

Caracterização mineralógica de minério de lítio montebrasítico da mina da Argemela, Portugal, utilizando as técnicas de difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura

Mineralogical characterization of montebrasitic lithium ore from Argemela mine, Portugal, using X ray diffraction and scanning electron microscopy

Ariane Felix Coelho Azevedo

Bolsista PCI, Geóloga, D.Sc.

Reiner Neumann

Supervisor, Geólogo, D. Sc.

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo a identificação de fases minerais presentes em uma amostra de minério de lítio montebrasítico proveniente da mina da Argemela, Portugal, usando as técnicas de difração de raios X (DRX) em conjunto com microscopia eletrônica de varredura (MEV). A metodologia envolveu a descrição do minério, preparação de material para a difração, confecção de seções polidas e análise sob estas duas técnicas. Como resultado, a utilização em conjunto destas técnicas, aliadas à descrição petrográfica à olho nu da amostra, foi possível confirmar a presença da montebrasita como principal mineral carreador de lítio, minerais do grupo da turquesa, caulinita, quartzo, planerita, lepidolita, crandalita, struverita, ilmenorutilo, cassiterita, ferrowodginita, dickita, microclina, calumetita, wavelita, tavorita, além de fosfatos e carbonatos não identificados devido à limitação dos métodos. Em suma, conclui-se que o minério de lítio analisado possui assembleias mineralógicas carreadoras não apenas deste elemento, mas também de outros elementos estratégicos, como cobre, titânio, tântalo, nióbio e estanho. A importância desta caracterização se revela tanto em seu viés econômico, através da identificação dos minerais portadores de lítio e dos demais elementos supracitados, como em termos da história geológica do depósito, à medida em que se reconhecem alguns mecanismos de concentração dos elementos e preferência de minerais por estruturas específicas ou áreas de alteração.

Palavras-chave: lítio; Argemela; DRX; MEV; elementos estratégicos.

Abstract

This work aimed the identification of mineral phases present in a specimen of montebrasitic lithium ore from Argemela mine, Portugal, using the techniques of X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM). The methodology involved the ore description, preparation of powder material for X-ray diffraction, confection of polished sections, and analysis under these techniques. As a result, these techniques combined permitted to confirm the presence of montebrasite as the main lithium-bearing mineral, as well as turquoise group minerals, kaulinite, quartz, planerite, lepidolite, crandalite, struverite, ilmenorutile, cassiterite,

ferrowodginite, dickite, microcline, calumetite, wavelite,avorite, besides non-identified phosphate and carbonate minerals due the method limitations. In conclusion, it was possible to identify not only lithium-bearing minerals but also other phases containing strategic elements, such as copper, titanium, tantalum, niobium, and tin. The importance of this research relies not only on its economic role through the identification of minerals containing lithium and the other aforementioned elements but also on providing information about the geology of the deposit and mechanisms of concentration of these elements.

Key words: lithium; Argemela; XRD; SEM; strategic elements.

1. Introdução

O lítio é o mais leve dos metais, sendo extremamente reativo, assim como os demais metais alcalinos de seu grupo (Na, K, Rb e Sr), de forma que ocorre na natureza apenas como minerais (cerca de 145 espécies) ou sais estáveis (KUNASZ, 2006; MOURA; VELHO, 2011). De acordo com o Serviço Geológico dos Estados Unidos – *United States Geological Survey* (2022), somente Chile, Austrália, Argentina e China detêm cerca de 95% das reservas de lítio conhecidas atualmente. Dentre os vários tipos de depósitos de lítio conhecidos, três ganham destaque: salmoura evaporítica, pegmatito e argiloso (ZHENG et al., 2023), sendo o tipo pegmatito o que é abordado neste trabalho.

Diante de um cenário mundial de constante redução das emissões de carbono, o lítio emerge como importante elemento para o desenvolvimento de fontes mais limpas de energia, principalmente no que diz respeito à produção de baterias para carros elétricos e equipamentos portáteis. Além disso, se trata de um elemento bastante versátil, sendo aplicado em vários setores, como na indústria química, metalúrgica, cerâmica, nuclear e farmacêutica. Para tanto, é essencial que se desenvolvam formas de máximo aproveitamento dos recursos minerais disponíveis (SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA, 2024).

