

## *Panorâmica sobre os Recursos de Lítio em Países Africanos de Língua Portuguesa*

Carlos Leal Gomes

*Lab2PT – Universidade do Minho Gualtar, 4710-057 Braga*

*Portugal*

*Email: carloslealdb@gmail.com*

*Palavras chave: Angola, Depósitos minerais, Lítio, Metalotectos, Moçambique.*

### RESUMO

Com base no estado dos conhecimentos atuais, nos Países Africanos de Língua Portuguesa (PALP), em particular em Angola e Moçambique, os recursos de Li em pegmatitos graníticos têm mais importância que os recursos associados a salmouras e bacias endorreicas com evaporitos (hipoteticamente, apenas equacionáveis nas zonas áridas do SW de Angola).

Na estruturação do Gondwana as Províncias Pegmatíticas com maiores potencialidades em pegmatitos litíferos ocorrem na região do Namibe, Angola, na Bacia do Rio Giraúl, onde a espodumena é um minério prevacente em zonas nucleares de alguns pegmatitos ou em rochas granulares de feição pegmatóide a brechóide leucogranítica. Também ocorre espodumena nos pegmatitos do Distrito Alto Ligonha, na Província Pegmatítica da Zambézia. Devido à alteração que a espodumena apresenta, com forte lixiviação do Li, e também devido aos baixos conteúdos e irregularidade da sua distribuição, em núcleos de quartzo, este mineral dificilmente virá a ser considerado interessante. Aqui as unidades tardias com “lepidolite” são as massas litíferas principais. No Distrito Sul Zambeziano, da mesma Província, a espodumena, estando mais preservada, volta a interessar como fonte do metal.

Na generalidade dos casos o acolhimento dos diferenciados pegmatíticos em ambientes exo-graníticos ocorre em estratogramas de transporte tangencial afetados posteriormente por transporte transcorrente. Na base das sequências de mantos de carreamento parece mais preservado o portador espodumena, em fácies mais granulares e em que este portador prevalece sem alteração significativa. Em distritos e campos pegmatíticos, alojados no topo das mesmas sequências, e afetados por deformação cizalhante dúctil-frágil polifásica, a espodumena está decomposta e a lepidolite torna-se o portador de Li mais interessante por se manter em equilíbrio após a sua formação.

Em todas estas ocorrências a presença de petalite será relevante apenas em alguns casos muito especiais, dos quais até agora ainda não há notícia, mas que deverão ser mais prováveis no Distrito Sul Zambiano em Moçambique.

A investigação atual das ocorrências litíferas está centrada em regiões mineiras e grandes jazidas pegmatíticas que em alguns casos já têm uma história de mais de um século de prospeção, pesquisa e exploração para outras substâncias. É o que sucede no Distrito Alto Ligonha. É pois recomendável que à luz das revisões cartográficas recentes e da revisão dos quadros estruturais e tectónicos prevaletentes do Câmbrio ao Paleozóico se reavaliem também e revalorizem indícios do alojamento mais profundo dos pegmatitos, nas sequências de acreção e obdução (transporte cavalgante de terrenos). Aqui, a análise estrutural detalhada desempenhará um papel fundamental sobretudo no caso dos Distrito Sul Zambeziano em Moçambique e no caso dos campos pegmatíticos do Giraúl em Angola.

## INTRODUÇÃO

No espaço territorial dos Países Africanos de Língua Portuguesa (PALP), em particular em Angola e Moçambique, existem recursos de Li em pegmatitos graníticos e hipoteticamente, em soluções e depósitos hipersalinos.

No caso dos pegmatitos, os minérios potenciais, silicatos anidros, fosfatos e micas, têm sido encarados e explorados como materiais cerâmicos. A obtenção de compostos de Li, estáveis e comercializáveis, a partir destes mesmos recursos enfrenta disfunções significativas difíceis de sanar, sobretudo em países em desenvolvimento - utilização intensiva de energia, produção de metais não-ferrosos sobrecarregada pelos custos de emissões de CO<sub>2</sub>, cotação atual pouco competitiva do equivalente de carbonato de Li quando comparada com os valores unitários atribuídos a outros minerais que podem ser obtidos nos mesmos depósitos - a que se acrescenta a dificuldade de implementação local de fileiras completas de produção desde a mineralúrgia até à metalúrgia.

Entre os pegmatitos de grandes dimensões mais conhecidos dos territórios lusófonos, são raros os casos adequados a uma produção monominerálica de espécies minerais litínicas, similar à que é efetuada em depósitos de classe mundial, também africanos, tais como Bikita ou Rubicon. O aproveitamento de corpos de menores

dimensões pode, eventualmente, ser viabilizado pela multiplicidade de produtos que um único jazigo pode proporcionar - gemas, Nb-tantalatos, minerais de Be, T.R., Y, Zr, Ti, Sc, Sn, Bi, Mo, Li e Cs, minerais industriais e massas minerais de apetência cerâmica.

Esta diversidade deverá condicionar os vetores determinantes das próximas tendências da prospeção, pesquisa e exploração nos PALP. Apenas em casos especiais, o Li metálico será encarado como o objetivo principal das intenções de investimento razoável.

Na consideração dos metalotectos fundamentais ajustados à distribuição das jazidas de Li metálico em Angola e Moçambique faz sentido invocar os rasgos essenciais da estruturação do Gondwana e especialmente dos orógenos que o compõem e com os quais, na sua maioria, se relacionam Províncias Pegmatíticas. Nestas, os pegmatitos da classe de elementos raros e da família LCT serão, previsivelmente, as principais fontes de Li (em minérios) a ter em conta na gestão dos recursos deste metal.

Considerando os estudos levados a cabo por Von Knorring (1970), foi possível distinguir na região oriental de África, dois eventos principais de formação de pegmatitos, relacionados com a estruturação de cinturões orogénicos com as idades de referência,  $1100 \pm 200$  MA e  $550 \pm 100$  MA (fig. 1).

A zonalidade regional das províncias pegmatíticas é um aspeto muito característico e não está apenas relacionada com a idade de implantação - Arcaico

(Bikita, Zimbabwé) até ao Câmbrico (Giraúl, Angola e Alto Ligonha, Moçambique) – mas também é devida à diversidade de relações estruturais com o desenvolvimento tectonometamórfico típico de cada evento orogénico.

Não obstante a criação do Gondwana no Neoproterozoico tardio, foi a Orogenia Pan-Africana que produziu muitos dos pegmatitos mais conhecidos em África, devido à mineração de gemas. Esses mesmos pegmatitos, em muitos casos, também deram lugar a minas de mica, feldspato, cassiterite, columbite-tantalite e berilo e constituem depósitos potenciais para Li.

O termo Pan-Africano é devido a Kennedy (1964). Aplica-se a áreas orogénicas que rodeiam cratões que datam do Pré-Câmbrico Tardio ao Paleozóico Inferior ( $\pm 500$  MA).

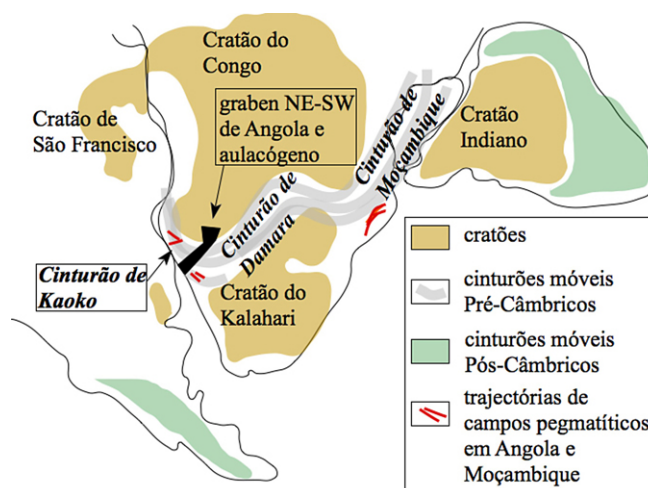
Num lapso de idades entre 1200 MA e 1000MA, terrenos tectono-estratigráficos diversificados, accreionados sobre as margens ocidentais dos cratões, foram acompanhados de intensa deformação e metamorfismo e grande volume de instalação de granitóides sin a pós-tectónicos.

Pegmatitos pós – orogénicos ocorrem dispersos em todos estes terrenos mostrando afinidade LCT (especialização, assinatura geoquímica e mineralização em Li, Cs e Ta) ou então afinidade mista, LCT – NYF (especialização, assinatura geoquímica e mineralização em Nb, Y e F).

No Norte da Namíbia e no SW de Angola, ocorrem enxames de pegmatitos que são típicos do evento Orogénico de Damara. Nas rochas hospedeiras e regionais o metamorfismo situa-se na fácies anfibolítica, e tanto este metamorfismo como o magmatismo granítico que o acompanha surgiram em resposta ao fecho do Oceano Khomas à medida que o Cratão do Kalahari era subductado por baixo do Cratão do Congo. Uma parte dos pegmatitos do Girául (SW de Angola) pode também estar relacionada com este evento.

A colisão continental ocorreu há cerca de 530 MA, com o pico de geração de pegmatitos e suas mineralizações situado há 500 MA. Vários dos conjuntos pegmatíticos LCT do Giraúl e Bero, em Angola (Namibe) e alguns pegmatitos híbridos NYF-LCT, tanto do Giraúl como do Chitado e os NYF do Chitado (no S de Angola) também devem estar associados ao episódio mais tardio de implantação dos sistemas graníticos residuais.

FIGURA 1



Porção Sul do Gondwana com a localização das principais Cinturas Móveis e correspondentes trajetórias principais de Campos Pegmatíticos.

### ANGOLA – Li em rocha

Em Angola os campos pegmatíticos principais distribuem-se pelo litoral desde o Ambriz ao Namibe, sendo conhecidas várias mineralizações com eles relacionadas e mesmo a feição geoquímica LCT potencialmente produtiva em Li (fig.2).

Os pegmatitos do Norte, na região do Dande, a poucas dezenas de quilómetros para NE de Luanda (Gaspar, 1976), foram explorados no passado por apresentarem recursos de mica (moscovite industrial do tipo mica rubi) mas também apresentam mineralizações de Li (fig 3).

Já no SW de Angola e imediatamente a Sul de Benguela (fig. 4), predominam campos pegmatíticos de feição NYF mais marcada. Também estão identificados verdadeiros pegmatitos sieníticos e mesmo sieníticos feldspatóidicos que têm sempre pequenas dimensões e estão relacionados com complexos alcalino-carbonatíticos.

Os verdadeiros pegmatitos graníticos relacionam-se com granitóides de tipo alcalino, têm carácter intrusivo e apresentam abundante microclina rósea (com escassez de quartzo) (fig. 5). Não obstante mesmo nessa região ocorrem pegmatitos com fosfatos de Li, em especial amblygonite-montebrazite, por vezes mesmo com turmalina elbaítica. Para este tipo LCT não foram ainda detetados corpos de dimensão significativa.

Os recursos de Li mais significativos, com mineralizações diversificadas, por vezes em corpos pegmatíticos de grandes dimensões, situam-se ao longo das bacias dos

rios Giraúl e Bero na Província do Namibe. As respetivas mineralizações de Be, são conhecidas desde a intervenção da Companhia Mineira do Lobito (CML) ainda durante o período da administração portuguesa. Uma primeira fointerpretação, melhorada com levantamentos geológicos efetuados nas áreas de concessão daquela Companhia, encontram-se sintetizada na figura 6, cujo facsimile inicial se encontra anexo a um relatório inédito de Koepershoek para a CML.

Trabalhos de campo recentes neste Distrito Pegmatítico, revelaram a ocorrência de pegmatóides e pegmatitos LCT de tipologia variada, alguns deles, com mineralizações de Li que merecem ponderação como potenciais fontes de Li metálico. As rochas encaixantes correspondem ao complexo de rochas cristalinas do Grupo do Namibe e os pegmatitos por vezes rodeiam “plugs” e “stocks” granitóides e ocasionalmente intruem rochas gabróicas ou metaltramáficas que também fazem parte daquele Grupo.

