuado com o Grupo das Beiras ou com diferentes níveis estratigráficos da sucessão ordovícico-silúrica do Sinclinal do Buçaco e tem sido considerado, regra geral, uma discordância angular que fossiliza um paleorelevo (Aguado *et al*., 2013). O seu contacto ocidental, com filitos do Terreno Finisterra datados do Devónico Superior (Chaminé *et al.*, 2003), é marcado por tectónica compressiva associada às fases finais da Orogenia Varisca.

A BCB foi estudada por inúmeros autores, nomeadamente Wagner (1983) e Machado *et al.* (2018) que a dataram do Carbónico Superior (Pennsylvánico), com base em fósseis vegetais. Wagner *et al.* (1983), formalizaram a existência de três formações na BCB, designadas da base para o topo por: (i) Formação de Algeriz (FA), corresponde à sequência composta por 200 m de brechas, à qual se sobrepõem conglomerados vermelhos imaturos, e arenitos; (ii) Formação de Vale da Mó (FVM), representada por 45 m de siltitos e argilitos fossilíferos, com algumas camadas de arenitos intercalados, e xistos argilosos carboníferos; (iii) Formação de Monsarros (FM), constituída por uma sequência de 600 m de conglomerados grosseiros, com uma base de arenitos e argilitos ricos em matéria orgânica. Wagner *et al.* (1983) definiram dois setores, designando o setentrional como Algeriz-Vale da Mó-Vila Nova de Mosarros, onde aflora Sinclinal de Algeriz e o setor meridional ocupado pelo Sinclinal de Santa Cristina. Aguado *et al.* (2013), organizaram a BCB numa sucessão de unidades lioestratigráficas, com base num modelo sedimentar para a sua deposição, claramente condicionado pela tectónica. Domingos *et al.* (1983) e Gama Pereira *et al.* (2008) definiram os traços gerais da organização estrutural da BCB, identificando dobramentos gerados por deformação compressiva, com desenvolvimento de falhas de pendor suave para SW, que indiciam transporte de material de SW para NE, mas sem clivagem associada. A maioria dos estudos efetuados tiveram como suporte a cartografia elaborada por Nery Delgado em 1908, publicada, a título póstumo, por Carrington da Costa (1950).

O presente trabalho tem como propósito contribuir para a melhoria da cartografia geológica da BCB, tendo-se dado particular enfase aos limites com as unidades geológicas vizinhas. Esta revisão cartográfica enquadra-se no âmbito da preparação da Folha 3 da Carta Geológica de Portugal, na escala 1/ 200 000.

2. Novos dados cartográficos

Tendo por base os dados já disponíveis sobre as unidades litoestratigráficas que integram a BCB, iniciou-se a revisão dos seus limites geológicos a partir de uma base topográfica 1/25 000.

A observação da figura 1 permite constatar que os afloramentos da BCB se distribuem por três setores designados, de norte para sul, por Bolfiar, Luso e Santa Cristina.

Os contactos com o bordo ocidental da BCB ocorrem, maioritariamente, com formações do mesocenozóicas da Bacia Lusitaniana, que se sobrepõem em discordância angular cartográfica sobre as litologias da BCB. Porém, no setor do Luso e na extremidade sul do setor de Santa Cristina os limites, do bordo oeste da BCB, são materializados pelos cavalgamentos do Buçaco e do Monte Redondo, ambos com atitude geral NNW-SSE, 40^0-65^0SW. Estes cavalgamentos são responsáveis pelo deslocamento de litologias muito deformadas do Terreno Finisterra (Ribeiro *et al.*, 2013; Moreira *et al.*, 2019) sobre os depósitos continentais da BCB, consequência de movimentos compressivos ENE-WSW, posteriores ao Pennsylvánico (Gzheliano) (Machado *et al.*, 2018). Antes da definição do Terreno Finisterra, as litologias cavalgantes dos acidentes referidos foram consideradas com pertencendo às unidades de Albergaria-a-Velha e de Arada da Zona de Ossa Morena (Chaminé *et al.*, 2003; Machado *et al.*, 2011).

