

Panorâmica sobre condições naturais de ocorrência de minérios de lítio no Norte de Portugal – Perspectivas de valorização de recursos de Lítio metálico.

Carlos Augusto Alves Leal Gomes

Laboratório de Paisagens, Património e Território da Universidade do Minho

Email: lgomes@dct.uminho.pt

Tomando como referência o ano de 2017 pode dizer-se que existe uma grande movimentação ao nível dos trajetos de aprovisionamento e da produção e mercado do metal alcalino, lítio (Li). A nível global, mudou claramente o paradigma dos objetos e objetivos de prospecção e exploração mineira dedicada a este metal em reposta a uma outra mudança de paradigma, desta feita, energético – a transição da locomoção automóvel de “dependente da combustão de derivados do petróleo” para “dependente da eletricidade acumulada em baterias”.

Relatórios da Comissão Europeia sobre a criticalidade dos metais no Espaço Europeu (em função da disponibilidade de recursos e fontes externas de aprovisionamento) situam o Li muito próximo do domínio dos metais críticos (Fig. 1). A situação pode contudo ser revista pois no caso deste metal os fatores de classificação crítica são bastante volúveis. É exemplo disso o fato de a crise económica global de 2008 ter tido um forte impacto na procura do Li, influenciando menos o mercado de muitos outros metais.

A procura de Li metálico (considerado como carbonato de Li equivalente - CLE – substância real ou virtual sob cuja forma é cotado e comercializado internacionalmente o Li metálico) desceu 20 e 30% em 2008 e 2009 e o montante das transações de compostos de Li diversificados desceu cerca de 43% neste período.

Em consequência os preços do Li metálico caíram para cerca de 5000 dólares por tonelada (5000\$/T) no início de 2010.

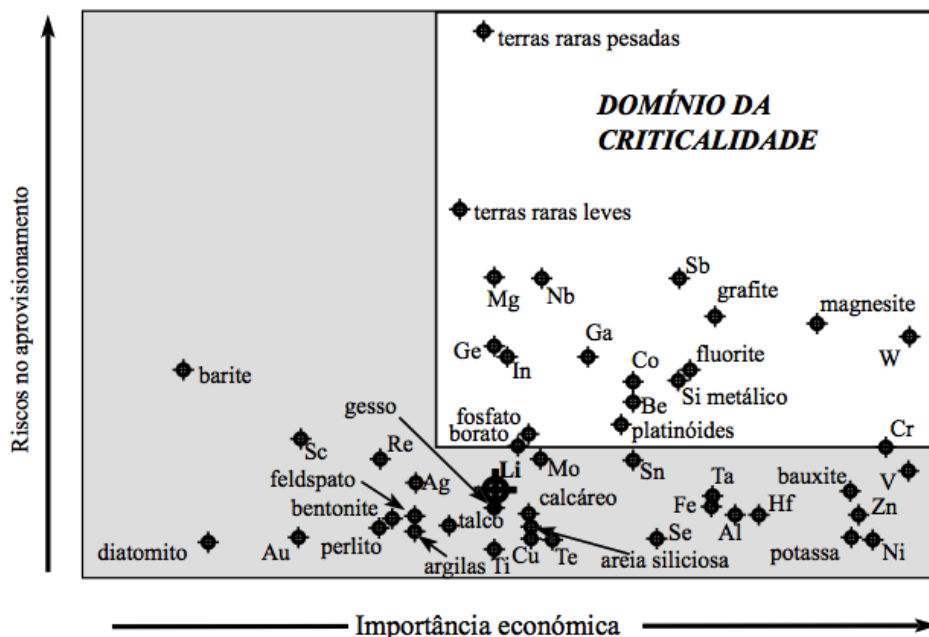


Figura I – Materiais inorgânicos críticos para a União Europeia com base na classificação publicada pela Comissão Europeia em 2014.

O valor unitário actual do CLE é muito mais interessante mas não é estável. A última revisão da Comissão Europeia dedicada ao preço dos metais (em 2014), admitiu que se assistiria a um crescimento mais ou menos consistente das cotações até 2020. É preciso ter em conta, contudo, que a sobre-capacitação de alguns fornecedores principais pode levar a quedas conjunturais do valor de mercado e também a grandes dificuldades de previsão da evolução dos preços a partir de 2020.

O “boom das baterias” e a mudança de paradigma na locomoção automóvel constituem sem dúvida a força motriz que está por de trás da valorização do metal e portanto da proliferação de novos projetos de prospecção e da expansão em área e posse de mais territórios potenciais por parte dos produtores já estabelecidos. Até 2010 a produção de baterias carregáveis e não recarregáveis significava cerca de 18% do consumo total de lítio. Nesta altura, uma previsão para 2020 da Conferência de Toronto sobre matérias primas minerais, aponta para a aplicação em baterias de cerca de 45% da produção global Li. O CLE requerido por um veículo híbrido perfaz cerca de 2 Kg. A construção atual de um veículo totalmente elétrico exige cerca

de 22 Kg de CLE. Em consequência, na década de 20 serão precisas entre 60 000 e 120 000 toneladas / ano de CLE, dependendo da maior ou menor penetração no mercado da locomoção automóvel elétrica ou híbrida.

A capacidade mais significativa de produção atual de baterias de Li restringe-se a três países: China, Japão e Coreia do Sul. Ciente deste enviesamento do mercado, o governo dos Estados Unidos e o seu Departamento de Energia, recentemente, passaram a investir tanto na produção doméstica como na reciclagem, privilegiando empresas envolvidas no aprovisionamento de materiais litiníferos, manufatura de baterias e reciclagem.

Um fato relevante, vem contudo refrear a aparente importância estratégica do Li para a locomoção. A nível empresarial estão já a ser investigadas alternativas à hegemonia energética prevista para o Li. A pesquisa mais séria conhecida diz respeito ao desenvolvimento de baterias recarregáveis de magnésio e enxofre que poderiam proporcionar o dobro da capacidade das atuais baterias de Li. Esta tecnologia e outras similares, ainda estão muito longe (no tempo) das condições de efetiva comercialização mas há que contar com a sua influência no futuro mercado do Li.

Ao nível da gestão de recursos naturais, o rápido crescimento da procura de Li para baterias de veículos está a causar alguma ansiedade dos mercados equacionando-se mesmo alguns cenários de penúria e exaustão, pela enorme concentração de componentes diferenciadas das fileiras e cadeias de valor em apenas alguns países: 80% da massa de recursos concentrada na América do Sul; 70% do Li fornecido por apenas três produtores que por isso monopolizam o fornecimento; 54% da procura centrada na Coreia do Sul, China e Japão.

Nestas circunstâncias será de considerar uma problemática de aprovisionamento com numerosos estrangulamentos e contenciosos previsíveis, similar àquela que se tem verificado no caso do petróleo?

A questão do Li deve ser examinada, tal como se faz com o petróleo à luz da sua divisão, entre a massa de recursos e a sua explorabilidade efetiva. Uma avaliação atual da massa global de recursos acessíveis está patente no quadro 1.

Ordem	País	Massa potencial milhões de toneladas (T)
1	BOLÍVIA	9.0
2	CHILE	7.5
3	ARGENTINA	2.5
4	CHINA	2.5
5	USA	2.5

Quadro I – Países que atualmente quase monopolizam a disponibilidade de massa global de recursos de Li.

Estes valores estão em mutação constante pois numerosos projetos de prospecção e reavaliação de reservas estão em curso e têm efetivamente proporcionado resultados capazes de influenciarem os valores globais. No caso da Argentina, por exemplo, os quantitativos de reservas duplicaram em 2 anos (2009-2010).

Além dos países acima referidos, Austrália, Brasil, Canadá, Portugal e Zimbábue têm recursos significativos.

Assim sendo, de acordo com estimativas do United States Geological Survey (USGS), o total global de Li situar-se-ia entre 25 e 28 milhões de toneladas que convertidos em CLE seriam mais de 137 milhões de toneladas.

As maiores dificuldades com que se depara a produção de minérios de Li dizem respeito à diversidade de tipos genéticos de depósitos minerais e suportes geológicos em que o Li se expressa na natureza. Não existem rotinas únicas nem diagramas de processo protocolares de aplicação generalizada. Os ambientes evaporíticos e as salmouras em bacias endorreicas proporcionam as soluções altamente salinas que têm estado na base da maior parte da produção (Fig. 2). Mais recentemente, em resposta à valorização das matérias primas minerais litiníferas e dos concentrados que se podem obter a partir de rochas, têm-se considerado cada vez mais os materiais litológicos muito embora o seu processamento metalúrgico seja muito mais energeticamente intensivo e pressuponham mais etapas de tratamento e equipamentos mais complexos, cuja otimização da eficiência, em muitas situações, ainda se encontra em fase experimental.

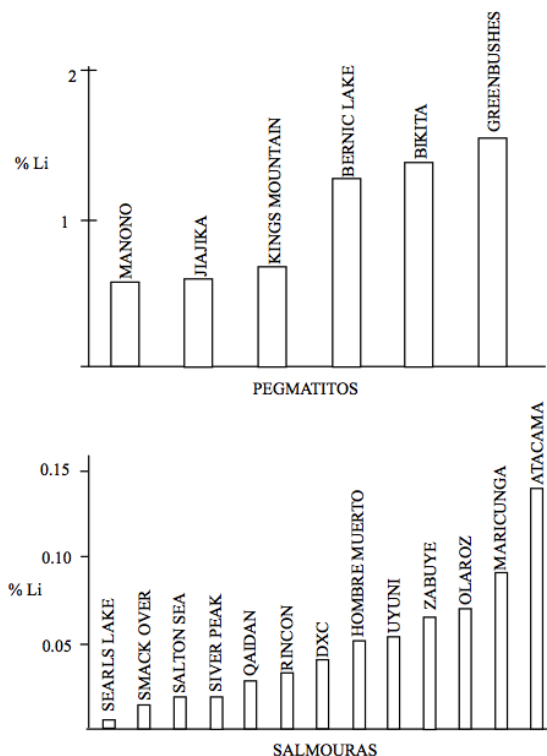


Figura 2 – Concentrações médias de Li em pegmatitos e salmouras e em alguns jazigos de “classe mundial” sujeitos a pesquisa ou exploração atual.

Na valorização em bolsa muitas empresas que se propõem abordar depósitos de tipo mineralógico tendem a fazer a sua promoção própria invocando o conhecimento e a disponibilidade de rotinas de processamento mais ou menos inéditas que permitiriam minorar os custos de beneficição dos minérios e de metalurgia.

Assiste-se pois a uma componente especulativa importante na discussão da viabilidade e competitividade de produção de Li a partir de minerais, atendendo não só aos fatos antes apontados como também atendendo à grande diversidade de minerais a partir dos quais a extração de Li pode ser equacionada (quadro 2).

A diversidade mineralógica é ainda um problema importante e os métodos de concentração mineralógica mais tradicionais e rotinados são eficazes

apenas para a espodumena que sendo rica em Li é contudo um mineral relativamente escasso no conjunto dos depósitos minerais portugueses.