FIGURA 2

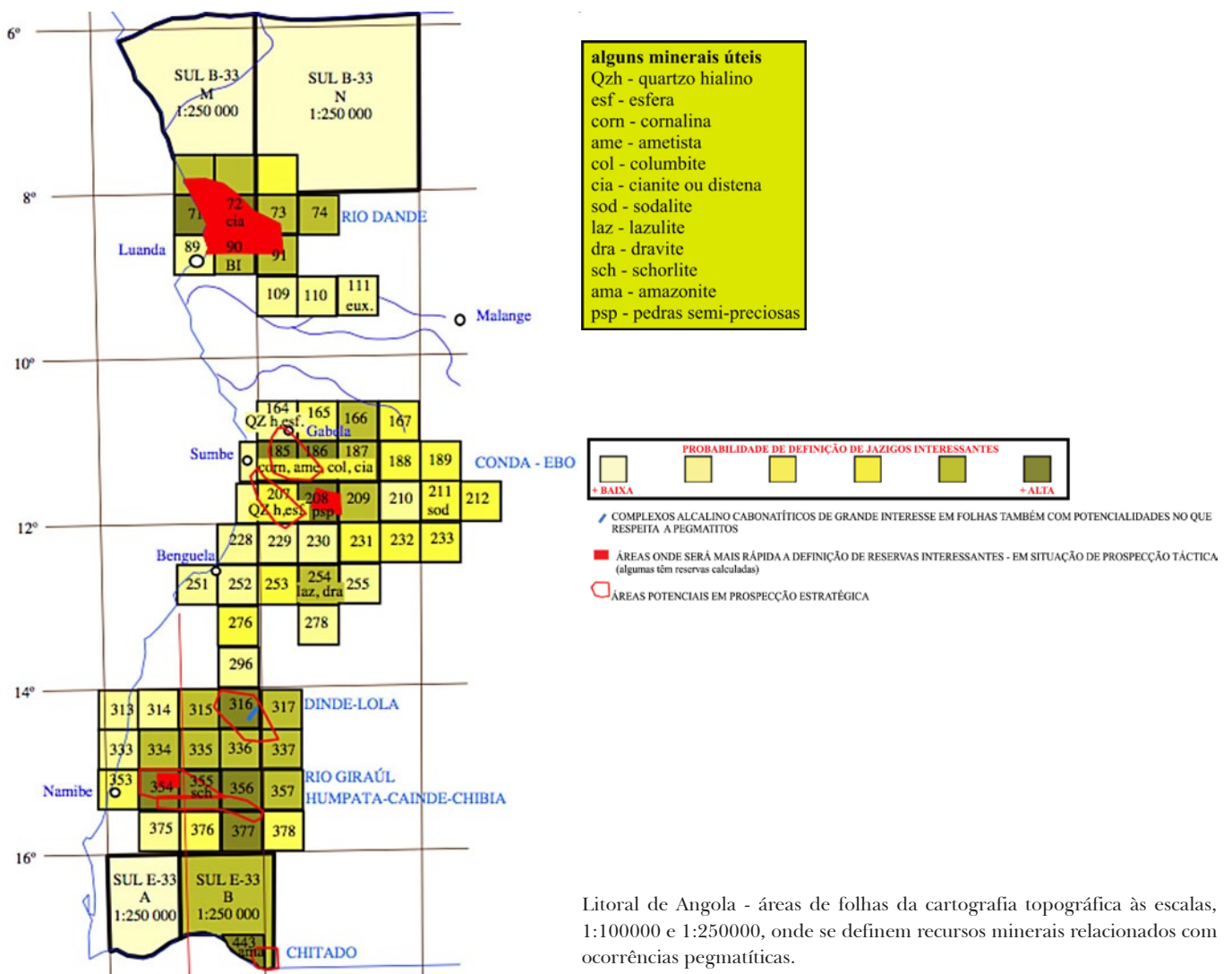
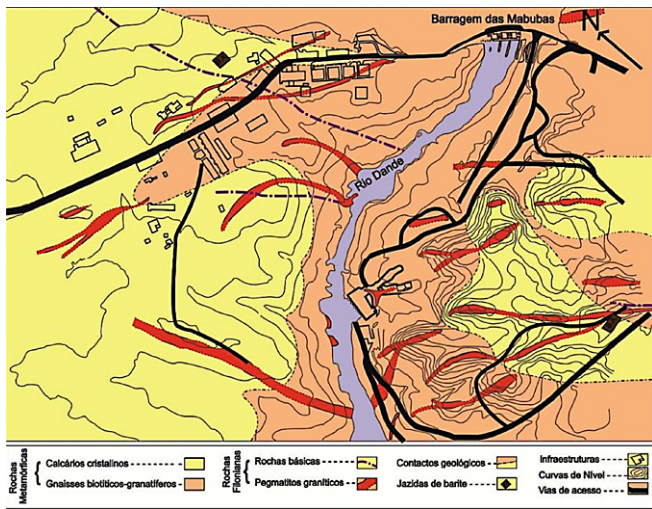


FIGURA 3

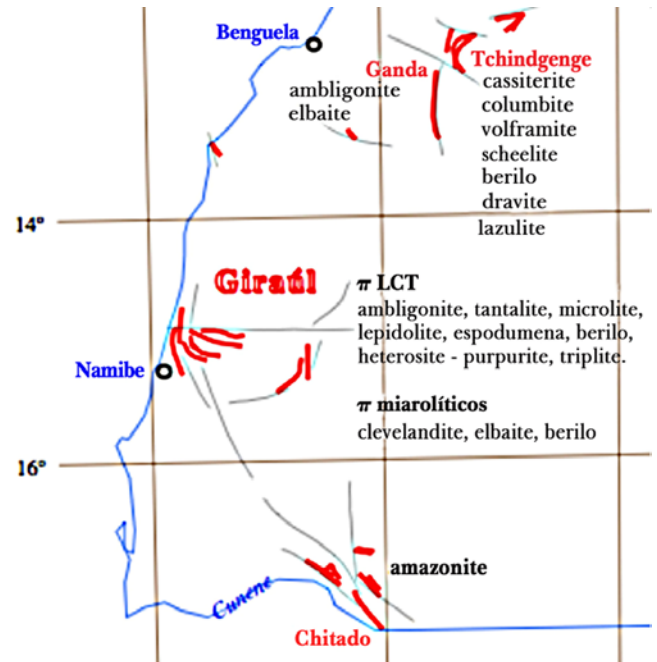


Cartografia de pegmatitos da região das Mabubas, Campo do Rio Dande, a NE de Luanda – alguns pegmatitos são litíniferos (modificado de Gaspar, 1976).

Na figura 6 é patente que o alinhamento de enxames pematíticos WNW-ESE, situado na porção central da área estudada, é aquele em que parece existir um maior número de pegmatitos de família LCT. Dentro deste agrupamento sistemático, e no que diz respeito à mineralização litínífera, discriminam-se 5 tipos essenciais de situações paragenéticas:

- I – Pegmatitos com espodumena, micas líticas e turmalina;
- II – Pegmatitos com petalite ± espodumena, hectorite e montmorilonite de alteração de petalite;
- III – Pegmatitos com lepidolite predominante;
- IV – Pegmatitos com fosfatos de Li e Fe muito ricos em microclina;
- V – Leucogranitos, brechas ígneas e pegmatóides com diferenciações pegmatíticas localizadas em que predominam espodumena e turmalina na fração cristalina grosseira.

FIGURA 4



Distribuição, trajetórias de enxames e corpos pegmatíticos principais e mineralizações nos Campos Pegmatíticos do SW de Angola.

FIGURA 5

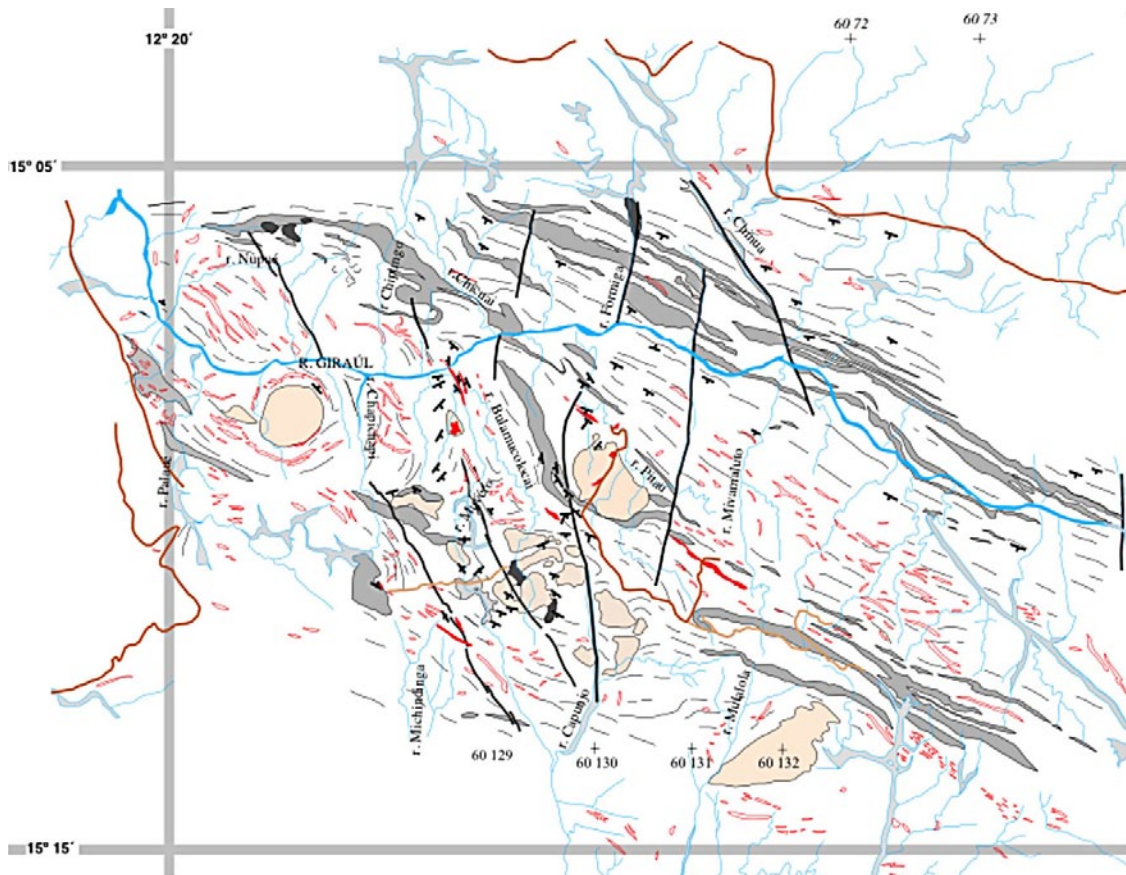


Exemplo de uma parte da rede pegmatítica típica da região do Mamué a SE de Benguela – pegmatitos microclínicos com pouco quartzo e de filiação alcalina.

Do ponto de vista dos recursos de Li disponíveis as ocorrências dos tipos I e V parecem ser as mais promissoras em termos prospectivos. Correspondem-lhe, simultaneamente, os maiores volumes de pegmatito indiferenciado e as maiores proporções modais de espodumena são e/ou “lepidolite”.

Um estudo de pormenor levado a cabo na zona central definida pelas “mulolas” (rios secos) de Bulamucoloi, Muvero e Pitau (fig. 7), suscita a a ideia de que a espodumena, ao contrário de muitas outras situações típicas do contexto climático tropical, está pouco ou nada meteorizada retendo os conteúdos de  $Li_2O$  que a caracterizam do ponto de vista estequiométrico (fig. 8 A).

FIGURA 6



Mapa geológico temático para pegmatitos (delineados a vermelho) e formações que servem de referência estrutural: plutonitos circunscritos (a róseo) e rochas cristalinas (a cinzento) - essencialmente, gnaisses e migmatitos quártzicos, ou mesmo quartzitos. As trajetórias de foliação mais penetrativa estão desenhadas a negro. Os pegmatitos conhecidos que são mais representativos da família LCT encontram-se representados a vermelho cheio. As rochas regionais indiferenciadas, em branco, correspondem ao complexo cristalino do Grupo do Namibe.

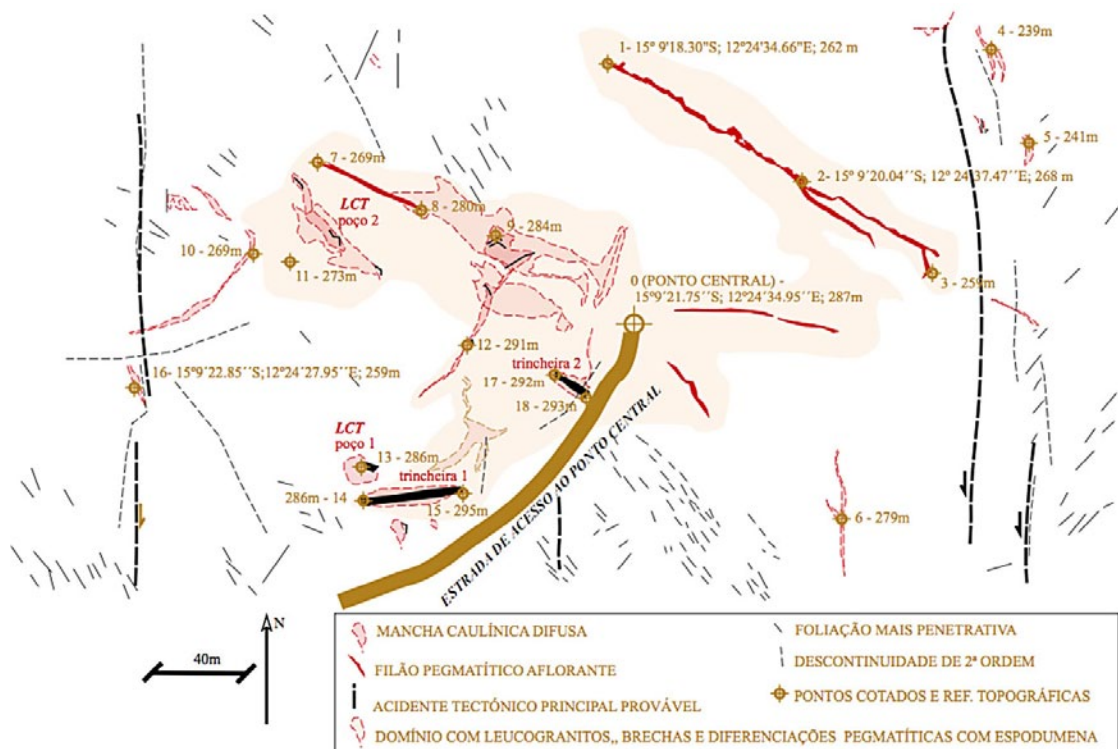
Por outro lado o conteúdo de Li dos diferenciados ígneos percursos dos pegmatóides era à partida suficientemente elevado e disponível desde o início da intrusão para que pudessem ocorrer orlas de holmquistite por metassomatismo das rochas encaixantes de composição ultramáfica (fig. 8 B). Além destes aspetos, que alertam para a importância económica das ocorrências litínicas, surge também neste setor uma rocha muito rica em espodumena e turmalina, de feição brechóide,

com matriz por vezes leucogranítica turmalínica que há que ter em conta em eventuais cálculos de reservas de espodumena que venham a ser efetuados (fig. 8C). Ainda na figura 7, é de notar que às rochas leucograníticas brechóides com espodumena podem corresponder grandes áreas de afloramento e possivelmente grandes volumes o que converte estas litologias em objetivos singulares de eventuais programas de prospeção e pesquisa dedicados ao Li em rocha.