2. Objetivos

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar a utilização conjunta de duas importantes técnicas analíticas (difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura) aplicada à identificação de diferentes fases minerais. A pesquisa teve como objetivo específico a caracterização mineralógica de uma amostra de minério de lítio montebrasítico proveniente da mina da Argemela, Portugal, usando estas técnicas supracitadas, dada a relevância em reconhecer fases carreadoras de lítio e outros elementos estratégicos relacionados.

3. Materiais e Métodos

Este trabalho foi totalmente conduzido no Setor de Caracterização Tecnológica do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). O objeto de estudo correspondeu a uma amostra de minério de lítio proveniente da mina da Argemela, Portugal, a partir da qual obtiveram-se dois fragmentos que foram utilizados na caracterização.

Para difração de raios X, uma porção de cada fragmento foi cominuída manualmente com auxílio de um cadinho e pistilo de ágata até atingir uma granulação bastante fina. Uma porção da capa de alteração destes fragmentos também foi utilizada e submetida ao mesmo procedimento. O pó foi então colocado em 4 porta amostras do tipo *front load*, que depois foram alocados em difratômetro modelo *Bruker Eco D8 Advance*. Os difratogramas obtidos foram interpretados (interpretação qualitativa das fases minerais) no software *Diffrac.EVA*.

Para a microscopia eletrônica de varredura, os dois fragmentos foram embutidos em resina epóxi com catalizador na proporção de 15:1.8 g, polidos e revestidos com uma fina camada de carbono. As seções polidas foram, então, colocadas no microscópio eletrônico de varredura com EDS (*Energy Dispersive Spectrometer*) acoplado, modelo *FEI Quanta 400 MLA* com EDS *Bruker Nano Quantax 800*. Os espectros obtidos foram processados usando o software *Spirit v. 2.0*, e as fórmulas dos minerais calculadas em Excel, a partir da percentagem em massa normalizada dos elementos químicos interpretados. Foram também obtidos mapas elementares para facilitar a localização de minerais específicos e sua preferência por feições estruturais e de alteração. A Figura 1 a seguir ilustra os principais passos adotados nesta metodologia.



Figura 1 – Materiais e principais passos adotados nesta metodologia. Legenda: A) Amostra de minério de lítio proveniente da mina da Argemela, Portugal; B) Material pulverizado com auxílio de cadinho e pistilo de ágata e posteriormente montado em porta amostras (canto superior direito) para aplicação em DRX; C) Dois fragmentos da amostra original embutidos em resina, polidos e cobertos com carbono para aplicação em MEV.

Por fim, foi feita a comparação dos resultados de cada técnica, bem como com as estruturas e minerais observados a olho nu. Um estudo comparativo com a literatura também foi realizado.

4. Resultados e Discussão

Como resultado inicial obtido a partir da observação minuciosa a olho nu/ lupa, identificaram-se duas fases minerais principais: uma maciça e de coloração cinza-esbranquiçada (montebrasita); uma porosa de coloração azul-esverdeada (turquesa), preferencialmente na superfície do mineral anterior e em fraturas; e uma fina capa de alteração esbranquiçada presente na superfície da amostra e concentrada nas fraturas (caulinita). Pequenas áreas de coloração cinza escuro ocorrem também como prováveis regiões de alteração (mineral não identificado).

A interpretação dos difratogramas permitiu a constatação inicial de diversas fases minerais: montebrasita como principal mineral carreador de lítio; turquesa; caulinita; quartzo; planerita; lepidolita; crandalita; dickita; microclina; calumetita; wavelita e tavorita.

Já no MEV, observou-se que a fase maciça principal se trata, de fato, de montebrasita. Observou-se a preferência dos minerais de alteração (turquesa, lepidolita, planerita, crandalita e caulinita) pelas áreas próximas aos limites/bordas da montebrasita, que geralmente são porosas, e preenchendo as várias fraturas que ocorrem na amostra em posições aleatórias. A partir do estudo dos espectros obtidos pelo EDS e cálculo das fórmulas minerais, constatou-se, ainda, a presença de struverita (variedade de rutilo em que Ta>Nb); ilmenorutilo (variedade de rutilo em que Nb>Ta), cassiterita e ferrowodginita.

A tabela 1 a seguir resume, de forma comparativa, as fases minerais que foram identificadas em cada método.

Tabela 1. Comparação das fases minerais detectadas em cada método.