Minério ou mistura	Acrónimo	Composição estequiométrica ou composição química de referência	% peso de Li ₂ O	Termos extremos de séries isomórficas ou componentes mineralógicos principais em misturas naturais (rochas e “tout-venants”)
petalite	PET	LiAlSi ₄ O ₁₀	±4.0	_____
lepidolite (sensu lato)	LEP	K(Li,Al,Rb) ₂ (Al,Si) ₄ O ₁₀ (F,OH) ₂	<4.0	polilitionite - trilitionite
zinwaldite	ZIN	KLiFeAl(AlSi ₃)O ₁₀ (OH,F) ₂	<4.0	siderofilite - polilitionite
espodumena II	ESP II	LiAl(SiO ₃) ₂ ± SiO ₂	±7.7	_____
espodumena I	ESP I	LiAlSi ₂ O ₆	±8.1	_____
mesclas porfíricas ou pegmatíticas c/ ambligonite (A)	MA	_____	< 0.5	ambligonite-montebasite ± quartzo ± feldspatos ± micas
mesclas aplito-pegmatíticas alteradas c/ montmorilonite (M)	MM	_____	< 0.5	(montmorilonite, hectorite) + bikitaite +(petalite, espodumena±quartzo) +quartzo +feldspatos +micas +gibbsite

Quadro 2 – “Check-list” dos portadores mineralógicos de Li já convertidos para o cortejo dos minérios possíveis em território de Portugal. Nota: Embora isso aconteça muito raramente em Portugal, em outros territórios, os fosfatos da série ambligonite – montebasite figuram entre as fontes de Li mineralógico viáveis.

As principais substâncias atualmente consideradas fonte de Li e os tipos de depósitos em que se encontram em condições exploráveis podem ser representadas pelos padrões que constam do quadro 3.

Prevalece a importância das salmouras obtidas em lagos salgados (ou “salares”, como se designam na América do Sul), algumas concentrações em materiais argilosos, pórfiros hipabissais e produtos de alteração de rochas. Também começam a ser significativos os pegmatitos, considerados a principal fonte de Li em Portugal. Nos “salares” encontram-se as maiores tonelagens embora os teores sejam bastante baixos. Por outro lado a metalurgia do Li é mais simples. Nos pegmatitos ocorrem teores mais altos mas as

tonelagens baixas e o processamento mineralúrgico a metalúrgico é tecnologicamente mais complexo muito mais influenciado negativamente pelos consumos energéticos altos e pelo impacto ambiental mais significativo.

O termo pegmatito aqui usado abrange variações de fácies de aplito a leucogranito e pegmatito em sentido estrito – no caso Português não são de considerar as concentrações de minerais de Li em zonas individualizadas no interior de grandes pegmatitos como sucede por exemplo na Austrália e na maioria dos países africanos (Quadro 3 e Fig. 3).

Depósito	País	Tipo de depósito	Concentração média (% Li)	Recurso “in situ” (milhões de toneladas de Li)
Uyuni	Bolívia	salmoura	0.05	10.20
Atacama	Chile	salmoura	0.14	6.30
Kings Mountain Belt	USA	pegmatitos	0.68	5.90
Qaidan	China	salmoura	0.03	2.02
Kings Valley	USA	rocha sedimentar	0.27	2.00
Zabuye	China	salmoura	0.07	1.53
Manono, Kitotolo	Congo	pegmatitos	0.58	1.15
Rincon	Argentina	salmoura	0.03	1.12
Vale de Jadar	Sérvia	rocha sedimentar	0.01	0.99
Hombre Muerto	Argentina	salmoura	0.05	0.80
Greenbushes	Austrália	pegmatitos	1.59	0.60
Bikita	Zimbabwe	pegmatito	1.40	0.10
Mar Morto	Israel	salmoura	0.001	---
outros	vários depósitos no Brasil, Canada, China e Portugal	pegmatitos	---	0.15

Quadro 3 – Principais fulcros de disponibilidade de recursos calculados e de reservas provadas. Recursos de Li à escala global considerados no início da inflexão de procura (crescimento) de 2010.

Fórmulas de cálculo de recursos: **Li P = T x C**, em que Li P = recursos de Li em **pegmatitos e outros depósitos litológicos**; T = toneladas de material produtivo (“tout-venant” sem incluir estéril encaixante); C = concentração de Li no material produtivo.

Li S = A x E x P x D x C, em que Li S = recursos de Li em **salmouras**; A = área do aquífero; E = espessura do aquífero; P = porosidade do aquífero; D = densidade da salmoura; C = concentração de Li na salmoura.



Figura 3 - Concentração de espodumena (cristais prismáticos alongados brancos) na zona intermédia interna, a muro, no corpo principal do grupo pegmatítico de Naipa, Província Pegmatítica da Zambézia, N de Moçambique.

É nesta encruzilhada que se encontram os recursos de Li de Portugal.

Situação dos recursos de Li em Portugal – propriedades da ocorrência natural

Na situação nacional é ainda maior a incerteza relativa ao futuro dos recursos de Li.

A tipologia dos minérios adstritos aos recursos base, recursos potenciais e reservas, inscritos na pirâmide de McDivitts para o território de Portugal, consta da figura 4.

Ainda não existe um modelo orientador da valorização dos projetos mineiros dedicados ao Li em Portugal, que considere a diversidade de depósitos minerais pegmatíticos que aqui ocorrem, a diversidade dos potenciais minérios que eles comportam e as diferentes combinações paragenéticas desses minerais.

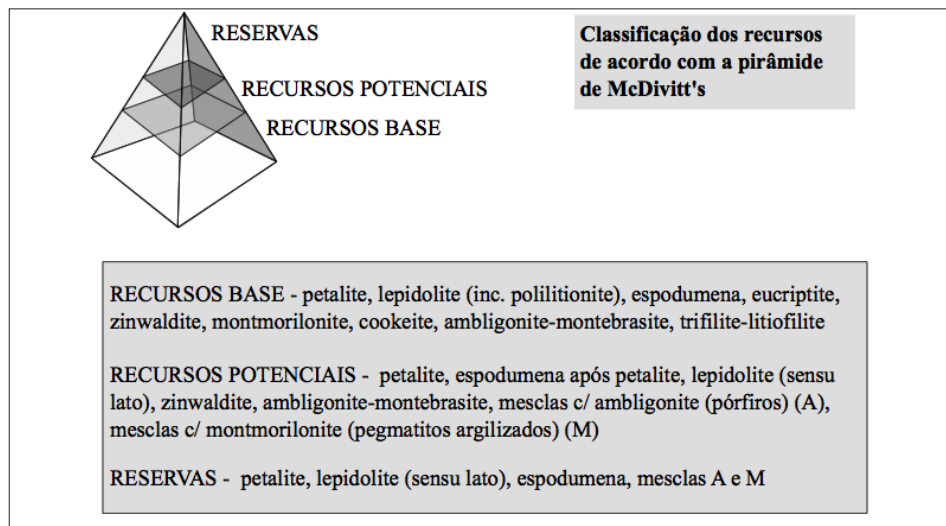


Figura 4 – Pirâmide de McDivitts para a tipologia dos recursos de minerais de Li em Portugal.

As variáveis a considerar são as seguintes:

- variáveis naturais;
- variáveis mineralúrgicas;
- variáveis metalúrgicas;
- variáveis relativas à constituição de fileiras de produção e mercado (comercialização);
- variáveis relativas a diretivas que vigoram em Portugal e regem o ordenamento territorial e da atividade mineira ou supervisionam o impacto ambiental associado à atividade extrativa.

Variáveis naturais

as variáveis naturais a considerar na beneficiação de minérios de Li e na subsequente metalurgia, são fundamentais pois, embora todos os depósitos portugueses sejam litológicos, exibem uma grande diversidade.

Diversidade e penalização de minérios

A equivalência petrogenética dos minérios pegmatíticos principais, petalite e espodumena e, frequentemente, a transformação isoquímica, *petalite* => *espodumena* + 2 *quartzo*, não são acompanhadas de uma equivalência tecnológica dadas as diferenças de conteúdos máximos de Li_2O dos dois minerais, respectivamente, 4% e 8% e também dada a diferença signifi-

cativa das suas propriedades físicas. Também por este motivo, é grande a diversidade de relações teor/tonelagem que caracterizam muitos depósitos pegmatíticos, por vezes situados num mesmo enxame filoniano, e sobretudo, os conteúdos de Li dos concentrados que se espera obter podem ser muito diferentes de corpo para corpo.

Também a lepidolite, um outro importante portador de Li, surge em regra finamente intercrescida com quartzo ou albite, em proporções variáveis, o que reduz os conteúdos de Li_2O característicos destas micas para valores de 2.5% de Li_2O em concentrados difíceis de purificar.

Frequentemente a petalite apresenta-se cookeitizada e as suas maiores concentrações em estruturas de “comb-layering” estão muitas vezes montmorilonitizadas, na melhor das hipóteses, hectoritizadas (transformadas em hectorite, uma montmorilonite com algum Li), sempre sujeitas a importante lixiviação de álcalis. Persiste “in situ” uma gibsite residual que é destituída de Li. Parte desta alteração será de génese hidrotermal mas, provavelmente, em menor magnitude deverá ter existido meteorização responsável pela formação de paragénese argílicas mais complexas e também responsável pela última concentração residual de gibsite.

A alteração deutérica mais pervasiva da espodumena pode dar lugar à formação de eucryptite (na dependência de albitização) ou bikitaíte por hidratação reacional. Qualquer destes processos faz baixar os conteúdos de Li_2O dos concentrados espoduménicos para valores inferiores a 6.5% e os conteúdos de Li_2O dos concentrados de petalite ou lepidolite/zinwaldite para valores inferiores a 2.5%. É pois de considerar, na potencialidade das jazidas e no cálculo de reservas, um fator adicional de depreciação natural de recursos, ou seja, a deformação e alteração hidrotermal a supergénica das gangas e minérios e o seu alcance e pervasividade.

Após a análise das combinações dos fatores acima expostos é possível sintetizar no gráfico da figura 5, as tipologias de minérios em função do jazigo mineral que os comporta e em função dos terrenos hospedeiros dos jazigos e também as correspondentes relações deduzidas de teor/tonelagem.

Em resultado, percebe-se que em geral os jazigos pegmatíticos portugueses, prospectivamente com algum interesse (teor > 1 % de Li_2O), são pequenos

(tonelagem = 25 a 75 KT), apresentando petalite > espodumena. Ou seja os recursos encontram-se dispersos por numerosos pequenos depósitos pegmatíticos sobretudo situados em terrenos encaixantes de protogénese metavulcanossedimentar correspondente ao Silúrico, especialmente expressos no Alto Minho e em Trás-os-Montes Ocidental.

Tipologia e zonografia regional das jazidas

As jazidas de Li principais ocorrem no Norte e Centro de Portugal, predominando as de tipo aplito – pegmatítico, aqui referidas, de forma abrangente, como pegmatitos graníticos, ou simplesmente pegmatitos, com morfologia filoniana, tabular a lenticular.

recursos potenciais e reservas	valores médios de quantitativos de reservas em quilotoneladas (KT)	símbolo
petalite	corpo pegmatítico em enxames filonianos implantados em terrenos Silúricos ou Câmbrios, metassedimentares a metavulcânicos	○
lepidolite (sensu lato)	grupo de pegmatitos interconectados em enxames filonianos implantados em maciços graníticos ou em terrenos metassedimentares a metavulcânicos	◇
zinwaldite	massa metassomática, contígua a depósitos filonianos de lepidolite encaixados em granitos essencialmente biotíticos	◆
espodumena II	espodumena pós-petalítica ou equivalente em corpo pegmatítico paradigmático implantado em terreno Silúrico	□
espodumena I	espodumena primária em corpo pegmatítico paradigmático implantado em gnaisses e terrenos metassedimentares	■
mesclas c/ amblygonite (A)	mistura com amblygonite predominante em pegmatito, pórfiro granítico a microaplito (também inclui micas de Li)	◆
mesclas c/ montmorilonite (M)	mistura com argila (montmorilonite a hectorite) predominante em aplito-pegmatito decomposto	◆

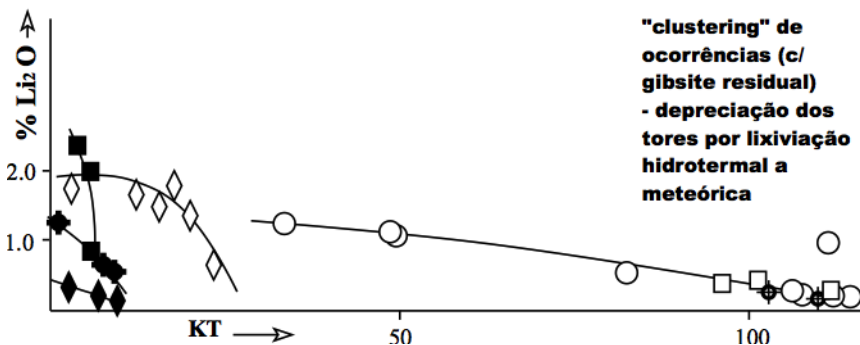


Figura 5 – Propriedades dos depósitos minerais identificados em Portugal – tipologia de minérios e relações teor/tonelagem com dados analíticos provenientes de campanhas de prospecção e monitorização mineira dedicadas a matérias primas cerâmicas pegmatíticas.