Não muito longe desta ocorrência, ainda na porção mediana do distrito Giraúl, observa-se um outro corpo pegmatítico de grandes dimensões diferenciado “in situ” a partir de rochas granitóides hibridizadas – leucogranitos especializados em Li e contaminados com contributos máficos a ultramáficos (gabróicos) - o qual foi objeto de exploração no passado para feldspato potássico industrial (fig. 9A). Este pegmatito, como sucede em situações análogas de miscigenação precursora entre diferenciados

leucocratas e melanocratas, apresenta fosfatos das séries triplite-zwieselite e trifilite – litiofilite, esta última, relativamente abundante (fig. 9B). Neste caso, contudo, os fosfatos estão muito alterados, até à obliteração da sua identidade primitiva, e pseudomorfizados em Fe-sicklerite, herosite – purpurite e rockbridgeite. O Li lixiviado pode ser disponibilizado às escorrências superficiais de cariz torrencial típicas do ambiente desértico.

FIGURA 7



Levantamento temático de pormenor das litologias potadoras de mineralização Li na área da antiga concessão Giraúl IV da CML (Bulamucolocai). As rochas regionais correspondem à sequência cristalina do Grupo do Namibe incluindo também alguns meta-ultramafitos que aqui têm expressão importante.

Ainda no SW, desde a Bacia do Rio Giraúl à região do Chitado (ver fig. 4), o cariz subdesértico a desértico e a cobertura de solo e vegetação escassa ou ausente, são extremamente favoráveis à análise distanciada e detecção remota de corpos pegmatíticos. Tal como foi referido, Koepershoek tirou partido deste facto para efectuar os seus levantamentos pormenorizados, assistidos pela fotointerpretação. Atualmente, com a diversidade de imagens distanciadas que está disponível esta aproximação metodológica está muito facilitada.

No exemplo da figura 10 uma área do setor onde os pegmatitos litínicos são mais frequentes - faixa mediana

do distrito Giraúl – ilustram-se as virtualidades da análise distanciada aplicada à deteção remota de pegmatitos de feição geoquímica diferenciada. Na figura 10 A é desde logo discernível o contraste cromático e morfológico entre pegmatitos e rocha encaixante (Grupo do Namibe) e na manipulação cromática e do contraste, patente na figura 10B, distinguem-se duas gerações de pegmatitos. No terreno verifica-se que correspondem a um enxame de corpos de intrusão concordante, mais precoce, mais extenso e com alguma espodumena e um enxame de diques tardios, transversais, mais raros, mas enriquecidos em micas de Li (“lepidolite”). Estas relações de campo eram previsíveis a partir da fotointerpretação.

Na organização geométrica dos conjuntos pegmatíticos do Giraúl são ainda de realçar algumas configurações geométricas muito conspícuas e sugestivas de uma relação parental e estruturalmente definível, entre granito e pegmatito. A pesquisa de sistemas conjugados entre “stock” ou “plug” granítico confinado e campo filoniano adjacente, sugere a possibilidade de evidência de situações de potencial interesse desde o contexto

intra - granítico - com bolsadas irregulares, zonadas e de grandes dimensões – até ao contexto exo-granítico – com filões “en-echellon” associados a cisalhamentos. As áreas correspondentes aos conjuntos filonianos sub-superficiais da parte nuclear do Distrito Giraúl são extremamente promissoras, sobretudo no que respeita à possível deteção de corpos de grandes dimensões.

FIGURA 8



**A**



**B**



Indícios do relevante carácter litínifero dos pegmatitos do Setor Central do Distrito Giraúl. **A** – espodumena não meteorizada associada a quartzo num pegmatito subhorizontal diferenciado “in situ”(ocorrência de tipo I); **B** – encraves de rocha metaultramáfica com auréola de holmquistite no interior de uma brecha leucogranítica com fenocristais de espodumena; **C** – rocha granitóide leucrata brechóide com cristais de espodumena e abundante turmalina (ocorrência de tipo V).



FIGURA 9



A

Pegmatito de tipo híbrido objeto de exploração para feldspato potássico industrial – altura da frente de desmonte = 20m - (A – ocorrência de tipo IV). Nota: o mesmo pegmatito é portador de abundantes fosfatos secundários: Fe-sicklerite a purpurite em pseudomorfoses após trífilita - litiofilite e triplite-zwieselite (B).



B

FIGURA 10



Imagem remota de um conjunto pegmatítico (lado maior da foto 1500m; ponto central com coordenadas, 15°10'6.27"S, 12°29'47.46"E, 341m) onde se discriminam, em dois tratamentos de imagem distintos, duas gerações de pegmatitos estrutural e parageneticamente diferenciadas. Nota: 2 exemplos das relações críticas confirmadas no terreno estão circundadas a amarelo.

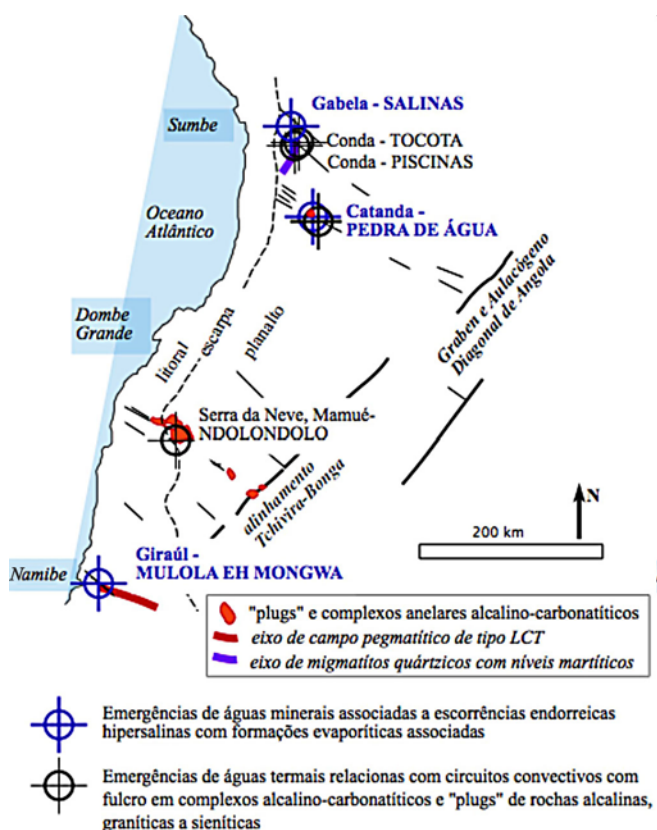
### ANGOLA – Li em ocorrências salínicas superficiais

Em Angola além dos recursos de Li em rocha pode ainda equacionar-se a existência de recursos base de Li em depósitos relacionados com a evolução superficial evaporítica de soluções aquosas muito concentradas, por sua vez geradas por escorrências e/ou ou sistemas hidrotermais exsurgentes.

Não são conhecidas concentrações de Li nem tonelagens salinas relevantes mas também ainda não existem estudos especificamente dirigidos a estes recursos.

As observações relatadas em seguida dizem respeito à província do Cuanza Sul - ocorrências de Salinas perto da Gabela e Pedra de Água junto de Catanda - e também ao Deserto do Namibe, ocorrência de Mulola e Mongwa, Giraúl. Também todas estas ocorrências salinas se situam próximas do litoral e estão mais ou menos relacionadas com distensão e agelgaçamento crustal Mesozóico e com a formação da estrutura de "rifting" que se alinha segundo a diagonal NE-SW de Angola (fig. 11).

FIGURA 11



Localização de charcos salinos e emergências de águas hipersalinas na porção ocidental e sul de Angola.

De acordo com Philip e Mosha (2012) os equilíbrios geoquímicos gerais dos lagos, charcos e rios secos com altos conteúdos salinos são governados por razões de concentração iónica tais como:



Em ambientes desérticos como os do Namibe a composição dos electrólitos naturais depende muito da intensidade de lixiviação e aporte endorreico de iões aos charcos que se formam em rios secos (“mulolas”) especialmente quando a precipitação sazonal é escassa e não suficiente para assegurar o curso contínuo nos leitos de receção de escorrências. Neste caso não só o carácter sazonal de adição de eletrólito como a localização das escorrências influenciam os regimes de salinização. As concentrações de salmouras preservadas abaixo de horizontes salinos podem atingir valores de 25 000 ppm de total de sólidos dissolvidos (TDS) como se observou por exemplo em outubro de 2016 (antes da estação húmida) numa emergência da Mulola eh Mongwa na região do Giraúl no deserto do Namibe.

A manifestação da solubilidade e saturação de sais haletos, carbonatos e sulfatos a partir de multi-electrólitos naturais segue um modelo espacial de precipitação que se expressa, por exemplo, na geometria em alvo conhecida como “bull’s eye pattern”. A cristalização inicia-se com minerais menos solúveis na periferia progredindo para o interior (Eugster, 1970).

Os dois tipos principais de associações evaporíticas observadas no Namibe e no Cuanza Sul encontram-se caracterizados de forma simplificada na tabela 1, através das relações de abundância iónica deduzidas dos indicadores mineralógicos presentes em cada caso. Na tabela 2 listam-se os sais típicos dos charcos salinos da Mulola eh Mongwa no Namibe, das drenagens da localidade de Salinas, perto da Gabela e do paredão da Pedra de Água, perto da Catanda, ambas no Cuanza Sul.

TABELA 1

Tendências de concentração iónica em soluções salinas sugeridas pelos cortejos de minerais indicadores

Drenagem		Catiões	Aniões
Endorreica em ambientes áridos, rios secos e charcos salgados (“mulolas” e “cacimbas”) - Namibe, Angola	Zona periférica da convergência endorreica	Ca <sup>2+</sup> > Mg <sup>2+</sup> > Na <sup>+</sup> >> Li <sup>+</sup> > Fe <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) > Cl <sup>-</sup>
	Zona nuclear da escorrência endorreica, na proximidade de nascentes	Ca <sup>2+</sup> > Na <sup>+</sup> > Al <sup>3+</sup> / Li <sup>+</sup> /Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> > (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) > PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> > Cl <sup>-</sup>
Em áreas com nascentes hipersalinas (Cuanza Sul, Angola)	Nascentes e escorrências proximais	K <sup>+</sup> > Na <sup>+</sup> > Mg <sup>2+</sup> / Li <sup>+</sup>	(CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) > B <sup>-</sup> > F <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup> > Br <sup>-</sup>
	Escorrências distais	Na <sup>+</sup> > K <sup>+</sup> > Ca <sup>2+</sup> > Mg <sup>2+</sup> / Li <sup>+</sup>	(CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) > F <sup>-</sup> > Cl <sup>-</sup>

Nas tabelas 1 e 2 notam-se indicadores de concentração anómala de Li.

Excluindo o caso da presença pouco usual de zabuyelite, que se observa na Mulola eh Mongwa (fig. 12), o sequestro restante de Li, deduzido da análise química de rocha

total, deve situar-se em massas de minerais de argila das proximidades de nascentes.

São três os possíveis modos de ocorrência de Li em argilas caulínicas: substituição na estrutura, presença em minerais de Li primordiais, possivelmente, com a

mesma proveniência da caulinite, presença em outros minerais autigênicos, não facilmente reconhecíveis, que se formam em condições similares àquelas em que se formam as caulinites.

Algumas esmectites justificariam o acolhimento de Li dada a sua capacidade de troca catiónica. No caso da hectorite, entendida como uma esmectite,

verifica-se a substituição Li/Mg nos *loci* octaédricos. Esta característica é coerente com a existência de uma mobilidade significativa do Li a baixas temperaturas (mesmo em condições meteóricas), facilitada pelo movimento catiónico para dentro ou para fora das camadas octaédricas sobretudo quando a carga da camada é reduzida.

