UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

***NOVOS DADOS GEOCRONOLÓGICOS DO
TERRENO FINISTERRA NO SETOR ENTRE
ESPINHO E ALBERGARIA-A-VELHA,
PORTUGAL***

Nazaré da Silva Almeida

Orientador: Prof. Dr. Marcos Egydio Silva

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

SÃO PAULO
2013

ÍNDICE

RESUMO/ABSTRACT	4
I. INTRODUÇÃO	7
1.1. Objetivos	7
1.2. Contexto Tectônico Regional	8
1.3. Localização geográfica e geológica da área de estudo	12
1.4. Terreno Finisterra – Estratigrafia	15
II. MATERIAIS E MÉTODOS	18
2.1. Petrotrama	19
2.2. Microscopia eletrônica de varredura – MEV-EDS	19
2.3. Geocronologia: Método U/Pb (SHRIMP e ICP-LA-MS) Sm/Nd e K-Ar	21
III. RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
3.1. Geologia Estrutural – Unidade de Espinho	24
3.1.1. Medidas de Campo	28
3.2. Petrologia - Análise Microscópica & MEV	32
- Unidade S. João-de-Ver	32
- Unidade de Espinho	37
- Unidade de Lourosa	44
3.3. Dados Geocronológicos	52
3.3.1. Unidade de Espinho	53
- Amostra SP5	53
- Amostra CRTG1	58
3.3.2. Unidade de Lourosa	65
- Amostra SP1	65
- Amostra EN	69
- Amostra PA1	72

- Amostra PA2	77
- Amostra SP2	81
3.3.3. Rocha total – Sm/Nd	83
IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
V. BIBLIOGRAFIA	89
VI. ANEXOS	95

RESUMO

Atualmente, a organização do Maciço Antigo, em Portugal, é feita em três placas ou terrenos denominados Avalonia, Finisterra e Ibéria (Ribeiro, A., et al., 2006). Neste arranjo, durante o Ciclo Variscano, a falha cisalhante direita de Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo (PTFA) conecta a sutura SW Ibérica com a sutura NW Ibérica, e separa ainda, entre Porto e Tomar, a Zona Central Ibérica (ZCI) de uma placa a Oeste, designada por Finisterra.

A aplicação de diferentes métodos geocronológicos permitiram uma melhor compreensão da evolução tectônica do empilhamento estratigráfico das unidades que englobam o terreno Finisterra, enquanto que a análise estrutural trouxe informações relevantes sobre as condições e processos deformacionais ocorridos no decorrer da evolução do orógeno.

As idades determinadas para zircões herdados indicam a participação de material crustal reciclado de várias idades: neoarqueanas, mesoproterozoicas e neoproterozoicas. Uma importante população de idades neoproterozoicas/cambrianas ($\approx 550\text{Ma}$) foi também detectada, indicando o envolvimento de embasamento neoproterozoico nos processos de fusão originados durante a orogenia Variscana. A presença de idades mesoproterozoicas, sugere o envolvimento de uma área cratônica com afinidades grenvillianas (c. $0.9\text{-}1.1\text{Ga}$), enquanto que as idades mais recentes (c. 358 Ma , 335 Ma) testemunham o evento da deformação varisca, culminado com forte hidrotermalismo na região ($\approx 270\text{Ma}$).

As idades modelo de manto empobrecido (T_{DM}) conseguidas através da análise das Unidade de Espinho e São João de Ver, revelam que o terreno Finisterra deriva de um retrabalhamento de uma crosta comum típica de preenchimento bacinal com fontes variáveis entre $\approx 550\text{Ma}$ e $\approx 2800\text{Ma}$, fato que explica a grande variedade de idades obtidas das análises U/Pb.

Evidências da primeira fase de deformação foram mascaradas na região no entanto, a fase D2 é marcada pela horizontalização dos planos da foliação S1 por ação do carreamento para SW, que coloca a ZCI sobre o terreno Finisterra em que, a componente transcorrente do carreamento, desenvolveu uma lineação de estiramento mineral de direção $N37^\circ W$. A fase D3 caracteriza-se pela amenização do campo de forças do carreamento, originando dobras com planos axiais inclinados ($N38^\circ W$, $57^\circ NE$), com atenuação e cessação da componente vertical dos empurrões. Restando apenas a componente horizontal

marcada pela formação de uma lineação de estiramento N16°W, paralela ao “trend” que acompanha o movimento cisalhante direito, hoje designada por Faixa de Cisalhamento Porto-Tomar.

ABSTRACT

Currently, the Maciço Antigo (Portugal) consists of three plates or terrains: Avalonia , Finisterra and Iberic (Ribeiro, A., et al., 2006). During the Variscan cycle, the dextral Porto-Tomar - Ferreira do Alentejo (PTFA) shear zone connects the suture SW Iberian with the suture NW Iberian and separates, the Central Iberic Zone (ZCI), located to East, and the Finisterra terrene at West.

Different geochronological methods have allowed a better understanding of the tectonic evolution of the stratigraphic units that comprising the Finisterra Terrain, while the structural geology has brought relevant information about the conditions and deformational processes occurred during the evolution of the orogen.

The ages from inherited zircons indicate the involvement of recycled crustal material of different periods: Neo-archaeans, Mesoproterozoic and Neoproterozoic. An important Neoproterozoic/Cambrian ($\approx 550\text{Ma}$) population was also detected, indicating the involvement of the neoproterozoic basement in the process of fusion during the Variscan orogeny. The presence of mesoproterozoic ages, suggests the involvement of an cratonic area with Grenvillian (c. 0.9- 1.1Ga) affinities, while more recent ages (c. 358 Ma , 335 Ma) attest the Variscan deformation event, that culminating with a strong local hydrothermalism (270Ma) .

The model ages (TDM) achieved by analyzing of the Espinho and São João de Ver units, reveals that the Finisterre terrain derives from a reworking of a common crust with variable sources between $\approx 550\text{ Ma}$ and $\approx 2800\text{ Ma}$ typical of bacinal fill, which explains the large variety of ages obtained from the U / Pb analysis.

Evidences of the first deformation phase have been masked by the next phases. The phase D2 is marked by thrust to SW, causing the horizontalization of S1 foliation. This deformation episode has put the CIZ over the Finisterra Terrain, and the development of the stretching lineation at N37°W, which show the transpressive character of this deformation. The D3 phase was marked by the softening of the stress field, and the formation of inclined axial plane folds (N38°W, 57°NE). In the final stages of the phase 3 only a horizontal component remains, generating a horizontal stretching lineation, N16°W, follow the right movement of the Porto-Tomar shear zone.

I. INTRODUÇÃO

Esta dissertação de mestrado representa o resultado de um estudo geocronológico/estrutural das unidades que compõem o, localmente conhecido, como Tereno Finisterra e que foram atingidas pela Zona de Cisalhamento Porto-Coimbra-Tomar (ZCPCT), uma importante estrutura tectônica, formada e/ou retrabalhada durante a orogênese Variscana/Hersiniana, que conferiu à região a justaposição de terrenos com características estratigráficas, tectônicas e metamórficas distintas, originando na compartimentação tectônica atual da Península Ibérica.

1.1. Objetivos

Este trabalho assentou, essencialmente, em um estudo geocronológico detalhado das unidades que envolvem o terreno Finisterra, e que durante tanto tempo foram consideradas como pertencentes a Zona Ossa Morena. Diferenças na proveniência dos sedimentos, que hoje compõem essas unidades, e o rumo do preenchimento da bacia (que hoje dá lugar ao terreno), levou à separação (recentemente) do Finisterra, da Zona Ossa Morena. O facto deste terreno ser afeto da Falha Porto-Coimbra-Tomar (FPCT), torna o seu estudo detalhado crucial para o entendimento da evolução tectônica varisca e/ou anterior.

A zona de cisalhamento (FPCT) representa uma estrutura tectônica de grande importância para o entendimento da história da cadeia varisca, em Portugal, sobre a qual não existe uniformidade de opiniões entre os diversos autores que estudaram a região. A maioria dos autores que estudaram a região, relacionam esta falha unicamente à orogênese Variscana/Hercíniana, enquanto que outros destacam evidências de um retrabalhamento, atribuindo à zona de cisalhamento uma idade mais antiga, Cadomiana (Noronha et al., 1979; Gama Pereira, 1987; Chaminé et al., 1998b; Noronha & Leterrier 2000).

Neste sentido, este estudo tem como finalidade trazer novos dados geocronológicos e, desta forma, complementar o grande acervo de estudos já existentes contribuindo, assim, para a construção de um quadro geotectónico da região.

1.2. Contexto Tectônico Regional

O desenvolvimento de um *rift* na margem norte do Gondwana, nos períodos Cambriano/Ordoviciano, teria formado Avalonia, uma microplaca separada, além de terrenos peri-Gondwana, agrupados sob o termo de microplaca Armorica (Fig. 1) (Azor *et al.*, 2008).

A invasão do continente por mares pouco profundos iria traduzir-se, mais tarde, na presença do oceano Rheic devido a abertura e alargamento da bacia oceânica e a separação das massas continentais (Laurência, Báltica e Sibéria) que migraram para norte a partir do continente Gondwana. Neste período, as margens continentais passivas evoluíram, com o aumento das taxas de subsidência, acompanhando o alastramento progressivo do oceano Rheic.

Figura 1. a) Reconstrução paleogeografica do Gondwana no Ordoviciano médio e terrenos relacionados: Armorica, Avalonia, Báltica e Laurentia separados por domínios oceânicos; b) Reconstrução do orógeno Varisco-Alleghanian, carbônico tardio e posições da sutura do Oceano Rheic e outras: CIZ, Zona Central Ibérica; ZOM, Zona de Ossa-Morena, SPZ, Zona Sul Português. (modificado de Azor *et al.* 2008).

A cadeia Varisca é o resultado da colisão, em decorrência do fechamento do espaço oceânico Rheic, entre Avalonia, Armorica, Laurentia e Gondwana nos períodos Ordoviciano e Siluriano (Azor *et al.*, 2008). Esta colisão teria ocasionado a formação e, ao mesmo tempo, o desmantelamento de um arco magmático Cadomiano, contemporâneo ao desenvolvimento e preenchimento de bacias marginais (do tipo “back-arc” e “retro-arc” (Quesada *et al.*, 1990). Restos de um embasamento Cadomiano podem ser encontrados na cadeia Varisca Ibérica em vários setores de suas unidades autóctones (Ribeiro *et al.*, 2009).

A diversidade estrutural das rochas da Península Ibérica permitiu a subdivisão do Maciço Ibérico em diversas zonas, de acordo com critérios estratigráficos, tectônicos e metamórficos. Na revisão, e síntese, sobre os terrenos ante-mesozóicos do Maciço Ibérico (Dallmeyer & Martínez Garcia, 1990) foi estabelecida a seguinte zonação: Zona Cantábrica (ZC), Zona Astúrica-Occidental-Leonesa (ZAOL), Zona Galiza-Trás-os-Montes (ZGTM), Zona Centro-Ibérica (ZCI), Zona de Ossa Morena (ZOM) e a Zona Sul-Portuguesa (ZSP) (Fig.2).

O orógeno Hersínico Peninsular caracteriza-se por apresentar um dispositivo em leque de estruturas mais aprumadas no centro e que vão inclinando para o exterior das bordas, fato que estabelece uma diferenciação entre as zonas internas, onde o Precâmbrico e o Paleozóico inferior estão representados, a deformação é mais intensa, o magmatismo e metamorfismo sin-orogênico estão mais espalhados, enquanto que as zonas mais externas (Cantábrica e Sul Portuguesa), o paleozóico domina, a deformação é menos intensa e mais tardia, e onde o magmatismo e metamorfismo sin-orogênico estão menos evidente.

A movimentação hersínica polifásica implica que diferentes zonas estabelecidas sejam delimitadas por grandes acidentes tectônicos, o que manifesta um controle de zonalidade por falhas profundas que separam compartimentos crustais de natureza diferente (Ribeiro *et al.*, 1979).

Os trabalhos recentes sobre a evolução de cadeias orogênicas sugerem que elas são constituídas por unidades com características estratigráficas, estruturais e metamórficas próprias e distintas das unidades contíguas. Estas unidades, designadas por terrenos tectonoestratigráficos, ou simplesmente por terrenos, para a cadeia varisca ibérica (Ribeiro, 2006) são delimitadas por contatos de natureza tectônica que individualizam fragmentos crustais, mediante um processo de amalgamação que ocorre durante a evolução do orógeno.

Na cadeia varisca Ibérica são reconhecidos dois tipos de contatos principais que separam os terrenos: suturas (relacionadas com a separação de terrenos exóticos relativamente a um elemento de referência denominado Terreno Autóctone Ibérico) e zonas

de cisalhamento (zonas cujos limites marcam a separação entre terrenos próximos, ou seja, que tiveram uma origem comum, mas que foram deslocados durante o processo orogênico desde a sua posição original até à sua posição atual). As principais zonas de sutura e cisalhamento da cadeia Varisca Ibérica são: zona de enraizamento dos complexos alóctones do NW peninsular da ZGTM, a faixa blastomilonítica de Tomar-Badajóz-Córdoba, a faixa blastomilonítica de Porto-Tomar e o contato entre a ZSP e a ZOM (Ribeiro et al., 1996).

Atualmente, a organização do Maciço Antigo é feita em três placas ou terrenos: Avalonia, Finisterra e Ibéria (Ribeiro, A., et al., 2006). Neste arranjo, a falha cisalhante direita de Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo (PTFA) conecta a sutura SW Ibérica com a sutura NW Ibérica, durante o Ciclo Varisco e separa ainda, entre Porto e Tomar, a ZCI de uma placa a Oeste que designa por Finisterra. Este terreno continental de Finisterra tem uma forma alongada com direção subparalela à falha PTFA e apresenta afinidades com a ZOM (Romão, J., et al, 2006) (fig. 2).

Figura 2. Unidades estruturais do Varisco Ibérico – Portugal (modificado de R. Dias 2010);

No Maciço Antigo, são reconhecidas 3 fases de deformação, tal como defendem, em alguns dos seus trabalhos, Ribeiro *et al.* (1979, 1995) e Dias & Ribeiro (1995). Nesses trabalhos, os autores postulam que as três fases de deformação estão associadas unicamente à deformação hersínica, compreendida entre 360 Ma e 308 Ma. Interpretam que a compressão máxima variou de N-S (durante a primeira fase de deformação) para E-W (durante a segunda fase de deformação).

A primeira fase de deformação afetou todas as rochas ante-carboníferas e produziu dobras de plano axial subvertical, de direção NW-SE e uma xistosidade de plano axial. Segundo os autores, esta foi a principal fase de compressão, já que foi a responsável pelo soerguimento do orógeno e, conseqüente espessamento crustal.

A segunda fase de deformação é interpretada como resultante de uma importante distensão da crosta superior (em resultado do colapso do orógeno), sob ação de uma zona de cisalhamento dúctil, subhorizontal. Esta distensão afetou, principalmente, as litologias do grau metamórfico médio e alto, produzindo dobras menores de plano sub-horizontal, com uma foliação de plano axial.

A terceira fase de deformação, dita tardi-varisca (compressão máxima variando entre a direção N-S e NW-SE), teve como características a mudança do comportamento do tipo de deformação, o qual passou de deformação dúctil a deformação tipicamente frágil. Esta fase ficou marcada pelo desenvolvimento das grandes linhas de fraturação ibéricas no Carbonífero Superior/Pérmico inferior (≈ 300 ma), tendo algumas delas permitido a ascensão e intrusão dos granitos pós-orogénicos com 280 M.a (Wilson et al. 1989). Nestas linhas de fraturação, as que apresentam movimentação sinistral são dominantes. (Ribeiro 1974 e 1979b)

Ainda segundo estes autores, os últimos impulsos da orogenia Varisca constituem a expressão de deformação em regime frágil que afetou o maciço antigo entre o fim do dobramento e metamorfismos variscos e as fases de distensão do Mesozóico. As falhas tardi-variscas, com comprimento que pode ter várias centenas de quilômetros, apresentam três orientações preferências:

- NE/SW a NNE/SSW (família mais representativa, com orientação N20°E a N45°E, sendo, na sua maioria, constituída por falhas de desligamento esquerdo);

- NW/SE a NNW/SSE (conjugadas das anteriores);

- E/W a ENE/WSW, apenas representadas a sul;

As falhas tardi-variscas NE/SW a NNE/SSW são as que foram preferencialmente reativadas como falhas normais durante a riftógenese mesozóica, e como falhas imersas durante a orogenia Alpina.

1.3. Localização geográfica e geológica da área de estudo

A área de estudo situa-se, geograficamente, desde os arredores da Foz do Douro, isto é a sul da cidade de Porto, até Tomar, passando por Espinho, Albergaria-a-Velha, Coimbra e Espinhal, perfazendo uma extensão longitudinal de 50 km e 10 km de largura máxima (Fig. 3).

Figura 3. Localização Geológica e Geográfica do terreno Finisterra e zonas de amostragem;

Geologicamente, o setor estudado abrange uma região de interface entre rochas metamórficas e ígneas pertencentes ao Maciço Antigo, e rochas sedimentares, mais recentes, de cobertura e que fazem parte da Orla Meso-Cenozóica.

A separação entre estes dois setores é estabelecida por uma estrutura tectônica de primeira ordem no contexto peninsular – a Zona de Cisalhamento Porto-Tomar (ZCPT) (Ribeiro et al., 1979; Chaminé, 2000). Trata-se de uma estrutura correspondente a um corredor tectônico com movimentações complexas nas orogenias Hercínica e Alpina, entretanto, essa faixa metamórfica de direção NNW-SSE, constituída por xistos e gnaisses milonitizados que integram a ZCPT, foi considerada de idade proterozóica (cadomiana) (Gama Pereira, 1987; Beetsma, 1995; Chaminé, 2000a; Chaminé et al., 2003c), ainda que tal opinião não seja consensual.

A ZCPT corresponde a uma faixa com uma série de acidentes tectônicos de 1º e 2º ordem (Chaminé, 2003). Estas faixas de deformação são caracterizadas por corresponderem a cisalhamentos de direção NS a NNW-SSE, com movimentação direita. Hoje reconhecida como substrato do bordo ocidental do Maciço Ibérico, trabalhado (ou retrabalhado) tectonicamente pela Orogenia Hercínica, ela representa, portanto, uma megaestrutura de primeira ordem, podendo as falhas cartografadas serem interpretadas como diversos ramos do acidente tectônico principal e/ou estruturas secundárias associadas.

A idade da deformação na ZCPT foi atribuída ao Devoniano médio/superior ($\approx 390 - 360$ Ma) a Carbonífero inferior ($\approx 360 - 345$ Ma) graças a presença, ao longo da faixa, de bacias de metargilitos negros de baixo grau metamórfico com fósseis desses períodos (Chaminé et al., 2003c). No entanto, a inexistência de contatos litológicos e a continuidade estratigráfica revelam uma tectônica complexa que para Gama Pereira, 1987,1998; Pereira et al, 1998a; Chaminé et al., 1998, 2000; Fernandez et al., 2003, seria explicada pela assunção de uma orogenia pré-Varisca cujos marcadores geológicos disponíveis apontariam para uma idade Pré-Cambriana, relacionada ao Cadomiano (≈ 550 Ma).

A presença de um embasamento cadomiano no interior da cadeia varisca ibérica e, possivelmente restos de ciclos tectônicos mais antigos (Greenville, Eburneano) foram identificados por Ribeiro *et al.* (2009).

Figura 4. Mapa Geológico do setor litoral entre Espinho e Albergaria-à-Velha; (Fonte: Gomes, A., 2008 – Tese de Doutorado).

As rochas metassedimentares e granitóides pertencentes ao terreno Finisterra (a norte), e correlacionáveis à Zona Ossa-Morena (a sul) (Chaminé, H. I. 2003), ocupam grande parte da área estudada, denunciando eventos tectonomagmáticos concomitantes com diversos períodos de instalação relativamente à orogenia Varisca ou anteriores (Severo Gonçalves, 1974; Noronha & Laterrier, 2000; Chaminé, 2000a; Chaminé et al., 2003c).

Desta forma, este trabalho almeja contribuir para a compreensão da complexa história geológica deste setor da cadeia varisca, trazendo novos dados geocronológicos e uma reinterpretação dos dados estruturais das rochas englobantes deste terreno (Finisterra) e a sua relação geológico-tectónica com a Zona de Cisalhamento de Porto-Coimbra-Tomar (ZCPCT).

A aplicação de diferentes métodos geocronológicos permitiram uma melhor compreensão da evolução tectónica do empilhamento estratigráfico das unidades que englobam a região, enquanto que a utilização da micro-tectónica trouxe informações relevantes sobre as condições e processos deformacionais ocorridos no decorrer da evolução do orógeno.

1.4. Terreno Finisterra – Estratigrafia

No sector ocupado pelas litologias do terreno Finisterra, que incluiu rochas metamórficas do Paleozóico inferior e/ou Precâmbriano, foram definidas por Chaminé (2000), Chaminé *et al.* (2003a,b, 2004) seis unidades tectonoestratigráficas: a Unidade de Lourosa, a Unidade de Pindelo, a Unidade de Espinho, a Unidade Arada, a Unidade de Albergaria-a-Velha/de Sernada do Vouga e a Unidade de São João-de-Ver (Fig. 4).

O nosso trabalho não englobou todas as unidades acima citadas, pelo que apenas serão descritas aquelas que foram alvo do nosso estudo.