Também tem sido equacionada a valorização económica de algumas rochas hipabissais de afinidade granítica residual (inscritas no sistema apogranítico) que podem ser referidas como pórfiros microleucograníticos as

quais ocorrem sob a forma de “stocks” intrusivos e filões (diques), estes caracterizados por uma grande continuidade aflorante. Estas jazidas são no entanto mais raras - as mais conhecidas situam-se na região Centro.

Os pegmatitos produtivos que constituem os atuais alvos de pesquisa para concentrações de Li, incluem-se na classe com elementos raros, família LCT, e os seus tipos paragenéticos são muito diversificados (Fig. 6 e 7).

Quanto à sua distribuição regional organizam-se em campos que se alinham paralelamente à disposição plutónica dos maciços graníticos da Zona Centro Ibérica. Sendo assim, o conjunto de campos pegmatíticos configuram uma cintura, referida como Cintura Pegmatítica Centro Ibérica tanto por razões geográficas como estruturais e metalogénicas. Esta Cintura faz parte da Província Pegmatítica Varisca. Os seus lineamentos de referência são corredores de cisalhamento de diferentes ordens que manifestam indícios de transporte tectónico, tangencial a transcorrente, atribuídos às 2ª e 3ª fases de deformação Varisca (Fig. 6).

Um perfil conceptual NW-SE, transversal às estruturas de 1ª e 2ª ordem, exibe uma organização estrutural dos granitóides e uma distribuição espacial dos pegmatitos dos diferentes tipos similar à que está patente na figura 7.

A diversidade de formas, tamanhos e conteúdos mineralógicos dos pegmatitos é muito grande e também é muito variado o posicionamento dos conjuntos pegmatíticos, tanto em termos de expansão lateral como vertical. No entanto, tendo em conta o que se observa nas figuras 6 e 7, na maior parte das regiões pegmatíticas, a superfície topográfica expressa na imagem da figura 6, intersecta um intervalo de cotas de cerca de 600 m onde se localizam, na sua maioria, os principais fulcros de pesquisa atuais.

A posição deste intervalo de cotas coincide grosseiramente com a interferência de estruturação Varisca entre a Zona Centro-Ibérica e a Zona de Galiza Trás-os-Montes. Nesta interface está alojada grande parte da intrusão de granitos Variscos produtivos (especializados em Li) e a estruturação epi-granítica dos campos filonianos de tipo LCT que por isso afloram abundantemente (Figs. 7 e 8).

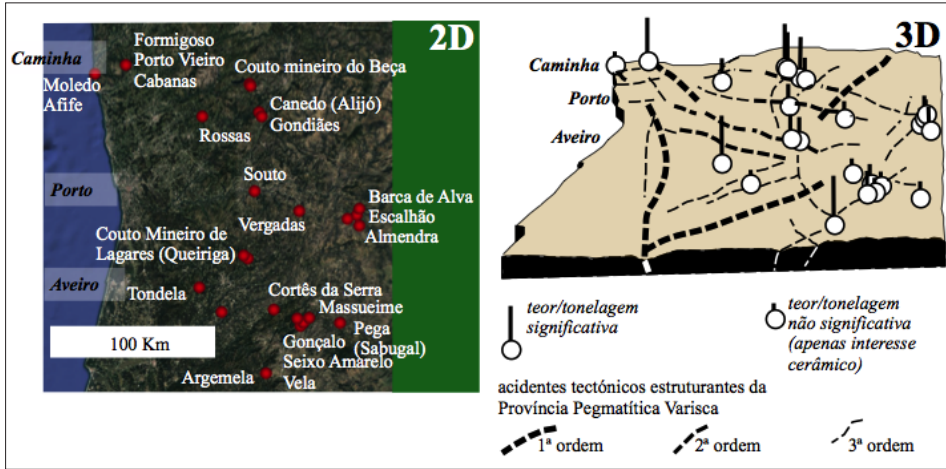
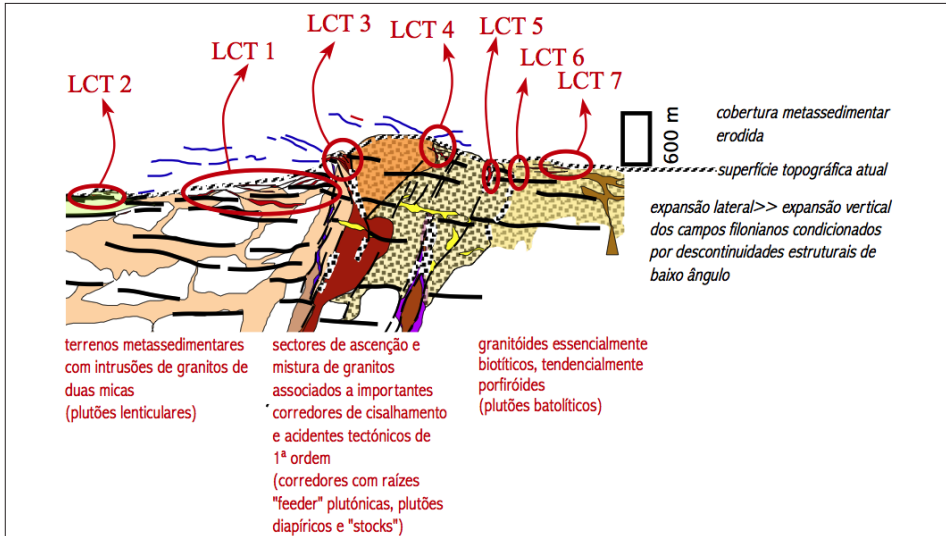


Figura 6 – Locais chave na prospecção de Li metálico centrados em antigos trabalhos mineiros dos ciclos do Sn e das matérias primas cerâmicas “alitinadas” e correspondente implantação na matriz estrutural da Província Pegmatítica Varisca. Nota: notam-se, qualitativamente, algumas relações teor/tonelagem representativas.



- LCT 1
 - TUR - BALOUCA
 - PET+AMB+TUR - ESP+AMB - GONDLÃES, FORMIGOSO
 - AMB+TUR - VERDES, MASSUEIME
 - LEP+POL+TUR - LOUSADO, SOUTO

- LCT 2 - LEP+TUR - AFIFE - VIANA DO CASTELO
- LCT 3 - PET+LEP+AMB+TRI-LIT - QUEIRIGA
- LCT 4 - ZIN+LEP+AMB - REAL
- LCT 5 - TRI-LIT+AMB-MON - S.ª ASSUNÇÃO
- LCT 6 - AMB-MON - MASSUEIME
- LCT 7 - LEP+TUR+PET+POL - VELA (ZIN NO ENCAIXANTE)

Figura 7 – Distribuição vertical e horizontal e tipologia paragenética dos pegmatitos da família LCT numa transversal padrão da Cintura Pegmatítica Centro-Ibérica.

Se alguns pegmatitos cerâmicos podem estar implantados na dependência de corredores verticalizados de cisalhamento tardio e de “mingling” magmático, situados no interior de plutões graníticos de feição porfiróide essencialmente biotítica, os pegmatitos LCT mais interessantes, por seu lado, relacionam-se com granitos de duas micas cuja conformação é laminar com expansão horizontal prevalecente, determinada pelas descontinuidades estruturais resultantes do transporte tectónico tangencial. Estas estruturas facilitam a diferenciação morfoscópica e morfométrica dos enxames filonianos e constituem volumes precursores da delaminação em que se alojam granitos e pegmatitos filiados (Fig. 8).

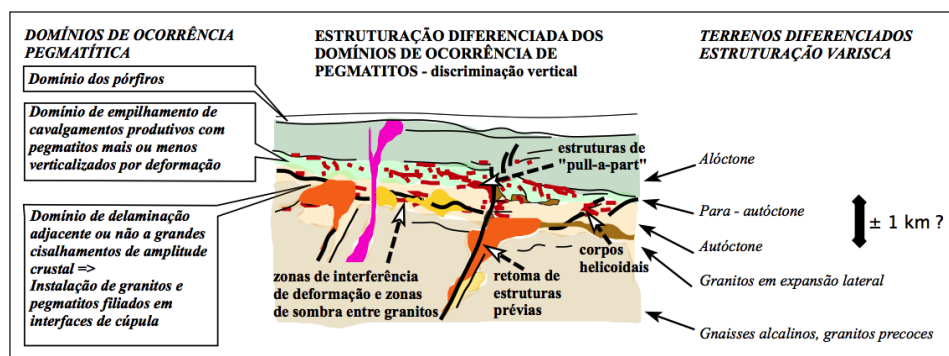


Figura 8 – Domínios principais na distribuição vertical dos aplito-pegmatitos litiníferos – hipotética concentração de pegmatitos LCT na interface entre terrenos alóctones e para-autóctones no sector de mantos transportados.

Sendo assim, no contexto da estruturação da Cintura o intervalo vertical produtivo para o Li aflora em grande parte e deverá ter uma pequena expansão em profundidade. Outrossim a diversidade observada de formas, tamanhos e paragéneses deverá estar completa na sua amplitude lateral e expressa no conjunto das ocorrências aflorantes.

Só no caso dos pórfiros microleucograníticos as mineralizações de Li não estão dependentes do alastramento lateral da instalação dos campos pegmatíticos LCT. Corresponde-lhes uma implantação quase epizonal secante àquela disposição (ver domínio dos pórfiros na figura 8 atrás).

Morfometria, morfoscopia e continuidade das jazidas

A diversidade morfológica e a dimensão das jazidas é ilustrada pela diversidade já conhecida dos depósitos em lavra ou em prospecção pontual

para feldspatos “alitinados” (materias primas vitro-cerâmicas). Aliás é sobre estes pegmatitos, em muitos casos já lavrados no ciclo do Sn (primeira metade do século XX) e no ciclo cerâmico (desde os anos 80 até agora), que está centrada e irá desenvolver-se a pesquisa de base para o próximo ciclo de aproveitamento do Li metálico que se perspectiva. Muitos desses locais paradigmáticos estão indicados na figura 6, anterior, onde também já se indiciam as importâncias relativas do interesse cerâmico e as previsões de conteúdo litínifero que foram estimadas de forma muito rudimentar.

Nas figuras 9 e 10 apresentam-se blocos diagramas ilustrativos dos alvos estaníferos ou cerâmicos potencialmente conversíveis em alvos litíniferos. A sua tipologia paragenética já havia sido referida na figura 7.