TABELA 2

*Sais solúveis de Angola: (“check-list”). Identificação mediante difractometria de RX. X – ocorrência confirmada*

Minerais – “check-list”	Composição	Salinas	Mulola eh Mongwa	Pedra de Água
Chalconatronite	$\text{Na}_2\text{Cu}(\text{CO}_3)_2$	X		
Thermonatrite	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	X		
Natron	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	X		
Trona	$\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$			
Monohidrocalcite	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	X	X	X
Ikaite	$\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$		X	X
Pirsonite	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		X	X
Gailussite	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	X	X	
Bailissite	$\text{K}_2\text{Mg}(\text{CO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	X		
Ulexite	$\text{NaCaB}_5\text{O}_6(\text{OH})_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	X		
Aragonite	$\text{CaCO}_3$ anómala em Sr	X		
Bloedite	$\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	X		
Burkeite	$\text{Na}_6(\text{SO}_4)_2(\text{CO}_3)$	X		
Pirsonite	$\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	X		
Calcite	$\text{CaCO}_3$ anómala em Mg			X
Estroncianite	$\text{SrCO}_3$	X		
Nacolite	$\text{NaHCO}_3$	X		X
Trona	$\text{Na}_3(\text{CO}_3)(\text{HCO}_3) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	X		
Tenardite	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	X	X	
Mirabilite	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10(\text{H}_2\text{O})$	X	X	
Schairerite	$\text{Na}_{21}(\text{SO}_4)_7\text{F}_6\text{Cl}$	X		
Kogarkoite	$\text{Na}_3(\text{SO}_4)\text{F}$	X		
Hanksite	$\text{Na}_{22}\text{K}(\text{SO}_4)_9(\text{CO}_3)_2\text{Cl}$	X	X	
Gesso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		X	
Anidrite	$\text{CaSO}_4$		X	
Halite	$\text{NaCl}$		X	
Vonsenite	$\text{Fe}^{++}_2\text{Fe}^{+++}\text{BO}_5$	X		X
Zabuyelite	$\text{Li}_2\text{CO}_3$		X	
Bórax	$\text{Na}_2(\text{B}_4\text{O}_7)(\text{OH})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	X		X

As fontes de Li primário mais prováveis para as ocorrências do Namibe devem ser os pegmatitos da região do rio Giraúl. Dois tipos de pegmatitos de elementos raros (família LCT) afloram nas proximidades das “mulolas” e apresentam enriquecimento em minerais com Li:

- Pegmatitos com trifilite-litiofilite;
- Pegmatitos com espodumena, lepidolite e turmalina elbaítica.

Sobretudo os do primeiro tipo apresentam conteúdos muito altos de trifilite-litiofilite, que em afloramento se encontra alterada, por vezes completamente convertida

em fosfatos secundários empobrecidos em Li. Existem condições, portanto, para uma lixiviação do Li e sua remobilização pela drenagem torrencial (fig. 13).

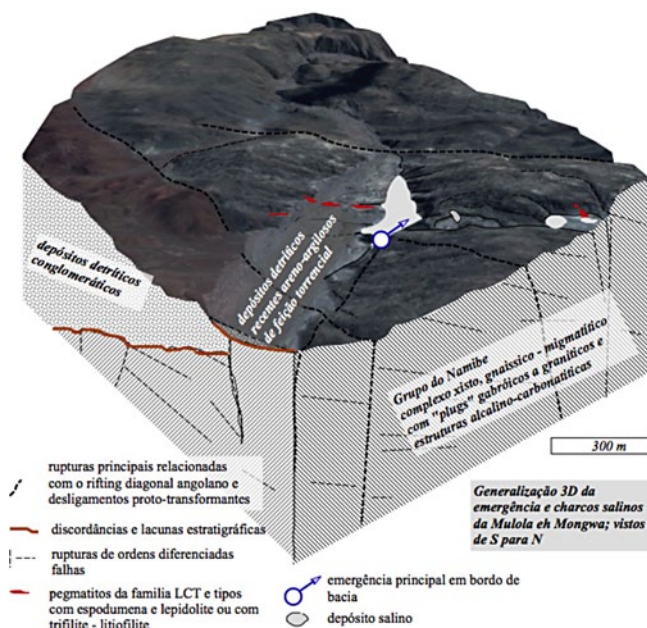
Ainda no caso da Mulola eh Mongwa a precipitação de zabuyelite na periferia da mulola, muito próxima de leques de dejeção torrencial periféricos sugere que a fonte de Li poderá ser a trifilite-litiofilite, cuja alterabilidade supergênica é mais importante (fig.14).

FIGURA 12



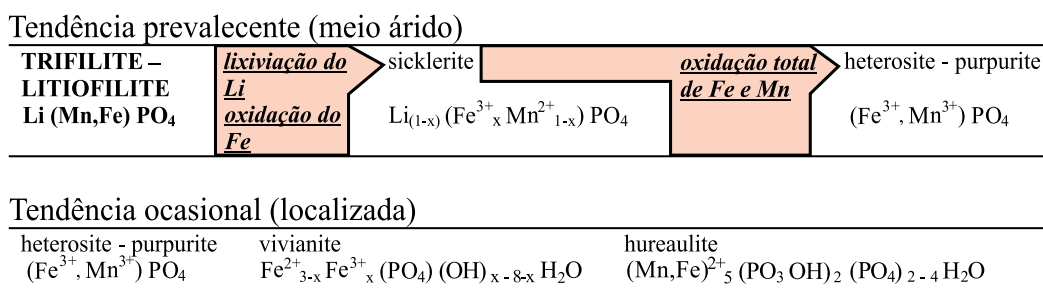
Aspectos da zonalidade mineralógica na Mulola eh Mongwa expressa nas crustificações salinas que aí se observam.

FIGURA 13



Morfologia e estrutura da Mulola eh Mongwa – relação cartográfica entre afloramentos de pegmatitos, depósitos de escorrência endorreica de vertente e emergência hipersalina principal.

FIGURA 14



Tendências prováveis de meteorização da trifilite – litiofilite em meio árido. Nota: Neste contexto pegmatítico e climático a alteração afeta de forma mais severa os fosfatos.

As chuvas interagem do ponto de vista químico com terrenos que em muitos destes ambientes são dominados por materiais vulcânicos natrocarbonatitos, e por isso transportam sais dissolvidos para os charcos. Ocasionais nascentes termais sirtuadas na periferia das bacias acrescentam significativas cargas salinas para as drenagens endorreicas. As massas salinas aumentam em resposta a concentrações evaporíticas recorrentes produzidas em ciclos sazonais repetidos.

Alguns sais representativos das acumulações evaporíticas encontram-se ilustrados na fig. 15.

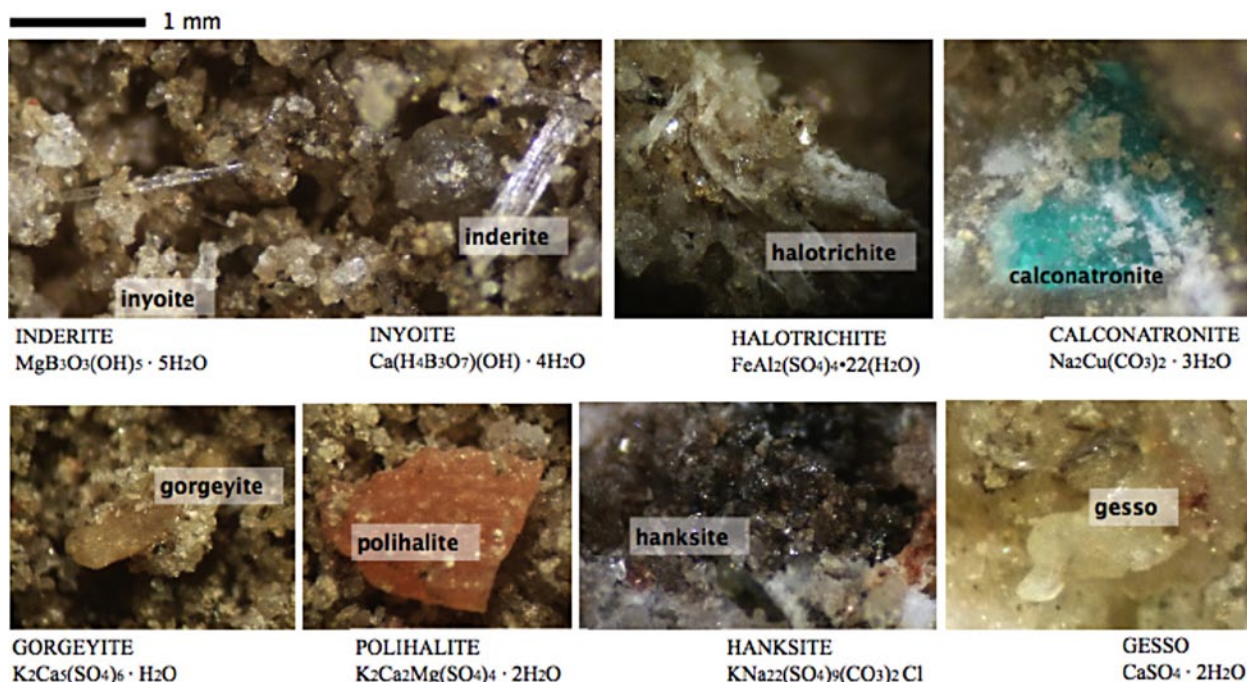
Nas lagoas e bacias ricas em Na, os carbonatos ( $\text{CO}_2^{3-} + \text{HCO}_3^-$ ) predominam nos electrólitos hipersalinos. Os parâmetros que regem o equilíbrio químico das salmouras são o pH, [carbonato], [fluoreto], [fosfato] e [silicato] modificados pelas condições de alta força iónica das soluções que são mais típicas. Este equilíbrio tem

um papel determinante na solubilidade, precipitação e disponibilidade sob diversas formas.

Quer nestes ambientes quer em climatologias mais temperadas, em que a salinidade é mais determinada pelas emergências hidrotermais hipersalinas, as soluções escorrentes são em geral mais ricas em  $\text{Na}^+$  do que em  $\text{K}^+$  apesar de uma abundância crustal muito similar dos dois catiões ( $\text{Na} \pm 2.9$  e  $\text{K} \pm 2.6\%$ ). De facto o K liga-se

com mais eficiência e é mais fortemente retido nas rochas silicatadas resistindo de forma seletiva aos processos de lixiviação superficial responsáveis pela concentração em meio aquoso. Por isso as concentrações altas de  $\text{K}^+$  são mais próprias de bacias muito influenciadas por nascentes hidrotermais (típicas do Cuanza Sul) do que de bacias em que a salinidade é atribuída a escorrências a partir de minerais alterados (caso do Namibe).

FIGURA 15



Imagens obtidas em lupa binocular para alguns sais de massas evaporíticas do Cuanza Sul e do Namibe.

O progresso e os efeitos da meteorização das rochas situadas a montante dos charcos salgados dependem muito do “stress” termomecânico desintegrativo imposto pela vigência de grandes amplitudes térmicas em ritmos variados. A afetação dos pegmatitos LCT e híbridos por estes fenómenos pode ser a razão de partida para a disponibilidade do Li expresso na Mulola e Mongwa.

Uma natureza alcalino-carbonatítica dos “plugs” e complexos anelares decorre da estruturação em “rifting” incipiente que caracteriza a mega estrutura NE-SW, diagonal, angolana.

Nas ocorrências salinas intracontinentais de Angola, aquela assinatura geoquímica, reflete-se na composição dos eletrólitos que emergem em nascentes termais e contribuem para alimentar os sistemas endorreicos. Nos casos do Cuanza Sul estes contributos são bastante mais significativos que aqueles que se observam nos exemplos das zonas desérticas do SW de Angola.

De acordo com Wrence *et al.* (1970), a estabilidade de minerais salinos sódicos em função da pressão parcial de  $\text{CO}_2$ , corresponde ao cortejo mineralógico predominante enunciado por Eugster (1970), o qual, por sua vez, é muito semelhante àquele que se identificou por difractividade de Rx, tanto nas salinas interiores do Cuanza Sul como nos charcos e rios secos do Namibe (tabela 2). A herança mineralógica natrocarbonatítica nas Salinas da Gabela tem uma assinatura geoquímica muito impressiva transferida para a drenagem superficial pelas emergências hipersalinas, por vezes mesmo hipertérmicas, que ocorrem na periferia da bacia (fig. 16). A salinização à superfície é governada pela temperatura e oscilações de caudal das escorrências sazonais.

Em geral, as salmouras lacustres de caráter endorreico estão subsaturadas no que respeita aos sais minerais dissolvidos principais e são intermédias entre os tipos hidroquímicos ( $\text{Na}$ ,  $\text{Cl}$ ) e ( $\text{Na}$ ,  $\text{HCO}_3$ ). A evolução da

hidroquímica das salmouras e precipitados varia com o progresso da evaporação e também em função do quociente de concentrações,  $(\text{HCO}_3^-)/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ . O influxo privilegiado de  $\text{HCO}_3^-$  favorece o incremento das concentrações combinadas de  $(\text{Na}^+, \text{CO}_3^{2-}, \text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-})$ . No caso das observações relativas a Angola parece existir um modelo deposicional salino geral em que as diferenças climatológicas significativas observadas por exemplo entre Salinas e Mulola e Mongwa não se sobrepõem aos aspetos determinados pelas feições hidroquímicas das soluções que convergem nos sistemas salinos, provenientes de nascentes hipersalinas e de escorrências superficiais contaminadas por lixiviação.