O contacto oriental da BCB, no sector do Luso, é marcado pela falha Póvoa do Gago/Salgueiral (Figura 1), de atitude geral NNW-SSE, 65^0-85^0SW, que coloca as unidades carboníferas, presentes no bloco ocidental abatido, em contacto com litologias xistentas e grauvacóides do Grupo das Beiras, atribuídas ao Neoproterozoico. Este acidente, ativo durante o enchimento da BCB, foi gerado em regime distensivo.

Mais a sul, no sector Santa Cristina, foi reconhecida a sobreposição dos conglomerados e arenitos do Gzheliano, por discordância angular, sobre os metassedimentos das unidades ordovícicas e do Grupo das Beiras, a oriente.

O setor de Bolfiar é o que apresenta uma extensão cartográfica mais reduzida, quase totalmente limitado por xistos indiferenciados, intercalados por bancadas finas quartzíticas ou quartzo areníticas, com exceção de uma pequena área mais a norte limitada por depósitos de cobertura.

3. Análise de resultados

A cartografia realizada permitiu confirmar que os limites entre a sucessão litoestratigráfica continental da BCB e as formações mais antigas são de natureza distinta.

Alguns dos limites orientais da BCB são controlados por falhas normais, que refletem margens abruptas, formadas em regime extensional, recortadas transversalmente por falhas de desligamento esquerdo. Os contactos com o sinclinal do Buçaco ocorrem através de discordância angular que reflete um paleorelevo (Figura 1). Grande parte do contacto ocidental é delimitado por formações mesocenozóicas da Bacia Lusitaniana, maioritariamente por unidades do Triásico, que se sobrepõem em discordância angular às litologias da BCB. Excetuam-se a esta caraterística os dois cavalgamentos com o Terreno Finisterra, um na zona do Luso, que foi designado por Cavalgamento do Buçaco, e outro a Sul de Santa Cristina, designado por Cavalgamento de Monte Redondo. Estes dois acidentes, ativos na transição do Carbonífero para o Pérmico, colocam as unidades do Devónico Superior sobre as unidades do Carbónico Superior.

4. Evolução estrutural da Bacia Carbonífera do Buçaco

A génese do corpo sedimentar que constitui a BCB e a sua evolução estrutural ocorreram no final do evento tectónico Varisco, ainda compressivo, quando o soco estava mais estruturado, rígido e sobrelevado.

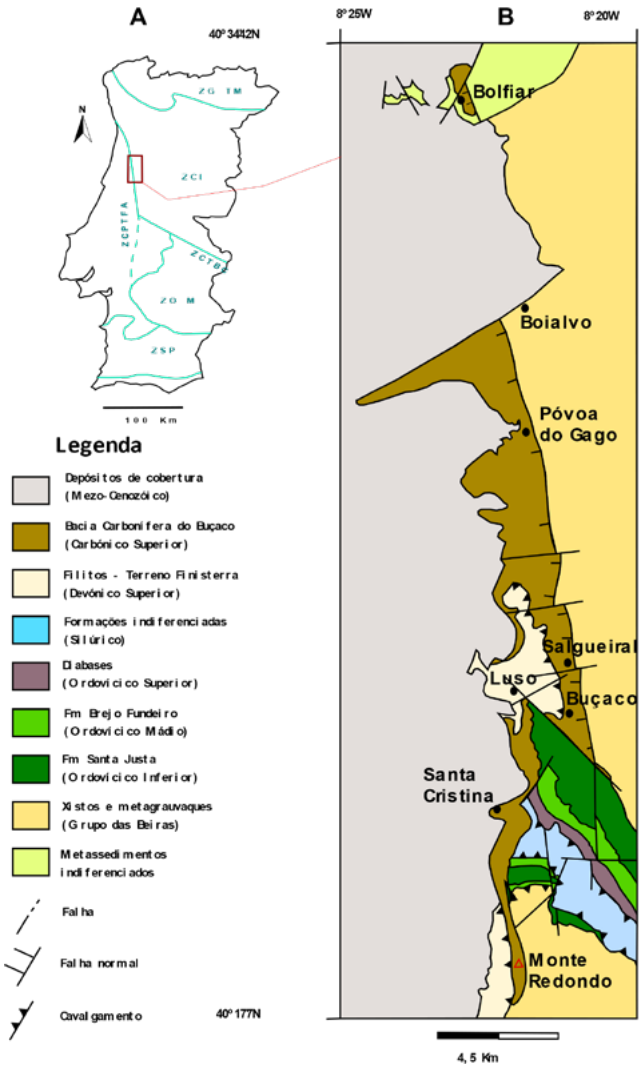


Figura 1. (A) Unidades geotectónicas de Portugal e localização da BCB; (B) Esboço geológicocom os limites litoestratigráficos e estruturais da BCB.