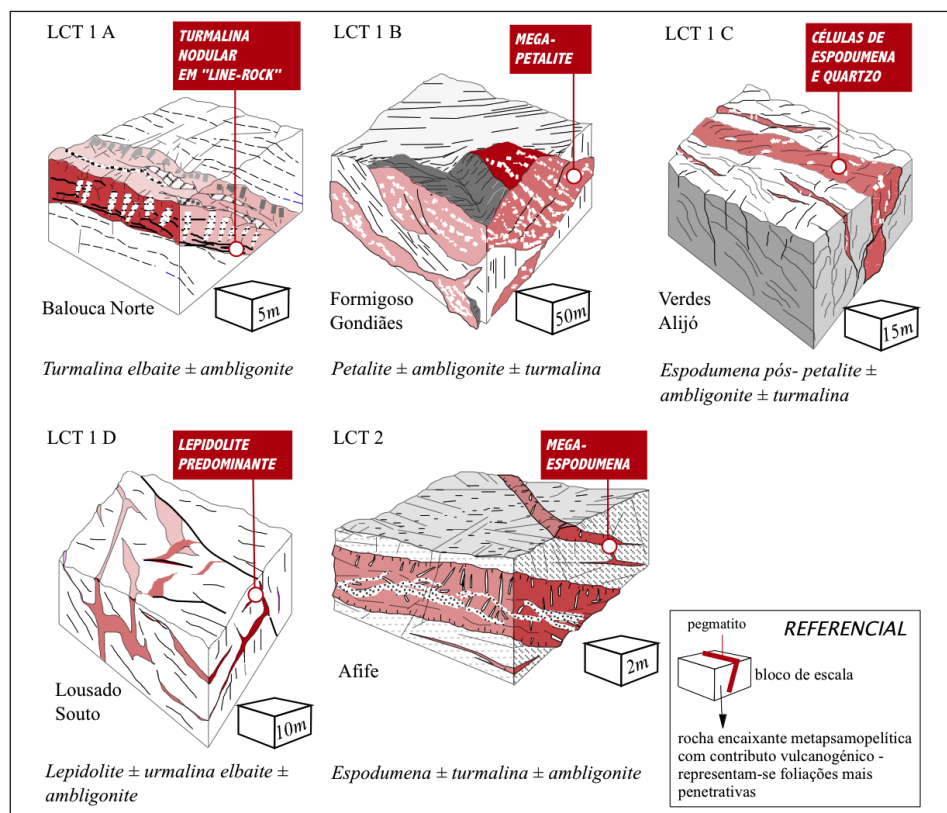


Figura 9 – Blocos padrão representativos dos pegmatitos LCT alojados em rochas meta-vulcano-sedimentares – apenas no caso LCT 2 o encaixante é um gnaiss de duas micas, turmalina e granada com numerosos encraves restíticos, schliereníticos e domínios para-migmatíticos. Localizações na figura 6.

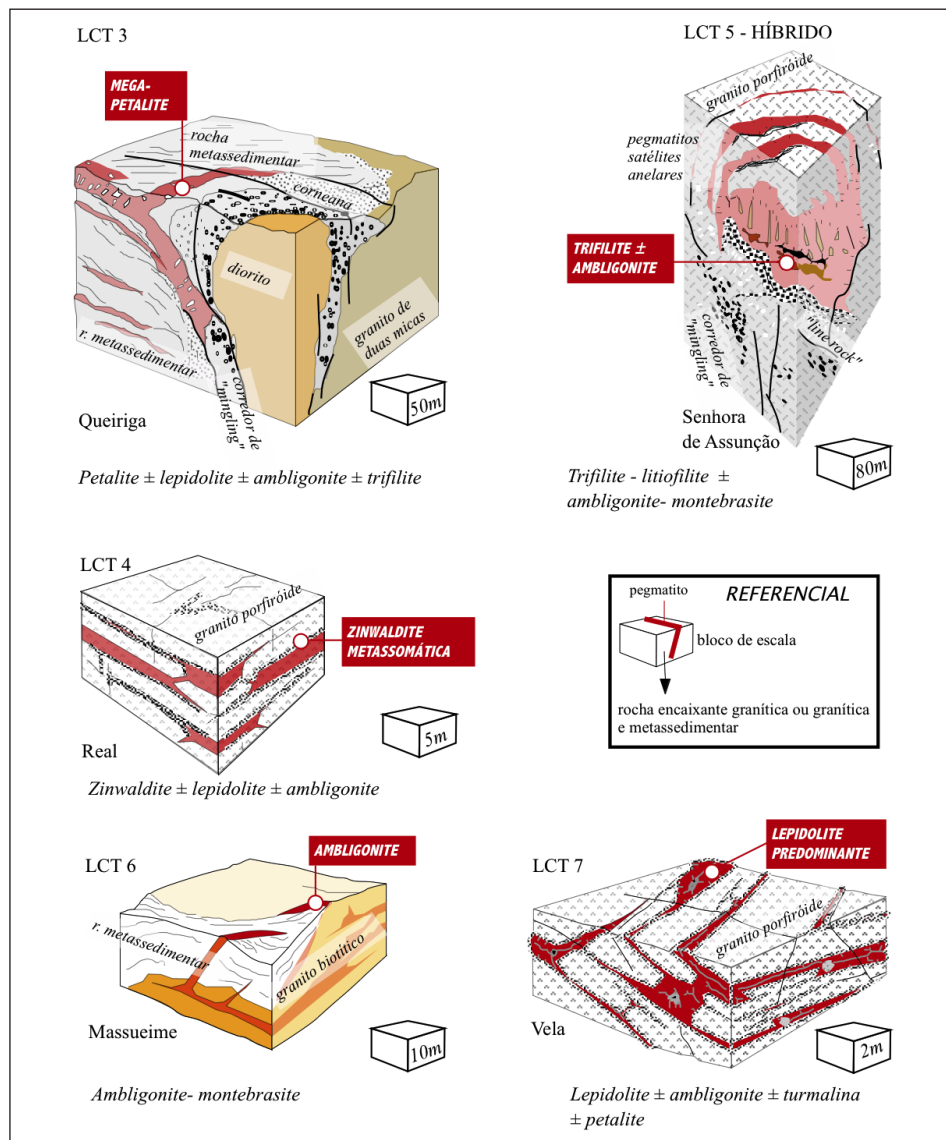


Figura 10 – Blocos padrão representativos dos pegmatitos LCT ou híbridos alojados em rochas graníticas ou junto do contacto destas com rochas metassedimentares. Localizações na figura 6.

Heterogeneidade estrutural interna das jazidas – factores de concentração e dispersão dos minérios

A dimensão das jazidas pegmatíticas pode considerar-se pequena (quadro 4) quando comparada com grandes pegmatitos litiníferos como Rubicon

(Namíbia), Bikita (Zimbabué), Muiane (Moçambique), Greenbushes (Australia) ou Tanco (Canadá) que podem ser considerados como depósitos de classe mundial onde a ocorrência dos minerais de Li tem quase sempre uma distribuição heterogénea. Por isso nesses casos se equaciona o desmonte seletivo ou exclusivo de unidades internas enriquecidas sobretudo em espodumena, petalite ou lepidolite.

No caso das jazidas pegmatíticas portuguesas esta hipótese não se coloca dado que a distribuição dos minerais de Li é bastante mais errática ou, na melhor das hipóteses, verifica-se uma disseminação mais ou menos homogénea dos portadores de Li. Nestas condições o apuramento de concentrados depende exclusivamente da mineralurgia de todo o “tout-venant” pegmatítico extraído de forma não selectiva.

Por maioria de razões no caso dos poucos pórfiros que são já conhecidos (e também afetados por exploração para materiais cerâmicos) a mineralurgia e a metalurgia são fundamentais para a valorização. Os minérios ocorrem numa disseminação muito fina. Os teores característicos são os mais baixos que é possível enfrentar em suporte litológico e portanto há que encontrar compromissos muito estritos entre os diâmetros de libertação dos minérios e a preservação do teor. A alternativa para o apuramento do CLE será o uso de processos de lixiviação que ainda não estão em rotina, muito menos em Portugal. Mas mesmo a recuperação de um pré-concentrado exportável, destinado a este tipo de processamento, irá debater-se com a dificuldade imposta pela disseminação fina e diversidade dos minérios (essencialmente fosfatos mas também micas) e baixo teor no total desmontado.

LCT	Minerais de lítio indiferenciados	Pegmatito indiferenciado
1	A - 0.05 ; B - 100; C - 80; D - 3.	A - 500 ; B - 1500 ; C - 1000 ; D - 10.
2	1	3
3	20	1200
4	0.5	20
5	0.3	500
6	0.4	50
7	12	50

Quadro 4 – Quantitativos máximos de reservas prováveis por modelo e por corpo mineralizado (em quilotoneladas, KT). A localização e descrição dos tipos LCT encontram-se nas figuras 6, 9 e 10.

Ainda dentro das variáveis naturais que influenciam a heterogeneidade interna das jazidas há que ter em conta a alteração hidrotermal e a meteori-

zação que podem produzir uma forte lixiviação de metais alcalinos e do Li, especialmente, deixando massas pegmatíticas antes enriquecidas em petalite e/ou espodumena agora transformadas em associações de cookeite, montmorilonite e no limite gibsite, das quais grande parte do Li original foi lixiviado. Na figura 5, atrás, nota-se uma concentração de projecções da relação teor/tonelagem, que diz respeito a pegmatitos de maiores dimensões, onde os baixos teores estão em grande parte relacionados com a lixiviação do Li por alteração.

Variáveis mineralúrgicas e metalúrgicas (tecnologias de processamento)

As variáveis mineralúrgicas a considerar para o apuramento eficiente do Li mais uma vez refletem a diversidade de depósitos possíveis – variabilidade ao nível de uma mesma divisão regional, campo, enxame ou grupo filoniano - e a dimensão pequena de cada depósito individual, onde, adicionalmente, se verifica uma grande diversidade paragenética nas associações mineralógicas portadoras de minerais com Li (a título de exemplo, ver as ilustrações da figura 11).

A diversidade de minérios num mesmo depósito será a maior dificuldade a suplantar na produção de concentrados.

Se a obtenção de concentrados de espodumena tem protocolos e diagramas de processo já estabelecidos e eficientes, os concentrados de petalite são mais difíceis de apurar e mais ainda quando os dois minerais surgem em conjunto, como sucede em muitas dos jazigos, com mais altos teores e tonelagens, situados no Minho e em Trás-os-Montes. Acresce que minérios onde predominem fosfatos ou micas podem também ser parte da complexidade paragenética a que há que fazer face na beneficiação. Todos estes minerais portadores de Li têm propriedades físicas e químicas muito distintas e frequentemente os seus contrastes e o contraste relativamente às gangas não podem ser abordados de forma imediata com os métodos de separação mineralógica mais correntes.