Os estádios de evolução, verificados no seu conjunto ou parcelarmente, determinam os aspetos distintivos observados:

- 1º estágio - lamaçais (“mudflats”) secos =>
- 2º estágio - lamaçais salinos e charcos salgados =>
- 3º estágio - charco seco – salina com estrutura aureolar em alvo (“bull’s eye”).

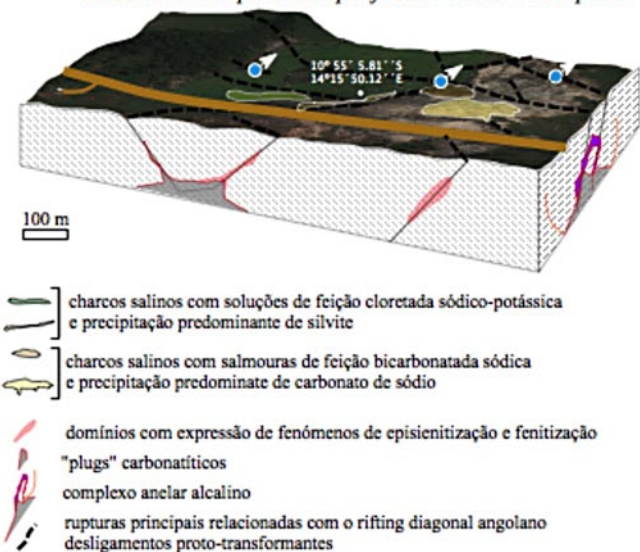
Os sais menos solúveis precipitam inicialmente. Os sais mais solúveis precipitam posteriormente: calcite=>gesso=>halite=>sais de potássio e magnésio. Em particular para o domínio sódico da bacia de Salinas, foi deduzida uma paragênese complexa.

Ela é marcada por minerais tipomórficos que parecem constituir uma sequência de precipitação determinada pela disponibilidade de B e Na, provavelmente proporcionados a partir das nascentes termominerais periféricas cujas águas apresentam altas concentrações destes elementos.

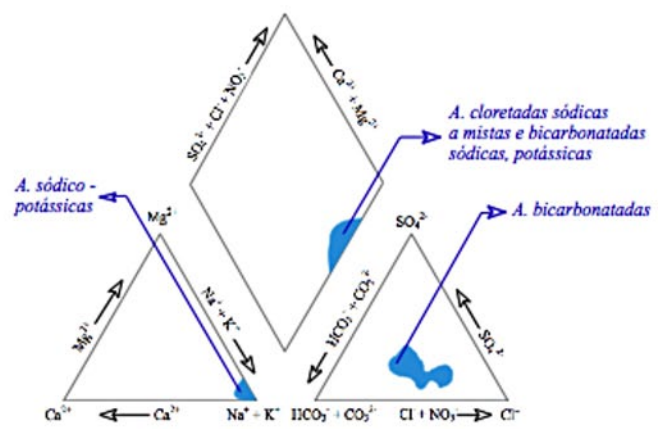
Nos precipitados do domínio sódico parece mais consistente uma possível assinatura natrocarbonatítica ancestral atendendo à associação mineralógica que precipita das escorrências e emergências: epsomite -  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; bórax -  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  ou  $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ; nacolite -  $\text{NaHCO}_3$ ; trona -  $\text{NaHCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; nátron -  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Tal cortejo de sais reflete a feição hidroquímica das soluções exurgentes a qual é compatível com a proliferação de complexos alcalino-carbonatíticos ao longo da Faixa NE-SW - diagonal de Angola em que estas ocorrências se situam (fig. 17). A ocorrência de Sr-aragonite é muito característica desta assinatura pois também se observa, na mesma faixa de carbonatitos e numa ocorrência próxima, na Catanda, em cavidades de uma volumosa precipitação de travertinos ao longo de um alinhamento de nascentes termo-minerais. A bancada de travertinos, conhecidos localmente como Paredão da Pedra de Água, do ponto de vista espacial e geométrico enraiza-se numa morfologia em “mare” preenchida por um tufo-brecha carbonatítico.

FIGURA 16

Morfologia e estrutura das ocorrências de salmouras em charcos endorreicos com nascentes hipersalinas periféricas - modelo conceptual.



Feições hidroquímicas no diagrama Piper, de algumas das principais nascentes:

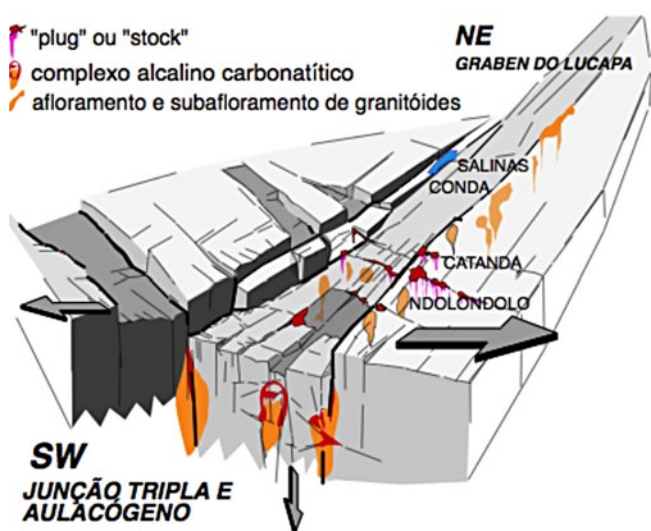
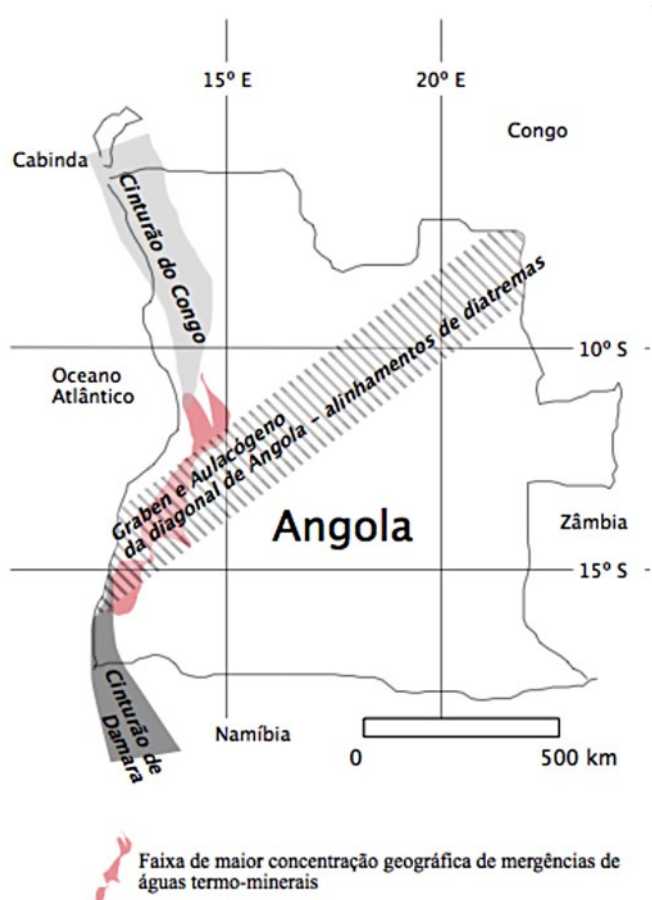


Generalização 3D (com especulação em profundidade) do posicionamento de emergências, sua feição hidroquímica e escorrências observadas em Salinas (Gabela); bloco diagrama visto de SW para NE.

No modelo deposicional para regiões mais áridas como são as de Mulola e Mongwa a estratificação evaporítica sequenciada conduz ao aparecimento de depósitos com a forma de alvo com coberturas crustiformes que aparecem quando uma dessecação se torna mais pronunciada. Estes depósitos evaporíticos são inativos do ponto de vista hidrogeológico e estão muitas vezes separados das

salmouras líquidas subterrâneas. A superfície dos charcos salgados apresenta muitas vezes polígonos de dessecação com estruturas nodulares salinas eflorescentes na periferia e nas fendas de dessecação. A morfologia, estrutura e mineralogia dos polígonos salinos difere de charco para charco e mesmo de forma zonada num mesmo charco.

FIGURA 17



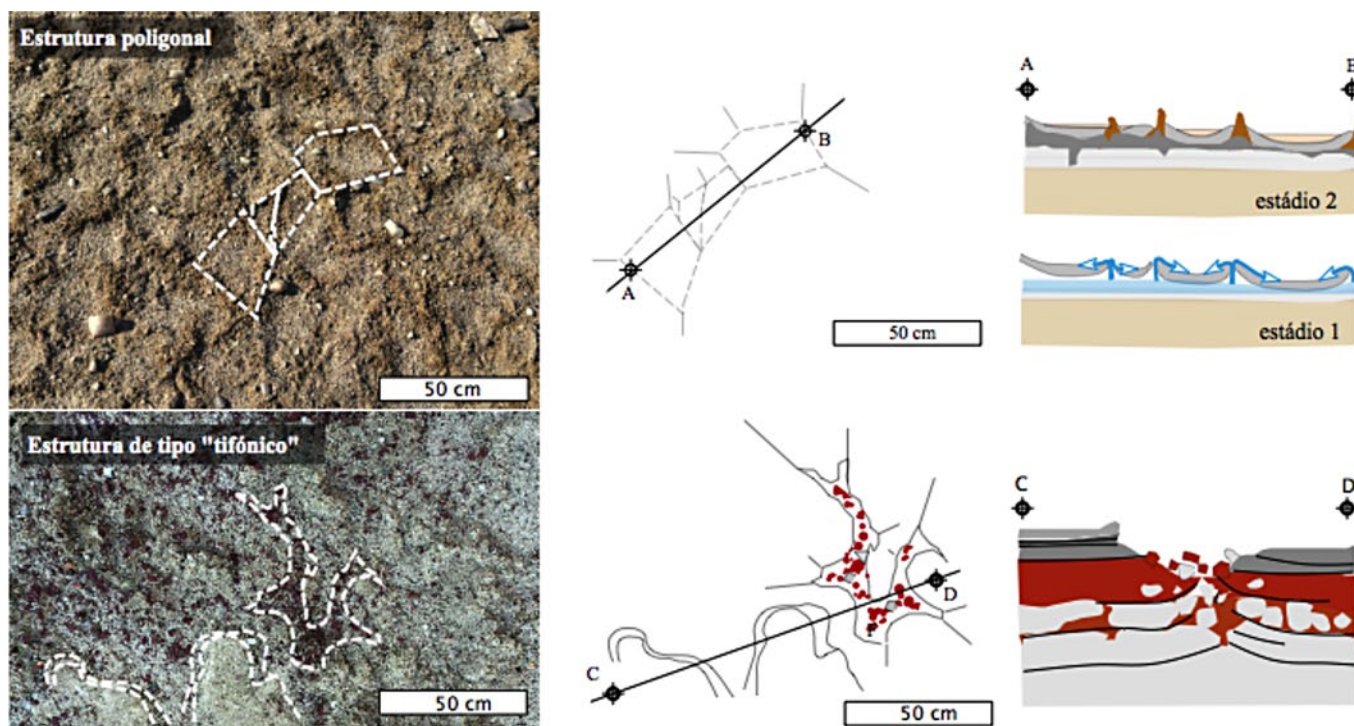
Modelo de adelgaçamento crustal e “rifting” incipiente - ambiente distensivo - Generalização hipotética sobre a disposição tridimensional dos fulcros de anomalias térmicas potencialmente geradores de circuitos convetivos hidrotermais - chaminés, “plugs” e “stocks”, correspondentes a aparelhos e complexos alcalino-carbonatíticos e plutonitos graníticos dos tipos A e I, subaflorentes, situados na diagonal NE-SW de Angola.

Com base nas observações de campo um esquema conceptual de gênese e evolução pode ser o que consta da figura 18.

A ocorrência rara de eventos pluviométricos é responsável pela transformação das tendências de dessecação dos

polígonos salinos e pela formação inicial de nódulos de sal. Adicionalmente, uma deliquescência suave controla a evolução dos nódulos de sal do que resultam estruturas internas características tais como laminações e variações na porosidade e morfologia dos cristais.

FIGURA 18



Estruturas salinas poligonais com deliquescência e septarização e estruturas de intrusão salina, geradoras de nódulos salinos fixos e libertos, observadas na Mulola e Mongwa após um episódio de chuva.

### MOÇAMBIQUE – apenas Li em rocha

Em Moçambique os principais eixos estratégicos de prospeção, pesquisa e exploração dedicados ao Li, deverão incluir uma melhor gestão das reservas conhecidas em pegmatitos, as quais, por vezes, foram tornadas quase marginais por um longo ciclo extrativo dedicado a berilo, mica, “coltan” e gemas (aproximadamente um século), onde nas décadas após 1970 a atividade de garimpo teve um importante papel depreciador das reservas restantes. Não obstante, ainda restam quantidades importantes de micas de Li “in situ” e em escombrelas reutilizáveis.