A Unidade de Lourosa corresponde a uma larga faixa metamórfica com orientação geral NW SE que aflora desde a localidade de Valadares (Vila Nova de Gaia) até Santiago de Riba-Ul (Oliveira de Azeméis). As rochas metamórficas que a constituem são granitos gnaissificados, migmatitos, micaxistos por vezes granatíferos e anfibolitos (Foto 1). Dada a diferenciação estrutural e litológica patente pelas rochas desta unidade, Chaminé (2000) diferenciou-a em duas sub-unidades, separadas, *grosso modo*, por um antiforma, de direção geral NW-SE, marcado pelo afloramento de rochas graníticas em Santa Maria da Feira. A *unidade Lourosa inferior* é constituída por migmatitos, onde se diferenciam corpos

lenticulares de ortognaisses biotíticos que apresentam uma franca blastese de feldspatos e foliação gnáissica, de dimensão quilométrica e orientação geral NW-SE. Em afloramento, as rochas migmatíticas, quando não alteradas, apresentam um bandado típico e exibem estruturas variadas. A unidade *Lourosa superior* é formada por micaxistos biotíticos de cor castanha, por vezes granitíferos e com níveis de quartzo de exsudação. Em alguns pontos, os micaxistos têm uma cor avermelhada e/ou amarelada devido ao seu estado de alteração. Ocasionalmente, estas rochas estão intrudidas por granitóides gnaissificados, tomando a forma de apófises ou lentículas.

Intercalados, há vários níveis nas duas unidades anteriores, mas ocupando faixas mais significativas na Unidade de Lourosa superior, encontram-se corpos anfibolíticos de cor negra e medianamente granulares, com orientação média NW-SE.

A Unidade de Espinho corresponde a uma estreita faixa de orientação média NNW-SSE, de aproximadamente 20 km de extensão e 800 m de largura que desaparece para sul de São Vicente de Pereira Jusâ. É composta por micaxistos biotíticos de cor cinzenta escura, quase sempre luzentes e acetinados, nos quais ocorrem porfiroblastos de granada. Nesta unidade também afloram, de modo descontínuo, rochas quartzíticas com granada (Chaminé *et al.*, 1998) (Foto 2A e 2B).

A culminar o nosso estudo, das unidades pertencentes ao Terreno Finisterra, surge a Unidade de São João-de-Ver que é composta por rochas de metamorfismo de grau médio. Possui duas litologias bem diferenciadas: na base observam-se metapórfiros e gnaisses blastomiloníticos localmente recortados por pseudotaquilitos; no topo, em aparente concordância estratigráfica, reconhecem-se micaxistos, às vezes granatíferos e metagrauvaques. Esta unidade corresponde a uma faixa com cerca de 40 km de extensão e 4 km de largura, descrevendo um ligeiro arco de orientação geral N-S. O limite ocidental é feito por cavalgamento da unidade de Lourosa (e de Arada) pelo carreamento de São João de Ver, sublinhando-se este contacto mecânico pela presença de granitóides e/ou corpos aplito migmatíticos. A leste, o limite é feito por falha correspondente ao feixe tectónico mais ocidental da faixa de cisalhamento Porto-Tomar (Fig. 4).

Foto 1. Migmatito da Unidade de Lourosa intercalado com veios quartzo-feldspáticos dobrados;

Foto 2. Unidade de Espinho (A) micaxisto luzente com profiroclastos de quartzo; B) Quartzito com porfiroblastos decuartzo;

II. MATERIAIS E METODOS

Este trabalho teve início com um extenso e completo levantamento bibliográfico para melhor entender a problemática geológica local e planificar a logística de campo.

Diversos autores estudaram a área e por isso a bibliografia é abundante, no entanto, a inexistência de consenso entre os diferentes pesquisadores consistiu em um estímulo e um desafio, para a escolha do tema dessa dissertação.

As etapas de campo tiveram início com a coleta de dados para análise estrutural, amostragem para estudos petrográficos e geocronológicos, a qual foi realizada no mês de Janeiro de 2011, nas cidades de Albergaria a Velha, Freguesia de Cortegaça (Ovar) e localidade de Miramar, aproximadamente a 6 quilômetros de Espinho, direção norte, já pertencente à cidade de Vila Nova de Gaia e Paços de Brandão. No total foram coletadas e separadas cerca de 11 amostras para os estudos petrográficos, microtectônicos e geocronológicos (Fig. 5 - Localização da amostragem).

A análise estrutural baseou-se, fundamentalmente, nas avaliações geométricas e cinemáticas à escala macroscópica/mesoscópica complementadas, sempre que possível, com estudos de microtectônica, onde se procurou identificar micro-estruturas chave para a dedução dos principais mecanismos de deformação ativos em cada estágio evolutivo. A análise petrológica envolveu estudos tradicionais de análise textural e paragenético.

As condições físicas do metamorfismo, deduzidas a partir das associações e parageneses mineralógicas, foi precedida das análises geocronológicas utilizando-se das metodologias disponíveis nos laboratórios do Centro de Pesquisas Geocronológicas da USP (CPGeo-USP) a saber: K/Ar (micas), Sm/Nd (rocha total) e U/Pb (zircão) em amostras de rochas não alteradas e em concentrados de minerais que possivelmente representem estágios evolutivos distintos, os quais foram previamente identificados, em cada sequência rochosa, visando gerar a informação geocronológica dos diferentes episódios tectônicos.

Em uma primeira fase, as amostras foram preparadas (moldas) no Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Lisboa. As seções delgadas, para análise microscópica e investigação no MEV, cujas técnicas serão descritas a seguir, foram preparadas na mesma instituição. Todo o material coletado e preparado na Universidade de Lisboa foi trazido para São Paulo, onde se procedeu às etapas seguintes para análise no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

A análise das amostras por microscopia óptica também foi conduzida no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, embora as lâminas tenham sido elaboradas no Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Lisboa.

2.1. Petrotrama

Para proceder a análise microscópica da unidade objeto deste estudo, foram feitas cerca de onze lâminas no departamento de Ciências da Terra da Universidade de Lisboa enquanto que a análise textural e paragenética das mesma foi desenvolvida no Instituto de Geociência da Universidade de São Paulo, em microscópio de modelo Olympus E 330.

Tendo por base a divisão tectonoestratigráfica em trabalho desenvolvido por Chaminé, (2000) e aprofundado em Chaminé, et al., (2003) na região, foram analisadas cerca de três lâminas de amostras pertencentes a Unidade de Lourosa (Amostra SP1, SP2, SP3, EN, PA1 e PA2), seis lâminas da Unidade de Espinho (Amostras SP5, CRTG1 e CRTG2) e 2 lâminas da Unidade de São-João-de-Ver (Caim1 e Caim2). Nesta fase, foram selecionados algumas seções de interesse para análise em microscopia eletrônica de varredura (MEV – EDS).

2.2. Microscopia eletrônica de varredura MEV-EDS

A análise das amostras por microscopia eletrônica de varredura foi executada no Laboratório de Microscopia Eletrônica do IGc da Universidade de São Paulo, tendo por finalidade o estudo da composição mineralógica dos principais constituintes e suas relações texturais.

As porções de amostras foram cobertas de carbono sendo posteriormente analisado em Microscópio Eletrônico de Varredura modelo LEO4401 acoplado a um espectrômetro de dispersão de energia de raios X com detector de estado sólido tipo Si (Li) marca Oxford.

Figura 5. Mapa geológico da faixa metamórfica entre Espinho e Albergaria-a-Velha e referência a localização dos pontos de amostragem. (Modificado de H. Chaminé, 2000);

2.3. Geocronologia: Método U/Pb SHRIMP e ICP-LA-MS – Sm/Nd e K-Ar

Para a elaboração deste estudo foram utilizadas duas técnicas de datação em zircões, de acordo com a sua origem. Assim, para rochas granitóides (amostra SP1, SP2 e SP3) foi usado o método U/Pb os quais foram datados utilizando-se da *Sensitive High Resolution Ion MicroProbe* (SHRIMP), enquanto que os zircões da rochas quartzíticas e anfibolíticas (SP5, CRTG2, PA1, PA2 e EN) foram datados utilizando-se do LA-ICP-MS.

A fase inicial laboratorial, para obtenção de zircões, foi comum para ambas as técnicas. Assim, colheram-se amostras não alteradas em campo e com aproximadamente 2 Kg de material, para cada amostra, procedeu-se à pulverização utilizando prensa hidráulica e moinho de maxilas/mandíbulas (maxilas de ferro e manganês); feita a pulverização, o material foi colocado em peneiros e agitadores para obtenção da fração de $250\mu m$. Todo este procedimento foi feito no departamento de Geologia da Universidade de Lisboa. As frações de material foram transportadas até ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo e, a partir daí, o tratamento das mesmas sucedeu-se na mesma instituição. Do material já preparado, na Universidade de Lisboa, procedeu-se à segunda etapa de preparação. O material foi colocado na mesa de separação (*Wiffley Table*) a fim de reduzir a percentagem de material e descartar os minerais leves. De seguida, foi feita a separação através de líquidos densos (bromofórmio e iodeto de metileno) com o objetivo de conseguir um concentrado de minerais pesados. Posteriormente, passou-se o concentrado num separador eletromagnético (“Franz”), fazendo alterar a sua intensidade de corrente e ângulo, para obtenção de um concentrado final de zircões o mais limpo e puro (entenda-se sem inclusões) possível. Os cristais de zircão foram selecionados à lupa binocular e encaminhados ao Laboratório do CPGeo/USP, onde foram dispostos em molde vítreo sobre uma fita adesiva dupla face e montados em recipiente de *epoxi* com dimensões padrão de 2,5 cm de diâmetro, sendo seccionados, polidos e recobertos com uma película de carbono para imageamento por catodoluminescência-CL. As imagens CL foram obtidas em microscópio eletrônico de varredura da marca Hitachi S-2250N, sob condições de aceleração de voltagem de 15kV.

Dos zircões preparados para datação em SHRIMP, apenas a amostra SP1 os continha em condições ao procedimento, nas amostras SP2 e SP3 esses minerais eram, nas respectivas amostras, metamítico e insuficientes para análises $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$.

Os procedimentos para operação no SHRIMP seguiram a rotina descrita por Smith et al. (1998). As condições instrumentais e a aquisição dos dados seguem o trabalho de Compston et al. (1984, 1992).

As amostras SP-5, CRTG-1, PA1, PA2 e EN foram analisadas através do LA-ICP-MS utilizando o espectrometro NEPTUNE-ICP-MS.

Visando complementar os estudos geocronológicos foram realizadas datações através dos métodos Sm-Nd em rocha total (Amostras SP2, SP3, SP5, CAIM1, CRTG1 e CRTG2).

Os elementos terras raras Sm e Nd são incompatíveis e possuem comportamento geoquímico semelhante. Dos sete isótopos naturais de Sm, apenas o ^{147}Sm possui decaimento mensurável, quando por emissão α forma o ^{143}Nd . Em processos geológicos de extração de magmas do manto o Sm tende a ficar no resíduo sólido, enquanto que o Nd passa ao líquido de fusão parcial. Desta forma, o manto tende a ficar empobrecido em Nd em relação ao Sm, e com maior razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$.

As amostras, que já vieram pulverizadas da Universidade de Lisboa, foram reduzidas em um moinho de anéis de tungstênio do Laboratório de Preparação de amostras do CPGeo.

Aproximadamente 50 mg de cada amostra foi dissolvida em uma mistura de ácidos concentrados 3:1 de HF/HNO₃ com adição de Spike (concentração $^{150}\text{Nd} = 0,510999 \mu\text{g/g}$ e $^{149}\text{Sm} = 0,740918 \mu\text{g/g}$). Após secas, foram adicionados de 5 ml de HCl 6N às amostras e evaporadas. Em seguida, foram diluídas em 2 ml de HNO₃ 1N e os elementos foram separados em dois estágios. No primeiro, foram coletados os elementos terras raras em coluna de resina RE Spec, com HNO₃ 0,05 N. A solução foi evaporada e o resíduo foi novamente diluído em 0,2 ml de HCl 0,26 N. No segundo estágio, os elementos Sm e Nd foram coletados em coluna de resina LN Spec, com HCl 0,55 N e 0,026 N, respectivamente. As razões isotópicas de Sm e Nd foram medidas no espectrômetro de massa Finnigan MAT-262. O branco analítico é de ca. 80 pg para Nd e de ca. 20 pg para Sm. As idades TDM foram calculadas com base no modelo de DePaolo (1981). O valor médio para a razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ do padrão JNdi medido durante a realização das análises foi de $0,512099 \pm 0,000008$.

As idades modelo utilizadas neste trabalho foram obtidas de acordo com o modelo depleted mantle (DM, manto empobrecido) de DePaolo (1981). De acordo com este modelo, as idades TDM e o parâmetro ξNd podem ser obtidos pelas equações que se seguem:

$$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)^0 = \left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)^{\text{amostra}} - \left(\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}\right)^{\text{amostra}} \times (e^{\lambda t})$$

$$\xi\text{Nd}(t) = \left[\frac{\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)^t_{\text{amostra}}}{\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)^t_{\text{CHUR}}} - 1 \right] \times 1000$$

onde λ é a constante de desintegração do ^{147}Sm e igual a $6,54 \times 10^{-12} \text{ ano}^{-1}$, e t é a idade calculada.

Já na fase final de datação geocronológica, fez-se necessária a análise de moscovita e biotita pelo método de K-Ar na amostra SP2. No entanto, devido ao fato deste procedimento ainda estar em desenvolvimento, não existe nenhuma rotina específica para este método. Da amostra SP2 (granitóide) foram separadas algumas lamelas de moscovita e biotita que se revelaram puras (ausência de inclusões) e foram encaminhadas ao laboratório de análise por K-Ar. O teor de K (%) foi determinado por análises repetidas em microsonda eletrônica enquanto que a análise isotópica de Ar foi feita por aquecimento gradual com laser Verdi (ARGUS VI), seguindo o procedimento "spikeless" proposto por Cassinot & Gillot (1982). O peso da amostra foi obtido em balança digital dedicada (Sartorius CPA2P-F), com precisão de 0.002 (2 microgramas). Todas as análises são feitas em triplicata e o resultado é escolhido com base nas proporções medidas de ^{40}Ar Rad e ^{40}Ar Atm.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Geologia Estrutural: Unidade de Espinho e Lourosa

A região estudada, rica em estruturas planares, lineares e indicadores cinemáticos, permite, de imediato, a conscientização da pujança deformacional a que essas rochas tiveram submetidas. Trata-se de um setor fortemente afetado pela zona de cisalhamento Porto-Tomar, como movimento direito e de orientação aproximada de N30°W.

As rochas deformadas da zona de falha pertencem à série litológica do Terreno Finisterra, especificamente às Unidade de S. João-de-Ver, Unidade de Lourosa, Unidade Espinho e Granitos de Lavadores. No entanto, pela facilidade nos afloramentos, a Unidade de Espinho aflorante na Praia de Miramar (Vila Nova de Gaia) junto a capela do Senhor da Pedra, constituiu o grande foco deste estudo estrutural.

Localmente afloram orto-gnaises, paragnaisses e micaxistos, anfíbolitos bem como alguns quartzitos e filões quartzíticos ricos em indicadores cinemáticos e dobras.

Os indicadores cinemáticos revelam um claro movimento direito, cujos sigmóides variam entre aproximadamente 2cm de comprimento (foto 3A) a tamanho da ordem de aproximadamente 15cm (foto 3B). As dimensões e repetições locais destes indicadores, que ocorrem tanto nos micaxistos (foto 3) como nos quartzitos (foto 4), comprovam uma clara influência de uma falha transcorrente de grande escala e magnitude que, complementando com a orientação dos mesmos, permite concluir que se trata de uma cinemática afeta da grande Falha de Cisalhamento (a E da região) – a Faixa de Cisalhamento Porto Tomar.

Foto 3. Porfiroclastos de quartzo sigmoidais (tipo sigma) resultantes da deformação dúctil dos micaxistos da unidade de Espinho (Praia de Miramar – Vila nova de Gaia);

Foto 4. Leucossoma quartzo-feldspático sigmoidados resultantes da deformação dúctil dos quartzitos da Unidade de Espinho (Praia de Miramar – Vila nova de Gaia);

Por outro lado, as dobras não se revelam de fácil interpretação. Na região foram discriminadas pelo menos três fases distintas de dobramento. Não se observam dobras da primeira fase, a qual teria gerado o bandamento e/ou xistosidade.

A segunda fase é caracterizada por dobras recumbentes com planos axiais sub-horizontais (foto 5A) devido à fase de empurrão de NE para SW; e a terceira fase dobra o bandamento gnáissico gerando planos axiais inclinados NE (foto 5B).

Foto 5. A) bandamento (foliação) em dobras recumbentes da segunda fase D2; B) Veios quartzo-feldspáticos dobrados pela D3 (Praia de Miramar – Vila Nova de Gaia);

Foto 6. A) Granada-Biotita-Xisto e gnaisses leucocraticos intercalados - Unidade de Espinho; B) Gnaisses miloníticos com foliação de elevado ângulo de mergulho – Unidade de Espinho (Praia de Miramar – Vila Nova de Gaia)

3.1.1. Medidas de campo

No sentido de perceber se realmente estas rochas foram sujeitas à ação da falha designada como Zona de Cisalhamento Porto-Tomar, foi imprescindível a medição de lineações, foliações e planos axiais das dobras no que respeita às suas orientações e inclinações.

Este ponto foi crucial para toda a amostragem, já que o objeto do nosso estudo é a compreensão da tectônica englobante do Finisterra, era necessário ter a certeza de se estas rochas foram afetadas por este mega-cisalhamento, e portanto, afetadas pela orogenia Variscana, ou anterior. Na tabela que se segue (tabela 1) é possível consultar as medidas efetuadas em campo.

Tabela 1. Medidas de Lineação, foliação e planos axiais da dobras obtidos em campo (Praia de Miramar – Vila Nova de Gaia)

Lineação	Foliação	Planos axiais de dobras
N32°W	N35°W/Vertical	N40°W/60°NE
N40°W	N36°W/Vertical	N42°W/57°NE
N15°W	N43°W/Vertical	Sub-Horizontal
N18°W	N22°W/Vertical	N23°W/58°NE
N40°W	N18°W/Vertical	N32°W/?
N10°W	N50°W/Vertical	N40°W/55°E
N18°W	N33°W/Vertical	N28°W/62°NE
N°55W	N41°W/Vertical	
N40°W		
N18°W		
N11°W		
N23°W		
N32°W		
N19°W		

No que se refere às medidas das lineações, é possível discriminar duas direcções preferenciais, uma família de valores paralelos à ZCPT (aprox. N16°W) e uma segunda família de direcção média N37°W (Diag. 1), que parece resultante da combinação do carreamento da ZCI sobre o terreno finisterra e do movimento trascorrente direito.

Diagrama 1. Lineações de estiramento

A direção de foliação da D3 apresenta-se com valores médios aos descritos acima e por isso mesmo, denota-se a grande influência da falha de cisalhamento Porto-Tomar. A sua verticalidade confirma a foliação resultante de um movimento cisalhante direito, principal (Diag. 2)

Diagrama 2. Diagrama de foliações da D3;

De todas as medidas obtidas em campo, foi fácil discriminar duas famílias distintas de dobras. Uma família de dobras recumbentes, com plano axial sub-horizontal, foi identificada e por nós catalogada como pertencentes à fase D2 da orogenia Variscana. A segunda família, de orientação N38°W e com plano de mergulho de 57°NE, corresponderia a uma fase mais tardia, início da fase D3.

Diagrama de Planos Axiais de Dobras

Diagrama 3. Diagrama de Planos Axiais de Dobras;

3.2. Petrologia – Análise Microscópica e MEV

A área de estudo, tal como foi dito anteriormente, centrou-se nas unidades do terreno Finisterra, porção W da faixa de cisalhamento Porto-Tomar. Pela proximidade à falha, é inegável que a organização mineral dessas unidades foram afetadas, tanto pelo movimento cisalhante na região como pelo metamorfismo associado ao mesmo, fato visível à escala de afloramento. A complexidade geológica da região, obrigou a um estudo mineralógico de detalhe, a fim de conhecer o registro historico-tectônico destas unidades. As unidades que foram alvo de estudo micro-estrutural foram as unidades de S. João-de-Ver, Lourosa e Espinho.

A análise microscópica foi desenvolvida no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

Foram analisadas cerca de 9 lâminas, correspondentes a 9 amostras de diferentes unidades da sequência que engloba a grande Faixa de Cisalhamento Porto Tomar. Assim, foram discriminadas 4 unidades distintas, que ocupam o setor da área de estudo na Zona Ossa-Morena: Unidade S. João-de-Ver (amostras CAIM1 e CAIM2), Unidade de Lourosa (representada pelas amostras SP1, SP2, SP3, EN, PA1 e PA2) e a Unidade Espinho (amostras SP5, CRTG1 e CRTG2).

Para a descrição e caracterização das lâminas delgadas, recorreu-se ao estudo dos aspetos mineralógicos, texturais e alguns aspetos microestruturais que consideramos relevantes. As associações mineralógicas presentes nas lâminas das diferentes amostras indicam que elas são de natureza ígnea e/ou metamórfica.