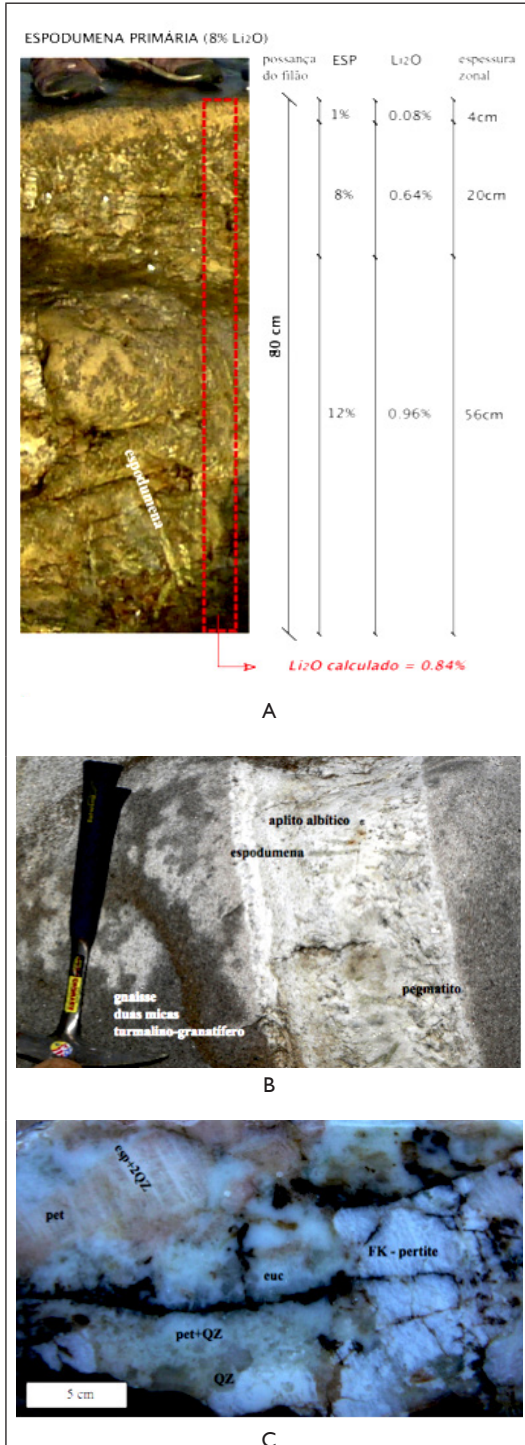


Figura 11 – Ilustração da diversidade paragenética de associações com espodumena e petalite:

A – pegmatito zonado com espodumena primária (\pm turmalina rossmanite) na região de Afife entre Viana do Castelo e Caminha;

B – apito pegmatito com espodumena primária (\pm ambligonite-montebrazite) na região de Moledo, Caminha;

C – espodumena + quartzo (esp+2QZ) ou (esp+QZ) pós-petalite (pet) \pm eucryptite (euc) \pm feldspato potássico (FK) em amostra do Formigoso, Ponte de Lima – esta associação tem expressão muito generalizada ocorrendo nos maiores apito-pegmatitos instalados em terrenos Silúricos tanto na região de Caminha a Ponte de Lima, como em Trás-os-Montes (Montalegre ou Botiças por exemplo).

A possibilidade de fazer convergir toda essa diversidade, proveniente de depósitos distintos ou de depósitos individuais heterogêneos, para oficinas mineralúrgicas comuns como se faz hoje com as mesclas alitinadas destinadas à cerâmica, ainda está muito longe de ser uma prática corrente e mais ainda, a necessária versatilidade dos protótipos de oficinas de tratamento ainda não foi assumida como prioridade na pesquisa desenvolvida tanto nos diferentes serviços do “Sector Público” como a nível empresarial.

Também aqui, como tinha sido sugerido para os pórfiros, seria de equacionar a produção de pré-concentrados e a sua exportação com vista ao apuramento final em CLE onde esta tecnologia estivesse disponível. Acontece que todos estes protocolos de procedimento ainda não estão clarificados e em qualquer caso a sua adoção significa uma depreciação da cadeia de valor e da fileira situada em Portugal.

Mesmo no caso de uma produção doméstica centralizada dos pré-concentrados, ainda há muitas incertezas no que respeita à sua exequibilidade, atendendo à versatilidade que seria necessária para fazer face às diferentes paragêneses e tipos de depósitos pegmatíticos que caracteristicamente ocorrem em Portugal.

Depois coloca-se ainda uma questão de competitividade desta cadeia mineralúrgica e metalúrgica face às que se aplicam a vulcanitos alterados com jadarite, aplitos alterados, depósitos de hectorite, brines em associações e sequências evaporíticas e brines subterrâneos (por exemplo, em captações petrolíferas) e ainda outras possíveis fontes.

Pode pois dizer-se que em termos tecnológicos ainda não se atingiu em Portugal o momento ideal de valorização dos recursos de Li disponíveis, e grande parte do trabalho terá de ser feito ao nível do planeamento, ordenamento da atividade extractiva e conservação dos recursos.

Variáveis relativas a ordenamento, ambiente, produção e mercado

Em contexto europeu, embora assumida a criticalidade do Li, existem conflitos de interesse nítidos entre o usufruto dos recursos e das eventuais reservas de Li como CLE, face ao aproveitamento dos recursos de matérias primas cerâmicas alitinadas (oriundas das mesmas jazidas) e o uso das mesmas unidades territoriais, em que ocorrem as jazidas pegmatíticas, no

desenvolvimento de outras apetências que possam ser consideradas mais úteis em sede de ordenamento.

Em território produtivo do Norte de Portugal e para o ano de 2017 os estrangulamentos mais significativos até agora identificados foram:

- locais classificados como de interesse arqueológico;
- zonas a utilizar como volumes de armazenamento de água em albufeiras;
- parques naturais e nacionais e reservas de interesse ecológico paisagístico e turístico – um exemplo muito típico é o da ocorrência de um campo filoniano produtivo no litoral e zona intertidal do Alto Minho – Fig. 12); também importantes marcas turísticas e ecológicas territoriais podem por em causa as intenções de exploração, por exemplo, a marca Serra de Arga no caso do Alto Minho.

Em sede de planeamento regional e ordenamento territorial, conhecidas as potencialidades, os maiores estrangulamentos a que há que fazer face constam do quadro 5.

Na previsão de futuras tendências de mercado há fatores intrínsecos naturais e domésticos e influências internacionais que terão que ser considerados nas suas conjugações possíveis e cujo alcance não é ainda completamente conhecido:

- geografia dos pólos consumidores e das unidades de tratamento metalúrgico e mineralúrgico;
- localização de plantas e fábricas (com influência na determinação das distâncias e custos de transportes);
- custos específicos de produção por unidade de medida de produto, em especial na comparação com a utilidade cerâmica, mais próxima, conhecida e rotinada, com fileiras de orgânica fluida já implementadas no contexto nacional;
- geografia do aprovisionamento em sede de concorrência internacional, considerando a maior favorabilidade para a atividade extrativa por parte da massa crítica territorial em áreas produtivas da África, Ásia (China) e América do Sul (antevendo mudanças e consequências dessas mudanças);
- concorrência de outras matérias primas e fontes emergentes - jadarite (Europa), hectorite (USA), várias fontes pegmatíticas no Canadá, várias fontes pegmatíticas na Austrália e incremento dos quantitativos de

recursos por desenvolvimento da pesquisa em ambientes evaporíticos não só salmouras da América do Sul mas também depósitos de afinidade salina com outras localizações.



Figura 12 – Vista aérea sobre o afloramento de parte de um enxame filoniano mineralizado com Li (espodumena primária, amblygonite, turmalina, lepidolite) que dada a sua localização na Praia de Moledo e dada a tipologia de ordenamento atribuída ao local, dificilmente virá a ser objeto de qualquer intervenção extrativa.

ESTRANGULAMENTOS	MINERALURGIA	Natureza e processos
	METALURGIA	Centralização e competitividade
	ORDENAMENTO	Plano de barragens Áreas protegidas
	INDEFINIÇÃO/AMBIGUIDADE DA PROCURA	Cotação (valor unitário) – sua previsão

Quadro 5 – Estrangulamentos do usufruto de recursos potenciais de CLE em contexto de planeamento e ordenamento.

Atualmente assiste-se a um esforço de prospecção significativo mas não equilibrado nem estabilizado no seu balanço entre valorização dos pro-

jectos de prospecção e valorização dos projectos mineiros, propriamente ditos, e sem que haja um conhecimento do valor estabilizado dos potenciais produtos - ausência de um conhecimento objetivo do que deve ser o produto ou produtos mineiros nacionais conversíveis em CLE.

A sustentabilidade desta situação é precária e assenta na divulgação excessivamente otimista de resultados de prospecção e de experimentação mineralúrgica e metalúrgica. Procura-se estribar os projetos em transações em bolsa de valores e/ou no acesso a financiamentos pouco escrutinados, capazes de aceitarem argumentos justificativos eivados de alguma ausência de rigor e de juízo sobre o que são de fato projetos promissores, sem transições decepcionantes para a fase de mineração efetiva.

Também seria mais necessário, porque a isso se prestam os jazigos pegmatíticos, promover aproveitamentos integrais e integrados das massas mineralizadas em todos os pegmatitos sujeitos a intervenção.

Diligências e operações de valorização

Do que atrás ficou dito se extrai que não há ainda uma idéia clara do que constitui minério de Li, massa mineral produtiva conversível em CLE em condições tecnológica e economicamente viáveis (a situação atual é relativa a 2017). Também não existe uma noção clara do que pode ser encarado como jazigo mineral pegmatítico para produção de Li metálico.

Pensa-se que o que tem mobilizado as empresas com projetos em curso é a possibilidade de por projeto se conseguirem contabilizar massas de um milhão de toneladas de pegmatito a cerca de 1% de Li_2O . Estes objetivos representam marcos de pesquisa demasiado simplificados e simplistas para justificar o progresso dos programas de prospecção, mesmo nas transições entre as fases mais iniciais das operações estratégicas.

Pouco tem sido considerado sobre as profundidades de acesso viáveis. Atendendo ao fator de conversão do valor unitário por tonelada entre mescla cerâmica e CLE, $T Li_2 CO_3 = 125 T MESCLA ALITINADA$ (referível a 2014), invocando tendências que foram estabelecidas pelo BRGM, ainda no século passado, a respeito da viabilidade das operações dedicadas a matérias primas pegmatíticas, pode-se estabelecer a seguinte hierarquia de profundidades máximas de intervenção ex-

trativa, hierarquia que é considerada razoável para os valores unitários correntes naquele ano:

- $< 30 M - QZ + FELD$. (MESCLAS ALITINADAS);
- $30 - 100 M - 1000 KT @ Li_2 O > 1\%$;
- $100 - 200 M - 3000 KT @ Li_2 O > 3\%$.

Este paradigma hierárquico uma vez ajustado ao caso português sugere as profundidades viáveis máximas que constam do quadro 6.

Profundidades viáveis de intervenção	Matéria prima ou produto final pretendido	Proveniência da indicação relativa à barreira de profundidade
<30 m	Materiais cerâmicos quartzo-feldspáticos (não alitinados)	BRGM – anos 80 do século 20
<40 m	Produtos feldspáticos alitinados (com minerais de Lítio)	Prática de rotina das empresas portuguesas com maiores produções – anos 1989 a 2012
<80 m	Li metálico	Compromisso para uma viabilidade prospectiva face às profundidades identificadas com mais frequência em relatos de trabalhos de prospecção pontual posteriores a 2005
<120 m	Li metálico ± produtos cerâmicos quartzo-feldspáticos ± minérios de Ta, Sn, Nb ± berilo ± agregados e produtos de cantaria	Viabilização complexa com ordenamento da actividade extractiva muito exigente tendo em perspectiva o aproveitamento integral e integrado das jazidas – protocolos ainda não estabelecidos nem em contexto prospectivo

Quadro 6 – Profundidades de referência para o desmonte de massas minerais aplito-pegmatíticas com ou sem minerais de Lítio.

Valor conhecido das jazidas

O valor atual das jazidas e propriedades mineiras é emanado do aproveitamento cerâmico. Aliás todos os alvos de pesquisa atuais se centram em fulcros de alvos pegmatíticos testados ou explorados para produção de matérias primas vitro-cerâmicas e estes em muitos casos tinham já sido abordados no ciclo extractivo dedicado ao Sn na primeira metade do século XX. As empresas que lideram o mercado das pastas cerâmicas em Portugal e que têm concessões no Alto Minho, Trás-os-Montes e Beiras, têm sido abordadas por agentes e atores internacionais no sentido de considerarem a conversão dos seus licenciamentos mineiros para a produção de concentrados de Li, contratualizando programas de prospecção e pesquisa para perímetros mineiros antes exclusivamente dedicados à produção cerâmica.