Figure 1. (A) Portugal geotectonic units and BCB location; (B) Geological sketch with the BCB's lithostratigraphic and structural boundaries.

A instalação da BCB terá sido condicionada por movimentos da ZCPCT nas fases tardi-variscas. Contudo, este mega domínio de cariz regional, com azimute N10ºW, é caraterizado pelo aparecimento de setores imbricados, em "*échelon*", que descrevem estruturas regionais a desenharam sigmoides, com critérios de movimento dextrógiro durante as fases varriscas (Chaminé *et al.*, 2003). Os elementos estruturais definidores da bacia estão associados à fraturação frágil, dentro dos limites da faixa de cisalhamento, indiciando zonas de fragilidade tectónica posteriores à formação da estrutura maior dobrada pela primeira fase de deformação Varisca, o sinclinal do Buçaco. A disposição sequencial das litologias da BCB, com proveniência no soco antigo, e a sua organização estrutural sugerem que a região abatida onde circularam e se depositaram os sedimentos, posteriormente compactados e litificados, pode corresponder a uma bacia *pull-apart* (Gama Pereira, *et al.*, 2008).

O aumento da ductilidade associado, por um lado, à subsidência da bacia, por outro ao espessamento da crusta devido ao regime compressivo, promoveu o desenvolvimento de dobramentos progressivamente mais apertados e alongados.

A sucessão do BCB encontra-se dobrada, constituindo uma

megaestrutura em sinclinal assimétrico (Domingos *et al.*, 1983, Vale Aguado *et al.*, 2013), cujo traçado da sua superfície axial apresenta orientação NNW-SSE e é subvertical (Figura 3). Esta dobra cilíndrica, de extensão quilométrica e de cerca de 1,5 km de largura, é caracterizada por não apresentar evidências de vergência. No seu flanco ocidental, as camadas com azimute próximo do N-S pendem para este (10º-30º), enquanto, no flanco oposto os estratos de atitude similar tendem a ser ligeiramente mais inclinados, em consequência, da proximidade à falha de Póvoa do Gago/Salgueiral (Figura 1).

É de notar ainda que na secção (AB) da figura 2, localizada no sector norte da BCB (Figura 3), o flanco oeste do sinclinal, representado pela unidade mais recente da sucessão reconhecida, está coberto discordantemente pelas litologias das unidades do Triásico, pelo que não é possível determinar o seu *terminus*. Para sul, este flanco diminui de expressão cartográfica e espessura pelo facto de ter sido truncado pelo cavalgamento do Buçaco, como se pode observar no corte CD da figura 2.

O flanco oriental do sinclinal, constituído por todas as formações da sucessão BCB, é delimitado pela falha Póvoa do Gago/Salgueiral, responsável pelo contacto entre a unidade basal da série já descrita e os xistos e metagrauvaques do Grupo das Beiras. A expressão cartográfica das unidades, inferior e intermédia, diminui significativamente para sul (secção CD da figura 2), devido ao facto de os estratos estarem com maior pendor junto à falha e, eventualmente, por condicionamento na deposição dos sedimentos, refletindo-se na disposição e espessura das referidas

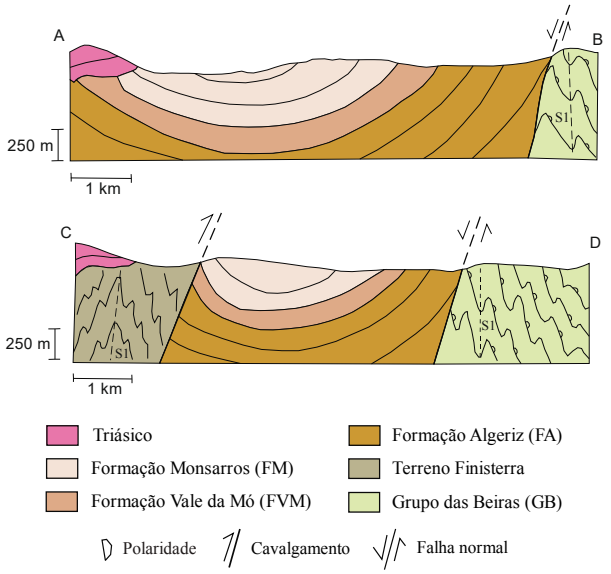


Figura 2. Cortes geológicos AB e CD, representados no mapa geológico esquemático da figura 3.