Unidade de S. João-de-Ver

Esta unidade possui duas litologias bem diferenciadas. Na *base*, encontra-se um conjunto de rochas porfiróides blastomiloníticos e granitos e rochas gnáissicas muito deformadas (milonitos e ultramilonitos), com granulometria média a fina; no *topo*, e em concordância estratigráfica, reconhecem-se micaxistos, por vezes granitíferos, e metagrauvaques. Ocorrem ainda inúmeros corpos anfibolíticos, com orientação média NNW-SSE (Chaminé et al. 2003).

As amostras recolhidas para análise geocronológica desta unidade afloram na margem do rio Caima, na cidade de Albergaria-à-Velha e tratam-se de micaxistos biotíticos e moscovíticos, geralmente de granulometria média, apresentando níveis lenticulares constituídos por quartzo e quartzo-feldespato, por vezes com silimanita e granada e anfibólio representando, portanto, o topo da camada (Foto 7).

A textura é essencialmente lepidoblástica e granoblástica. A xistosidade principal (S2) é penetrativa, como resultado de uma transposição de uma xistosidade anterior (S1), e apresenta-se em regra sub-horizontal. Os planos S2 são frequentemente definidos por seções alongadas e orientadas de biotita e moscovita, e ainda de silimanita em agregados granulares que aparecem tanto nos planos de xistosidade principal como na forma de agulhas no interior de outros minerais (quartzo, moscovite e biotite).

Foto 7. Aspeto geral da amostra CAIM1 (micaxisto biotítico e moscovítico); A) sem luz polarizada, B) com luz polarizada; Amostra Caim1.

Quartzo – estimativa de 30% da composição da rocha. Ocorre em cristais subédricos e anédricos geralmente alongados (muitas vezes na forma de ribbons) segundo a xistosidade principal. Podem ainda aparecer sob a forma de aglomerados lenticulares (que parecem preservar uma direção de lineação anterior) e quando assim é comportam-se como porfiroblasto. A extinção é ondulante e as zonas de sombra de pressão dos porfiroblastos, de granada e feldspato potássico, são preenchidos por este mineral, com dimensões mais reduzidas do que aqueles cristais dispostos na matriz (Foto 8).

Foto 8. Aglomerado de quartzo em forma de porfiroblasto; presença de cristais alongados de quartzo dispostos segundo a xistosidade principal. A) sem luz polarizada; B) com luz polarizada; Objet./F.zoom 10x; Amostra Caim1.

Micas – A *biotita* representa cerca de 30% de composição da rocha. Apresenta cor castanha-avermelhada, pleocróica e varia de textura sub-idioblástica a xenoblástica. Possui grande quantidade de inclusões de minerais opacos e, regra geral, marcam a xistosidade principal. A *moscovita* aparece em menor quantidade (estimativa de 15%). Apresenta seções sub-idioblásticas e xenoblásticas e com formas alongadas paralelas à direção S2 e os seus traços de clivagem parecem ligeiramente deformados. A moscovita ocorre ainda sob a forma de “micafish” (Foto 9). Ambos os minerais são facilmente confundidos já que aparecem associados ao longo de toda a seção da lâmina.

Foto 9. Micafish de moscovite limitada pela foliação principal S2 de cristais alongados de biotita e moscovita associados. A) sem luz polarizada; B) com luz polarizada; Objet./F.zoom 4x; Amostra Caim1.

Granada – estimativa ótica de 13%. Ocorre sob a forma de porfiroblastos, dispondo-se preferencialmente nos níveis micáceos e encontrando-se parcialmente pseudomorfizada por óxidos (Foto 10). Inclui frequentemente poiquiloblastos com seções arredondadas de quartzo, de biotita, moscovita, opacos, zircão e rutilo. Pode também ser xenoblástica, com seções de reduzidas dimensões, dispostas em interstícios entre os grãos de quartzo.

Foto 10. Porfiroblasto de granada pseudomorfizada com inclusões de quartzo arredondadas; A) sem luz polarizada; B) com luz polarizada; Obejt./F.zoom 4x; Amostra Caim1.

Da análise composicional elaborada em MEV, foi retirada que a composição da granada variava entre grossulária e espassartite (Graf. 1).

Gráfico 1 . Análise composicional de MEV nas granadas A) ponto Caim013-1; B) ponto Caim013-2 (imagens MEV em anexo);. Amostra Caim1;

Outros – *Turmalina*, em cristais euédricos de reduzidas dimensões e cor esverdeada, que se dipõe em níveis micáceos e em forma de inclusões nos porfiroblastos; *Plagioclásio* em seções sub-idioblásticas com maclas de Albite sericitizada, extinção ondulante e traços de macla encurvados (Foto 11); *Feldspato Potássico* que aparece tanto na forma de porfiroblastos como em boudins preenchidos por clorite; *Apatite* e *Zircão* em cristais anédricos e arredondados; *Minerais opacos* em formas no geral irregulares e dispostos segundo o plano de foliação principal.

Foto 11. A) Plagioclásio sericitizado em luz polarizada, Amostra Caim2; B) Detalhe de maclas encurvadas em luz polarizada; Amostra Caim2; Objet./F.zoom 4x.

Anfibólio – visível apenas na seção laminar da amostra Caim2. Aparecem bastante deformados, com extinção ondulante e na forma de boudins (Foto 12). Com cor variável entre incolor ligeiramente amarelado e laranja-acastanhado. Dispostos numa matriz preferencialmente quartzosa, com alguns grãos de plagioclásio intensamente deformados;

Foto 12. Boudin de Anfibólio; Objet./F.zoom 4x; Amostra Caim2.

A associação mineralógica desta amostra consta de quartzo, biotita, moscovita, granada e anfibólio. Trata-se de uma associação de fácies anfibolítica no campo da granada ($T \approx 650^\circ$).

Unidade de Espinho

Esta unidade é constituída fundamentalmente por micaxisto com porfiroblastos de granada e quartzo-milonitos com granada.

São rochas de granulometria média a fina, evidenciando alternância de níveis mais claros (quartzosos e/ou quartzo-feldspáticos) e mais escuros (micáceos). Destaca-se a presença dos porfiroblastos de granada de cor vermelha escura. Além da granada, identifica-se o quartzo, feldspatos, moscovita e biotita de cor castanha escura. Registra-se um maior desenvolvimento dimensional das secções de biotita e de moscovita. Observa-se a presença de uma foliação, definida pela alternância de bandas ricas em quartzo, de espessura milimétrica, com bandas mais micáceas, tratando-se de uma rocha compacta (Foto 13).

A textura é lepido-porfiroblástica a lepido-grano-porfiroblástica, com porfiroblastos de granada e de biotita, dispersos nos planos de foliação, penetrativa sobre uma matriz de natureza pelítica. A xistosidade principal apresenta-se muito crenulada (S2), e de modo

geral muito dobrada à volta dos porfiroblastos, sendo definida por secções de forma alongada de quartzo, granada, biotita, moscovita, alguma clorita e opacos alongados e estirados (Foto 14). Em alguns setores é possível observar microdobras de moscovita no interior da foliação principal, denunciando possíveis antigas charneiras de microdobramentos de S1 (Foto 15).

Foto 13. Aspecto geral da amostra. Detalhe de um filão de quartzo com granada estirada acompanhando a direção de foliação; A) sem luz polarizada B) com luz polarizada; Objet./f. Zoom: 1,25x; Amostra CRTG1.

Quartzo – estimativa óptica de 20%. Ocorre na forma de cristais anédricos com dimensões reduzidas e contornos surturados. Os cristais dispõem-se essencialmente em “ribbons” mas também aparecem na forma de agregados lenticulares, geralmente associados a feldspato ou sericita.

Moscovita – representa cerca de 35% (aprox.) da totalidade da lâmina. Apresenta coloração levemente acastanhada e pleocroísmo. Aspecto sub-idioblástico a xenoblástico, com formas alongadas e preferencialmente paralelos à foliação principal S2 (Foto 14). A deformação plástica manifesta-se por presença de extinção ondulante e por “kink bands” (Foto 15 e 16 respetivamente). As secções de moscovita que se dispõem nas bandas mais ricas em quartzo são menos desenvolvidas e muitas vezes cortam perpendicularmente os cristais mais desenvolvidos das micas, biotita e moscovita. Observam-se ainda a ocorrência de inclusões de minerais opacos dispostos segundo os planos de clivagem. Em alguns locais observa-se

a ocorrência de sericite, resultado de processos de alteração (da moscovita). A moscovita ocorre ainda preenchendo microfalhas e fraturas locais (Foto 17).

Foto 14. Aspeto geral da textura sub-idioblástica com minerais alongados, revelando a foliação S2, da unidade de Espinho; Objet./F.zoom 1,25c; Amostra CRTG2;

Foto 15. Microdobras de moscovita denunciando microdobramento S1; Objet./F.zoom 1,25x; Amostra CRTG2;

Foto 16. Detalhe de Moscovite dobrada; A) sem luz polarizada, B) com luz polarizada; Objet./F.zoom 10x; Amostra CRTG2;

Foto 17. Microfalha preenchida por moscovita cortando uma concentração de biotita; A) sem luz polarizada, B) com luz polarizada; Objet./F.zoom 4x; Amostra SP5.

Biotita – estimativa óptica de 25% da totalidade da lâmina. Apresenta cor castanho-avermelhada, é paleocróica, sub-idioblástica e xenoblástica. Os traços de clivagem são raramente preenchidos por minerais opacos e em alguns casos denotam-se microdobras. Alguns grãos estão parcialmente alterados para clorita (ou descolorados). De destacar o caráter de porfiroblástico de algumas das seções de biotita observadas, contendo inclusões de opacos, moscovita e quartzo. A biotita ocorre ainda sob a forma de pequenos veios dobrados com planos axiais distintos das dobras maiores (de moscovita) (Foto 19).

Granada – estimativa ótica de 10%. Apresenta-se com forma sub-idioblástica e ocorre geralmente como porfiroblastos e/ou poiquiloblastos dispersos na foliação, sendo contornada por esta. Ocorrência de inclusões arredondadas de óxidos de ferro avermelhados (Foto 18), opacos levemente estirados e biotita. Apresenta bordos irregulares e fraturas preenchidas por óxidos. Em algumas seções, amostra SP5, é possível notar a ocorrências de duas famílias distintas de granadas. Uma semelhante à descrita anteriormente e uma segunda família marcada por uma forma alongada que se dispõem nos flancos de dobras micáceas no interior de uma matriz quartzítica (Foto 19, 20A e 20B).

Foto 18. Detalhe de granada envolto em micas; A) sem luz polarizada, B) com luz polarizada; Objet./f.zoom: 10x; Amostra CRTG1.

Foto 19. Granadas estiradas orientada segundo os flancos da dobra micácea; A) sem luz polarizada; B) com luz polarizada; Objet./F.zoom 4x; Amostra SP5.

Foto 20. Detalhe das duas famílias distintas de granadas; A) granada sub-idioblástica com fraturas preenchidas por óxidos; B) granada alongada com pequenas inclusões de minerais opacos e quartzo; Objet./F.zoom 10x; Amostra SP5;

Da análise composicional elaborada em MEV da granada sub-idioblástica, foi determinada uma variando entre grossulária e espessartite, com inclusões de quartzo (Graf.2).

Gráfico 2. Análise composicional de MEV; A) ponto CRTG1005-1 com composição da granada sub-idioblástica; B) ponto CRTG1005-2 com análise composicional das inclusões (imagens MEV em anexo); Amostra CRTG1;

Quanto às granadas alongadas, a análise composicional elaborada em MEV revelou a mesma composição, uma variação entre grossulária e espessartite, no entanto com uma quantidade significativamente maior de Mn, igualmente com inclusões de quartzo (Graf.3).

Gráfico 3. Análise composicional de MEV; A) composição da granada estirada, ponto CRTG1002-1; B) análise composicional das inclusões na granada, ponto CRTG1002-2; Amostra CRTG1; (imagens MEV em anexo)

Plagioclásio - observa-se sempre em associação ao quartzo. Os grãos não evidenciam alteração e ocorrem maclas segundo a “lei de albite” e cujo relevo negativo aponta para um domínio de albita-oligoclasio (Foto 21). Ocorre muitas vezes como porfiroblastos com inclusões de moscovita.

Foto 21. Plagioclásio com textura em mirrequite em luz polarizada; Objeto/F.zoom 4x; Amostra SP5.

Outros – *Clorita*, apresenta-se em cristais anédricos e subédricos orientados e de cor azul forte, e surge como produto de alteração de biotita; *Apatita* ocorre raramente e em grãos euédricos de contorno hexagonal; *Minerais Opacos* tem forma retangular com o eixo maior

disposto paralelamente à direção de foliação principal (S2), e parecem definir uma lineação mineral. São freqüentes como inclusões nos planos de clivagens das biotitas.

A associação metamórfica desta unidade é quartzo + moscovita + biotita + granada + clorita + oligoclasio. Assim, trata-se de uma associação de fácies anfibolítica no campo da granada ($T \approx 550^\circ$).

Unidade de Lourosa

A unidade de Lourosa é constituída por micaxistos, por vezes granítíferos, com níveis anfibolíticos, gnaisses e migmatitos com intercalações de anfibolito.

Para estudo mais detalhado, foram recolhidas amostras tanto da porção de anfibolito olivínico (amostra EN) como da granítica (amostras PA1 e PA2). Desta forma a descrição petrográfica da unidade de Lourosa irá dividir-se em duas secções: Porção Ortoanfibolito-Olivínico e Porção Granítica.

Porção de Ortoanfibolito-olivínico

Surgem sob a forma de filões pouco possantes e sem continuidade espacial. Apresentam granulometria média a fina e são constituídos, em geral, pela associação mineralógica de olivina, plagioclásio e quartzo. A textura característica deste ortoanfibolito olivínico é normalmente a nematoblástica (Foto 22), devido à disposição preferencial de secções prismáticas sub-paralelas de olivina e, por isso, possuem uma anisotropia linear ou menos evidente.

Foto 22. Aspeto geral dos anfibolitos da unidade de Lourosa; Objet./F.zoom 1,25x; Amostra EN;

Quartzo – estimativa óptica de 30%. Ocorre na forma de cristais subédricos com bordos retalhados e dimensões reduzidas. Os cristais dispõem-se aleatoriamente e não parecem preservar nenhuma foliação. Ocorrem em associação à olivina e não evidenciam deformação aparente.

Olivina – estimativa óptica de 20%. Aparecem de forma concentrada e em porções esporádicas. Tem grande dimensão e a sua cor varia entre azulada, azul-amarelado, verde e laranja (Foto 22). Ocorre em forma de rede reticulada e os interstícios são preenchidos por quartzo de dimensões variáveis mas ligeiramente maiores do que a matriz, minerais opacos e plagioclásio (Foto 23). Não revela deformação aparente.

Foto 23. Quartzo a preencher os interstícios das olivinas; Objet./F.zoom 4x; Amostra EN;

Plagioclásio – estimativa óptica de 20%. Apresenta dimensões variáveis entre média a pequena. Encontra-se disperso ocupando interstícios das olivinas. Os cristais de maiores dimensões contêm inclusões de quartzo, não deformado, e maclas segundo a lei de albite (Foto 24).

Foto 24. Plagioclásio com inclusões de quartzo; Objet./F.zoom 10x; Amostra EN;

Anfibólio – aparecem bastante deformado, com extinção ondulante e com pequenas dimensões. Com cor variável entre incolor ligeiramente amarelado e laranja-acastanhado, os anfibólios aparecem quase sempre associados ao quartzo preenchendo, muitas vezes, pequenas fraturas dos cristais, e com orientação preferencial discreta.

Outros – *Moscovita* apresenta-se sob a forma de cristais subédricos com dimensões médias a reduzidas; *Minerais opacos* tem forma variável entre anédricos a subédricos e ocorrem dispersos na matriz ou sob a forma de inclusões nas olivinas. Alguns cristais apresentam-se mais alongados mas sem revelar qualquer orientação;

A associação metamórfica desta unidade é quartzo + moscovita + olivina + anfibólio + plagioclásio. Assim, trata-se de uma associação de fácies anfibolítica no campo da olivina ($T \approx 830^\circ$).

Porção Gnaissica

São rochas de granulometria média a fina, de textura maciça e sem orientação aparente. Em análise com lupa binocular, destaca-se a presença de pequeno porfiroblasto de granada. Além da granada, já em análise microscópica, identifica-se o quartzo, moscovita, biotita e piroxênio, plagioclásio e minerais opacos (Foto 25). Registra-se um maior desenvolvimento dimensional das secções de piroxênio, granada e quartzo, relativamente à restante mineralogia composicional da unidade. Ainda em análise microscópica observa-se a presença de uma leve foliação, definida pelo alinhamento dos cristais de piroxênio, ainda que sutilmente (Foto 27).

A textura é grano-porfiroblástica, com porfiroblastos de piroxênio (Foto 28), granada (Foto 29) e biotita (Foto 30), dispersos na matriz de natureza quartzosa.

Foto 25. Aspeto geral da Unidade de Lourosa; Objet./F.zoom 1,25x; Amostra PA1.

Quartzo - estimativa óptica de 30%. Ocorre na forma de cristais anédricos a sub-édricos com dimensões variável entre média e reduzida. Muitas vezes aparece na forma de aglomerados de cristais com contornos suturados e/ou bulging, evidenciando fenômenos de recristalização do mineral (Foto 26). Os cristais encontram-se dispersos na matriz, quase sempre associados a plagioclásio e piroxênio, ainda que em alguns locais parece existir um certo alinhamento, que marca a foliação principal (S2).

Foto 26. Recristalização de quartzo (bulging). Objet./F.zoom 20x; Amostra PA2;

Piroxênio – estimativa óptica de 20%. Ocorre na forma de cristais subédricos a euédricos com forma ligeiramente alongad, revelando um sutil alinhamento mineral (S2). Possuem dimensões relativamente superiores ao restante arranjo mineral e coloração variando de castanho a ligeiramente amarelada. Aparecem, muitas vezes, na forma de porfiroblastos (Foto 28) sempre bordejados por cristais de quartzo de dimensões similares, ou ligeiramente mais pequenos. Apresenta um leve extinção e ondulante, típica deformação.

Foto 27. Alinhamento preferencial de quartzo evidenciando foliação S2. Objet./F.zoom 1,25x; Amostra PA1;

Foto 28. Detalhe de Piroxênio; Objet./F.zoom 4x; Amostra PA2;

Granada – estimativa óptica de 10%. Apresenta-se com forma subédrica e ocorre geralmente como porfiroblastos dispersos na foliação. Apresenta bordos irregulares e fraturas preenchidas por óxidos. O seu bordejamento é feito por quartzo sendo que o crescimento parece contemporâneo com o desenvolvimento matriz (Foto 29).

Foto 29. Granada bordejada por quartzo com crescimento contemporâneo ou posterior a este; A) sem Luz polarizada; B) com Luz polarizada; Objet./F.zoom 10x; Amostra SP3;

Outros – A restante percentagem composicional é fechada com a biotita, plagioclásio e minerais opacos. A *Biotita* aparece sob forma anédrica, com coloração fortemente alaranjada (Foto 30). O seu desenvolvimento é ligeiramente anterior à cristalização do quartzo da matriz. Este fortemente incluído por pequenos cristais anédricos a sub-édricos de quartzo, minerais opacos e algum piroxênio. O *Plagioclásio* é de dimensões pequenas com maclas de acordo com a lei de albite e quase sempre aparece em associação com o quartzo, desenvolvendo local e esporadicamente textura mirmequítica. A *Moscovita* aparece quase sempre associada ao porfiroblastos de piroxênio, fortemente alterada, sendo muitas vezes substituída por sericita. Tem dimensões muito pequenas e por acompanhar os bordos do piroxênio, ajuda a definir a (S2). Os minerais opacos ocorrem dispersos na matriz, ou sob a forma de inclusões nos porfiroblastos (principalmente de biotita).

Foto 30. Biotita da Unidade Lourosa (inferior); Objet./F.zoom 4x; Amostra PA2;

Esta unidade é constituída, genericamente, pela seguinte mineralogia essencial: piroxênio, quartzo e granada. Trata-se de uma associação de fácies anfibolítica no campo da granada ($T \approx 650^\circ$)

3.3. Dados Geocronológicos

Da coleta feita para análise geocronológica, nem todas as amostras se mostraram ideais para proceder à datação. Assim, seis amostras foram selecionadas para análise de proveniência, idade de metamorfização e idade de deposição (consoante o tipo de rocha) baseada em dados geocronológicos U-Pb em grãos de zircão detrítico, seis amostras para análise de petrogênese em dados geocronológicos de idade modelo de manto empobrecido (T_{DM}) Sm-Nd em rocha total. Por último, apenas uma amostra se mostrou viável para determinar a idade de resfriamento pelo método K-Ar.

Na tabela que se segue (tabela 2) resumem-se todas as amostras sujeitas a análise geocronológica.