A motivação para esses projetos de conversão baseiam-se em análises químicas de rocha total de amostras em canal que proporcionaram composições químicas considerados interessantes no ciclo cerâmico (quadro 7 e 8) que são também julgadas promissoras em termos de valorização de CLE.

	p cel	p cel	p cel	p cel	ap	ap esp	ap esp	ap pet
SiO ₂	73	75	73	73	71	76	72	72
Al ₂ O ₃	16	16	17.6	18.1	18.2	16.6	18.5	17.6
Fe ₂ O ₃	0.53	0.25	0.42	0.26	0.26	0.55	0.23	0.39
Na ₂ O	4.1	4.5	2.4	2.4	9.4	1.3	2.7	3.0
K ₂ O	2.9	2.3	1.9	3.3	<0.5	2.0	4.4	2.4
Li ₂ O	0.59	0.69	2.1	1.6	0.17	2.2	1.4	1.2
P.F.	1.4	0.84	0.9	1.8	0.44	1.1	0.8	2.1

Quadro 7 – Composição química de fácies aplito-pegmatíticas (% peso). TiO₂, CaO, MgO, P₂O₅, MnO abaixo dos níveis de detecção; **pcel** – pegmatito com células oclares espoduménicas; **ap** – aplito; **apesp** – aplito com fenocristais de espodumena; **appet** – aplito com fenocristais de petalite. **P.F.** – “perda ao fogo” indicia argilização.

	Li ₂ O	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Li ₂ O	Na ₂ O/ K ₂ O	Na ₂ O+K ₂ O
a	0.78	4.1	17.0	2.5	0.78	1.64	6.6
a	0.70	4.2	16.0	2.6	0.7	1.62	6.8
a	0.59	4.1	16.0	2.9	0.59	1.41	7
a	0.67	4.3	17.0	2.5	0.67	1.72	6.8
a	0.69	4.5	16.0	2.3	0.69	1.96	6.8
u	1.40	3.5	17.6	2.0	1.40	1.75	5.5
u	1.60	2.4	18.1	3.3	1.60	0.73	5.7
p	2.10	2.4	17.6	1.9	2.10	1.26	4.3
p	2.50	2.4	18.7	1.9	2.50	1.26	4.3
p	1.20	3.0	17.6	2.4	1.20	1.25	5.4
e	1.40	2.7	18.5	4.4	1.40	0.61	7.1
e	2.20	1.3	16.6	2.0	2.20	0.65	3.3
e	0.17	9.4	18.2	0.5	0.17	18.80	9.9

Quadro 8 – Seleção representativa de conteúdos de alcalis obtidos por análise química de amostras em canal (fluorescência de Rx e espectrometria de absorção atômica) (valores em % peso); a – pegmatitos com espodumena + quartzo após petalite em variados estados de argilização; u – unidades petalíticas em pegmatitos com diferentes estados de argilização; b – variabilidade representativa em pegmatitos petalíticos; e – variabilidade representativa em aplito-pegmatitos com espodumena primária do litoral a N de Viana do Castelo.

Algumas amostras de rocha total de granitos de duas micas analisadas nas mesmas condições e colhidas em maciços circunscritos rodeados de terrenos meta-vulcano-sedimentares Silúricos proporcionaram concentrações situadas no intervalo, 61-802 ppm de Li metálico, coerente com a especia-

lização litinífera de muitos destes granitos. Frequentemente o núcleo dos plutonitos graníticos é mais pobre em Li que o seu bordo em coerência com a expansão lateral que é postulada na expansão lateral de granitos, apogranitos e sistemas filonianos associados, defendida nos modelos conceptuais das figuras 7 e 8 atrás.

Alguns exemplos de locais já explorados em ciclos extrativos anteriores, encarados agora como alvos para CLE, constam das figuras 13, 14, 15 e 16.



Figura 13 – Mina de Alvarrões – Cabanas, Região da Guarda – exploração de mistura felspática alitinada, em aplito –pegmatito LCT lepidolítico. Representa o ciclo extrativo cerâmico atual.

Compatibilidade de produção entre produtos cerâmicos e minérios de Li

A sobreposição geográfica bastante estrita entre jazigos cerâmicos e potenciais jazidas de Li, exige algum cuidado ao nível do ordenamento da atividade extrativa, tentando equacionar em cada caso a compatibilidade de aproveitamento das mesclas cerâmicas após recuperação de concentrados ou pré-concentrados adequados para obtenção de CLE.

Antes disso terá que haver um juízo rigoroso sobre limiares de composição modal a ter em conta no momento crítico da atribuição de protocolos de mineração diferenciados no termo dos programas de prospecção pontual, já que os minerais minérios são também minerais industriais vitro-cerâmicos (ver quadro 9).

Campos pegmatíticos do Minho - Serra de Arga, Braga, Litoral Norte, Veira do Minho		Campos pegmatíticos de Trás-os-Montes		Grupos pegmatíticos, filões individualizados e "stocks" de pórfiros do Douro e das Beiras	
Cabanas	PET, ESP II, MM	Alijó 1	ESP II	Tondela	MA
Formigoso	PET, MM	Alijó 2	ESP II, PET	Queiriga	PET, LEP
Porto Vieiro	PET, MM	Veral	ESP I e II	Souto	LEP
Lousado	LEP, PET	Gondiães	PET, ESP II, MM	Covelinhas	LEP
Balouca	LEP	Beça Norte	PET, MM, LEP	Vela	LEP, ZIN
Afife	ESP I			Seixo Amarelo	ZIN, LEP
Pedras Ruivas	ESP I			Gonçalo	LEP, PET
Rossas 1	LEP				
Rossas 2	MA				

Quadro 9 – Depósitos pegmatíticos ou profrícos com apetência cerâmica estabelecida, hipoteticamente conversíveis em jazigos minerais de Li - em fase de prospecção pontual.

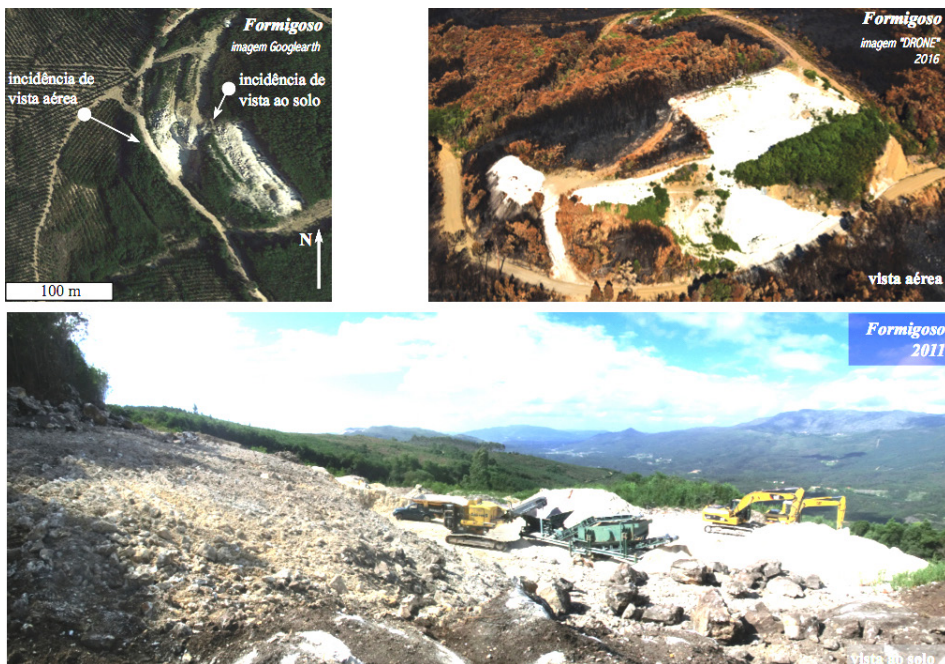


Figura 14 – Mina do Formigoso – Serra de Arga, Ponte de Lima – exploração de mistura feldspática alitinada, em aplito – pegmatito LCT petalítico. Representa o ciclo extrativo cerâmico atual.

Pode-se já adiantar que para os diversos locais chave até agora debatidos é possível constituir um quadro tipológico com os minerais portadores de Li específicos de cada caso e propor alguns índices qualitativos de prevalência desses minerais e da qualidade industrial que os caracteriza os quais podem

ser usados aqui como em outras situações hipotéticas auxiliando, em atos de ordenamento, o juízo sobre a atribuição dicotômica de uma finalidade industrial ou metalúrgica às diversas massas mineralizadas (quadro 10).



Figura 15 – Minas de Trás-os-Montes em Alijó e Gondiaes – exploração de mistura feldspática alitínada, em aplito – pegmatitos LCT petalítico-espoduménicos. Representa o ciclo extrativo cerâmico atual.



Figura 16 – Mina do Beça (corte principal) – Trás-os-Montes – exploração de cassiterite em pegmatito LCT petalítico-espoduménico. Representa o ciclo extrativo do Sn na primeira metade do século XX.

	LER, PO	TRIF	AMB	ZIN	COOK	ARG	PET	ESP	EUC	TUR	IQUI	
IQPI	LCT I A	1	0	1	0	2	2	0	1	0	5	0 A
	LCT I B	1	0	1	0	1	3	9	1	0	1	1 AB
	LCT I C	1	0	1	0	1	1	5	5	1	0	1 AB
	LCT I D	6	0	3	0	3	1	1	1	1	3	0 AB
	LCT 2	0	0	1	0	1	1	0	8	1	1	0 BA
	LCT 3	2	2	2	0	1	0	8	1	2	0	1 AB
	LCT 4	1	1	1	8	2	0	0	0	0	0	0 AB
	LCT 5	0	8	3	0	0	0	0	0	0	0	0 AB
	LCT 6	2	3	8	2	2	1	0	0	2	0	0 BA
LCT 7	9	0	4	8	4	1	2	1	1	4	1 AB	

Quadro 10 – Prevalência e qualidade industrial dos minerais de Li presentes nos diferentes tipos paradigmáticos de pegmatitos. **IQPI** – Índice qualitativo de prevalência = 0 – 10; **IQUI** - Índice de qualidade industrial = 0-1 (conteúdo de Li insignificante; conteúdo de Li significativo); **A** – interesse cerâmico; **B** – interesse metálico.

Compatibilidade entre minérios de Li e outros minérios

Também se verifica uma sobreposição geográfica entre antigas minas de Sn em aplito-pegmatitos e potenciais jazidas de Li.

Esta constatação alerta para a necessidade, também em sede de ordenamento da atividade extrativa, de compatibilizar o aproveitamento dos minérios de Li e outros minérios de metais raros que podem ocorrer nas mesmas massas mineralizadas.

No quadro 11 estão presentes algumas destas ocorrências combinadas cujo estudo deve influenciar o desenho dos diagramas de processo pois alguns dos outros minérios presentes nos pegmatitos podem suplantam em valor unitário o valor dos minerais de Li e podem existir em concentrações não negligenciáveis. Nesta acepção é de realçar o caso dos minérios de Nb e Ta, sobretudo os mais ricos em Ta, cuja presença nos depósitos pegmatíticos se correlaciona estritamente com as maiores concentrações e mineralizações de Li.

	LCT 1				LCT 2	LCT 3	LCT 4	LCT 5	LCT 6	LCT 7
	A	B	C	D						
Nb, Ta	M, CT	CT		M, CT	CT	CT	CT	CT, M, IX, PI	CT	CT, M, SP, AP
Be	BE			BE	BE	BE, BT	BE	BE, FN, BT	HE	BE
Bi								Bi, BN		
Cs				PO						PO
Sn	CS	CS	CS	CS		KS, ET, CS	CS		CS	CS
Mo								MO		
W						VF		VF	VF	
U				UR, UMC				UF, AU, TH, UR		UMC

Quadro II – Combinações paragenéticas de minérios que podem ocorrer associados aos minérios de Li nos tipos de pegmatitos que se têm considerado.

M – MICROLITE; CT – COLUMBITE, TANTALITE; IX – IXIOLITE; PI – PIROCLORO; BE – BERILO; FN – FENACITE; BT – BERTRANDITE; HE – OH-HERDERITE; BN – BISMUTINITE; PO – POLUCITE; CS – CASSITERITE; KS – KESTERITE; ET – ESTANITE; MO – MOLIBDENITE; VF – VOLFRAMITE; UR – URANINITE; AU – AUTUNITE; TH – THORBERNITE; UF – URANOFANA; UMC – URANOMICROLITE.