Desde o período de administração portuguesa do território Moçambicano e particularmente na Província da Zambézia os pegmatitos que têm sido objeto de exploração com maior longevidade continuam a ser essencialmente os mesmos (Barros & Vicente, 1963 e Barros, 1983). Na região correspondente ao distrito pegmatítico do Alto Ligonha concentram-se os corpos de feição LCT mais marcada (Cotelo Neiva & Correia Neves, 1960). Correia Neves *et al.* (1971) referem-se à diversidade mineralógica destes pegmatitos. Do conjunto

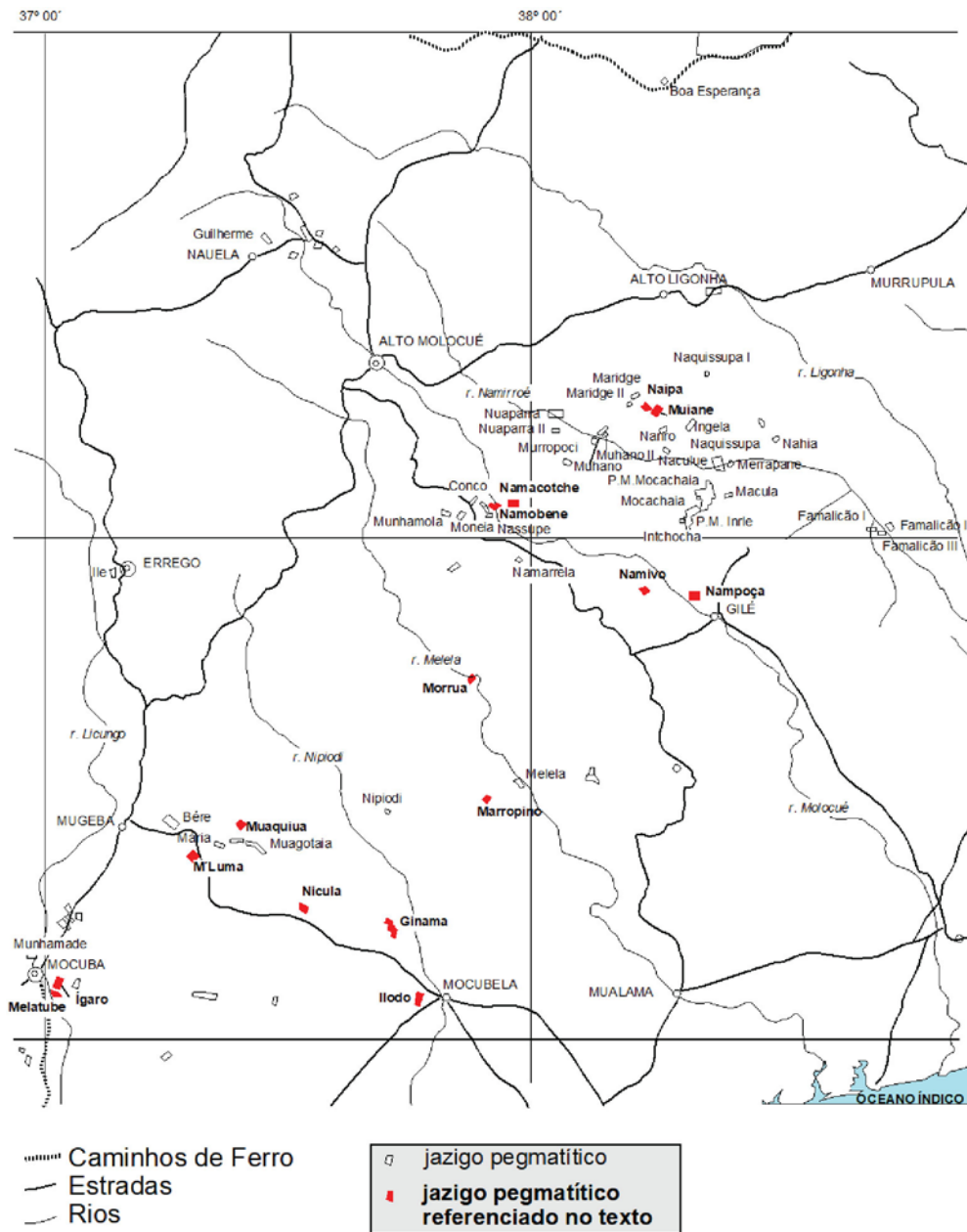
destes trabalhos extrai-se uma percepção bastante clara de quais são os recursos base mais significativos de minerais de Li, muito embora na altura não se pensasse no aproveitamento deste metal a partir destas jazidas. Assim, ainda hoje a carta de Barros & Vicente (1963) com a distribuição geográfica de jazigos e concessões mais importantes mantém a atualidade (fig. 19).

Mais recentemente, após Afonso (1976), em resposta à revisão da cartografia geológica, começaram a definir-se outros metalotectos LCT e assiste-se a uma expansão geográfica dos indicadores regionais de pegmatitos com aquela assinatura (Leal Gomes *et al.*, 2008).

Estes trabalhos permitiram sugerir uma reformulação das divisões regionais maiores correspondentes aos diferentes tipos paragenéticos de pegmatitos (fig. 20).



FIGURA 19



Localização de jazigos pegmatíticos na porção mais central da Província Zambesiana (Barros e Vicente, 1963). Escala gráfica: 1° = ±250km. Nota: Usar o sistema de coordenadas para situar esta carta no mapa da figura 20.

As potencialidades em Li da Província Pegmatítica Zambesiana, aquela que manifesta uma especialização LCT mais marcada, dependem muito da estabilidade dos minérios de Li primários que aí ocorrem e dos equilíbrios paragenéticos verificados na altura da formação dos pegmatitos.

A grelha petrogenética de London (1984), que invoca os domínios de estabilidade dos silicatos de Li tipomórficos, permite comparar condições de formação e evolução

de corpos LCT situados em diferentes contextos tectonoestratigráficos da Província Pegmatítica e permite discriminar condições de formação diferenciadas para algumas paragéneses e mesmo grupos pegmatíticos representativos (fig. 21) que se enunciam em seguida (as designações dos pegmatitos encontram-se na figura 19):

a - formação de espodumena I entre a zona intermédia interna clelandítica e o núcleo quartzoso (a espodumena primordial I é totalmente transformada em subsolidus) - situação paragenética mais típica dos

pegmatitos LCT de Muiane e Naipa onde se observa a pseudomorfose completa da espodumena;

b - colapso da espodumena para cookeite  $\pm$  lepidolite  $\pm$  esmectite - observa-se em Marropino, Morrua, Muiane e Naipa;

c - lepidolitização maciça e co-precipitação de petalite de baixa temperatura - ocorrência ocasional em parágeneses LCT mais tardias de Namobene, na região de Namacotche;

d - lepidolitização, cookeitização e precipitação hidrotermal de kunzite (espodumena II de reprecipitação) - situação paragenética mais típica dos pegmatitos LCT muito especializados quando sujeitos a focagem hidrotermal policíclica em “seismic pumping” (por cisalhamento recorrente) - exemplo de Namacotche;

e - formação e persistência da espodumena primária como relíquia mesmo após a lepidolitização - situação paragenética mais típica dos pegmatitos LCT sujeitos a menor descompressão - e<sub>1</sub>- exemplo de alguns domínios do pegmatito Ilodo com petalite preservada e transformação isoquímica de petalite para espodumena e quartzo (2SiO<sub>2</sub>); e<sub>2</sub> - exemplo de alguns domínios do pegmatito Namivo com pseudomorfose incompleta da espodumena;

f - precipitação direta de micas líticas com estágio espoduménico desconhecido - situação paragenética mais típica de alguns raros pegmatitos LCT do campo M' Luma - Nicula e nos campos do Rio Licungo;

g - intervalos de referência para as condições de pseudomorfose – espodumena => lepidolite  $\pm$  cookeite  $\pm$  esmectite;

1 - trajetória hipotética de “uplifting” que terá controlado a evolução dos pegmatitos NYF mais típicos dos campos do rio Licungo na região de Mocuba;

2 - faixa de transição para estágio paragenético hidrotermal onde se expandem as condições de troca catiónica Na/Li e K/Li, complementadas com H/Li, que se inicia como uma hidrólise dos silicatos de Li anidros particularmente a espodumena; a lixiviação do Li acompanha esta transição.

## Estrutura e metalogênese do Li nos pegmatitos do Alto Ligonha

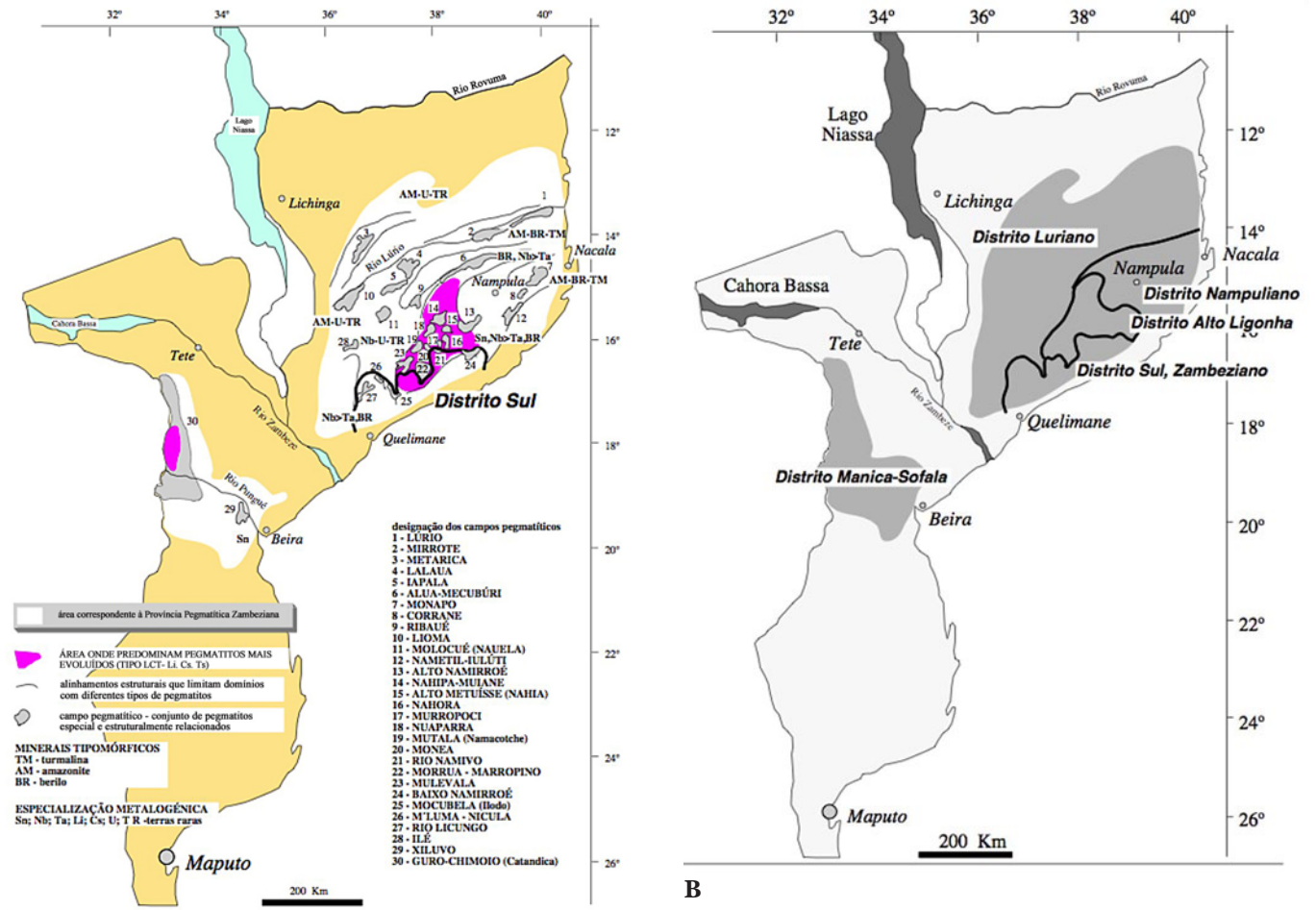
O Distrito Pegmatítico Alto Ligonha, apresenta pegmatitos por vezes de grandes dimensões (1Gt a 15Gt de material indiferenciado), com uma especialização LCT muito evoluída e teores culminantes de Li (<15500 ppm), Cs (<6000 ppm) e Ta (<2100 ppm) (Leal Gomes, 2000).

Os valores referidos são alcançados em unidades tardias onde ocorrem minerais tipomórficos tais como, abundante “lepidolite”, ocasional polucite, frequentes Mn-tantalite, várias microlites e mesmo estíbio-tantalite.

Desde há muito se reconhece que nestes pegmatitos os silicatos anidros de Li são instáveis e estão profundamente alterados ou meteorizados (Gomes, 1967; Sahama *et al.* 1968). Caracteristicamente a espodumena evoluiu em “subsolidus” para associações hidrotermais pseudomórficas também de baixa temperatura, constituídas por lepidolite, cookeite e mais raramente zinwaldite as quais podem comportar alguma kunzite (espodumena II de recristalização) (Leal Gomes, 2003).

Os pegmatitos até agora considerados como mais interessantes do ponto de vista económico incluem-se na Classe de Elementos Raros, Família LCT e são caracterizados tipologicamente pela presença concomitante, mas em zonas diferenciadas, dos minerais de Li, espodumena, micas litínicas e elbaite-lidicoatite.

FIGURA 20



**A**  
Limites territoriais e lineamentos atribuíveis à Província Pegmatítica da Zambézia;

As mineralizações associadas incluem Cs-berilo e polucite, exprimindo o Cs e óxidos de Nb e alto conteúdo de Ta, exprimindo este último elemento.