Figure 2. Geological sections AB and CD, represented in the schematic geological map of figure 3.

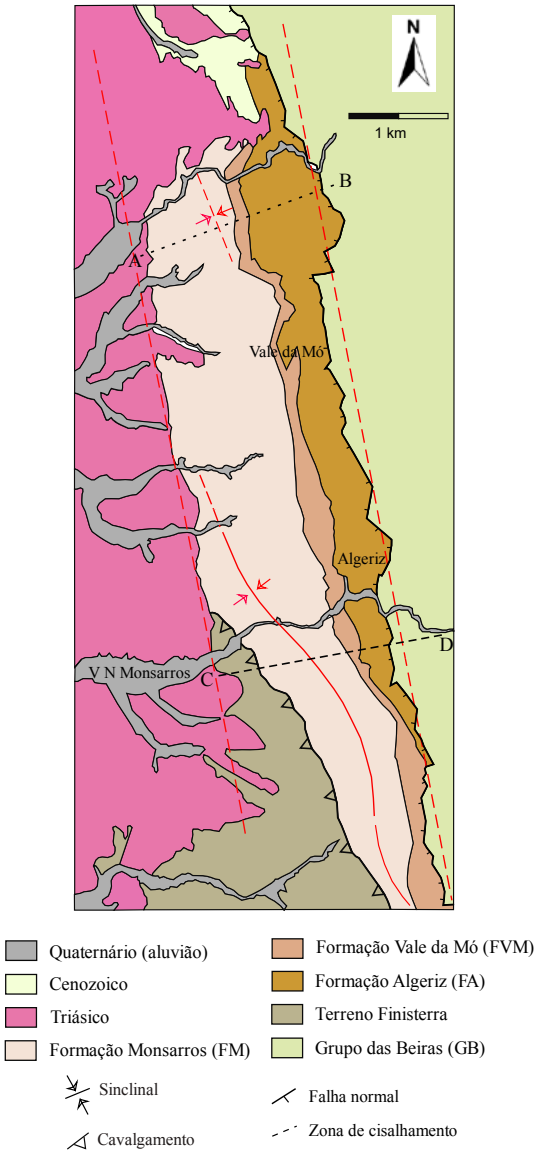


Figura 3. Mapa geológico da Bacia do Buçaco com a representação das unidades estratigráficas e da sua estrutura no setor norte da bacia (modificado de Pereira et al., 2008).

Figure 3. Geological map of the Bussaco Basin with the representation stratigraphic units and their structure in the northern sector of the basin (adapted from Pereira et al., 2008).

unidades. A geometria e atitude da dobra em sinclinal é compatível com uma tensão máxima compressiva de orientação WSW-ENE e, consequentemente, uma tensão mínima vertical, bem como uma tensão intermédia subparalela ao seu eixo. Este campo de tensões, prolongado no tempo, explicaria os cavalgamentos do Buçaco e de Monte Redondo, caracterizados por transporte de material para ENE, o que implicaria um encurtamento segundo a direção WSW-ENE.

Na figura 4 é apresentado um esquema estrutural com a representação cartográfica das principais famílias de falhas relacionadas com a instalação e evolução da BCB. A distribuição espacial dos afloramentos que fazem parte da BCB e a sua disposição estão fortemente condicionadas pela ZCPCT. No setor norte dispõem-se segundo o alinhamento geral N10ºW interrompido na região Luso-Buçaco por fraturação com orientação N50ºW. Este sistema de falhas encontra-se associado a cisalhamento esquerdo de 2ª ordem, com uma componente vertical de abatimento, em ambos os limites dessa mesma zona, deslocando a parte sul da bacia mais para ocidente (Gama Pereira *et al.*, 2008). Na região de Santa Cristina o bordo oriental desenvolve-se com um alinhamento N30ºE, truncando toda a frente da megaestrutura em sinclinal do Buçaco. Daí para sul, a disposição da bacia e sua estruturação, volta a seguir a orientação N10ºW. No setor intermédio da bacia o limite oriental é materializado por uma falha normal, de orientação geral N10ºW, recortada pela família de falhas transversais, com movimento de desligamento esquerdo, e orientação geral N80ºE. O limite norte do setor intermédio é materializado por uma falha de orientação N60ºE, que marca o contacto entre a BCB e a Bacia Lusitaniana. Ao longo desta falha estende-se a BCB mais