Tabela 2. Resumo das amostras usadas para datação geocronológica com tipo de rocha, mineral sujeito a análise, método, localização e objetivo da análise

Amostra	Rocha	Material	Método	Coordenadas Geográficas		Referência Geográfica	Finalidade
				Lat.	Long.		
SP1	Gnaiss	Zircão	Shrimp	41.06865875	-8.658785932	Espinho-Portugal	Idade de Metamorfização
SP2	Granitóide	RTOT	Sm-Nd	41.06876319	-8.658753326	Espinho-Portugal	Petrogênese
		Biotita	K-Ar				Idade de resfriamento
		Muscovita	K-Ar				Idade de resfriamento
SP3	Granitóide	RTOT	Sm-Nd	41.0640161	-8.657399816	Espinho-Portugal	Petrogênese
SP5	Quartzito	RTOT	Sm-Nd	41.05779589	-8.657085747	Espinho-Portugal	Metamorfismo
		Zircão	LA-ICP-MS				Idade de Deposição
CAIM1	Paragneiss	RTOT	Sm-Nd	40.71246659	-8.461516583	Valemaior-Portugal	Petrogênese
CRTG1	Quartzito	RTOT	Sm-Nd	40.94425648	-8.607183332	Cortegaça-Portugal	Idade de Cristalização
		Zircão	LA-ICP-MS				Idade de Deposição
CRTG2	Gnaiss	RTOT	Sm-Nd	40.94420962	-8.607575856	Cortegaça-Portugal	Idade de Cristalização
EN	Anfibolito	Zircão	LA-ICP-MS	40.97501094	-8.606374478	Espinho-Portugal	Idade de Cristalização
PA1	Granitóide	Zircão	LA-ICP-MS	41.1266031	-8.667834448	Espinho-Portugal	Proveniência
PA2	Granitóide	Zircão	LA-ICP-MS	41.12665541	-8.668011809	Espinho-Portugal	Proveniência

3.3.1. Unidade de Espinho

Amostra SP5

Os zircões da amostra quartizítica SP5, ainda pertencente a Unidade de Espinho, foram analisados pelo método U/Pb pela técnica LA-ICP-MS. O material separado forneceu cerca de 49 grãos de zircão detritico para análise. A análise sob lupa binocular revelou grãos com coloração translúcida a levemente amarelada e com granulometria e forma variáveis. Os grãos prismáticos apresentam, na sua grande maioria, uma relação longitudinal de 2 para um e a sua granulometria varia entre $\approx 287\mu\text{m}$ e $\approx 126\mu\text{m}$. Por outro lado, os grãos mais arredondados apresentam diâmetro variável entre $\approx 153\mu\text{m}$ e $\approx 87\mu\text{m}$.

A análise das imagens de catodo luminescência (Fig. 6), revela que a grande maioria dos zircões são prismáticos e com zoneamento oscilatório ígneo. Os demais são ovóides e homogêneos claros e/ou com zoneamento oscilatório. Na maioria dos grãos é possível comprovar a existência de uma borda metamórfica, mas cuja espessura impossibilitou a análise. Ainda assim, a tentativa de medição foi feita em alguns deles, mas o elevado grau de discordância do dado levou-nos a sua exclusão nos dados finais. Ainda assim, a título de orientação, os valores não variaram dos demais dados (370 a 550ma).

A população representativa desta amostra está compreendida no intervalo de idades entre $\approx 533\text{Ma}$ e $\approx 670\text{Ma}$; de 51 grãos cerca de 7 grãos revelam idades inferiores a população maioritária, variação de idade entre os 320Ma e 390Ma, e 9 grãos revelam idades paleo-proterozóicas e arqueanas (intervalo entre 2000Ma e 2840Ma) (Graf. 4 e 5). Apesar de grande parte dos zircões apresentarem idades Cadomianas, as características dos mesmos revelam fonte ígnea, ou por evidências no aspeto do zircão (zonamento oscilatório) ou pelos valores da razão Th/U. Assim, parece-nos razoável associar os complexos granitóides que envolvem a região, e cujos dados geocronológicos de trabalhos elaborados anteriormente para os mesmos, revelam idades semelhantes, como a fonte destes complexos quartzitos. A borda metamórfica visível em alguns grãos de zircão que compõem a amostra, ter-se-à formado durante a orogenia variscana, por volta dos 350Ma.

Mais detalhes em relação às idades obtidas podem ser consultadas na tabela 3.

Figura 6. Imagens de catódo luminescência dos zircões da amostra SP5.

Tabela 3. Dados de LA-ICP-MS U/Pb dos grãos de zircão da amostra SP5.

SPOT	RATIOS											% Pb tot. c.	Pb rad ppm	Th ppm	U ppm	Th/U	AGE				% Conc 206/238 207/206
	207/235	1 σ	206/238	1 σ	Coef. Corr.	238/206	1 σ	207/206	1 σ	208/206	1 σ						T206/238	1 σ	T207/206	1 σ	
Sp5-10,1	0,4300	0,0087	0,0554	0,0008	0,72	18,0387	0,2597	0,0536	0,0005	0,2119	0,0601	2,01	71,4	484,7	959,4	0,505	0,348	0,005	0,348	0,020	100
Sp5-17,1	0,3995	0,0142	0,0547	0,0005	0,25	18,2943	0,1648	0,0534	0,0014	0,1459	0,0624	2,36	40,6	202,8	615,3	0,330	0,343	0,003	0,342	0,056	100
Sp5-20,2	0,4589	0,0046	0,0606	0,0004	0,73	16,5120	0,1209	0,0543	0,0004	0,0836	0,0357	<0.001	58,8	187,5	775,1	0,242	0,379	0,003	0,380	0,015	100
Sp5-24,1	0,4418	0,0069	0,0587	0,0009	0,90	17,0289	0,2700	0,0541	0,0003	1,2213	2,1515	0,12	79,2	266,2	1135,6	0,234	0,368	0,006	0,369	0,014	100
Sp5-27,1	0,4251	0,0082	0,0583	0,0010	0,85	17,1536	0,2813	0,0540	0,0005	2,0010	3,5258	<0.001	12,1	79,4	178,6	0,445	0,365	0,006	0,366	0,020	100
Sp5-29,1	0,4674	0,0076	0,0621	0,0010	0,90	16,1083	0,2610	0,0545	0,0003	0,3285	0,5795	0,66	56,8	49,9	750,0	0,066	0,388	0,006	0,387	0,014	100
Sp5-32,1	0,3854	0,0094	0,0528	0,0012	0,90	18,9291	0,4238	0,0531	0,0005	-0,6110	1,0790	<0.001	36,9	-18,1	666,4	-0,027	0,332	0,007	0,331	0,021	100
Sp5-34,1	0,6948	0,0140	0,0865	0,0015	0,87	11,5659	0,2023	0,0583	0,0007	2,2738	4,0067	0,51	18,6	76,6	165,0	0,464	0,535	0,009	0,534	0,025	100
Sp5-23,1	0,7019	0,0107	0,0874	0,0013	0,90	11,4414	0,1767	0,0584	0,0004	1,5906	0,6785	<0.001	51,2	802,0	286,2	2,802	0,540	0,008	0,538	0,015	100
Sp5-13,1	0,7708	0,0117	0,0936	0,0009	0,60	10,6812	0,0970	0,0589	0,0005	0,3563	0,1522	<0.001	20,1	113,3	158,4	0,715	0,577	0,005	0,558	0,019	103
Sp5-37,1	0,7812	0,0104	0,0927	0,0018	0,90	10,7873	0,2046	0,0594	0,0006	0,6335	0,6027	<0.001	5,5	31,4	44,7	0,703	0,571	0,010	0,574	0,022	100
Sp5-39,1	0,7595	0,0079	0,0926	0,0010	0,90	10,8046	0,1139	0,0593	0,0003	0,4579	0,4351	<0.001	16,0	66,9	134,4	0,498	0,571	0,006	0,572	0,012	100
Sp5-33,1	0,7888	0,0141	0,0949	0,0016	0,90	10,5362	0,1776	0,0594	0,0007	1,9116	3,3683	0,60	16,2	54,9	139,6	0,393	0,585	0,009	0,577	0,025	101
Sp5-18,1	0,7827	0,0081	0,0951	0,0007	0,69	10,5187	0,0749	0,0602	0,0004	0,3332	0,1422	<0.001	30,6	153,6	233,1	0,659	0,585	0,004	0,604	0,016	97
Sp5-7,1	0,7530	0,0169	0,0952	0,0016	0,74	10,5016	0,1741	0,0596	0,0006	0,2794	0,0794	0,98	12,4	63,7	95,3	0,668	0,586	0,009	0,583	0,022	100
Sp5-21,1	0,7914	0,0080	0,0962	0,0008	0,81	10,3961	0,0853	0,0599	0,0005	0,3596	0,1536	<0.001	14,7	85,0	111,8	0,760	0,592	0,005	0,594	0,018	100
Sp5-36,1	0,7461	0,0194	0,0915	0,0016	0,69	10,9257	0,1965	0,0591	0,0010	5,3672	9,4560	<0.001	9,3	61,2	66,5	0,920	0,565	0,010	0,565	0,037	100
Sp5-41,1	0,8149	0,0131	0,0958	0,0022	0,90	10,4357	0,2372	0,0598	0,0011	1,4662	1,3946	<0.001	4,7	39,7	31,4	1,263	0,590	0,013	0,590	0,039	100
Sp5-42,1	0,7975	0,0082	0,0954	0,0010	0,90	10,4787	0,1083	0,0605	0,0002	0,3747	0,3559	<0.001	40,3	133,5	325,6	0,410	0,588	0,006	0,615	0,008	96
Sp5-44,1	0,8032	0,0086	0,0958	0,0011	0,90	10,4350	0,1158	0,0610	0,0004	0,6819	0,6478	<0.001	14,2	80,2	111,5	0,720	0,590	0,006	0,634	0,015	93
Sp5-45,1	0,7572	0,0101	0,0919	0,0016	0,90	10,8836	0,1886	0,0593	0,0005	1,0054	0,9553	<0.001	15,3	110,1	106,4	1,035	0,567	0,009	0,571	0,017	99
Sp5-46,1	0,7523	0,0102	0,0891	0,0011	0,89	11,2228	0,1359	0,0597	0,0003	0,5713	0,5427	<0.001	26,4	122,1	223,2	0,547	0,550	0,006	0,585	0,011	94
Sp5-47,1	0,7697	0,0149	0,0947	0,0015	0,83	10,5565	0,1696	0,0597	0,0003	0,5622	0,5342	<0.001	28,5	149,8	207,5	0,722	0,583	0,009	0,586	0,009	100
Sp5-48,1	0,7774	0,0091	0,0960	0,0012	0,90	10,4220	0,1256	0,0599	0,0003	0,4491	0,4268	<0.001	16,6	60,8	134,0	0,454	0,591	0,007	0,593	0,012	100
Sp5-3,1	0,8939	0,0178	0,1077	0,0016	0,72	9,2840	0,1340	0,0615	0,0006	0,1400	0,0400	0,42	17,8	42,5	138,0	0,308	0,659	0,009	0,652	0,020	101

Sp5-4,1	0,8437	0,0163	0,1011	0,0014	0,74	9,8940	0,1413	0,0606	0,0004	0,4821	0,1366	<0.001	53,8	398,0	342,9	1,161	0,621	0,008	0,619	0,016	100
Sp5-6,1	0,8461	0,0212	0,1015	0,0020	0,79	9,8488	0,1952	0,0607	0,0005	0,0871	0,0251	<0.001	10,6	21,1	87,9	0,240	0,623	0,012	0,621	0,017	100
Sp5-35,1	0,8052	0,0202	0,0977	0,0022	0,90	10,2339	0,2301	0,0601	0,0012	2,1163	3,7305	<0.001	10,5	39,5	84,3	0,468	0,601	0,013	0,602	0,042	100
Sp5-9,1	0,9112	0,0201	0,1070	0,0021	0,89	9,3422	0,1822	0,0615	0,0008	0,2763	0,0792	<0.001	5,4	25,8	38,3	0,675	0,656	0,012	0,653	0,027	100
Sp5-11,1	0,8992	0,0223	0,1055	0,0022	0,84	9,4769	0,1970	0,0613	0,0005	0,4415	0,1255	<0.001	22,0	150,7	141,7	1,064	0,647	0,013	0,644	0,017	100
Sp5-12,1	0,9889	0,0249	0,1135	0,0024	0,82	8,8108	0,1825	0,0627	0,0005	0,1347	0,0382	1,34	38,8	62,4	278,7	0,224	0,693	0,014	0,692	0,017	100
Sp5-19,1	0,8068	0,0150	0,0981	0,0015	0,83	10,1944	0,1564	0,0601	0,0010	0,3065	0,1318	<0.001	3,7	19,8	28,1	0,707	0,603	0,009	0,601	0,037	100
Sp5-22,1	0,8208	0,0098	0,0986	0,0010	0,84	10,1453	0,1017	0,0602	0,0005	0,2733	0,1167	1,61	11,4	48,2	89,5	0,539	0,606	0,006	0,603	0,018	100
Sp5-40,1	0,8344	0,0099	0,0994	0,0015	0,90	10,0648	0,1543	0,0603	0,0006	0,6325	0,6011	<0.001	9,1	39,3	67,2	0,584	0,611	0,009	0,609	0,020	100
Sp5-2,1	6,6820	0,1329	0,3866	0,0056	0,73	2,5864	0,0375	0,1313	0,0009	0,0628	0,0179	0,06	96,4	29,6	210,9	0,140	2,107	0,026	2,112	0,012	100
Sp5-5,1	6,5618	0,1276	0,3770	0,0055	0,75	2,6522	0,0387	0,1258	0,0009	0,1056	0,0299	0,01	44,4	25,9	95,8	0,271	2,062	0,026	2,039	0,012	101
Sp5-14,1	7,6260	0,0747	0,4029	0,0030	0,75	2,4818	0,0183	0,1375	0,0009	0,3177	0,1355	0,23	79,3	107,3	142,8	0,751	2,183	0,014	2,192	0,011	100
Sp5-14,2	7,4292	0,0767	0,3890	0,0026	0,66	2,5708	0,0175	0,1376	0,0009	0,1417	0,0604	0,04	242,2	171,4	462,9	0,370	2,118	0,012	2,193	0,012	97
Sp5-25,1	6,7035	0,1053	0,3688	0,0059	0,90	2,7118	0,0435	0,1312	0,0008	0,7890	1,3901	0,20	104,2	40,2	229,1	0,176	2,024	0,028	2,112	0,010	96
Sp5-1,1	9,5470	0,1862	0,4402	0,0064	0,75	2,2716	0,0330	0,1584	0,0012	0,5343	0,1517	0,65	27,7	53,1	39,3	1,350	2,352	0,029	2,435	0,013	97
Sp5-26,1	10,7336	0,1814	0,4758	0,0080	0,90	2,1018	0,0355	0,1651	0,0010	1,1792	2,0774	<0.001	110,1	51,8	189,1	0,274	2,509	0,035	2,506	0,011	100
Sp5-38,1	15,7842	0,1552	0,5580	0,0052	0,90	1,7921	0,0168	0,2045	0,0007	1,3736	1,3047	<0.001	131,7	222,5	137,9	1,614	2,858	0,022	2,868	0,005	100
Sp5-43,1	5,9736	0,0627	0,3400	0,0033	0,90	2,9415	0,0290	0,1273	0,0005	0,6971	0,6621	<0.001	59,1	90,6	117,3	0,772	1,886	0,016	2,868	0,005	92

Gráfico 4. Idades U-Pb considerando apenas os pontos de idade inferior a 750Ma. Concordância de 100% $\pm$ 10%; Amostra SP5.

Gráfico 5. Diagrama de concordância Tera & Wasserburg (1972) para a amostra SP5 em LA-ICP-MS. Data point error ellipses are 68,3% conf. Concordância de 100% $\pm$ 10%

Amostra CRTG1

A amostra CRTG1, quartzito, analisada e LA-ICP-MS, forneceu cerca de 46 grãos de zircão. A análise sob lupa binocular revelou grãos de coloração alternando entre translúcida, amarelada e ligeiramente acastanhados.

A análise das imagens dos zircões em catodo luminescência (Fig. 7, 8 e 9) revela que a grande maioria dos grãos são prismáticos e/ou fragmentados com zoneamento oscilatório, com razão dimensional de 2 para um, e dimensões variáveis entre $\approx 193\mu\text{m}$ a $\approx 125\mu\text{m}$. Poucos zircões são ovóides e apenas 4 são homogeneamente claros e as dimensões variam entre $\approx 144\mu\text{m}$ e $\approx 93\mu\text{m}$.

A população representativa compreende o intervalo de idades de 500Ma e 680Ma (Graf. 7); cerca de 6 grãos revelam idades mais jovens, compreendidas no intervalo entre 370Ma e 460Ma; enquanto que cerca de 28 grãos revelam-se proterozóicos e arqueanos (intervalo entre 850Ma e 3280Ma) (Graf. 6 e 7). Todos os detalhes das idades obtidas e razões isotópicas dos zircões sujeitos a análise, podem ser consultados na tabela 4.

À semelhança da amostra anterior, grande parte dos zircões apresentam características tipicamente ígneas. Assim, as idades Cadomianas estarão associadas aos complexos granitóides que envolvem a região. A borda metamórfica visível em alguns grãos de zircão que compõem a amostra, ter-se-à formado durante a orogenia variscana, por volta dos 350Ma.

Figura 7. Imagens de catodo luminescência dos zircões da amostra CRTG1.

Figura 8. Imagens de catodoluminescência dos zircões da amostra CRTG1;

Figura 9. Imagens de catodoluminescência dos zircões da amostra CRTG1;

Tabela 4. Dados de LA-ICP-MS U/Pb dos grãos de zircão da amostra Crtg1.

SPOT	RATIOS											% Pb tot. c.	Pb ppm	Th ppm	U ppm	Th/U	AGES				% Conc. 206/238 207/206
	207/235	1 σ	206/238	1 σ	coef. corr.	238/206	1 σ	207/206	1 σ	208/206	1 σ						T206/238	1 σ	T207/206	1 σ	
Crtg1-19,1	0,4406	0,0145	0,0592	0,0017	0,88	16,8903	0,4909	0,0541	0,0008	-0,9127	2,5487	<0,001	14,5	93,1	207,4	0,449	0,371	0,010	0,371	0,033	100
Crtg1-41,1	0,5024	0,0072	0,0659	0,0010	0,90	15,1809	0,2244	0,0556	0,0005	0,3456	0,7700	<0,001	31,8	63,0	406,8	0,155	0,411	0,006	0,430	0,018	96
Crtg1-71,1	0,5100	0,0096	0,0658	0,0012	0,90	15,1878	0,2706	0,0551	0,0004	0,2208	0,0416	<0,001	34,5	204,3	401,1	0,509	0,411	0,007	0,412	0,015	100
Crtg1-17,1	0,5063	0,0167	0,0659	0,0017	0,77	15,1697	0,3871	0,0551	0,0007	-0,6397	1,7866	<0,001	33,9	129,7	425,5	0,305	0,412	0,010	0,411	0,026	100
Crtg1-55,1	0,5910	0,0148	0,0738	0,0022	0,90	13,5512	0,4006	0,0563	0,0005	0,0476	0,0080	<0,001	34,8	26,4	380,8	0,069	0,459	0,013	0,459	0,018	100
Crtg1-13,2	0,5718	0,0237	0,0742	0,0020	0,67	13,4721	0,3716	0,0562	0,0011	-1,2310	3,4376	<0,001	37,5	199,9	378,1	0,529	0,462	0,012	0,456	0,043	101
Crtg1-65,1	0,6716	0,0129	0,0830	0,0011	0,67	12,0474	0,1560	0,0577	0,0004	0,1562	0,0295	<0,001	39,5	130,6	369,3	0,354	0,514	0,006	0,513	0,015	100
Crtg1-12,1	0,6895	0,0230	0,0853	0,0023	0,79	11,7297	0,3103	0,0582	0,0006	0,6232	1,0007	0,15	84,4	841,3	648,4	1,298	0,527	0,013	0,529	0,024	100
Crtg1-1,1	0,7787	0,0241	0,0940	0,0022	0,74	10,6332	0,2444	0,0595	0,0008	0,3136	0,5036	0,31	26,0	147,3	207,8	0,709	0,579	0,013	0,578	0,030	100
Crtg1-14,1	0,7977	0,0215	0,0967	0,0025	0,90	10,3363	0,2667	0,0602	0,0005	-2,3617	6,5949	0,20	24,4	180,1	158,0	1,139	0,595	0,015	0,603	0,018	99
Crtg1-15,1	0,7770	0,0268	0,0947	0,0033	0,90	10,5562	0,3705	0,0597	0,0014	-1,5206	4,2472	2,07	12,9	55,4	95,4	0,580	0,583	0,020	0,586	0,049	100
Crtg1-6,1	0,7896	0,0230	0,0954	0,0021	0,76	10,4777	0,2316	0,0591	0,0006	0,0098	0,0158	<0,001	130,3	22,2	1226,1	0,018	0,588	0,012	0,563	0,022	104
Crtg1-7,1	0,7807	0,0249	0,0962	0,0024	0,78	10,3954	0,2597	0,0599	0,0007	0,8516	1,3674	0,02	79,3	836,3	437,1	1,913	0,592	0,014	0,594	0,025	100
Crtg1-76,1	0,6978	0,0089	0,0872	0,0011	0,90	11,4663	0,1425	0,0584	0,0004	0,2135	0,0525	<0,001	19,3	98,8	168,6	0,586	0,539	0,006	0,539	0,016	100
Crtg1-47,1	0,7036	0,0105	0,0875	0,0013	0,90	11,4221	0,1636	0,0584	0,0005	1,5214	3,3895	0,05	26,7	177,1	218,8	0,809	0,541	0,007	0,539	0,020	100
Crtg1-54,1	0,7787	0,0155	0,0927	0,0012	0,64	10,7882	0,1370	0,0603	0,0007	0,6470	0,0977	0,12	33,4	308,0	227,7	1,353	0,571	0,007	0,608	0,024	94
Crtg1-81,1	0,7369	0,0076	0,0931	0,0013	0,90	10,7454	0,1554	0,0592	0,0004	0,3225	0,0794	<0,001	16,8	116,0	128,1	0,905	0,574	0,008	0,567	0,015	101
Crtg1-74,1	0,7774	0,0144	0,0949	0,0014	0,78	10,5376	0,1528	0,0597	0,0004	0,5728	0,1088	<0,001	24,4	199,2	158,2	1,259	0,584	0,008	0,586	0,016	100
Crtg1-77,1	0,8161	0,0092	0,0971	0,0010	0,90	10,2950	0,1082	0,0608	0,0002	0,2193	0,0538	<0,001	87,7	358,6	646,1	0,555	0,598	0,006	0,624	0,008	96
Crtg1-21,1	0,6791	0,0187	0,0834	0,0022	0,90	11,9919	0,3166	0,0578	0,0007	-0,6223	1,7387	2,18	12,2	38,9	122,5	0,318	0,516	0,013	0,517	0,025	100
Crtg1-12,2	0,7253	0,0103	0,0898	0,0013	0,90	11,1379	0,1643	0,0588	0,0004	2,7563	6,1406	1,16	71,8	596,1	477,0	1,250	0,554	0,008	0,554	0,015	100
Crtg1-24,1	0,7497	0,0215	0,0964	0,0026	0,90	10,3684	0,2764	0,0598	0,0005	-1,1218	3,1325	<0,001	22,3	140,2	161,8	0,867	0,594	0,015	0,591	0,017	100
Crtg1-28,1	0,7413	0,0163	0,0930	0,0017	0,86	10,7518	0,2020	0,0595	0,0006	-1,4327	3,0295	<0,001	18,2	63,5	158,8	0,400	0,573	0,010	0,581	0,021	99
Crtg1-29,1	0,8017	0,0150	0,0947	0,0015	0,87	10,5564	0,1724	0,0597	0,0006	-3,7496	7,9281	0,11	60,4	424,4	434,3	0,977	0,583	0,009	0,585	0,020	100
Crtg1-27,1	0,8047	0,0126	0,0984	0,0013	0,83	10,1604	0,1313	0,0595	0,0008	-4,3290	9,1530	<0,001	16,9	142,2	106,1	1,340	0,605	0,007	0,578	0,029	105
Crtg1-8,1	0,8459	0,0328	0,0987	0,0027	0,69	10,1272	0,2726	0,0605	0,0010	0,3685	0,5919	0,08	18,9	110,3	141,9	0,777	0,607	0,016	0,617	0,036	98
Crtg1-2,2	0,9046	0,0441	0,0992	0,0081	0,90	10,0854	0,8252	0,0603	0,0012	0,1023	0,1645	2,74	29,2	62,3	231,2	0,269	0,609	0,047	0,608	0,041	100
Crtg1-11,1	0,9509	0,0359	0,1080	0,0032	0,79	9,2576	0,2751	0,0618	0,0008	0,2717	0,4364	<0,001	50,8	258,0	319,8	0,807	0,661	0,019	0,662	0,026	100
Crtg1-2,1	1,0708	0,0436	0,1088	0,0065	0,90	9,1950	0,5505	0,0617	0,0016	0,1589	0,2554	<0,001	57,1	128,1	404,3	0,317	0,666	0,038	0,660	0,054	101