Territorialidade das ocorrências de materiais e recursos em Portugal

A territorialidade das jazidas depende estritamente da disposição da Cintura pegmatítica Centro-Ibérica e as áreas potenciais dependem dessa configuração, podendo definir-se os seguintes corredores com interesse prospectivo indiciado por alguns jazigos já em exploração: Terrenos Silúricos do NW (Serra de Arga a Seixoso) **SAS**; Terrenos Silúricos de Trás-os-Montes ocidental (Beça e Alijó) **TMO**; granitóides do triângulo Viseu - Guarda – Castelo Branco (Gonçalo, Vela e Seixo Amarelo) **VGCB**; alinhamentos do Douro a Sabugal e Almendra – **DSA**.

Também se pode considerar a existência de alguns fulcros individualizados que embora sendo parte da organização lineamentar acima referida têm características peculiares e anómalas que os isolam das tendências de mineralização mais generalizadas. Os casos mais conhecidos são os seguintes:

- Queiriga – Grande “sill” proximal das minas do Rebentão – **QR**;
- Tondela – Grande filão – **TD**;
- Argemela – “Stock” e rochas filonianas associadas – **AG**.

Para esses corredores e fulcros, na figura 17 faz-se uma classificação relativa do interesse prospectivo para Li₂O e indicam-se as tipologias das massas de recursos no referencial de McKelvey, considerando a informação disponível em 2017.

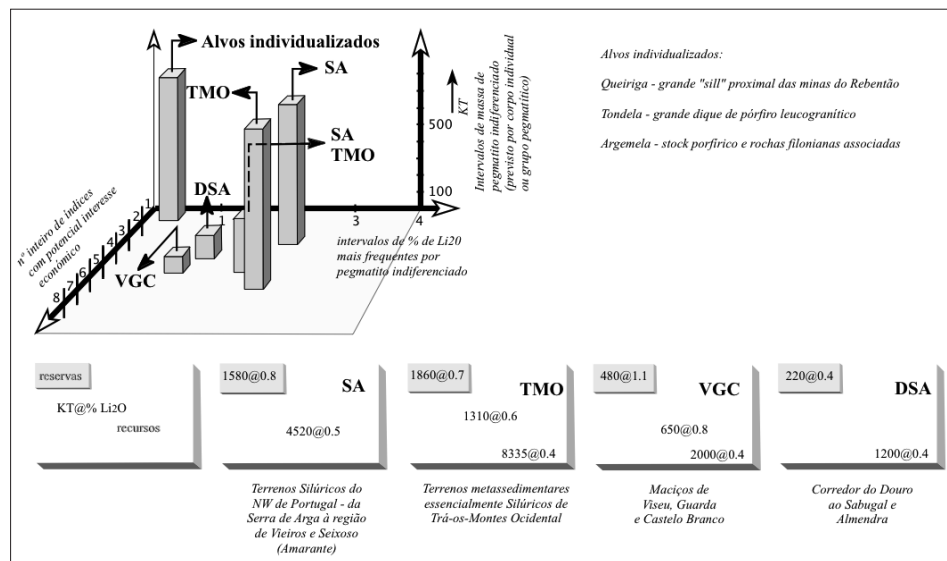


Figura 17 – Classificação dos recursos hipotéticos e especulativos (tonelagem@teor) e reservas estimadas para as principais áreas e fulcros potenciais definidos na Cintura Pegmatítica Centro-Ibérica – implantação em referencial de McKelvey relativo a 2017. Os acrónimos dos diagramas de McKelvey são explicados no texto.

Na figura 18, usando ainda a matriz de McKelvey, projeta-se a classificação das regiões geográficas mais promissoras, que são parte dos corredores antes referidos (Fig. 17), as quais podem ter potenciais ambivalentes entre apetência litinífera e vitro-cerâmica. Sugere-se aí uma hierarquia zonográfica regional e também o valor relativo atual das matérias primas em função da viabilidade económica e tecnológica do seu aproveitamento e em função da certeza geológica da sua ocorrência.

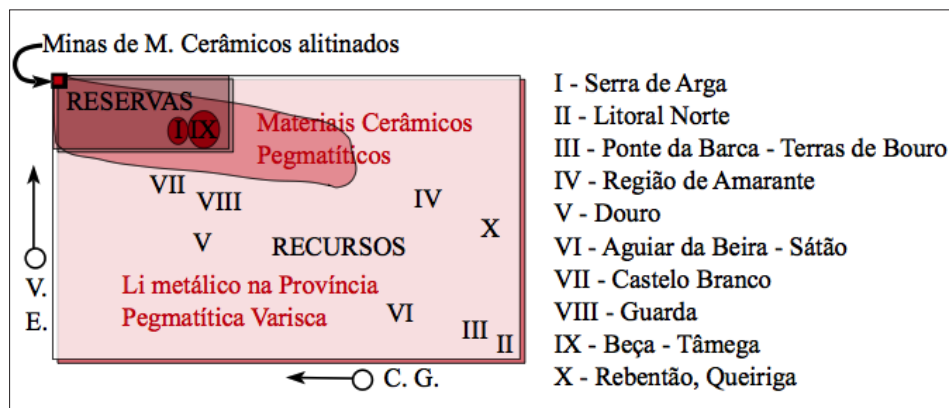


Figura 18 – Classificação dos recursos minerais de Li numa hierarquia zonográfica regional situada no referencial de McKelvey.

C.G. – certeza geológica da ocorrência; V.E. – viabilidade económica do aproveitamento.

Paradigmas de prospeção – síntese conclusiva das propriedades das jazidas

Do que ficou exposto percebe-se que existe interesse prospectivo para os índices litiníferos portugueses coincidentes ou não com jazidas de Sn e jazidas de materiais cerâmicos, expressas nos mesmos corpos pegmatíticos ou porfíricos. No entanto, ainda não foram provadas reservas viáveis, compatíveis com rotinas de processamento em vigor, ou rotinas que já se conheçam e estejam em condições de virem a ser implementadas. Mesmo assim, o quadro 12 adianta já uma primeira classificação para eventuais alvos de prospeção em pegmatitos da Cintura Centro – Ibérica, com base em intervalos de conteúdos de Li_2O . Dessa classificação sobressaem os números de alvos para cada classe de conteúdos, percebendo-se que os terrenos mais promissores são os terrenos Silúricos onde se alojam os aplito-pegmatitos com petalite, petalite e espodumena e espodumena após petalite que simultaneamente têm maiores dimensões (indicados pelas possanças) e conteúdos também mais elevados de Li potencial.

Para auxílio à prospeção podem assumir-se as geometrias expostas nas secções conceptuais que constam da figura 19, construídas tendo em conta os elementos estruturais que constam das figuras 7, 8, 9 e 10.

Tipo de depósito mineral	Nº de índices	Possança	Conteúdo de Li ₂ O (%)
aplito-pegmatito com ambligonite-montebrasite	8	<150 cm	0.03 – 0.80
pegmatito com trifilite-litiofilite	3	<80 cm	0.05 – 0.10
aplito-pegmatito com espodumena	9	<150 cm	0.30 – 1.40
aplito-pegmatito com petalite, petalite e espodumena e espodumena após petalite	80	<1800 cm	0.40 – 2.30
pegmatito com lepidolite e petalite	22	<300 cm	0.50 – 2.10
aplito com turmalina	3	<200 cm	0.01 – 0.10
aplito estéril por vezes com alguma ambligonite	28	<800 cm	0.00 – 0.06

Quadro 12 – Classes de conteúdos de Li₂O para alvos pegmatíticos de cada tipo paragenético com base em análises de amostras colhidas em canais transversais à direção de depósitos com morfologia filoniana.

No quadro 13 encontra-se uma primeira avaliação da massa provavelmente disponível em jazidas para as quais já existe uma aceitável cálculo das relações teor/tonelagem. Dessa avaliação percebe-se que não se verificam aqui, concretamente, as condições de explorabilidade que têm vindo a ser discutidas:

- relações teor/tonelagem com viabilidade económica acima do limite mínimo estratégico – 1000KT @ 0.8 - 1.0% Li₂O;
- barreiras de profundidade de acesso adequadas às relações teor/tonelagem com viabilidade económica;
- volume de encaixante previsível reduzido nas traçagens que se prevêm económicas;
- baixa penalização por argilização e lixiviação de Li;
- homogeneidade de distribuição de minérios com granularidade grosseira.

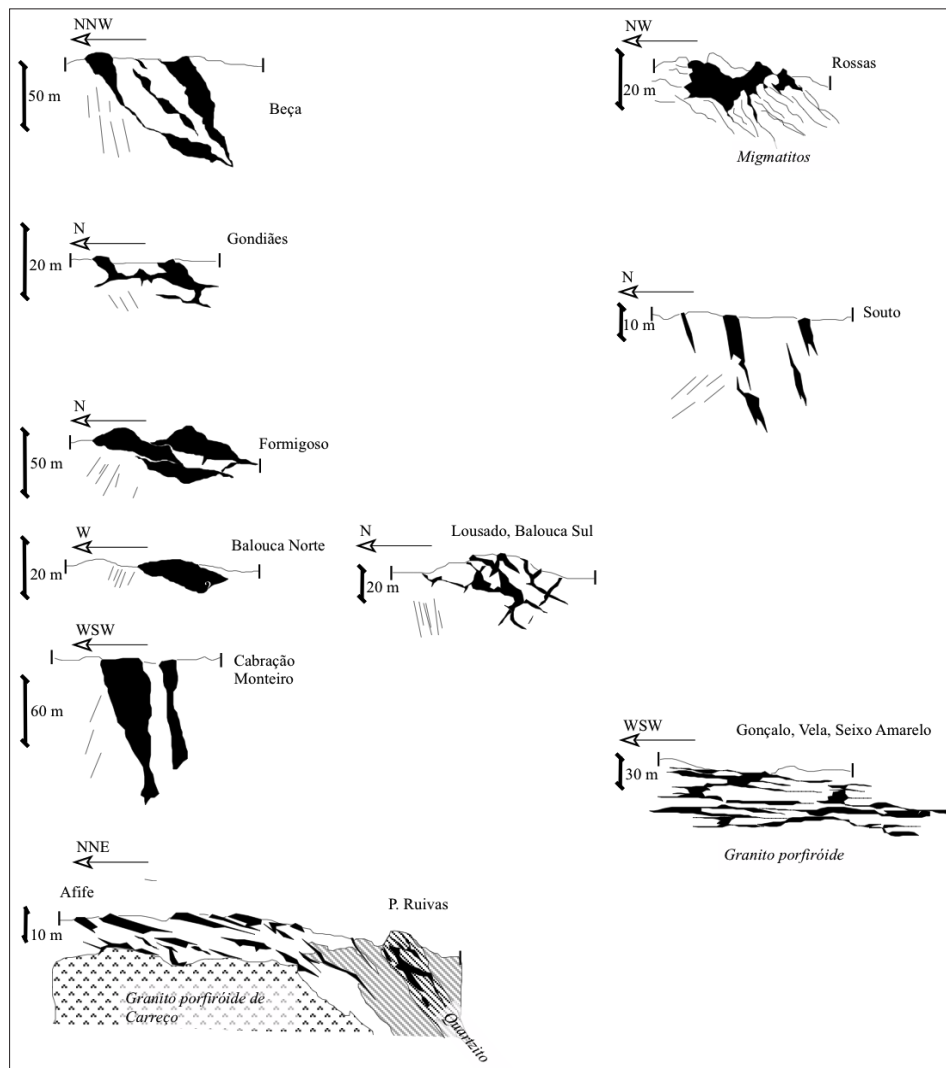


Figura 19 – Perfis conceptuais em conjuntos de corpos aplito-pegmatíticos mais correntes, portadores de minerais de Li paradigmáticos.