para oeste, atingindo, neste local, cerca de 4 km de largura. Na região Luso e no limite do setor sul da BCB, no seu bordo W encontram-se os cavalgamentos do Buçaco e do Monte Redondo, respetivamente.

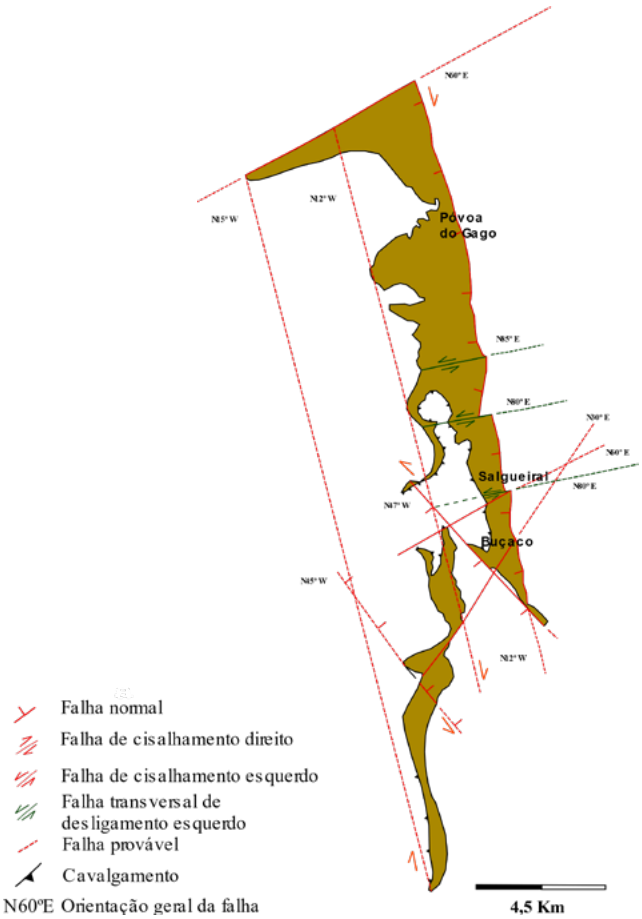


Figura 4. Principais famílias de falhas associadas ou que afetam a BCB.

Figure 4. Main fault families associated with or affecting the BCB.

5. Conclusões

A sucessão sedimentar continental e intra-montanhosa da BCB, depositada durante o Gzheliano (Machado *et al.*, 2018), foi condicionada por um forte controlo estrutural inicial, relacionado com a atuação da ZCPCT. Mais tarde, foi afetada por episódios de deformação distensiva, transitando e culminando com um regime de deformação compressiva.

A identificação e representação cartográfica da falha normal de Póvoa do Gago/Salgueiral, localizada ao longo de parte do limite oriental da BCB, numa extensão de pelo menos 10 km, sugere a presença de um regime distensivo contemporâneo da sedimentação da sequência litoestratigráfica na referida bacia.

O regime tectónico distensivo inverteu-se passando para um regime compressivo, evidenciado pelo dobramento das litologias da BCB e pela presença dos cavalgamentos do Buçaco e do Monte Redondo, os quais se manifestaram, localmente, por acidentes de baixo ângulo e reduzida extensão, bem como pela presença de estrias nos planos de estratificação nas unidades da BCB. Estes dados indiciam um transporte de material no sentido ENE e um eixo de compressão máxima com orientação WSW-ENE.

Os dados de campo apontam para que o regime compressivo seja posterior à idade da sucessão da BCB, ou seja, já de idade pérmica.

Os dois episódios de deformação descritos, que se sucederam no tempo, foram marcados por uma transição de regime distensivo para compressivo, estando relacionados com as fases finais da orogenia Varisca.