Crtg1-13,1	0,9522	0,0278	0,1108	0,0028	0,88	9,0239	0,2306	0,0612	0,0007	-4,0791	11,3905	0,07	32,0	351,6	165,3	2,126	0,677	0,016	0,639	0,025	106
Crtg1-20,1	0,9120	0,0447	0,1062	0,0027	0,53	9,4197	0,2431	0,0614	0,0032	-2,2614	6,3153	1,42	101,6	668,5	697,0	0,959	0,650	0,016	0,649	0,108	100
Crtg1-26,1	0,9204	0,0252	0,1068	0,0026	0,88	9,3657	0,2260	0,0616	0,0012	-2,4411	5,1621	<0.001	17,3	95,7	146,1	0,655	0,654	0,015	0,655	0,042	100
Crtg1-39,1	0,8423	0,0158	0,0996	0,0017	0,90	10,0360	0,1742	0,0613	0,0007	2,3140	5,1555	<0.001	19,9	154,5	128,1	1,206	0,612	0,010	0,643	0,023	95
Crtg1-33,1	0,8660	0,0140	0,1016	0,0013	0,80	9,8446	0,1271	0,0606	0,0005	-1,7149	3,6265	0,00	15,2	67,1	128,4	0,523	0,624	0,008	0,620	0,017	101
Crtg1-34,1	0,9211	0,0152	0,1095	0,0017	0,90	9,1330	0,1427	0,0620	0,0010	-2,2632	4,7861	<0.001	10,0	47,7	69,1	0,691	0,670	0,010	0,669	0,034	100
Crtg1-36,1	0,9726	0,0211	0,1082	0,0014	0,58	9,2427	0,1167	0,0618	0,0008	-2,0592	4,3543	0,72	47,8	237,2	393,0	0,604	0,662	0,008	0,662	0,027	100
Crtg1-37,1	0,8598	0,0129	0,1032	0,0016	0,90	9,6853	0,1456	0,0610	0,0006	0,8893	1,9814	0,10	22,4	76,4	167,1	0,457	0,633	0,009	0,631	0,020	100
Crtg1-45,1	0,8915	0,0148	0,1051	0,0016	0,90	9,5130	0,1460	0,0620	0,0007	1,4760	3,2885	<0.001	25,8	129,4	182,4	0,709	0,644	0,009	0,668	0,023	97
Crtg1-48,1	0,8908	0,0135	0,1048	0,0016	0,90	9,5412	0,1489	0,0613	0,0004	0,9698	2,1613	0,28	68,7	226,7	476,0	0,476	0,643	0,010	0,644	0,014	100
Crtg1-52,1	0,9192	0,0159	0,1066	0,0014	0,75	9,3828	0,1219	0,0615	0,0004	0,3564	0,0536	<0.001	89,5	506,3	606,4	0,835	0,653	0,008	0,652	0,014	100
Crtg1-56,1	0,9474	0,0201	0,1098	0,0018	0,76	9,1089	0,1468	0,0622	0,0006	0,4584	0,0706	<0.001	21,1	147,8	124,3	1,189	0,671	0,010	0,674	0,022	100
Crtg1-57,1	0,9011	0,0216	0,1060	0,0022	0,89	9,4360	0,2001	0,0616	0,0004	0,8718	0,1311	<0.001	63,8	725,5	330,0	2,199	0,649	0,013	0,656	0,015	99
Crtg1-58,1	0,8306	0,0195	0,0995	0,0020	0,84	10,0484	0,1983	0,0603	0,0006	0,3589	0,0542	0,53	36,8	227,3	270,2	0,841	0,612	0,012	0,609	0,020	100
Crtg1-61,1	0,8377	0,0216	0,1001	0,0021	0,80	9,9884	0,2055	0,0604	0,0008	0,4161	0,0623	<0.001	25,7	166,1	188,9	0,879	0,615	0,012	0,613	0,028	100
Crtg1-67,1	0,8396	0,0164	0,1020	0,0015	0,74	9,8054	0,1412	0,0608	0,0005	0,1715	0,0324	0,23	17,6	58,0	137,7	0,421	0,626	0,009	0,625	0,016	100
Crtg1-79,1	0,8146	0,0219	0,0995	0,0032	0,90	10,0538	0,3245	0,0601	0,0005	0,3015	0,0740	<0.001	60,4	407,5	403,8	1,009	0,611	0,019	0,600	0,018	102
Crtg1-84,1	0,9257	0,0158	0,1073	0,0018	0,90	9,3233	0,1601	0,0617	0,0003	0,1880	0,0462	<0.001	59,4	197,1	413,2	0,477	0,657	0,011	0,660	0,009	100
Crtg1-85,1	0,8968	0,0121	0,1081	0,0023	0,90	9,2475	0,1971	0,0618	0,0009	0,5472	0,1350	<0.001	4,2	37,5	25,7	1,462	0,662	0,013	0,661	0,032	100
Crtg1-5,1	1,1723	0,0354	0,1296	0,0031	0,78	7,7162	0,1831	0,0655	0,0007	0,2248	0,3610	1,73	48,6	145,7	286,6	0,508	0,786	0,018	0,788	0,022	100
Crtg1-44,1	1,2483	0,0335	0,1385	0,0036	0,90	7,2179	0,1874	0,0672	0,0009	0,6797	1,5148	<0.001	12,2	27,4	66,0	0,415	0,836	0,020	0,840	0,029	100
Crtg1-53,1	1,3079	0,0291	0,1409	0,0027	0,86	7,0955	0,1354	0,0674	0,0005	0,3392	0,0508	<0.001	57,0	230,5	298,9	0,771	0,850	0,015	0,846	0,016	100
Crtg1-9,1	1,6875	0,0603	0,1644	0,0045	0,76	6,0812	0,1657	0,0719	0,0008	0,3533	0,5674	0,03	81,3	317,6	332,5	0,955	0,981	0,025	0,982	0,022	100
Crtg1-10,1	1,6868	0,0496	0,1687	0,0038	0,76	5,9268	0,1322	0,0731	0,0008	0,1442	0,2316	0,54	55,9	95,1	260,6	0,365	1,005	0,021	1,018	0,022	99
Crtg1-16,1	1,7752	0,0470	0,1748	0,0044	0,90	5,7194	0,1430	0,0744	0,0005	-1,5152	4,2311	0,84	9,1	35,3	43,5	0,811	1,039	0,024	1,053	0,014	99
Crtg1-32,1	1,7656	0,0331	0,1729	0,0028	0,86	5,7832	0,0938	0,0733	0,0007	-2,1722	4,5928	<0.001	91,4	234,0	359,7	0,651	1,028	0,015	1,023	0,021	100
Crtg1-62,1	1,9443	0,0330	0,1856	0,0024	0,75	5,3886	0,0684	0,0762	0,0004	0,3799	0,0715	0,87	69,8	208,4	247,9	0,841	1,097	0,013	1,103	0,010	100
Crtg1-42,1	1,7778	0,0517	0,1746	0,0042	0,83	5,7265	0,1378	0,0726	0,0007	1,6787	3,7399	<0.001	24,2	85,8	105,0	0,817	1,038	0,023	1,004	0,021	103
Crtg1-3,1	2,3405	0,1032	0,2093	0,0088	0,90	4,7770	0,2010	0,0809	0,0012	0,5310	0,8527	14,10	71,5	285,3	261,3	1,092	1,225	0,047	1,223	0,030	100
Crtg1-75,1	2,4564	0,0468	0,2155	0,0039	0,90	4,6401	0,0841	0,0826	0,0004	0,0746	0,0184	<0.001	58,0	51,3	202,8	0,253	1,258	0,021	1,264	0,009	100
Crtg1-82,1	2,2786	0,0287	0,2059	0,0024	0,90	4,8572	0,0556	0,0802	0,0003	0,1320	0,0324	<0.001	39,1	52,4	142,0	0,369	1,207	0,013	1,206	0,008	100
Crtg1-50,1	2,8512	0,0843	0,2400	0,0070	0,90	4,1673	0,1211	0,0878	0,0009	0,2188	0,0329	<0.001	128,1	222,5	425,9	0,522	1,387	0,036	1,383	0,019	100
Crtg1-25,1	3,0863	0,0529	0,2492	0,0039	0,90	4,0130	0,0630	0,0900	0,0006	-1,2767	2,6994	0,07	43,3	58,9	132,1	0,446	1,434	0,020	1,432	0,012	100

Crtg1-25,2	3,1828	0,0696	0,2540	0,0053	0,90	3,9376	0,0825	0,0915	0,0007	-1,0448	2,2092	<0.001	46,6	44,0	146,3	0,300	1,459	0,027	1,463	0,014	100
Crtg1-4,1	3,3921	0,0997	0,2627	0,0060	0,78	3,8065	0,0872	0,0938	0,0010	0,1875	0,3011	<0.001	31,3	32,3	92,2	0,350	1,504	0,031	1,511	0,021	100
Crtg1-59,1	4,2886	0,3439	0,3172	0,0185	0,73	3,1529	0,1839	0,1089	0,0041	0,4026	0,0624	3,56	26,4	52,9	71,8	0,738	1,776	0,090	1,784	0,065	100
Crtg1-80,1	4,3840	0,0675	0,3050	0,0036	0,78	3,2787	0,0392	0,1048	0,0005	0,2032	0,0504	<0.001	212,6	296,6	535,8	0,554	1,716	0,018	1,716	0,009	100
Crtg1-70,1	6,5517	0,4985	0,3650	0,0251	0,90	2,7395	0,1880	0,1126	0,0071	0,1114	0,0300	192,40	71,8	69,0	154,3	0,447	2,006	0,117	1,843	0,107	109
Crtg1-78,1	5,8592	0,0640	0,3528	0,0037	0,90	2,8348	0,0295	0,1191	0,0005	0,3454	0,0848	<0.001	45,4	86,7	81,0	1,071	1,948	0,017	1,943	0,007	100
Crtg1-43,1	6,5502	0,0836	0,3748	0,0051	0,90	2,6682	0,0366	0,1269	0,0008	0,6909	1,5393	<0.001	153,0	133,1	296,8	0,448	2,052	0,024	2,054	0,010	100
Crtg1-18,1	7,0614	0,2875	0,3910	0,0151	0,90	2,5575	0,0986	0,1322	0,0007	-0,3245	0,9067	<0.001	169,2	58,9	327,4	0,180	2,127	0,070	2,124	0,010	100
Crtg1-22,1	7,7166	0,2131	0,4105	0,0111	0,90	2,4358	0,0656	0,1391	0,0008	-0,5717	1,5966	0,37	35,8	23,4	68,9	0,340	2,217	0,050	2,212	0,010	100
Crtg1-64,1	7,3247	0,1762	0,3951	0,0078	0,82	2,5307	0,0497	0,1345	0,0009	0,1801	0,0342	<0.001	12,7	11,6	20,4	0,571	2,147	0,036	2,154	0,011	100
Crtg1-68,1	7,6706	0,3149	0,4213	0,0172	0,90	2,3735	0,0967	0,1430	0,0022	0,1911	0,0363	<0.001	117,3	123,0	218,1	0,564	2,266	0,077	2,260	0,026	100
Crtg1-30,1	7,6030	0,3480	0,4234	0,0190	0,90	2,3618	0,1059	0,1437	0,0028	-0,7486	1,5834	<0.001	69,8	43,5	123,2	0,353	2,276	0,085	2,267	0,033	100
Crtg1-46,1	10,3430	0,4273	0,4595	0,0123	0,65	2,1762	0,0581	0,1575	0,0029	1,8362	4,0928	150,22	86,4	48,8	124,4	0,392	2,437	0,054	2,426	0,032	100
Crtg1-66,1	12,6585	0,3588	0,5095	0,0116	0,80	1,9629	0,0446	0,1803	0,0013	0,2223	0,0419	0,66	89,3	72,5	111,4	0,651	2,654	0,049	2,657	0,012	100
Crtg1-69,1	20,8318	0,7184	0,6461	0,0169	0,76	1,5477	0,0404	0,2674	0,0028	0,4704	0,0893	<0.001	247,6	145,5	276,1	0,527	3,213	0,066	3,287	0,016	98

Gráfico 6. Idades U-Pb cosiderando apenas os pontos de idade inferior a 1,3Ga da amostra CRTG1. Concordância de 100 % $\pm$ 10%.

Gráfico 7. Diagrama de concórdia Tera & Wasserburg (1972) para a amostra CRTG1 em LA-ICP-MS. Data point error ellipses are 68,3% conf. Concordância de 100% $\pm$ 10%.

3.3.2. Unidade de Lourosa

Amostra SP1

A análise U/Pb em Shrimp da amostra SP1, gnaiss, forneceu poucos grãos detríticos para análise, de forma que apenas 22 foram analisados (Fig. 10).

Apesar dos dados concordantes, a população de zircões é muito diversificada, sendo dominante aquela que está representada pelos cristais mais arredondados e que parecem ser detríticos, enquanto a população dos zircões representativos da concórdia (≈ 332 Ma) são cristais subédricos, prismáticos com razões comprimento/largura de 3/1, tipicamente de derivação magmática plutônica. A maior parte dessa população apresenta morfologia interna complexa, caracterizada por grande núcleo com textura de crescimento magmático (zoneamento oscilatório) bem preservada e até duas fases de sobrecrecimento sucessivas.

As idades obtidas para a amostra SP1 são concordantes num valor aproximado de $332 \pm 5,3$ Ma (Graf. 9) numa população de 22 pontos, que se distribuem segundo uma linha de concórdia de Tera & Wasserberg com decaimento de $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ em relação a $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (Graf. 8). Consultar dados completos na tabela 5.

Esta amostra revelou que cerca de 50% dos pontos analisados, seja em análise de borda metamórfica ou de centro homogeneamente claro, as idades são concordantes em $332 \pm 5,3$ Ma, ou seja, afetas de um metamorfismo claramente Variscano. Os restantes grãos revelam-se de idade mais antiga, onde quatro deles estão compreendidos entre 405Ma e 682Ma, ciclo cadomiano, que é por nós interpretado como provenientes dos granitos que se colocaram na região aquando da separação do Atlântico Norte. Cerca de seis grãos revelam idades variáveis entre 823Ma e 2250Ma, revelando assim uma fonte proterozóica, cuja proveniência parece estar associada ao bloco Laurentia.

Figura 10. Imagens de catodoluminescência dos grãos de zircão detrítico da amostra SP-1;

Tabela 5. Dados de Shrimp U/Pb dos grãos de zircão da amostra SP1.

Spot	% 206 c	ppm U	ppm Th	232Th /238U	ppm Rad 206P b	RADIOGÊNICOS 204 corr.								TOTAL				IDADES												
						238/ 206r	% err	207r /206r	% err	207r /235	% err	206r /238	% err	err corr	238 /206	% err	207 /206	% err	206Pb/238U						204 corr.					% Dis- cordant
																			204corr	1s err	207 corr	1s err	208 corr	1s err	207Pb /206Pb Age	1s err	206Pb /238U Age	1s err		
SP1-1.1	2,03	123	39	0,33	5,3	20,46	4,8	,0521	15,6	0,35	16,3	,0488	4,8	,294	20,05	4,7	,0684	5,7	307,5	14,4	307,8	14,4	310,3	15,3	289	357	307,5	14,4	-6	
SP1-2.1	0,36	648	124	0,20	29,5	18,91	4,6	,0524	3,1	0,38	5,5	,0529	4,6	,824	18,84	4,6	,0553	2,3	332,1	14,8	332,4	14,9	332,8	15,3	301	71	332,1	14,8	-9	
SP1-3.1	2,08	81	32	0,41	3,0	23,44	8,0	,0614	29,8	0,36	30,9	,0426	8,1	,261	22,96	7,9	,0779	18,1	269,1	21,2	266,0	21,4	272,0	22,9	654	639	269,1	21,2	143	
SP-4.1	0,71	349	231	0,68	15,2	19,92	4,7	,0526	4,3	0,36	6,4	,0502	4,7	,736	19,77	4,7	,0583	2,2	315,8	14,6	315,9	14,8	318,4	16,5	311	99	315,8	14,6	-1	
SP-5.1	0,17	345	235	0,70	29,3	10,16	4,6	,0622	3,0	0,84	5,5	,0984	4,6	,842	10,14	4,6	,0637	1,7	605,3	26,7	603,8	27,1	609,9	29,8	682	63	605,3	26,7	13	
SP-6.1	0,68	213	48	0,23	28,1	6,56	4,6	,0704	4,1	1,48	6,2	,1522	4,6	,747	6,52	4,6	,0760	2,2	913,5	39,2	913,1	40,5	912,0	40,7	939	84	913,5	39,2	3	
SP-7.1	0,71	152	70	0,47	6,8	19,42	4,7	,0592	4,9	0,42	6,8	,0515	4,7	,687	19,28	4,7	,0649	3,1	323,6	14,8	321,2	14,8	323,8	16,0	575	107	323,6	14,8	78	
SP-8.1	0,22	492	365	0,77	21,7	19,53	4,6	,0531	2,4	0,37	5,2	,0512	4,6	,886	19,49	4,6	,0549	1,9	321,9	14,3	321,8	14,5	323,2	16,3	334	54	321,9	14,3	4	
SP-9.1	2,56	311	187	0,62	14,4	18,97	4,6	,0534	10,8	0,39	11,8	,0527	4,6	,393	18,49	4,6	,0740	2,0	330,9	14,9	331,0	15,0	333,1	16,9	346	245	330,9	14,9	5	
SP-10.1	0,51	638	502	0,81	30,7	17,95	4,6	,0526	5,7	0,40	7,3	,0557	4,6	,625	17,85	4,6	,0568	1,8	349,5	15,5	349,9	15,7	348,6	17,9	313	130	349,5	15,5	-10	
SP-11.1	0,37	606	307	0,52	35,7	14,64	4,5	,0552	2,2	0,52	5,0	,0683	4,5	,902	14,58	4,5	,0582	1,5	426,0	18,8	426,2	19,0	426,0	20,4	419	49	426	18,8	-2	
SP-12.1	1,98	469	144	0,32	91,7	4,48	4,6	,0898	4,8	2,76	6,7	,2226	4,6	,677	4,39	4,5	,1065	1,7	1295,4	53,6	1290,3	56,6	1306,5	56,8	1422	95	1295,4	53,6	10	
SP1-12.2	8,69	2091	364	0,18	97,8	20,13	4,7	,0530	26,6	0,36	27,4	,0496	4,7	,172	18,38	4,5	,1228	3,0	311,8	14,3	312,4	14,5	320,1	15,9	329	612	311,8	14,3	6	
SP-13.1	1,33	453	188	0,43	22,4	17,59	4,6	,0518	6,9	0,41	8,3	,0568	4,6	,550	17,35	4,6	,0626	2,0	356,4	15,9	357,3	16,1	356,5	17,2	276	160	356,4	15,9	-22	
SP-13.2	0,00	134	48	0,37	11,5	9,98	4,7	,0665	2,6	0,92	5,3	,1002	4,7	,872	9,98	4,7	,0665	2,6	615,8	27,3	611,3	27,7	611,7	29,0	823	55	615,8	27,3	34	
SP-14.1	1,30	192	86	0,46	44,9	3,72	4,6	,0922	3,8	3,41	6,0	,2680	4,6	,764	3,68	4,6	,1034	1,6	1530,6	62,7	1538,9	68,3	1532,3	67,5	1471	74	1530	62,7	-4	
SP-15.1	0,75	366	226	0,64	21,7	14,59	4,6	,0548	6,4	0,52	7,9	,0685	4,6	,582	14,48	4,6	,0609	1,8	427,2	19,0	427,6	19,1	422,6	21,2	405	143	427,2	19,0	-5	
SP1-17.1	0,27	546	240	0,45	79,9	5,89	4,5	,0705	1,4	1,65	4,8	,1699	4,5	,953	5,87	4,5	,0727	0,9	1011,3	42,5	1014,4	44,4	1017,3	45,4	943	30	1011,3	42,5	-7	
SP1-19.1	0,87	35	50	1,48	12,6	2,39	5,2	,1293	2,9	7,45	5,9	,4177	5,2	,872	2,37	5,2	,1372	1,7	2250,1	98,6	2288,5	122,2	2276,1	119,6	2089	51	2250,1	98,6	-7	
SP1-20.1	1,41	123	42	0,36	5,7	18,83	4,7	,0535	7,7	0,39	9,0	,0531	4,7	,524	18,56	4,7	,0649	5,1	333,5	15,4	333,5	15,6	335,3	16,5	351	174	333,5	15,4	5	
SP1-21.1	1,27	1395	1706	1,26	78,8	15,41	4,6	,0547	4,4	0,49	6,4	,0649	4,6	,715	15,21	4,6	,0649	1,5	405,2	17,9	405,5	18,1	408,4	22,7	398	100	405,2	17,9	-2	
SP1-22.1	2,42	370	28	0,08	16,1	20,21	4,6	,0525	12,1	0,36	13,0	,0495	4,6	,355	19,72	4,6	,0720	3,8	311,2	14,1	311,4	14,1	312,8	14,5	308	278	311,2	14,1	-1