Observação da amostra	DRX	MEV-EDS
Montebrasita	Montebrasita	Montebrasita
Turquesa	Turquesa	Turquesa
Caulinita	Caulinita	Caulinita
Quartzo	Quartzo	Quartzo
	Planerita	Planerita
	Cu-Planerita	Cu-Planerita
	Lepidolita	Lepidolita
	Crandalita	Crandalita
		Struverita
		Ilmenorutilo
		Sr-Crandalita
		Cassiterita
		Ferrowodginita
		Carbonatos e fosfatos indeterminados
	Dickita	
	Microclina	
	Calumetita	
	Wavelita	
	Tavorita	

5. Conclusão

A partir do estudo utilizando as duas técnicas analíticas propostas, foi possível concluir que estas funcionam muito melhor quando em conjunto, uma vez que, um método é complementado pelo outro no que diz respeito ao reconhecimento das fases minerais presentes. Além disso, no que concerne à mineralogia descrita para a amostra de minério de lítio montebrasítico da mina da Argemela, pôde-se constatar não apenas minerais carreadores de lítio, mas também de outros elementos estratégicos, como cobre, zinco, estanho, titânio, nióbio e tântalo. Este conhecimento pode ser muito útil ao se aplicar a contextos geológicos semelhantes à região de onde a amostra provém.

Além do viés econômico, as relações entre as fases minerais e estruturas presentes nos fornece informações geológicas sobre o depósito, envolvendo a evolução do minério e processos de concentração dos elementos supracitados. A presença da turquesa como principal mineral de alteração da montebrasita, evidencia a adição tardia de Cu no sistema via fluidos hidrotermais alterando os fosfatos de alumínio anteriores, conforme explicitado no trabalho de Michaud et al. (2019) e Pirard et al. (2007). As fraturas parecem controlar as alterações pseudomórficas, sendo estas alterações resultantes de reações *subsolidus* com fluidos pegmatíticos residuais, assim como observado por London e Burt (1982) em White Picacho, Arizona. A origem dos demais minerais portadores de elementos estratégicos está intrinsecamente relacionada à presença destes metais disseminados nas intrusões graníticas parentais da mineralização.

6. Agradecimentos

Agradeço ao CNPq, pela bolsa de pesquisa concedida; ao Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), onde todo o trabalho foi conduzido; ao supervisor, D.Sc. Reiner Neumann, ao prof. D.Sc. Ciro Ávila e aos colegas MSc. Matheus Machado e D.Sc. Felipe Alves, por todo o suporte e conhecimentos compartilhados; à D.Sc. Antonieta Middea, pela condução das análises em MEV e ensinamentos sobre a técnica de DRX; e aos técnicos Josimar Lima e Edivaldo Silva pelo suporte na preparação da amostra.

7. Referências Bibliográficas

KUNASZ, I. Lithium Resources. In: KOGEL, J. E. et al. (Eds). **Industrial Mineral and Rocks**. 7 ed. Colorado: Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, 2006, p. 599-613.

LONDON D.; BURT D. M. Alteration of spodumene, montebrasite and lithiophilite in pegmatites of the White Picacho District, Arizona. *American Mineralogist*, v. 67, p. 97–113, 1982.

MICHAUD, J.A.S. et al. From magmatic to hydrothermal sn-Li-(Nb-ta-W) mineralization: The Argemela area (Central Portugal). **Ore Geology Reviews**, v. 116, p. 103-215, 2020. doi:10.1016/j.oregeorev.2019.103215.

MOURA, A.; VELHO, J. L. **Recursos Geológicos de Portugal**. Coimbra: Palimage, 2011. 571 p.

PIRARD, C.; HATERT, F.; FRANSOLET, A. M. Alteration sequences of aluminium phosphates from Montebras pegmatite, Massif Central, France. In: **GRANITIC PEGMATITES: THE STATE OF ART-INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 2007. Proceedings of...** Porto: Portugal, 2007.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA (2024). **Lítio no Mundo**. Disponível em: <https://sgb.gov.br/litio/nomundo.html>.

USGS (2022). **Lithium: Mineral Commodities Summaries**. rep. *United States Geologic Survey*.

ZHENG, M. et al. Classification and mineralisation of global lithium deposits and lithium extraction technologies for exogenetic lithium deposits. **China Geology**, v. 6, p. 547-566, 2023. doi:10.31035/cg2023061.