Tendo em conta a complexidade tectónica observada, quer na estrutura interna da BCB, quer na sua envolvente, persistem dúvidas, quer relativamente ao controlo estrutural inicial, quer à evolução da bacia no detalhe. Nesta perspetiva, seria conveniente a realização de trabalhos de cartografia mais pormenorizados, quer ao nível tectónico-estrutural, quer ao nível da litoestratigrafia das unidades da bacia, suportados por geocronologia fina.

Referências

Carirington da Costa, 1950. *Notícia sobre uma carta geológica do Buçaco de Nery Delgado*. *Serv. Geol. Port.*

Chaminé, H., Gama Pereira, L. C., Fonseca, P. E., Moço, L. P., Fernandes, J. P., Rocha, F. T., Flores, D., Pinto de Jesus, A., Gomes, C., Soares de Andrade, A. A., Araújo, A., 2003. Tectonostratigraphy of middle and upper Palaeozoic black-shales from the Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo shear zone (W Portugal): New perspectives on the Iberian Massif. *Geobios*, **36**(6): 649-663.

Domingos, C. G., Freire, L. S., Silva, F. G., Gonçalves, F., Pereira, E., Ribeiro, A., 1983. The structure of intramontane upper Carboniferous Basins in Portugal. In: Lemos de Sousa, M. J., Oliveira, T., (Eds.), The Carboniferous of Portugal. *Mem. Serv. Geol. Portugal*, **29**: 187-194.

Gama Pereira, L. C., Pina, B., Flores, D., Ribeiro, M. A., 2008. Bacia "Permo-Carbónica" do Buçaco – Um modelo de "pull-apart". *GGET'2008 – 8ª Conferência Anual (Porto),* 110-113.

Machado, G., Vavrdová, M., Fonseca, M., Fonseca, P. E., Rocha, F., 2018. Stratigraphy and Paleontology of the Pennsylvanian continental Buçaco Basin (NW Iberia). *Geobios*, http://doi.org/10.1016/j.geobios.2018.07.001

Machado, G., Francu, E., Vavrdová, M., Flores, D., Fonseca, P. E., Rocha, F., Gama Pereira, L. C., Gomes, A., Fonseca, M., Chaminé, H. I., 2011. Stratigraphy, palynology, and organic geochemistry of the Devonian-Mississippian metasedimentary Albergaria-a-Velha Unit (Porto-Tomar shear zone, W Portugal). *Geological Quarterly*, **55**: 139-164.

Moreira, N., Romão, J., Dias, R., Ribeiro, R., Pedro, J., 2019. The Finisterra-Léon-Mid German Cristalline Rise Domains; proposal of a new terrane in the Variscan Chain. In: Quesada, C., Oliveira, J. (Eds.). Geology of Iberia: a geodynamic approach, Cap. 7, Springer.

Ribeiro, A., Romão, J., Munhá, J., Rodrigues, J., Pereira, E., Mateus, A., Araújo, A., 2013. Relações tectonostratigráficas e fronteiras entre a Zona Centro-Ibérica e a Zona Ossa Morena do Terreno Ibérico e do Terreno Finisterra. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J. C., (Eds.) Geologia de Portugal, 1, Geologia Pré-mesosoica, Escolar Editora, 439–481.

Valle Aguado, B., Azevedo, M., Gonçalves, R., 2013. A sedimentação carbonífera na Bacia do Buçaco (Centro de Portugal). In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg, J. C. (Eds.), Geologia de Portugal, Volume I – Geologia Pré-mesozoica, Escolar Editora, 259-27.

Wagner, H., 1983. The Palaeogeographical and age relationships of the Portuguese Carboniferous floras with those of other parts of the Western Iberian Peninsula. In: Lemos de Sousa, M. J., Oliveira, T., (Eds.), The Carboniferous of Portugal. *Mem. Serv. Geol.*, **29**: 153-177.

Wagner, R. H., Lemos de Sousa, M. J., Gomes da Silva, F., 1983. Stratigraphy and fossil flora of the upper Stephanian C of Buçaco, North of Coimbra (Portugal), In: Lemos de Sousa, M. J. (Ed.), *Contributions to the Carboniferous Geology and Palaeontology of the Iberian Peninsula*. Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, Mineralogia e Geologia, 127-156.