Gráfico 8. Gráfico de concordia da análise da amostra SP1 em Shrimp. Data point error eclipses are 68,3% of confidence. Concordia Age: $332 \pm 5.3\text{Ma}$ (1s decay-const. errors included); MSDW (of concordance)=0,24;

Gráfico 9. Diagrama de concordia Tera & Wasserburg (1972) para a amostra SP1 em Shrimp. Data point error eclipses are 68,3% of confidence. Concordia Age: $332 \pm 5.3\text{Ma}$ (1s decay-const. errors included); MSDW (of concordance)=0,24; Probability (of concordance) = 0.62; ^{204}Pb corr. – 8spots;

Amostra EN

A amostra EN (Anfibolito) forneceu cerca de 18 grãos de zircão com condições ideais de análise. Sob lupa binocular observaram-se zircões arredondados e/ou fragmentados de coloração translúcida. Os grãos arredondados apresentam dimensões variáveis entre $\approx 124\mu\text{m}$ e $\approx 68\mu\text{m}$.

Com a análise das imagens dos zircões em catododo luminescência (Fig.11 e 12) é possível observar que maioria dos grãos de zircão possuem um núcleo magmático e um sobrecrescimento diferenciados de matriz rugosa. Enquanto que os núcleos são zonados oscilatóriamente, os anéis de sobrecrescimento vão-se alternando entre homogeneamente claros e homogeneamente escuros.

A população de zircões está compreendida entre idades de 320Ma e 426Ma (Gráf. 10). Todos os detalhes das idades obtidas e razões isotópicas dos zircões sujeitos a análise podem ser consultados na tabela 6.

A amostra EN (Anfibolito) revelou idades jovens sendo o zircão mais antigo de idade 426Ma. Assim, podemos inferir que se trata de uma rocha claramente afeta da orogenia Variscana e possivelmente com a sua instalação associada a esta evento. A análise da imagem de catódo luminescência dos zircões analisados, revelam que alguns grãos parecem conter um núcleo de um zircão anterior e pelo menos um anel de sobrecrescimento. Ainda que em nenhum grão tenha sido possível a datação de núcleo e borda, muitos desses núcleos foram datados, e o fato de não existir grande amplitude de valores entre os núcleos datados e as suas bordas, levam-nos a inferir que a instalação do anfibolito da unidade S. João-de-Ver ocorreu aquando da orogenia Varisca.

Figura 11. Imagens de catodo luminescência dos grãos de zircão da amostra EN.

Figura 12. Imagens de catodo luminescência dos grãos de zircão da amostra EN.

Tabela 6. Dados de LA-ICP-MS U/Pb dos grãos de zircão da amostra EN.

SPOT	SITE	RATIOS											Pb total comum %	Pb rad ppm	Th ppm	U ppm	Th/U	AGES				Conc. 206/238 207/206
		207/235	1 σ	206/238	1 σ	coef. corr	238/206	1 σ	207/206	1 σ	208/206	1 σ						T206/238	1 σ	T207/206	1 σ	
EN – 2.1	rd, e, sz	0,4007	0,0110	0,0542	0,0006	0,38	18,4407	0,1945	0,0533	0,0014	0,4345	0,0993	2,79	13,0	198,7	165,5	1,20	0,340	0,003	0,340	0,057	100
EN – 4.1	rd, m, d	0,3953	0,0046	0,0544	0,0004	0,64	18,3980	0,1357	0,0534	0,0004	0,5771	0,1315	1,72	23,9	421,6	287,4	1,47	0,341	0,002	0,341	0,017	100
EN – 5.1	ov, m, d	0,3927	0,0037	0,0537	0,0004	0,79	18,6078	0,1390	0,0533	0,0005	0,2453	0,0562	0,56	18,1	159,3	262,7	0,61	0,337	0,002	0,337	0,021	100
EN – 6.1	ov, m, IC/d	0,4130	0,0048	0,0552	0,0005	0,82	18,1025	0,1711	0,0535	0,0005	0,4218	0,0963	0,94	14,2	171,5	192,4	0,89	0,347	0,003	0,347	0,022	100
EN – 8.1	rd, c, IC/d	0,3993	0,0040	0,0533	0,0004	0,70	18,7530	0,1308	0,0533	0,0004	0,5245	0,1195	0,62	21,5	364,2	268,5	1,36	0,335	0,002	0,336	0,018	100
EN – 11.1	rd, m, d	0,4036	0,0042	0,0546	0,0004	0,71	18,3252	0,1358	0,0534	0,0004	0,2809	0,0654	0,26	19,8	206,3	274,9	0,75	0,343	0,002	0,342	0,018	100
EN – 12.1	rd, m, d	0,3856	0,0038	0,0526	0,0004	0,77	19,0101	0,1415	0,0532	0,0004	0,5714	0,1302	0,94	19,9	331,0	251,8	1,31	0,330	0,002	0,332	0,015	100
EN – 15.1	ov, m, IC/d	0,3868	0,0064	0,0534	0,0008	0,90	18,7301	0,2848	0,0532	0,0003	0,3517	0,1044	<0.001	16,8	155,8	240,7	0,65	0,335	0,005	0,335	0,013	100
EN – 21.1	rd, m, IC/d	0,4007	0,0073	0,0528	0,0008	0,87	18,9295	0,3009	0,0532	0,0005	1,1270	0,3344	1,77	19,8	429,6	213,6	2,01	0,332	0,005	0,333	0,020	100
EN – 23.1	fr, m, IC/d	0,4124	0,0071	0,0549	0,0009	0,90	18,2266	0,2872	0,0534	0,0005	0,3339	0,0996	1,70	21,9	171,6	305,5	0,56	0,344	0,005	0,343	0,019	100
EN – 7.1	ov, c, IC/d	0,4034	0,0058	0,0558	0,0004	0,50	17,9176	0,1288	0,0536	0,0006	0,4056	0,0925	1,52	18,2	265,5	239,2	1,11	0,350	0,002	0,350	0,026	100
EN – 20.1	rd, c, IC/d	0,3719	0,0073	0,0509	0,0008	0,79	19,6549	0,3066	0,0529	0,0005	1,3088	0,3882	1,40	25,2	648,1	248,5	2,61	0,320	0,005	0,321	0,021	100
EN – 17.1	rd, m, d	0,3838	0,0065	0,0539	0,0008	0,90	18,5667	0,2850	0,0539	0,0004	0,8352	0,2476	3,91	21,1	434,9	235,0	1,85	0,338	0,005	0,362	0,018	93
EN – 13.1	ov, m, IC/d	0,4336	0,0115	0,0575	0,0010	0,65	17,4023	0,2996	0,0539	0,0015	0,5438	0,1283	0,45	9,1	114,9	106,3	1,08	0,360	0,006	0,360	0,060	100
EN – 16.1	rd, m, d	0,4179	0,0083	0,0565	0,0009	0,77	17,7105	0,2702	0,0537	0,0008	0,8049	0,2387	<0.001	22,7	368,8	258,1	1,43	0,354	0,005	0,355	0,031	100
EN – 3.1	rd, c, IC/d	0,4608	0,0047	0,0618	0,0004	0,70	16,1919	0,1165	0,0545	0,0003	1,0705	0,2439	0,34	28,0	622,0	228,3	2,72	0,386	0,003	0,388	0,014	100
EN – 9.1	fr, c, IC/d	0,4814	0,0039	0,0631	0,0004	0,80	15,8482	0,1043	0,0547	0,0003	0,8274	0,1888	0,27	72,8	1393,6	657,7	2,12	0,394	0,003	0,393	0,011	100
EN – 14.1	fr, m, d	0,4769	0,0076	0,0629	0,0009	0,90	15,9055	0,2377	0,0547	0,0002	0,5228	0,1550	0,92	19,6	184,0	222,1	0,83	0,393	0,006	0,394	0,009	100
EN – 19.1	rd, m, r	0,4779	0,0086	0,0634	0,0011	0,90	15,7734	0,2661	0,0548	0,0005	0,5018	0,1488	0,38	36,1	458,2	393,4	1,16	0,396	0,006	0,398	0,019	100
EN – 1.1	rd, m, IC/d	0,5280	0,0041	0,0683	0,0004	0,82	14,6439	0,0930	0,0554	0,0003	0,7831	0,1784	<0.001	49,0	883,0	414,7	2,13	0,426	0,003	0,424	0,013	100
EN – 10.1	fr, e, osc	0,5176	0,0061	0,0680	0,0007	0,83	14,7144	0,1442	0,0555	0,0005	1,0244	0,2358	<0.001	23,9	472,2	198,9	2,37	0,424	0,004	0,425	0,021	100
EN – 22.1	rd, m, IC/d	0,5018	0,0090	0,0659	0,0011	0,90	15,1702	0,2598	0,0551	0,0005	0,5935	0,1760	<0.001	28,8	392,3	290,2	1,35	0,412	0,007	0,410	0,021	100

Gráfico 10. Diagrama de concórdia Tera & Wasserburg (1972) para a amostra EN em LA-ICP-MS.

Amostra PA-1

A amostra PA-1 forneceu cerca de 46 grãos de zircão com condições ideais de análise. A análise em lupa binocular revelou grãos com granulometria bem variável mas de forma preferencialmente prismática (a exceção de alguns fragmentos). As dimensões dos zircões prismáticos variam entre valores de $\approx 328\mu\text{m}$ e $\approx 138\mu\text{m}$. A coloração dos zircões variou entre amarelada e ligeiramente acastanhada.

A análise das imagens dos zircões em catododo luminescência (Fig. 13 e 14) revela que os grãos são primáticos e/ou fragmentados, mas que facilmente são identificados como prismáticos) com zoneamento oscilatório.

A população representativa está limitada ao intervalo de idades de $\approx 315\text{Ma}$ e $\approx 702\text{Ma}$; cerca de 2 grãos revelam idades mais jovens de 267Ma e 276Ma ; enquanto que cerca de 12 grãos revelam-se proterozóicos e arqueanos (intervalo entre 1050Ma e 3026Ma) (Gráf. 11). A porção granítica desta unidade, amostra PA1, apresenta dados bem concordantes com a unidade de Espinho. Os zircões metamórficos analisados revelam idades compreendidas entre os 268 e 345Ma , corroborando o metamorfismo variscano como o último grande evento na região. A grande quantidade de zircões ígneos e/ou núcleos ígneos revelam idades cadomianas (idades entre $\approx 405\text{Ma}$ e $\approx 702\text{Ma}$), e cuja proveniência parece associada ao soco Cadomiano; os restantes zircões revelam fontes proterozóicas e arqueanas ($\approx 1050\text{Ma}$ e 3026Ma).

Todos os detalhes das idades obtidas e razões isotópicas dos zircões sujeitos a análise podem ser consultados na tabela 7.

Figura 13. Imagens de catodo luminescência dos grãos de zircão da amostra PA1.

Figura 14. Imagens de catodo luminescência dos grãos de zircão da amostra PA-1.

Tabela 7. Dados de LA-ICP-MS U/Pb dos grãos de zircão da amostra PA-1.

SPOT	SITE	RATIOS											Pb total Comum %	Pb rad ppm	Th ppm	U ppm	Th/U	AGES				Conc. 206/238 207/206 %
		207/235	1 σ	206/238	1 σ	coef. corr	238/206	1 σ	207/206	1 σ	208/206	1 σ						T206/238	1 σ	T207/206	1 σ	
PA -1 - 28,2	p, e, d/r	0,405002	0,0071	0,054904	0,0008	0,819	18,213768	0,2619	0,053468	0,0004	0,003318	0,0023	1,1	312,8	76,1	5364,5	0,01	0,345	0,005	0,345	0,015	100
PA -1 - 29,2	p, e, d/r	0,384117	0,0078	0,050340	0,0007	0,715	19,864831	0,2901	0,052933	0,0006	-0,004061	0,0032	<0.001	224,5	80,4	5023,8	0,02	0,317	0,005	0,322	0,024	98
PA -1 - 30,2	p, e, d/r	0,415955	0,0107	0,055783	0,0014	0,900	17,926739	0,4452	0,053577	0,0003	0,006863	0,0024	1,4	246,4	41,8	4060,0	0,01	0,350	0,008	0,349	0,014	100
PA -1 - 44,2	p, e, d/r	0,387328	0,0067	0,052883	0,0007	0,770	18,909587	0,2515	0,053165	0,0003	0,005627	0,0020	4,0	252,3	27,6	4551,2	0,01	0,332	0,004	0,332	0,012	100
PA -1 - 45,1	p, e, osc	0,373121	0,0046	0,050683	0,0003	0,438	19,730506	0,1061	0,052809	0,0004	0,012450	0,0068	3,8	42,5	12,7	816,4	0,02	0,319	0,002	0,317	0,015	100
PA -1 - 48,2	p, e, d/r	0,288140	0,0061	0,042306	0,0006	0,624	23,637416	0,3120	0,051635	0,0006	0,008242	0,0029	5,0	424,2	120,2	8709,5	0,01	0,267	0,003	0,268	0,025	100
PA -1 - 54,1	p, m, d/r	0,307483	0,0062	0,043682	0,0007	0,770	22,892744	0,3578	0,051806	0,0002	-0,002815	0,0010	1,4	723,8	129,9	15828,6	0,01	0,276	0,004	0,275	0,010	100
PA -1 - 18,1	p,ic,hb	0,390474	0,0080	0,053852	0,0008	0,684	18,569253	0,2586	0,053332	0,0005	0,635646	0,2689	<0.001	22,3	361,2	319,5	1,13	0,338	0,005	0,339	0,022	100
PA -1 - 24,1	p, m, osc	0,430557	0,0148	0,060506	0,0006	0,302	16,527376	0,1719	0,054263	0,0020	0,551378	0,3455	4,7	20,2	159,7	270,8	0,59	0,379	0,004	0,377	0,081	100
PA -1 - 30,1	p, m, sz	0,471540	0,0082	0,062680	0,0006	0,579	15,954002	0,1612	0,054609	0,0007	0,212724	0,1333	<0.001	31,4	95,5	447,9	0,21	0,392	0,004	0,391	0,029	100
PA -1 - 46,1	p, m, osc	0,383138	0,0088	0,053599	0,0007	0,577	18,657139	0,2460	0,053289	0,0007	0,129943	0,0448	9,9	29,1	90,4	463,7	0,20	0,337	0,004	0,337	0,030	100
PA -1 - 31,1	p, m, osc	0,412598	0,0069	0,056583	0,0005	0,513	17,673308	0,1513	0,053747	0,0006	0,161840	0,1013	<0.001	27,0	100,2	437,0	0,23	0,355	0,003	0,356	0,025	100
PA -1 - 37,1	p, m, osc	0,427965	0,0057	0,057648	0,0005	0,592	17,346598	0,1357	0,053845	0,0003	0,462016	0,2467	1,9	60,7	572,8	875,0	0,65	0,361	0,003	0,360	0,014	100
PA -1 - 45,2	p, m, sz	0,449518	0,0065	0,059286	0,0005	0,610	16,867386	0,1494	0,054152	0,0004	0,491586	0,2616	3,7	29,1	235,3	375,3	0,63	0,371	0,003	0,373	0,018	100
PA -1 - 56,1	p, c, sz	0,422528	0,0111	0,057765	0,0009	0,602	17,311666	0,2740	0,053862	0,0009	0,401407	0,1057	9,8	8,7	131,7	105,3	1,25	0,362	0,006	0,361	0,037	100
PA -1 - 1,1	p, m, hd	0,508401	0,0083	0,067147	0,0008	0,739	14,892716	0,1805	0,055294	0,0003	0,086648	0,0345	2,1	222,3	465,1	3010,4	0,15	0,419	0,005	0,419	0,013	100
PA -1 - 39,1	p, c, hb	0,525399	0,0136	0,070462	0,0008	0,451	14,192045	0,1653	0,055798	0,0010	0,267502	0,1425	<0.001	6,4	38,3	78,5	0,49	0,439	0,005	0,439	0,039	100
PA -1 - 4,1	p, e, osc	0,508967	0,0089	0,066167	0,0008	0,678	15,113269	0,1799	0,055156	0,0004	0,342194	0,1362	0,1	25,6	174,2	306,6	0,57	0,413	0,005	0,413	0,018	100
PA -1 - 5,1	p, e, osc	0,490847	0,0090	0,064780	0,0008	0,634	15,436868	0,1789	0,054971	0,0005	0,472791	0,1881	0,4	25,3	233,9	292,1	0,80	0,405	0,005	0,406	0,019	100
PA -1 - 9,1	p, m, osc	0,488201	0,0084	0,064973	0,0008	0,711	15,390933	0,1876	0,055005	0,0005	0,114444	0,0457	0,4	19,1	42,7	264,9	0,16	0,406	0,005	0,407	0,020	100
PA -1 - 20,1	p, c, sz	0,617102	0,0098	0,078020	0,0007	0,598	12,817283	0,1212	0,056999	0,0004	0,191141	0,0810	<0.001	35,1	124,2	385,3	0,32	0,484	0,004	0,485	0,015	100
PA -1 - 41,1	p, m, osc	0,575423	0,0093	0,076330	0,0005	0,437	13,100956	0,0927	0,056765	0,0008	0,350894	0,1871	0,8	10,7	61,3	119,1	0,51	0,474	0,003	0,476	0,029	100
PA -1 - 53,1	fr/p, m, osc	0,610417	0,0124	0,077999	0,0013	0,788	12,820716	0,2061	0,056985	0,0004	0,007640	0,0026	3,1	51,6	5,9	636,6	0,01	0,484	0,007	0,485	0,015	100
PA -1 - 55,1	p, m, osc	0,598464	0,0125	0,077036	0,0011	0,713	12,980955	0,1928	0,056834	0,0005	0,128689	0,0340	<0.001	74,7	301,8	837,7	0,36	0,478	0,007	0,479	0,019	100
PA -1 - 13,1	p, ic, osc	0,642793	0,0120	0,081651	0,0011	0,726	12,247183	0,1665	0,057519	0,0003	0,153782	0,0651	<0.001	21,9	56,0	249,0	0,22	0,506	0,007	0,505	0,013	100
PA -1 - 19,1	p, ic, osc	0,791276	0,0118	0,095236	0,0008	0,560	10,500213	0,0878	0,059623	0,0003	0,122569	0,0518	1,7	87,3	175,1	823,8	0,21	0,586	0,005	0,584	0,012	100
PA -1 - 21,1	p,ic,hb	0,784280	0,0117	0,095284	0,0007	0,497	10,494927	0,0776	0,059684	0,0006	0,410857	0,2572	1,6	24,3	141,7	209,7	0,68	0,587	0,004	0,586	0,020	100
PA -1 - 6,1	rd, m, br	0,866972	0,0204	0,102025	0,0014	0,566	9,801474	0,1304	0,060684	0,0011	0,186698	0,0748	<0.001	8,4	24,7	71,7	0,34	0,626	0,008	0,622	0,038	101
PA -1 - 8,1	p, m, osc	0,862847	0,0149	0,103034	0,0014	0,788	9,705535	0,1317	0,060951	0,0004	0,503655	0,2003	<0.001	52,5	317,4	393,1	0,81	0,632	0,008	0,631	0,015	100