Beça e Gondiaes em Trás-os-Montes Ocidental; Rossas em Viera do Minho; Souto na Margem Sul do Rio Douro; Formigoso, Balouca e Cabração em Ponte de Lima; Afife e Pedras Ruivas em Viana do Castelo; Gonçalo, Vela e Seixo Amarelo na Guarda.

Quando não é referido no perfil, o encaixante é meta-vulcano-sedimentar Silúrico, sendo indicada em cada perfil a inclinação predominante da foliação mais penetrativa.

	até à profundidade (em m) de:	disponibilidade provável de Li ₂ O classes de massas de aplito-pegmatito e de conteúdos de Li ₂ O correspondentes				massa de concentrado previsível (KT)	conteúdo mineralógico (% Li ₂ O no concentrado)
Beça – Grupo Norte	85	2.5 MT @ 0.1%	1.0 MT @ 0.4%	450 KT @ 0.9%	130 KT @ 1.8%	58	PET (3.5) PET± ESP (4.1)
Alijó – Extensão Sul	45	850 KT @ 0.1%	500 KT @ 0.9%	160 KT @ 2.5%		50	ESP (6.0)
Formigoso – Massa Sul	45	750 KT @ 0.3%	200 KT @ 0.9%	50 KT @ 2.1%		20 (PET) 5 (ESP)	PET (3.1) ESP (6.1)
Cabanas – Socavões	35	500 KT @ 1.4%	200 KT @ 0.9%	100 KT @ 2.2%		20	PET (3.6)
Tondela	80	4 MT @ 0.3%					micas ± amb ± rocha porfírica (0.3-3.1%)
Vela	40	250 KT @ 1.2%					micas ± amb (2.8-3.1)
Queiriga – Domínio Sul	150	4 MT @ 0.5%	500 KT @ 2.0%	250 KT @ 2.8%		180	PET (3.5)

Quadro 13 – Alguns exemplos de recursos (reservas indicadas) adotando uma perspectiva conservadora e naturalista. A jazida de Cabanas, ainda não mencionada, situa-se no Campo aplito-pegmatítico da Serra de Arga no Alto Minho.

Com base nos modelos conceptuais que foram apresentados e com base nos jazigos pegmatíticos previsíveis, nas suas dimensões e nas características e penalizações prováveis das massas úteis e minérios, pode propor-se a sinopse de propriedades do quadro 14. Estas reflectem as características naturais mais prováveis dos depósitos litiníferos que podem vir a ser considerados económicos. Há que identificar em cada novo projeto qual ou quais os tipos de perfis que estão em pesquisa (Fig. 19) e relacioná-los com as sinopses de características apresentadas no quadro 14. Os perfis da figura 19 e os valores do quadro 13 representam patamares de paragénese, qualidade, massa e teor, aceitáveis em contexto de aproveitamento cerâmico, mas são encarados apenas como indicadores e guias na valorização de CLE.

Resta verificar num futuro mais ou menos próximo se existe capacidade de acolhimento e tolerância tecnológica para a grande diversidade de massas

mineralizadas que irão chegar à mineralurgia e metalurgia. Do ponto de vistas das composições e das propriedades físicas e químicas dos minérios, não são previsíveis grandes tonelagens homogêneas e os jazigos conhecidos têm em geral pequenas dimensões. Há pois que decidir se uma fileira em território nacional deve parar na produção de pré-concentrados ou se é de planejar um ordenamento da atividade extrativa que pondere acrescentar mais valor levando a cadeia até operações metalúrgicas. Tudo isto dependerá fortemente da evolução do mercado e da produção efetiva até que se atinja alguma forma de estabilidade entre viabilidade, credibilidade dos diversos projetos e inclusão no ordenamento territorial. No contexto português ainda não se atingiu o momento de partida mais adequado em que todos as indeterminações estejam levantadas, tanto da parte das características das ocorrências naturais como da parte das tecnologias e rotinas de beneficiação e produção de Li comercializável (CLE).

Na atribuição de concessões e licenciamentos vários, como na fiscalização das operações mineiras e de prospecção é de privilegiar sempre o conceito de aproveitamento integral e integrado em jazidas e grupos de jazidas, sobretudo, procurando não comprometer a coexistência da potencialidade cerâmica.

O aproveitamento cerâmico tem longa tradição e “know how” na industrial nacional e já neste século importantes investimentos foram feitos pelos agentes nacionais mais significativos no sentido da modernização das fábricas de pasta cerâmica, que hoje absorvem com grande tolerância uma massa importante de produtos por vezes de baixo “rank”.

Eventuais projetos mineiros dedicados ao Li devem sempre equacionar o complemento ou suplemento cerâmico desde a prospecção à mineralurgia e os organismos e laboratórios do estado devem estar atentos e pugnar pela verificação de diretivas de aproveitamento integral.

Jazigos	Granulometria dos minerais	% Li ₂ O possíveis	Tonelagem potencial	Minérios	Distribuição dos minérios nos depósitos	Alteração/diluição	Penalizações
pórfiros	fina a muito fina, homogénea	0.3 – 0.5	> 5MT	amblygonite – montebrasite e micas de Li (pode ser aproveitada a massa mineral no seu conjunto)	disseminação dispersa, localmente, homogénea	incipiente, não significativa	óxidos de Fe e presença de micas de Fe sem Li
aplito-pegmatitos lepidolíticos	muito heterogénea, bandada	1.0 – 1.2	< 200 KT	amblygonite-montebrasite "lepidolite", ± petalite - zinwaldite (no encaixante)	muito heterogénea mesmo em corpos de pequenas dimensões	incipiente a mediana	zinwaldite no encaixante, amblygonite – montebrasite alterada
aplito-pegmatitos petalíticos	heterogénea, (por vezes a petalite é muito grosseira)	0.4 – 1.5	< 1.1 MT	petalite, montmorillonite e espodumena equivalente a petalite ou pseudomórfica com quartzo após petalite	heterogénea bandada, "comb layered"	média a profunda, hidrotermal a supergénica após transformações em "subsolvus"	cataclase, argilização, deposição de óxidos de manganês, presença de sarcópsido e siderito e gibsitização (pode atingir 50% da massa pegmatítica)
aplito-pegmatitos c/ espodumena	heterogénea a homogénea grosseira	0.8 – 1.8	< 50 KT	espodumena	heterogénea bandada a zonada	incipiente a mediana	argilização, coqueitização
aplito-pegmatitos c/ amblygonite	homogénea, tendencialmente grosseira	0.1 – 2.2	< 50 KT	amblygonite ± taenolite	heterogénea zonada com unidades de substituição enriquecidas em micas de Li	incipiente a mediana	alteração da amblygonite

Quadro 14 – Dimensão possível das jazidas no contexto da Província Pegmatítica Varisca, considerando os resultados referíveis a um corpo isolado, ou um grupo de 2 ou 3 corpos contíguos ou ainda um grupo de vários corpos de pequenas dimensões, suficientemente próximos para justificarem a exploração numa corta mineira comum.

Da mesma forma, também é fundamental no caso português a consideração dos recursos associados de minérios, especialmente, dos concentrados de Ta (com teores de Ta_2O_5 acima de 30%) que acompanham em paragénese, nas mesmas massas mineralizadas, os teores mais altos de Li_2O . Na verdade seria mais racional, em lugar do “Objectivo Lítio”, no caso dos pegmatitos portugueses, em especial dos que são maiores e mais ricos e se situam no Alto Minho e Trás-os-Montes Ocidental, postular como motor da pesquisa e prospecção o “Objectivo LCT”, mais consentâneo com a tipologia destes pegmatitos, da sua especialização metalogénica (Li, Cs e Ta) e das suas mineralizações. Nos pegmatitos com lepidolite, bastante mais pequenos, pode mesmo dizer-se que se afigura como mais interessante a perseguição do “Objectivo Tântalo”.

Neste quadro prevê-se que reúnam as condições para Jazigos LCT os seguintes “spots” orogénicos Variscos expressos em território do Norte e Centro de Portugal:

- **Sistemas apograníticos transicionais:** “stocks” e diques de pórfiro, grandes “sills” enraizados e cúpulas ocultas – discretos com sinais pouco evidentes e guias indefinidos à superfície, difíceis de detectar mas altamente compensadores.
- **Junções filonianas de pares de pegmatitos com “comb layering” interno e determinante petalítico.**
- **Grupos de pequenos filões com conexão interna e determinante lepidolítico.**
- **Grupos de pequenos filões com conexão interna e determinante espoduménico.**

Todos eles com potencialidade cerâmica associada. Pela via da co-produção cerâmica é possível que algumas jazidas com recursos marginais de Li venham a ser viabilizadas pelo aproveitamento integrado.

Bibliografia

- Ad hoc Working Group, 2014. REPORT ON CRITICAL RAW MATERIALS FOR THE EU. *European Commission*, 41p.
- Centre for sustainable mineral development (2016). Lithium. *British Geological Survey*, 39p.

- Leal Gomes, C., 1994. Estudo Estrutural e Paragenético de um Sistema Pegmatóide granítico - O campo Aplito - Pegmatítico de Arga - Minho. *Tese de Doutoramento, Univ. Minho, Braga*, 695.
- Leal Gomes, C., 2005. Contributo para a sistemática dos pegmatitos graníticos referentes à Cintura Varisca Centro - Ibérica - Características a considerar e quadro tipológico. *Geonovas*, 19: 35-45.
- Leal Gomes, C., 2015. O determinante petalítico dos teores máximos de lítio em pegmatitos Variscos do NW de Portugal – aproximação paragenética e geoquímica. *Comunicações Geológicas* 102, Especial I, 53-56.
- Leal Gomes, C., Leterrier, J., 1995. Evolução geoquímica em sistemas pegmatóides graníticos – tendências primárias do sistema de Arga – Minho - N de Portugal. *Memórias no4, publ. mus. lab. min. geol., Univ. Porto*, 735-740.
- Leal Gomes, C., Lopes Nunes J., 1990. As paragénese correspondentes à mineralização litinífera do campo aplito-pegmatítico de Arga - Minho (Norte de Portugal). *Memórias e Notícias, publ. mus. lab. mineral. geol., Univ. Coimbra*, 109: 131-166.
- London, D., 1984. Experimental phase equilibria in the system LiAlSiO_4 - SiO_2 - H_2O : a petrogenetic grid for the lithium - rich pegmatites. *Amer. Mineral.*, 69: 995-1004.
- Martins, L.; Oliveira, D.; Silva, D.; Viegas, H.; Villas Bôas, R. / Eds.. 2011. Valorização de pegmatitos litiníferos: *DGEG/LNEG/ADI/CYTED, Lisboa, Portugal*. 82 p.
- Moura, S., Fernandes, J., Leal Gomes, C., Dias, P., Lopes Nunes, J., 2009. A fase petalite nos recursos base de materiais cerâmicos pegmatíticos do Norte de Portugal – materialografia e potencialidades da Província Varisca. *KÉRAMICA, Rev. Ind. Cer. Portuguesa*, 299(XXV): 6-20.
- Pereira, M., Leal Gomes, C., 2014. Paragénese contrastantes no campo pegmatítico de Arga (NW de Portugal), diversidade e equilíbrio. *Comunicações Geológicas*, 101: 181-185.
- PROSPEG (2013) – Relatório do Projecto de prospecção, análise distanciada e deteção remota de pegmatitos. Agência de Inovação, Universidade do Minho, Sinergeo LDA -Vila Verde, GGC LDA – Porto: 144 p.
- SEE (2017) - Relatório do Grupo de Trabalho “Lítio”, elaborado por despacho nº 15040/2016 da Secretaria de Estado da Energia (SEE).