**B**  
Compartimentação em distritos pegmatíticos.

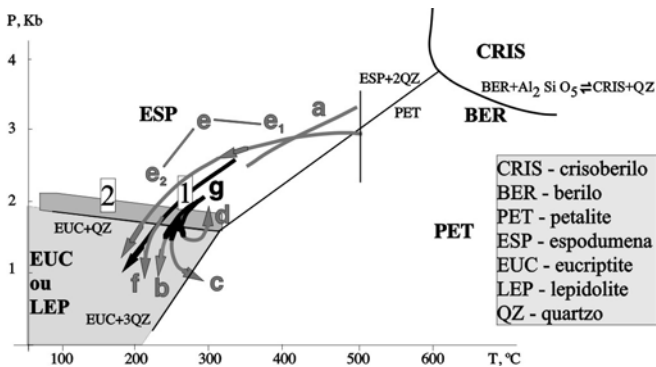
Os extremos de fraccionação geoquímica destes corpos situam-se entre os dois termos paragenéticos ilustrados na figura 22, os quais foram observados no grupo pegmatítico de Naipa:

**Estado 0** - fraccionação interna incipiente -  
- pegmatito de 60 cm de possança média, com granada Mn- almandina em “line-rock” e em zonas interiores, turmalina gráfica, microclina gráfica e ganite.

**Estado culminante** - fraccionação interna paroxismal incluindo toda a sequência de diferenciação zonal, centrífuga, “in situ” e a subsequente alteração incluindo episódios hidrotermais e supergénicos.

Em última análise o conteúdo de Li do pegmatito total diferenciado é essencialmente o mesmo do pegmatito granatífero, concentrando-se no entanto na periferia dos núcleos quartzosos sob a forma de gigaespodumenas

FIGURA 21



Discriminação das trajetórias de evolução paragenética provável de alguns pegmatitos da Província Zambeziana incluindo os do Distrito Sul. Representação nos domínios de estabilidade termodinâmica dos aluminossilicatos de Li (London, 1984). Índices explicados no texto.

em textura intersectal (Leal Gomes, 1998, 1999). Assim esta frente mineralógica só por si justificaria algum interesse para o Li, caso tivesse volume adequado, não fosse o facto das espodumenas, na sua maioria, estarem transformadas em associações argílicas que retêm muito pouco  $\text{Li}_2\text{O}$  relativamente aos 7 a 8% iniciais, típicos da espodumena intacta.

Na figura 23 é apresentada uma distribuição espacial dos conteúdos médios de  $\text{Li}_2\text{O}$ , correspondente à estrutura interna e zonalidade dos pegmatitos de Naipa, no Alto Ligonha. A estrutura do teor de Li deste Grupo Pegmatítico pode ser considerada representativa do cenário mais habitual de preservação do Li em pegmatitos LCT deste Distrito. Os seus aspetos fundamentais são os seguintes:

- Naipa Sul = observa-se um núcleo de quartzo com cerca de 30% de espodumena, argilizada, decomposta – seriam previsíveis 2.25% de  $\text{Li}_2\text{O}$  – a análise de três amostras em canal (roço vertical) revelou apenas 0.51%  $\text{Li}_2\text{O}$ ; observa-se uma importante perda de  $\text{Li}_2\text{O}$  no fenómeno de alteração que conduz à pseudomorfose de argila após espodumena;
- Naipa Sudoeste = da zona intermédia externa para a zona intermédia interna aumenta o conteúdo médio de  $\text{Li}_2\text{O}$ , obtido para 4 roços verticais em cada zona - 0.32 a 0.82%; esta variação deve ser explicada pelo conteúdo de moscovite litínica que por vezes é elevado nestas zonas; os conteúdos de  $\text{Li}_2\text{O}$  da periferia do núcleo (34% de espodumena) e do núcleo de quartzo, propriamente dito (cerca de 9% de espodumena), foram obtidos em cada caso a partir de um roço longo, horizontal, perpendicular à estrutura em pente da espodumena; em ambos os casos, como aconteceu em Naipa Sul, nota-se uma perda importante de Li em relação com a argilização da espodumena, que aqui é mais complexa, incluindo alguma coqueitização e lepidolitização;
- Naipa sul = na grande massa de lepidolite finamente granular  $\pm$  quartzo  $\pm$  clevelandite, para 15 amostras de rocha total extraídas em diferentes posições, observa-se um conteúdo médio mas pouco variável de  $\text{Li}_2\text{O}$  (2.61%  $\pm$  0.5%) sugerindo um conteúdo modal de “lepidolite” pouco variável no volume total da unidade o que, por sua vez, indica uma boa retenção pelas micas dos conteúdos iniciais de  $\text{Li}_2\text{O}$ .

Considerando o exemplo de Naipa, representativo do que se passa à escala do Distrito Pegmatítico do Alto Ligonha, pode-se desde já adiantar que a valorização dos conteúdos de Li destes pegmatitos deverá basear-se na gestão dos recursos de “lepidolite” já que a gestão da espodumena se irá debater com várias dificuldades difíceis de sanar:

- a espodumena primária tende a concentra-se até cerca de 30% modal na periferia dos núcleos de quartzo que não são muito volumosos nestes pegmatitos LCT do Alto Ligonha;
- mesmo essa espodumena está quase sempre alterada a decomposta podendo perder a totalidade do conteúdo inicial de Li no caso da argilização ser completa.

Portanto, as micas litínicas – moscovites, polilitionites, trilitionites e “lepidolites” em sentido lato (Lopes Nunes, 1973) - constituem os minérios essenciais de Li destes depósitos, conferindo às unidades tardias quase monominerálicas de “lepidolite” um interesse prospetivo não negligenciável, dependente exclusivamente do seu volume no contexto da estrutura interna de cada pegmatito (fig. 23).

FIGURA 22



A



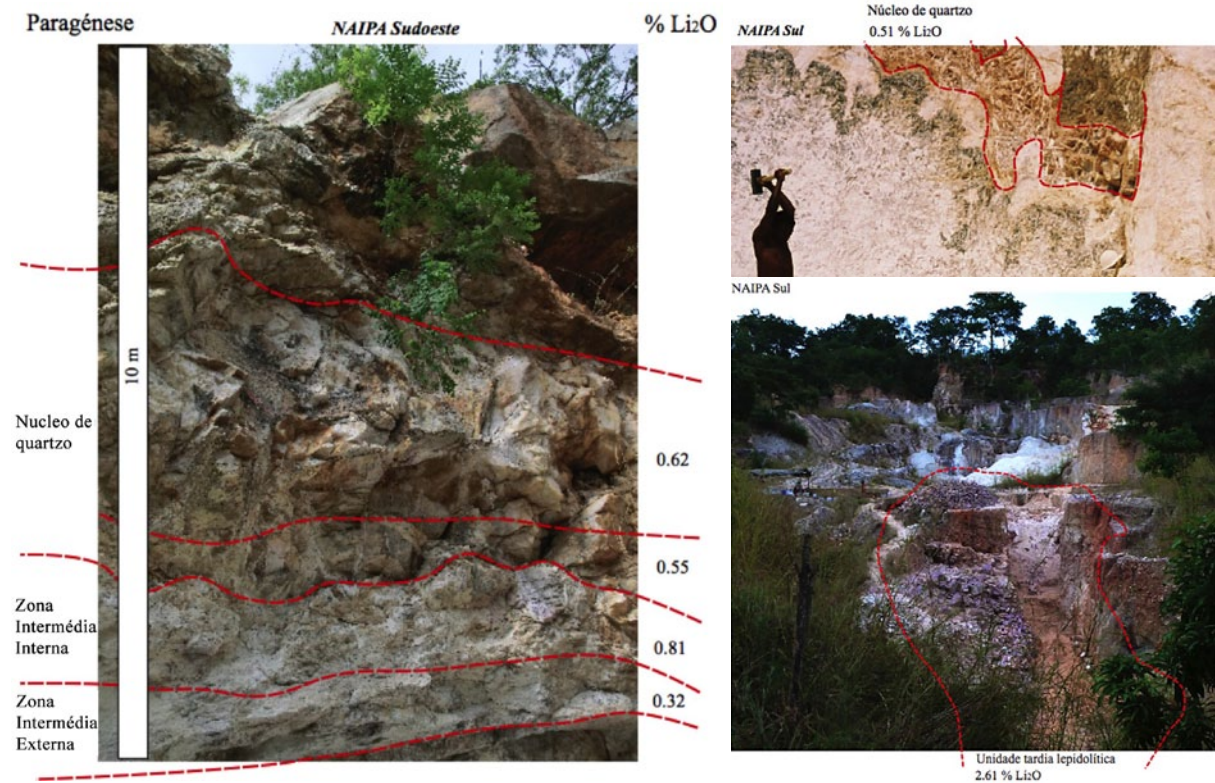
B



C

Extremos de fraccionção LCT no pegmatito de Naipa, Distrito Alto Ligonha. **A** – estado 0 de fraccionção – peg. essencialmente granatífero. **B** – produto último de fraccionção e lixiviação do Li – gigaspodumenas imbricadas e argilizadas na periferia do núcleo quartzoso – efeito de vários ciclos de alteração. **C** – diversidade de relações cristalização/deformação em relação com a tectónica tangencial (episódios precoces favorecem o acolhimento e a fraccionção “in situ”; a deformação progride e mantém-se até que favorece o acesso de fluidos tardios que alteram as paragêneses precoces – comparar a deformação com a imbricação de espodumenas em B).

FIGURA 23



Estrutura dos teores de lítio em vários setores e paragêneses do grupo pegmatítico de Naipa, Alto Ligonha.

**Estrutura e metalogénese do Li nos pegmatitos Sul Zambezianos**

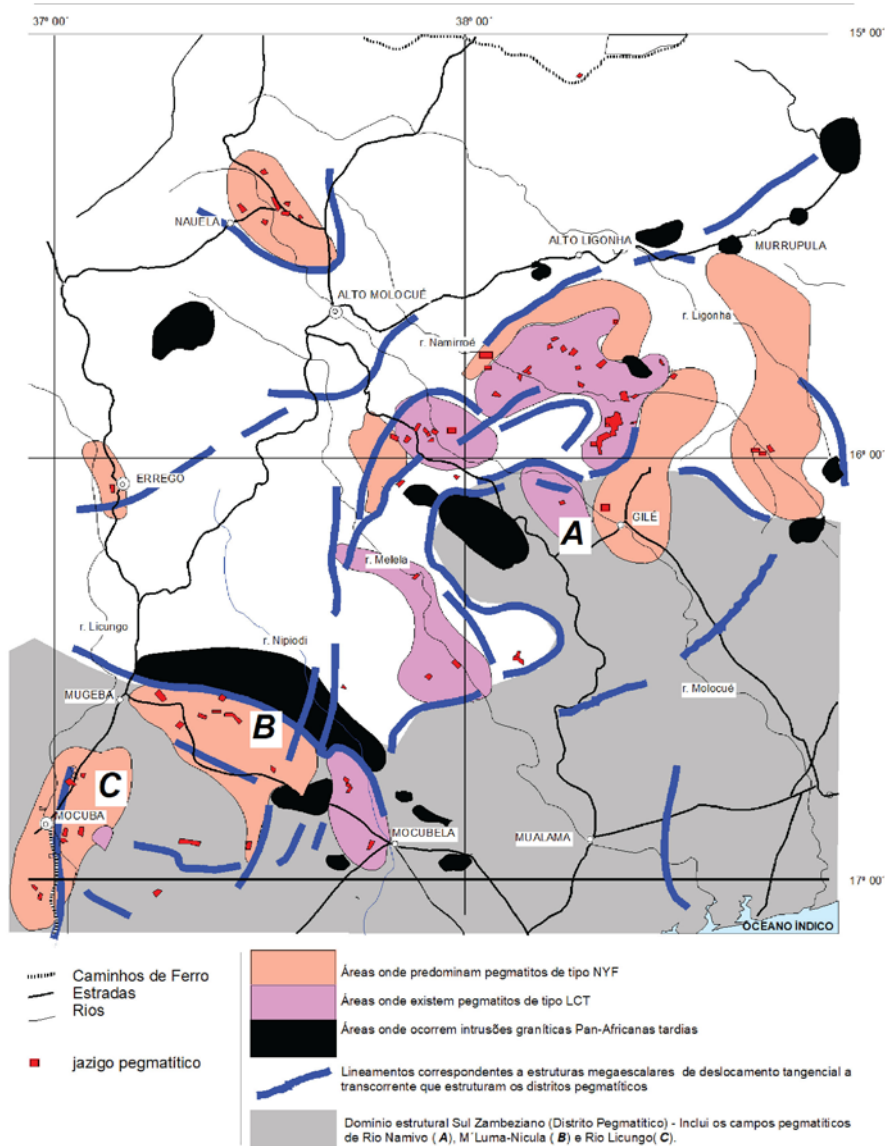
No Distrito Sul a mineralização em Li sob a forma de silicato anidro primário está representada em alguns corpos do campo do Rio Namivo ( Leal Gomes & Dias, 2007) e nos pegmatitos de Ilodo.