PA -1 - 23,1	p, m, br	1,072672	0,0175	0,115079	0,0009	0,504	8,689696	0,0716	0,062957	0,0008	0,337197	0,2109	3,0	13,5	52,7	98,5	0,53	0,702	0,005	0,701	0,026	100
PA -1 - 25,1	p, c, sz	0,702908	0,0147	0,087408	0,0011	0,576	11,440552	0,1378	0,058464	0,0008	0,374398	0,2342	<0,001	13,1	67,1	127,9	0,52	0,540	0,006	0,541	0,028	100
PA -1 - 26,1	p, m, br	0,639272	0,0095	0,080784	0,0008	0,667	12,378711	0,1230	0,057393	0,0005	0,362783	0,2270	0,1	10,8	53,8	110,7	0,49	0,501	0,005	0,500	0,019	100
PA -1 - 28,1	p, m, br	0,739765	0,0190	0,093531	0,0017	0,690	10,691598	0,1899	0,059389	0,0008	0,453356	0,2837	0,0	9,3	60,3	85,7	0,70	0,576	0,010	0,575	0,031	100
PA -1 - 34,1	p, m, osc	0,838367	0,0099	0,100237	0,0006	0,482	9,976339	0,0569	0,060518	0,0004	0,317867	0,1690	7,5	68,1	253,4	572,7	0,44	0,616	0,003	0,616	0,013	100
PA -1 - 35,1	p, c, sz	0,841867	0,0099	0,101016	0,0005	0,432	9,899377	0,0505	0,060681	0,0004	0,997163	0,5303	1,5	56,3	536,9	371,9	1,44	0,620	0,003	0,622	0,014	100
PA -1 - 42,1	p, m, osc	0,762060	0,0103	0,091833	0,0007	0,528	10,889390	0,0777	0,059148	0,0004	0,451822	0,2403	1,0	54,3	296,8	468,1	0,63	0,566	0,004	0,566	0,014	100
PA -1 - 47,1	p, e, d/r	0,856649	0,0152	0,105152	0,0014	0,736	9,510006	0,1244	0,061317	0,0004	0,485287	0,1659	<0,001	61,9	410,8	431,8	0,95	0,645	0,008	0,644	0,014	100
PA -1 - 60,1	p, m, sz	0,693923	0,0141	0,086889	0,0014	0,820	11,508892	0,1915	0,058409	0,0004	0,092851	0,02480	<0,001	41,7	60,5	386,7	0,16	0,537	0,009	0,539	0,015	100
PA -1 - 61,1	p, c, sz	0,912494	0,0171	0,106488	0,0016	0,780	9,390704	0,1372	0,061586	0,0003	0,106344	0,0280	0,5	119,9	283,8	955,7	0,30	0,652	0,009	0,654	0,009	100
PA -1 - 16,1	p,ic,hb	5,436222	0,0859	0,336398	0,0030	0,562	2,972673	0,0264	0,117378	0,0008	0,508107	0,2148	7,9	47,4	90,9	104,7	0,87	1,869	0,014	1,917	0,012	98
PA -1 - 48,1	p, c, IC	5,342772	0,0914	0,337780	0,0043	0,742	2,960506	0,0376	0,115181	0,0006	0,109282	0,0374	0,7	120,4	79,8	303,7	0,26	1,876	0,021	1,884	0,010	100
PA -1 - 12,1	fr, m, osc	3,399803	0,0606	0,252763	0,0035	0,770	3,956272	0,0543	0,096602	0,0006	0,575580	0,2434	<0,001	128,4	332,2	293,5	1,13	1,453	0,018	1,565	0,012	93
PA -1 - 15,1	p, m, sz	4,136734	0,0978	0,293386	0,0058	0,834	3,408482	0,0672	0,101546	0,0006	0,452148	0,1912	1,4	69,3	135,7	162,3	0,84	1,658	0,029	1,658	0,010	100
PA -1 - 17,1	p, m, osc	3,674018	0,0751	0,275123	0,0044	0,775	3,634733	0,0576	0,096753	0,0005	0,277957	0,1175	<0,001	203,2	306,3	612,6	0,50	1,567	0,022	1,568	0,011	100
PA -1 - 22,1	p, m, osc	7,459294	0,1073	0,393330	0,0038	0,675	2,542394	0,0247	0,133574	0,0009	0,378251	0,2365	1,7	60,3	78,6	123,8	0,63	2,138	0,018	2,142	0,012	100
PA -1 - 29,1	p, m, br	18,361793	0,4536	0,597121	0,0121	0,820	1,674704	0,0339	0,225456	0,0018	0,898737	0,5620	<0,001	49,8	105,9	36,0	2,94	3,018	0,049	3,026	0,012	100
PA -1 - 49,1	p, c, d/r	1,810807	0,0364	0,177780	0,0028	0,782	5,624924	0,0884	0,074275	0,0005	0,473640	0,1244	0,4	32,5	162,8	123,6	1,32	1,055	0,015	1,050	0,013	100
PA -1 - 50,1	r, m, br	6,301475	0,1559	0,369176	0,0079	0,863	2,708738	0,0578	0,125422	0,0006	0,242706	0,0637	<0,001	100,4	161,7	199,9	0,81	2,026	0,037	2,033	0,009	100
PA -1 - 52,1	fr, m, sz	7,614654	0,1488	0,403667	0,0065	0,828	2,477286	0,0401	0,137010	0,0006	0,179727	0,0477	0,5	163,0	180,2	313,0	0,58	2,186	0,030	2,186	0,007	100
PA -1 - 59,1	p, c, br	5,012502	0,1049	0,326242	0,0056	0,819	3,065206	0,0525	0,110989	0,0006	0,310443	0,0816	<0,001	92,7	188,4	187,1	1,01	1,820	0,027	1,818	0,009	100
PA -1 - 51,1	rp, m, IC	5,354028	0,1004	0,311180	0,0045	0,775	3,213571	0,0467	0,123413	0,0005	0,202509	0,0532	0,5	150,0	219,6	375,9	0,58	1,747	0,022	2,005	0,007	87

Gráfico 11. Diagrama de concórdia da análise da amostra PA-1 em LA-ICP-MS.

Amostra PA-2

A amostra PA-2 forneceu cerca de 18 grãos de zircão com condições ideais de análise. A análise em lupa binocular revelou essencialmente duas populações bem diferenciadas de grãos: uns mais arredondados e translúcidos e um outro grupo de zircões mais prismáticos com coloração variável entre translúcidos e ligeiramente amarelados.

A análise das imagens dos zircões em catododo luminescência (Fig. 15, 16 e 17) confirma as duas populações diferenciadas de zircões, entre prismáticos com zoneamento oscilatório e arredondados ou prismáticos, com relação comprimento/largura menor, homoganeamente escuros. Os grãos prismáticos variam entre dimensões de $\approx 250\mu\text{m}$ e

$\approx 183\mu\text{m}$, em uma razão de comprimento/largura 2 para 1, enquanto que para os grãos mais arredondados, as dimensões de raio (aproximado) variam entre $\approx 128\mu\text{m}$ e $\approx 80\mu\text{m}$.

Foram determinadas duas famílias de zircões, igualmente representantes da porção granítica da unidade Lourosa. Cerca de 50% dos grãos de zircão revelam idades variáveis entre $\approx 304\text{Ma}$ e $\approx 466\text{Ma}$, encaixando perfeitamente no auge da orogenia Varisca. No entanto, a outra família, representada por 50% da totalidade dos grãos analisados, apresentam idades mais jovens do que aquelas esperadas, variando de $\approx 292\text{Ma}$ até cerca de $\approx 260\text{Ma}$ (Gráf. 12). O fato de estes dados representarem as idades mais jovens até agora encontradas na região, escuros, sem zoneamento oscilatório e com uma textura esponjada, permite-nos inferir a sua relação à fase final da orogenia Variscana, que pode ter sido marcada por um intenso hidrotermalismo.

Todos os detalhes das idades obtidas e razões isotópicas dos zircões sujeitos a análise podem ser consultados na tabela 8.

Figura 15. Imagens de catodo luminescência dos grãos de zircão da amostra PA-2.

Figura 16. Imagens de catodo luminescência dos grãos de zircão da amostra PA-2.

Figura 17. Imagens de catodo luminescência dos grãos de zircão da amostra PA-2.

Tabela 8. Dados de LA-ICP-MS U/Pb dos grãos de zircão da amostra PA-2.

SPOT	SITE	RATIOS										Pb total comum %	Pb rad ppm	Th ppm	U ppm	Th/U	AGE				Conc. 206/238 207/206 %	
		207/235	1 σ	206/238	1 σ	coef. corr	238/206	1 σ	207/206	1 σ	208/206						1 σ	T206/238	1 σ	T207/206		1 σ
PA -2 - 2,2	p, e, osc	0,5853	0,0108	0,0740	0,0010	0,73	13,5111	0,1828	0,0563	0,0005	-0,0043	0,0013	2,04	210,5	4,6	2759,3	0,002	0,460	0,006	0,458	0,020	100
PA -2 - 3,1	p/fr, m, br/sz	0,5854	0,0094	0,0753	0,0005	0,43	13,2791	0,0918	0,0565	0,0006	0,1431	0,0282	0,18	28,0	117,8	311,2	0,379	0,468	0,003	0,466	0,022	100
PA -2 - 5,2	p, e, osc	0,5561	0,0096	0,0733	0,0007	0,58	13,6386	0,1367	0,0562	0,0007	0,0046	0,0018	4,26	219,6	29,2	2945,6	0,010	0,456	0,004	0,454	0,028	100
PA -2 - 0,1	p, m, br	0,5536	0,0086	0,0724	0,0005	0,43	13,8199	0,0938	0,0561	0,0006	0,1279	0,0253	<0.001	33,7	154,1	394,1	0,391	0,450	0,003	0,451	0,021	100
PA -2 - 2,1	p, m, IC	0,4589	0,0083	0,0610	0,0006	0,57	16,4063	0,1686	0,0544	0,0005	0,0155	0,0031	0,45	212,3	86,6	3076,1	0,028	0,381	0,004	0,383	0,019	100
PA -2 - 3,2	p/fr, e, osc	0,3833	0,0056	0,0523	0,0003	0,44	19,1068	0,1229	0,0531	0,0005	0,0028	0,0009	0,97	79,9	3,5	1448,5	0,002	0,329	0,002	0,328	0,020	100
PA -2 - 5,1	p, m, IC/d	0,4965	0,0101	0,0641	0,0009	0,67	15,5913	0,2119	0,0548	0,0006	0,0267	0,0053	1,12	426,0	348,3	5746,7	0,061	0,401	0,005	0,400	0,024	100
PA -2 - 9,1	p/fr, e, osc	0,4086	0,0069	0,0539	0,0005	0,54	18,5394	0,1690	0,0538	0,0006	0,0043	0,0020	6,72	93,1	6,9	1601,5	0,004	0,339	0,003	0,359	0,025	94
PA -2 - 16,1	rd, m, d	0,3308	0,0038	0,0455	0,0004	0,86	21,9696	0,2156	0,0527	0,0002	2,7840	0,7393	0,06	868,9	52453,5	5490,8	9,553	0,287	0,003	0,312	0,009	92
PA -2 - 20,1	p, m, d/IC	0,3449	0,0039	0,0477	0,0005	0,90	20,9747	0,2132	0,0525	0,0002	1,8980	0,5054	0,93	1104,2	54565,1	6697,8	8,147	0,300	0,003	0,304	0,009	99
PA -2 - 1,1	p, m, d	0,3064	0,0061	0,0431	0,0003	0,30	23,1912	0,1386	0,0517	0,0008	1,0308	0,2023	<0.001	1503,7	54007,1	17524,5	3,082	0,272	0,002	0,271	0,033	100
PA -2 - 7,1	rd, m, d	0,2867	0,0069	0,0424	0,0005	0,51	23,6040	0,2918	0,0516	0,0009	0,5974	0,1177	<0.001	1726,8	44705,9	25279,6	1,768	0,267	0,003	0,267	0,038	100
PA -2 - 12,1	rd, m, d	0,3101	0,0040	0,0433	0,0004	0,77	23,1067	0,2271	0,0517	0,0002	0,5105	0,1351	<0.001	1930,2	49155,0	29663,9	1,657	0,273	0,003	0,272	0,010	100
PA -2 - 13,1	rd, e, d	0,3344	0,0047	0,0432	0,0004	0,63	23,1658	0,2055	0,0517	0,0004	0,6573	0,1740	0,34	1671,7	48391,5	23582,6	2,052	0,272	0,002	0,270	0,016	101
PA -2 - 18,1	rd, e, d	0,2994	0,0043	0,0424	0,0004	0,62	23,6095	0,2087	0,0520	0,0005	0,6360	0,1683	0,07	1214,7	34386,9	17929,3	1,918	0,267	0,002	0,282	0,019	95
PA -2 - 21,1	fr/rd, m, d	0,3133	0,0038	0,0441	0,0004	0,74	22,6616	0,2037	0,0519	0,0004	1,1959	0,3168	0,07	1888,7	73862,9	20800,5	3,551	0,278	0,002	0,278	0,016	100
PA -2 - 22,1	rd/p, m, d	0,3089	0,0049	0,0435	0,0004	0,56	23,0144	0,2040	0,0518	0,0006	0,5655	0,1497	0,06	1447,2	38594,1	21827,7	1,768	0,274	0,002	0,275	0,026	100
PA -2 - 11,1	rd, m, d	0,2822	0,0042	0,0410	0,0005	0,79	24,4023	0,2827	0,0515	0,0004	0,5604	0,1484	<0.001	1714,2	49991,1	24653,8	2,028	0,259	0,003	0,260	0,015	100
PA -2 - 17,1	rd, e, d	0,3139	0,0037	0,0430	0,0004	0,77	23,2573	0,2120	0,0522	0,0002	0,6038	0,1598	0,09	1764,1	49510,8	25970,4	1,906	0,271	0,002	0,292	0,009	93
PA -2 - 19,1	rd, m, d	0,3181	0,0034	0,0440	0,0004	0,85	22,7418	0,2097	0,0525	0,0002	0,7342	0,1944	0,15	1689,8	54379,2	23257,2	2,338	0,277	0,003	0,304	0,008	91
PA -2 - 23,1	rd, m, IC/d	0,3214	0,0040	0,0439	0,0004	0,73	22,7555	0,2069	0,0526	0,0003	0,8464	0,2241	2,14	1542,0	53230,6	19389,6	2,745	0,277	0,002	0,308	0,013	90

Gráfico 12. Diagrama de concórdia da análise da amostra PA-2 em LA-ICP-MS.

Amostra SP2

A impossibilidade de datar os zircões que compunham esta amostra, por se tratarem de zircões metamíticos, levou-nos à datação de micas pelo método K-Ar. Pelo fato da metodologia adotada pelo CPGeo do Instituto de Geociências ainda estar em fase de ajustamento, não me foi possível acompanhar o processo laboratorial. Assim, este dado é por nós encarado como uma complementação de outras metodologias geocronológicas aplicadas nas diferentes amostras recolhidas em campo, pertencentes a esta unidade.

Desta forma, da amostra SP2 (granitóide), foram separadas algumas lamelas de moscovita e biotita que se revelaram puras (ausência de inclusões) que foram encaminhadas ao laboratório de análise por K-Ar (cuja metodologia utilizada poderá ser consultada no capítulo anterior). O teor de K (%) foi determinado por análises repetidas em microsonda eletrônica enquanto que a análise isotópica de Ar foi feita por aquecimento gradual com laser Verdi (ARGUS VI), seguindo o procedimento "spikeless" proposto por Cassinot & Gillot (1982). O peso da amostra foi obtido em balança digital dedicada (Sartorius CPA2P-F), com precisão de 0.002 (2 microgramas). Todas as análises são feitas em triplicata e o resultado é escolhido com base nas proporções medidas de ^{40}Ar Rad e ^{40}Ar Atm.

Como seria de esperar, a análise geocronológica, tanto da biotita como da moscovita, revelou idades de $342 \pm 7\text{Ma}$ e $353 \pm 7\text{Ma}$, respetivamente. Assim, obviamente é fácil de inferir a orogenia Varisca como o último grande evento metamórfico que atingiu as unidades do Terreno Finisterra.

Na tabela que se segue (Tab. 9) podem ser consultados os resultados.

Tabela 9. Dados de K/Ar em micas da Amostra SP2;

Nº de campo	Material	Rocha	Massa (mg)	%K	^{40}Ar rad (ppb)	erro	^{40}Ar Atm (%)	erro (%)	Idade (Ma)	Erro (Ma)
SP2	Biotita	Granitóide	1,159	7,6	197	2	1,8	0,2	342	7
SP2	Muscovita	Granitóide	1,411	8,9	240	3	2,2	0,2	353	7

3.3.3. Rocha total – Sm/Nd

Além da análise de U-Pb e K-Ar feitas nas amostras, foi ainda determinada a idade modelo de manto empobrecido das unidades Espinho e S. João-de-Ver pelo método Sm-Nd.

Para a unidade de Espinho, foram determinadas idades dos granitóides, quartzitos e paragnaisses. As amostras de granitóides (Amostra SP2 e SP3) desta unidade revelaram razões muito elevadas de $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$, traduzindo-se em um elevado fracionamento. Por outro lado, os quartzitos e os paragnaisses (Amostra SP5, CRTG1 e CRTG2) forneceram idades variáveis entre os valores de 1.7 a 1.8Ga e com valores de $\xi\text{Nd}(0)$ extremamente negativos variando entre os intervalos de $\approx -13,82$ e $\approx -15,34$, evidenciando um claro retrabalhamento crustal das rochas fontes paleo-proterozóicas.

Da unidade de S. João-de-Ver foi determinada a idade modelo de manto empobrecido da amostra Caim1, tendo sido obtida uma idade meso-proterozóica (1.6Ga) e um valor de $\xi\text{Nd}(0)$ igual a -13,35. À semelhança da unidade anterior, trata-se de um paragnaisse fruto de um retrabalhamento crustal intenso.

Em razão de outros métodos geocronológicos terem sido utilizados para datar as rochas pertencentes às unidades anteriormente citadas, foi possível recalcular o valor do ξ Neodímio para, desta forma, determinar os valores de $\xi(T1)$ para a idade do último metamorfismo que afetou as rochas da região, há 350 Ma. Vale salientar, que nenhuma das amostras de gnaisses e paragnaisses utilizadas para análise Sm-Nd foram passíveis de análise U/Pb, e por isso, o valor da idade T1 foi inferido por datação de outras amostras pertencentes às mesmas unidades. Consultar tabela 10.

Dos valores conseguidos, é possível retirar que todas as unidade têm uma proveniência de retrabalhamento de uma crosta comum, como é possível concluir da análise, tanto dos valores negativos de ξ , variando entre -8,07 para a amostra quartzítica Crtg1, -9,25 para o quartzito SP5; -9,45 para a amostra Caim 1 (paragnaisse) e -11,64 para o gnaisse Crtg2; para $T1$ igual a 350Ma, ou pelo análise do diagrama de CHUR, onde as linhas respetivas de cada unidade são concordantes.

De salientar a discrepância das amostras granitóides (amostra SP2 e SP3) que, devido aos elevados valores de razão $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$, foram fracionadas (Graf. 13).

Tabela 10. Valores de ξ de Nd para um T_1 igual a 350Ma.

Amostra	Material	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon(0)$	$f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$	T_{DM} (Ma)	$\epsilon(T_{\text{DM}})$	T_1 (Ma)	$\xi_{\text{Nd}} (T_1)$
SP2	Granitóide	1,836	7,067	0,1571	0,512230	-7,96	-0,20	2193,1	3,12	350,0	-6,19
SP3	Granitóide	0,589	1,844	0,1931	0,512267	-7,24	-0,02	-	-	350,0	-7,08
SP5	Quartzito	6,062	32,408	0,1131	0,511863	-15,12	-0,42	1786,6	3,93	550,0	-9,25
CAIM1	Paragneisse	8,036	44,417	0,1094	0,511954	-13,34	-0,44	1589,5	4,36	350,0	-9,45
CRTG1	Quartzito	5,663	29,805	0,1149	0,511930	-13,81	-0,42	1714,9	4,08	550,0	-8,07
CRTG2	Gnaiss	6,410	34,128	0,1136	0,511851	-15,35	-0,42	1813,3	3,87	350,0	-11,64

Gráfico 13. Diagrama $\xi_{\text{Nd}} (350\text{Ma})$ vs $T_{\text{DM}} (\text{Ga})$ em relação à linha de CHUR;

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O grande objetivo deste trabalho assentou em um estudo geocronológico detalhado das unidades que envolvem o terreno Finisterra. No sentido de se aprofundar no conhecimento da evolução tectônica deste terreno, pareceu-nos de extrema importância descortinar, do ponto de vista geocronológico, as unidades a ele pertencentes. O fato destas unidades serem afetadas da Falha Porto-Coimbra-Tomar, torna o seu estudo de grande relevância para o entendimento da evolução tectônica varisca e/ou anterior, desta região.

Petrografia

Como referido anteriormente, as unidades tomadas por diversos autores, que já estudaram a região, como pertencentes ao Terreno Finisterra, são claramente afetadas pela orogenia Variscana e consequentemente pela FCPT. No entanto, a complexidade geológica da região, dificulta a determinação das rochas aflorantes como pertencentes a uma ou outra unidade, sendo que muitas vezes constituem mistura de mais do que uma, por associação dos movimentos cisalhante e frontais, além do comportamento dúctil das mesmas unidades. Desta forma, tornou-se imprescindível um trabalho prévio de análise petrográfica das amostras recolhidas, para dissipar possíveis dúvidas sobre a qual unidade pertence a amostra. Vale salientar que todo o estudo estratigráfico foi dirigido com base na divisão petrográfica proposta por Chaminé, 2000.

A Unidade São-João-de-Ver (Amostras Caim1 e Caim2) revela-se bastante deformada. Os cristais de plagioclásio estão encurvados e alguns anfíbolios aparecem boudinados. A associação mineralógica desta amostra (constando de quartzo, biotita, moscovita, granada e anfibólio) são condizentes com temperaturas médias/altas, atingindo o campo da granada – fácies anfibolito ($T \approx 650^\circ$).

Da unidade de Espinho (SP5 Crtg1 e Crtg2), as porções quartzíticas, revelaram alguns detalhes interessantes quanto ao metamorfismo que afetou as mesmas. Enquanto que os grãos de quartzo se mostram fortemente alterados e com extinção ondulante, eles variam entre grãos muito pequenos, na sua maioria, mas com ocorrência de cristais grandes e estirados. O mesmo acontece com as granadas que ocorrem nas mesmas amostras. Estas duas famílias distintas, de quartzo e granada, poderia sugerir duas fases distintas de

metamorfismo, no entanto, apesar de terem sido separadas granadas, para datação Sm-Nd, o material revelou-se insuficiente, em quantidade, para proceder à análise, e por impossibilidade de desenvolver um novo campo para amostragem, deixa-se como proposta para trabalhos futuros, a datação das duas famílias distintas de granada (comum e estirada) para entender se existe mais do que uma fase (distinta) de metamorfismo afetando a região/unidade. Ainda assim, pode-se estimar que as temperaturas e pressões a que esta unidade foi sujeita são elevadas, possivelmente da ordem dos 700-750°C.

Quanto à unidade de Lourosa (amostras SP1, SP2, SP3, EN, PA1 e PA2), destaca-se a presença de uma porção ortoanfibolítica-olivínica (amostra EN) junto à quinta do Engenho Novo em Paços de Brandão, e que foi estudado em detalhe por Montenegro de Andrade (1977), que interpretou esta ocorrência como um protusão em níveis crustais de material ultrabásico serpentizado por mecanismo de educação mantélica (Barriga et al, 1992), sendo possível que assinale um contexto de “melange” tectônica.

Geocronologia

Dos dados geocronológicos, obtidos por diferentes metodologias, foi possível tirar algumas conclusões que acabaram por mostrar a importância de um acervo de idades relativas a este terreno, que ainda deverá ser completado. Enquanto os dados U/Pb revelaram idades bem variadas, embora com forte evidência da atuação da tectônica variscana (idades de ≈ 350 Ma), as restantes metodologias implementadas permitiram o fechamento de um quadro cronológico da região.

Da análise geral dos resultados obtidos foi possível concluir que a orogenia Variscana foi o último grande evento metamórfico da região, como já constatado em trabalhos anteriores. Por outro lado, algumas evidências do ciclo Cadomiano foram detectadas, mas nunca como metamorfismo, e sim como zircões detriticos, cujas bordas de sobrecrecimento sempre apontaram para metamorfismo variscano, como foi o caso das análises em amostras quartzíticas (Crtg1 e SP5) bem como de alguns granitoides regionais. Outros zircões analisados, revelaram idades bem mais antigas, meso a paleoproterozóicas, até arqueanas, no entanto, a origem comum destas unidades, como retrabalhamento crustal, e assumindo que a região se comportou como uma bacia durante o siluriano médio (R. Dias

2010), vale ressaltar que esta variação de idades parece estar associada ao preenchimento da bacia por fontes mais antigas.

Em jeito de conclusão, os zircões herdados indicam a participação de material crustal reciclado de várias idades: neoarqueanas, mesoproterozoicas e neoproterozoicas. Uma importante população de idade neoproterozoicas/cambrianas ($\approx 550\text{Ma}$) foi também detectada, indicando o envolvimento de eventos neoproterozoicos nos processos de fusão durante a orogenia Variscana. A presença de idades mesoproterozoicas, sugere o envolvimento de uma área cratônica com afinidades Grenvillianas (c. $0.9\text{--}1.1\text{Ga}$), enquanto que as idades mais recentes (c. 358 Ma , 335 Ma) testemunham o evento da deformação variscana, culminado com forte hidrotermalismo na região ($\approx 270\text{Ma}$).

As idades modelo de manto empobrecido (T_{DM}) conseguidas através da análise Unidade de Espinho e São João de Ver, revela que o terreno Finisterra deriva de um retrabalhamento de uma crosta comum, como é possível concluir da análise, tanto dos valores negativos de ξ , variando entre $-8,07$, para a amostra quartzítica Crtg1; $-9,25$ para o quartzito SP5; $-9,45$ para a amostra Caim 1 (paragnaisse) e $-11,64$ para o gnaisse Crtg2.

Para T_1 igual a 350 Ma , ou pela análise do diagrama de CHUR, onde as linhas respectivas de cada unidade são concordantes (Figura 13). Assim, conclui-se, que o metamorfismo variscano foi o grande responsável pela deformação destas unidades, provocando o retrabalhamento de uma crosta comum típica de preenchimento bacinal com fontes variáveis entre $\approx 550\text{Ma}$ e $\approx 2800\text{Ma}$, fato que explica a grande variedade de idades obtidas das análises U/Pb.

A sistematização em grupos de idades permitiu uma visualização da incidência temporal e um confronto de eventos orogênicos. Em traços gerais, pode-se considerar para a faixa metamórfica Porto-Tomar os seguintes grupos de idades para os granitóides: **a)** Variscanos – com idades de ca. $290\text{--}390\text{Ma}$ (Devoniano inferior médio a Carbonífero superior); **b)** Variscanos precoces e/ou pré Variscos – com idade de cerca de $420\text{--}460\text{ Ma}$ (Ordoviciano médio superior); **c)** tardi-Cadomiano a Cadomiano – com idades de ca. $545\text{--}700\text{Ma}$ (Cambriano a Proterozóico superior); **d)** Greenville – com idades de cerca $1000\text{--}1100\text{ Ma}$ (Mesoproterozóico); e) fonte Paleo-Proterozóica/Arqueana – com idades variando entre $1200\text{--}3050\text{Ma}$;

Síntese Geodinâmica Varisca na região entre Espinho e Albergaria-a-Velha

As unidades objeto do nosso estudo, pertencentes à faixa metamórfica de Espinho-Albergaria-a-Velha, é formada por rochas metassedimentares de baixo a alto grau metamórfico (Unidade Espinho e Lourosa) onde se manifestam duas fases regionais de deformação (D2 e D3) associadas ao metamorfismo principal variscano. Assim, neste domínio, as principais características da deformação regional são atribuídas fundamentalmente à conjugação de duas fases de deformação variscanas e, em especial, à mais recente que gerou a foliação penetrativa em diferentes escalas (D3).

Evidências da primeira fase de deformação foram mascaradas na região e não são visíveis nos setores de estudo. A fase D2 é marcada pela horizontalização de planos da foliação S1 por ação do carreamento para SW, que coloca a ZCI sobre o terreno Finisterra em que, a componente transcorrente do carreamento, desenvolveu a lineação de estiramento N37°W. A fase D3 é marcada pela amenização do campo de esforços relativo aos empurrões, originando dobras de plano axial inclinado (N38°W, 57°NE), com posterior cessação da componente vertical do carreamento. Restando, desta maneira, apenas a componente horizontal de movimento, gerando a lineação de estiramento, N16°W, que acompanha o movimento cisalhante direito, hoje designada por Faixa de Cisalhamento Porto-Tomar.

V. BIBLIOGRAFIA

- ARAÚJO, A. FONSECA, P. E., RIBEIRO, A. and MUNHÁ, J. (1998). The structure of the south margin of the Iberian Autochthonous Terrane and relation with the Paleozoic Suture Zone (Portugal). In Proceedings of X Congreso Latinoamericano de Geologia, Buenos Aires, 2, 29-34.
- ARAUJO, M. A., GOMES, A. A., CHAMINE, H. I., FONSECA P. E., GAMA PEREIRA, L.C. and PINTO de JESUS, A. (2003). Geomorfologia e geologia regional do sector de Porto–Espinho (W de Portugal): implicacoes morfoestruturais na cobertura sedimentar cenozoica. *Cadernos Lab. Xeol. Laxe*, A Coruna, 28: 79-105.
- BARRIGA, F. J. ET AL., (1992). Mantle eduction: tectonic fluidisation at depth. *Earth-Sience Reviews*, 32: 123-129;
- BEETSMA, J.J., 1995. The late Proterozoic/Paleozoic and Hercynian crustal evolution of the Iberian Massif, N Portugal, as traced by geochemistry and Sr-Nd-Pb isotope systematics of pre-Hercynian terrigenous sediments and Hercynian granitoids. Vrije Universiteit Amsterdam: 223 pp. (PhD Thesis).
- CHAMINÉ, H., I, et al, 1998. Geocornologia U/Pb em zircões e monazites de rochas ortoderivadas do setor Espinho-Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa Morena, NW de Portugal). In: Azeredo, A. (Ed), Actas V Congresso Nacional de Geologia. Comunicações del Instituto Geológicos de Mineralogia, Lisboa, 84, B115-B118;
- CHAMINE, H., I. (2000). Estratigrafia e estrutura da faixa metamórfica de Espinho- Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa Morena): implicações geodinâmicas. Universidade do Porto, 497 pp. (Tese de doutoramento).
- CHAMINE, H. I., GAMA PEREIRA, L. C., FONSECA, P. E., NORONHA, F. and LEMOS de SOUSA, M. J. (2003a). Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto–Albergaria-a-Velha– Coimbra Tomar, entre as Zonas Centro- Iberica e de Ossa-Morena (Maciço Iberico, W de Portugal). *Cadernos Lab. Xeol. Laxe*, A Coruna, 28: 37-78.

- CHAMINE, H. I., GAMA PEREIRA, L. C., FONSECA, P. E., MOCO, L. P., FERNANDES, J. P., ROCHA, F. T., FLORES, D., PINTO de JESUS, A., GOMES, C., SOARES de ANDRADE, A. A. and ARAUJO, A. (2003b). Tectonostratigraphy of middle and upper Palaeozoic black shales from the Porto – Toma – Ferreira do Alentejo shear zone (W Portugal): new perspectives on the Iberian Massif. *Geobios*, 36, 6: 649-663.
- CHAMINE, H. I., GOMES, A., TEIXEIRA, J., FONSECA, P. E., PINTO de JESUS, A., GAMA PEREIRA, L. C., SOARES de ANDRADE, A. A., ARAUJO, M. A., FERNANDES, J. P., MOCO, L. P., FLORES, D. and ROCHA, F. T. (2004). Geologia, geomorfologia e estratigrafia dos domínios estruturais de Carvoeiro-Caldas de S. Jorge e de Arrancada do Vouga-Agueda (faixa de cisalhamento de Porto-Tomar, NW de Portugal): implicacoes paleogeograficas. *Cadernos Lab. Xeol. Laxe*, A Coruna, 29: 299-330.
- CHAMINE, H. I., FONSECA, P.E., PINTO de JESUS, A., GAMA PEREIRA, L.C., FERNANDES, J. P., FLORES, D. MOCO, L. P., CASTRO, R. D., GOMES, A., TEIXEIRA, J., ARAUJO, M. A., SOARES de ANDRADE, A. A., GOMES, C. and ROCHA, F. T. (2007). Tectonostratigraphic imbrications along strike-slip major shear zones: an example from the early Carboniferous of SW European Variscides (Ossa-Morena Zone, Portugal). In: WONG, T.E. (Ed.), *Proceedings of the XVth International Congress on Carboniferous and Permian Stratigraphy (Utrecht, 2003)*. Royal Dutch Academy of Arts and Sciences, Amsterdam, Edita NKAU. pp 405-416;
- COELHO, A., TEIXEIRA, J., CHAMINE, H. I., GOMES, A., FONSECA, P. E. and ROCHA, F. T. (2006). Controlo geotectónico e morfoestrutural dos depósitos de caulino ao longo da faixa metamórfica de Porto–Albergaria-a-Velha (NW de Portugal). In: MIRAIO, J. & BALBINO, A. (Coords.), *Livro de Resumos do 7º Congresso Nacional de Geologia*, Estremoz, Universidade de Evora, 3: 999-1002.
- DIAS, R. and RIBEIRO, A. (1993). Porto-Tomar shear zone, a major structure since the beginning of the variscan orogeny. *Comun. Inst. Geol. Min.*, Lisboa, 79: 31-40.
- DIAS, R., RIBEIRO, A., 1995. The Ibero-Armorican Arc: a collision effect against an irregular continent?; *Tectonophysics* 146, 113-128;

- FERNÁNDEZ, F.J., CHAMINÉ, H.I., FONSECA, P.E., MUNHÁ, J.M., RIBEIRO, A., ALLER, J., FUERTES-FUENTES, M. & BORGES, F.S., 2003. HT-fabrics in a garnet-bearing quartzite from Western Portugal: geodynamic implications for the Iberian Variscan Belt. *Terra Nova* 15(2): 96–103.

- FONSECA, P. E., MUNHÁ, J., PEDRO, J. C., MOITA, P., ARAÚJO, A., ROSAS, F. and LEAL, N. (1999). Variscan Ophiolites and High-Pressure metamorphism in Southern Iberia. *Ophioliti*, 24/2, Sp. Iss.: 259-268.

- GAMA PEREIRA, L. C. (1987). Tipologia e evolução da sutura entre a Zona Centro Iberica e a Zona Ossa Morena no sector entre Alvaiazere e Figueiro dos Vinhos (Portugal Central). Universidade de Coimbra. 331 pp. (Tese de doutoramento).

- GAMA PEREIRA, L. C. (1998). A faixa de cisalhamento Porto–Tomar, no sector entre o Espinhal e Alvaiazere (Portugal Central). In: CHAMINE, H. I., DIAS, A. G., RIBEIRO, M. A. and BORGES, F. S. (Coords.), 4a Conferencia Anual GGET'98. *Geologos, Revista Univ. Porto*, 2: 23-27.

- GOMES, A. (2008). *Evolução geomorfológica da plataforma litoral entre Espinho e Águeda*. Departamento de Geografia, Universidade do Porto. 339 pp. + anexos (Tese de Doutoramento).

- GOMES, A., CHAMINE, H. I., TEIXEIRA, J., FONSECA, P. E., GAMA PEREIRA, L. C., PINTO de JESUS, A., PEREZ ALBERTI, A., ARAUJO, M. A., COELHO, A., SOARES de ANDRADE, A. and ROCHA, F.T. (2007). Late Cenozoic basin opening in relation to major strike-slip faulting along the Porto-Coimbra-Tomar fault zone (northern Portugal). In: NICHOLS, G., WILLIAMS, E. and PAOLA, C. (Eds.), *Sedimentary Processes, Environments and Basins: a tribute to Peter Friend. Special Publications of the International Association Sedimentologists*, IAS, Blackwell Publishing, 38: 137-153.

- MACHADO, G., VAVRDOVA, M., FONSECA, P. E., CHAMINE, H. I. and ROCHA, F. T. (2008). Dating and differentiation of geological units in highly deformed

and metamorphosed rocks: can palynology help? Examples from the Porto-Coimbra-Tomar shear zone (W Portugal). *Book of Abstracts of the International Meeting of Young Researchers in Structural Geology and Tectonics (YORSGET)*, Oviedo (Spain). pp.375-378.

- MARTINÉZ-CATALÁN, J.R., 1990. A non-cylindrical model for the NW Iberian allochthonous terranes and their equivalents in the Hercynian belt of western Europe. *Tectonophysics* 179: 253–272;
- MARTINÉZ-CATALÁN, J.R., ARENAS, R., DÍAZ GARCIA, F., PASCUAL, F.R. & ABATI, J., 1997. Variscan accretionary complex of northwest Iberia: terrane correlation and sucession of tectonothermal events. *Geology* 25(12): 1103–1106.
- MARTINÉZ-POYATOS, D., NIETO, F., AZOR, A. & SIMANCAS, J.F., 2001. Relationships between very low-grade metamorphism and tectonic deformation: examples from the southern Central Iberian Zone (Iberian Massif, Variscan belt). *Journal of Geological Society of London* 158: 953–968.
- MARTINS, H.C.B., ALMEIDA, A., NORONHA, F. & LETERRIER, J., 2001. Novos dados geocronológicos de granitos da região do Porto: granito do Porto e granito de Lavadores. *In: Extended Abstract, Atas do VI Congresso de Geoquímica de Países de Língua Portuguesa, Universidade do Algarve (Faro, Portugal):* 146–148.
- MONTENEGRO DE ANDRADE, M. (1977). O anfibolito olivinico do Engenho Novo (Vila da Feira). *Comun. Serv. Geol. Portg., Lisboa*, 61:43-61;
- NORONHA, F. & LETERRIER, J., 2000. Complexo metamórfico da Foz do Douro (Porto): geoquímica e geocronologia. *Revista Real Academia Galega Ciências, Santiago de Compostela* 19: 21–42.

- NORONHA, F., et al., 2000; Cem milhões de anos de actividade hidrotermal. O exemplo do paleosistema Varisco. Lab. Xeolóxico de Laxe; Coruña; 2000: vol 25, pp. 19-21;
- PASSCHIER, C. W.; MYERS, J. and KRONER, A. (1990). *Field Geology of High-Grade Gneiss Terrains*, Springer-Verlag, 150 pp.
- QUESADA, C., APALATEGUI, O., EGUILUZ, L., LIÑAN, E. & PALÁCIOS, T., 1990. Ossa-Morena Zone: Stratigraphy. *In*: Dallmeyer, R.D. & Martínez-García, E. (eds): Pre-Mesozoic Geology of Iberia. Springer-Verlag (Berlin, Heidelberg): 252–258.
- RIBEIRO, A., PEREIRA, E. and SEVERO GONCALVES, L. (1980). Analise da deformação da zona de cisalhamento Porto-Tomar na transversal de Oliveira de Azemeis. *Comun. Serv. Geol. Portg.*, 66: 3-9.
- RIBEIRO A., MUNHA J., DIAS, R., MATEUS, A., PEREIRA, E., RIBEIRO, L., FONSECA, P. E., ARAUJO, A., OLIVEIRA, J. T., ROMAO, J., CHAMINE, H. I., COKE, C. and PEDRO, J. (2007). Geodynamic evolution of the SW Europe Variscides. *Tectonics*, 26, TC6009, 24 pp;
- ROMÃO, J. (2001); O paleozóico no bordo SW da Zona Centro Ibérica: estratigrafia, tectónica e evolução geodinâmica. *Genovas* 15, PP. 33-43;
- ROMÃO, J., COKE, C., DIAS, R. & RIBEIRO, A. (2005): Transiente inversion during the opening stage of the Wilson Cycle “Sardic Phase” in teh Iberian Variscides – stratigraphic and tectonic Record. *G. Acta*, 18-2, pp. 15-29;
- TEIXEIRA, J., GOMES, A., CHAMINE, H. I. and ROCHA, F. T. (2007). Geomorfologia e morfotectonica de relevos quartzíticos: a megaestrutura de Caldas de S. Jorge–Agueda, NW de Portugal. *Xeográfica: revista de xeografía, território e medio ambiente*, Universidade de Santiago de Compostela, 7: 107-133.

- WILSON, R. C. L.; HISCOTT, R., N., WILLIS, M. G.; & GRANDTEIN, F.M. (1989) – The Lusitanian Basin of west central Portugal: Mesozoic and Tertiary tectonic, stratigraphic and subsidence history. In Tankard, A.J., and Balkwill, H.R. - Extensional Tectonics and Stratigraphy of the North Atlantic Margins. AAPG Mem., 46, pp. 341-361.

- VAZQUEZ, M., ABAD, I., JIMENEZMILLAN, J., ROCHA, F. T., FONSECA, P. E. and CHAMINE, H. I. (2007). Prograde epizonal clay mineral assemblages and retrograde alteration in tectonic basins controlled by major strikeslip zones (W Iberian Variscan chain). *Clay Minerals*, 42: 109-128.

VI. ANEXOS

Imagem 1. Imagem MEV de Granada Amostra – Gráfico 1;

Imagem 2. Imagem MEV de Granada Amostra – Gráfico 2;

Imagem 3. Imagem MEV de Granada Amostra – Gráfico 3;