No pegmatito principal do Namivo encontra-se intacta grande parte da espodumena primária a qual persistiu no decurso do metassomatismo sódico e no decurso do metassomatismo potássico tardio. Por outro lado, o pegmatito Ilodo mostra os melhores exemplos de pseudomorfose de albite e lepidolite após microclina, como expressão textural do metassomatismo precoce

sodolítico  $[K/(Na+Li)]$ , ou seja, tanto em Ilodo como no Namivo os gigacristais de espodumena, que marcam a frente litínifera da fraccionação pegmatítica interna entre a zona intermédia interna e o núcleo de quartzo, mantêm uma importante porção preservada (sem lixiviação significativa do Li).

Isto indica que possivelmente, no Distrito Sul subsiste um nível estrutural e a uma taxa de exumação no contexto do “uplifting” pós-Pan-Africano que são distintos dos que se observam no Alto Ligonha – trata-se provavelmente de corpos de implantação primordial mais profunda, na sequência da organização em mantos transportados e sua sobreposição, a qual, por sua vez, dá azo à estruturação orogénica patente na figura 24 (Leal Gomes *et al.*, 2008).

FIGURA 24



Estruturação metalogenética da Província Zambeziana (área correspondente à figura 19) e delimitação do Distrito Sul relativamente ao Distrito Alto Ligonha. Escala gráfica: 1° = ±250km.

Reunindo a informação estrutural disponível, deduz-se que no caso dos pegmatitos do Sul da Zambézia a variação do potencial litinífero dos diferentes pegmatitos depende tanto do tipo e volume de algumas unidades internas mineralizadas e parageneticamente individualizáveis, como da geoquímica e especialização atribuível aos corpos totais e seus conjuntos. Isto sucede em resposta a uma fraccionação residual magmática precursora, bastante produtiva, mas também se deve à feição geoquímica favorável da recarga fluidal posterior, controlada pela deformação, que pouco desequilibrou as paragêneses precoces. Um ciclo tardio de alteração lítio-césica, só presente em corpos de caráter LCT muito marcado, produziu abundante mica litínica. Sendo muito localizado, afetou pouco o conteúdo espoduménico primário tendendo a acrescentar Li em unidades de substituição circunscritas. Analisando amostras extraídas em roço transversal indiferenciado para corpos de menores dimensões (até 8 m de possança), que não são as mais adequadas para representar as concentrações internas em eventuais unidades zonais, encontraram-se os seguintes conteúdos culminantes típicos da especialização contrastante:

Corpos NYF raros e pouco possantes (< 2.5 m) - Li < 230 ppm, Cs < 1219 ppm, Ta < 445 ppm.

Corpos LCT pouco possantes (< 8 m) e raramente muito possantes (possança aparente > 30m) com massas indiferenciadas estimadas até 1Gt - Li < 10230 ppm, Cs < 2112 ppm, Ta < 834 ppm.

As micas são composicionalmente muito variadas incluindo os extremos:

- biotite, taeniolite e masutomilite de bordadura; moscovites líticas e “lepidolites” de unidades de substituição tardia.

## CONCLUSÕES

Os principais tipos de depósitos de Li em contexto Gondwânico e em territórios dos PALP são os seguintes:

1 – Leucogranitos, brechas pegmatóides e pegmatitos homogêneos enriquecidos em espodumena – SW de Angola;

2 - Pegmatitos zonados com ou sem espodumena – SW de Angola e Zambézia – Distrito pegmatítico Sul - em Moçambique;

3 – Pegmatitos zonados com lepidolite e com ou sem ambligonite-montebrazite – Distrito Pegmatítico do Alto Ligonha, em Moçambique;

4 – Pegmatitos quase homogêneos com trifilite-litiofilite – SW de Angola;

5 – Pegmatitos distintamente zonados com espodumena na periferia dos núcleos de quartzo - SW de Angola e Alto Ligonha, em Moçambique;

6 - Bacias sedimentares recentes com escorrências sazonais e acumulações endorreicas por precipitação química e evolução evaporítica, caracterizadas pela existência de sistemas hidrotermais marginais – Litoral de Angola e sobretudo, Deserto de Moçâmedes, região do Rio Giraúl.

No contexto dos PALP uma primeira aproximação aos recursos disponíveis de minérios de Li viáveis mostra situações muito diferenciadas. Numa síntese muito geral pode dizer-se que as ocorrências de espodumena em núcleos de quartzo de pegmatitos LCT zonados não são adequadas em termos económicos como fontes Li, por três razões essenciais:

1 – Os conteúdos modais de espodumena observados nestas situações são relativamente baixos e muito variáveis;

2 – As massas de frente de fraccionação mineralógica enriquecidas em espodumena nuclear tendem a ser pequenas e com continuidade muito errática;

3 - Na Província Pegmatítica Zambeziana e no Distrito Alto Ligonha, em Moçambique, onde os conteúdos de espodumena primordial em Pegmatitos LCT seriam mais elevados, grande parte dos gigacristais encontra-se fortemente a totalmente depreciada pela alteração hidrotermal a supergénica, responsável pela quase total lixiviação do Li a partir destas Unidades.

No Distrito Alto Ligonha a “lepidolite” consitui o minério mais viável pois preserva os conteúdos de Li desde a precipitação inicial.

Os corpos LCT que se observam no Sul Zambeziano, na mesma Província, diferem parageneticamente dos que, com a mesma feição, caracterizam o distrito Alto Ligonha. A análise das suas paragêneses e a distribuição geológica regional que manifestam sugerem que estes pegmatitos constituem intrusões na base dos complexos de mantos carregados, situados em auréola à volta do Distrito Alto Ligonha. Verticalmente corresponde-lhes uma posição mais proximal em relação a uma faixa onde podem estar mais representados os granitóides parentais (Pan-Africanos) cujas cúpulas não afloram.

Este horizonte pegmatítico LCT basal, perante o atual ciclo erosivo, apenas assoma em alguns pontos do Distrito Sul de que são exemplo Ilodo, Ginama e Namivo. Este facto deveria ser tido em maior consideração nas fases estratégicas de prospeção deslocando o esforço que atualmente se concentra no Distrito Alto Ligonha para o Distrito Sul. O mesmo já havia sido postulado para a pesquisa do Ta (Leal Gomes *et al.*, 2008).

A espodumena mantém-se como um bom minério de Li no caso do Distrito Sul Zambeziano, em Moçambique, onde as concentrações deste mineral se mantêm em equilíbrio, e sobretudo nos pegmatitos do setor mediano dos Campos pegmatíticos do Giraúl, no Namibe, em Angola, onde além dos gigacristais manterem a sua integridade nos pegmatitos zonados, também ocorrem como fenocristais em rochas mais granulares, leucocratas e sob a forma de disseminações mais regulares.

Em todos os casos as micas litínicas deverão ser consideradas como interessantes.

Quanto às altas concentrações de Li em soluções aquosas e seus produtos de precipitação evaporítica é de considerar a investigação dos cursos secos de alguns rios do deserto do Namibe, onde parte do aporte de Li a partir, por exemplo, de fosfatos de Li pegmatíticos e nascentes termominerais periféricas, em condições de lixiviação e transporte torrencial, merece alguma atenção.

No caso do Li em rocha, para todos os contextos geológicos analisados e considerando os diferentes tipos de contrastes entre jazigos e rochas hospedeiras, verifica-se que a deteção mais eficaz de pegmatitos se relaciona com a prospeção geológica em sentido estrito, a qual se tem revelado preferencial, relativamente à prospeção geoquímica e ainda mais, relativamente à aproximação geofísica – por deficiência de contrastes físicos e composicionais.

Dois interesses especiais devem nortear a pesquisa:

- interessa procurar grandes massas de pegmatito – dão maior garantia de possuírem uma grande diversidade mineralógica interna, sendo mais provável a ocorrência de paragénese LCT, economicamente significativas;
- interessa procurar mineralização tantalífera – o enriquecimento em Ta num sistema é um bom indício de uma especialização capaz de atingir limiares de mineralização com altos conteúdos associados de Li.

Em contexto tático, os vetores essenciais da pesquisa estrutural de pegmatitos visam deduzir grandes ampli-

ficações e colheitas de magma leucocrata em: junções de estruturas em redes de cisalhamento exo-graníticas, volumes de delaminação em cúpula, volumes transpressivos e transtensivos associados a deslocamento tangencial a transcorrente na proximidade de maciços graníticos.

#### BIBLIOGRAFIA

- AFONSO, R. S. (1976) – *A geologia de Moçambique* (Notícia explicativa da carta geológica de Moçambique à escala 1:200 000). Direção dos Serviços de Geologia e Minas, Maputo, 175 p.
- BARROS, A. F.; VICENTE, C. M. (1963) - *Estudo dos Campos Pegmatíticos da Zambézia*. Relatório Interno da Comissão de Energia Nuclear (Portugal) 127 p.
- BARROS, R. (1983) – *Classificação dos pegmatitos da Zambézia*. Bol. Soc. Geol. de Portugal, 22, pp. 299-305.
- CORREIA NEVES, J. M.; LOPES NUNES, J. E.; LUCAS, D. B. (1971) - *Mineralogy and geochemistry of pegmatites from Mozambique (P.E.A.)*. Rev. Cienc. Geol. Lourenço Marques, 4, ser. A, pp. 1-11.
- COTELO NEIVA, J. M.; CORREIA NEVES, J. M. (1960) - *Pegmatites of Alto Ligonha (Mozambique – Portuguese East Africa)*. XXI Int. Geol. Cong. Section, 17, pp. 35-62.
- EUGSTER, H. (1970) - *Chemistry and origin of the brines of Lake Magadi, Kenya*. Mineral Soc. Amer. Spec. Pap. 3, 215-235.
- GASPAR, A. (1976) - *Nota prévia sobre os pegmatitos graníticos da região das Mabubas*. Separata do Boletim da Sociedade Geológica de Portugal, Vol. XX, 1-24.
- GOMES C.F. (1967) - *Alteration of spodumene and lepidolite with formation of dioctahedral chlorite plus dioctahedral chlorite-dioctahedral montmorillonite interstratifications*. Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra, 64, pp. 32-57.
- KENNEDY, W. Q. (1964) - *The structural differentiation of Africa in the Pan-African (~500m.y.) tectonic episode*. Res. Indt. Afr. Geological Leeds, 8th Ann. Rept. 48- 49.
- LEAL GOMES, C. (1998) - *Caracterização do jazigo pegmatítico de Naípa - fundamentos do plano de pesquisa, preparação e exploração do jazigo*. Relatório inédito arquivado na Direção Nacional de Minas de Moçambique (empresa EuroExport Lda, sediada em Nampula), 26P+10 fólios.
- LEAL GOMES, C. (1999) - *Indicadores paragenéticos das mineralizações pegmatíticas na área da concessão Naípa - Zambézia - Moçambique*. Atas do II Congresso Ibérico de Geoquímica e XI Semana de Geoquímica, Lisboa, PP. 121-124.
- LEAL GOMES, C. (2000) – *Fundamentos geológicos do pedido de licença de exploração mineira da área atribuível ao jazigo de Namacotche – Mutala - Alto Molocué – Zambézia* (título mineiro n.º 682/L/99). Relatório inédito arquivado na Direção Nacional de Minas de Moçambique (empresa EuroExport Lda., sediada em Nampula), 48p.
- LEAL GOMES, C. (2003) - *O papel dos fenómenos de evolução tardia na génese de gemas pegmatíticas – Ilações da análise paragenética em pegmatitos LCT do Alto Ligonha (Moçambique)*. A Geologia e os Recursos Geológicos. Coimbra, Imprensa da Universidade, v. II, pp. 217-228.



LEAL GOMES, C., MARQUES, J., DIAS, P. & COSTA, J. C. (2008) - *Análise descritiva das unidades portadoras de mineralização tantalíferas em pegmatitos do sul da província Zambeziana (Moçambique)*. 5.º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, 2.º Congresso de Engenharia de Moçambique, Maputo, 1-23.

LEAL GOMES, C.; DIAS, P. (2007) – *Recomendações para as fases de prospeção e pesquisa na área do Campo pegmatítico do Rio Namivo, Zambézia, Moçambique*. Relatório Inédito para AGS - Prospeção e pesquisa mineral, Mocuba, Moçambique, 11p/ 7 fólios.

LONDON, D. (1984) - *Experimental phase equilibria in the system Li Al SiO<sub>4</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O: a petrogenetic grid for the lithium - rich pegmatites*. Amer. Mineral., 69, pp.995-1004.

LOPES NUNES, J. E. (1973) - *Contribution à l'étude minéralogique et géochimique des pegmatites du Mozambique*. Sciences de la Terre, Mem. 26, Nancy, 261p.

PHILIP, J., MOSHA, D. (2012) - *Salt lakes of the African Rift System: a valuable research opportunity for insight into nature's concentrated multi-electrolyte science*. Tanz. J. Sci. 38(3).

SAHAMATH.G., KNORRING O. V. & LEHTINEN M. (1968) - *Cookeite from the Muiane pegmatite, Zambézia, Mozambique*. Lithos, 1, 12-17.

VON KNORRING, O. (1970) – *Mineralogical and geochemical aspects of pegmatites from orogenic belts of equatorial and southern Africa*. African. Magm. and Tectonics, Kennedy vol., 157-184.

WRENCE, L.; HARDIE, A.; EUGSTER, H. (1970) - *The evolution of closed-basin brines*. Mineral. Soc. Amer. Spec. Pap. 3, 273-290.