



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG
Campus Avançado de Poços de Caldas
Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999 - Cidade Universitária
CEP: 37715-400 - Poços de Caldas/MG



Universidade Federal de Alfenas - *Campus* de Poços de Caldas
Curso de Especialização em Engenharia de Minas (CEEM)

André Ferreira Silva

**Caracterização Tecnológica do Minério de Lítio do Pegmatito
da Mina de Volta Grande, Nazareno, Minas Gerais**

Poços de Caldas/MG

2021



Curso de Especialização
em Engenharia de Minas



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG
Campus Avançado de Poços de Caldas
Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999 - Cidade Universitária
CEP: 37715-400 - Poços de Caldas/MG



André Ferreira Silva

Caracterização Tecnológica do Minério de Lítio do Pegmatito da Mina de Volta Grande, Nazareno, Minas Gerais

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como parte dos requisitos para a integralização do curso de Especialização em Engenharia de Minas (CEEM).

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Cabañas Navarro.

Co-orientadora: Profa. Dra. Carolina Del Roveri

Poços de Caldas/MG

2021



Curso de Especialização
em Engenharia de Minas



André Ferreira Silva

Caracterização Tecnológica do Minério de Lítio do Pegmatito da Mina de Volta Grande, Nazareno, Minas Gerais

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como parte dos requisitos para a integralização do curso de Especialização em Engenharia de Minas (CEEM)

Aprovada em: 18 de março de 2022

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Cabañas

NavarroCo-orientadora: Profa. Dra. Carolina Del Roveri

Instituição: Universidade Federal de Alfenas – Campus Poços de Caldas

Assinatura:

Examinador 1: Dr. Rogers Raphael da Rocha

Instituição: Ruy Rocha Produtos Cerâmicos

Assinatura:

Examinador 2: Prof. Dr. Guilherme José Ramos Oliveira

Instituição: Universidade Federal de Alfenas – Campus Poços de Caldas

Assinatura:





AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Geraldo Mateus e Maria da Conceição pelo apoio e compreensão que sempre tiveram comigo. Aos meus irmãos Alexandre e Marcela pela parceria e paciência que sempre tiveram comigo.

A minha esposa Silvyia pelo amor, orientações e ajuda em todos os momentos.

A meu filho Henrique por ser minha maior inspiração.

Aos colegas desta jornada acadêmica Paikan, Jubal, Denise, Anderson e Lory pelos conhecimentos compartilhados e parceria desenvolvida durante todo o curso.

Aos colegas de trabalho Guilherme Muffato e Salomão, que sempre me incentivaram a concluir esta etapa.

Aos professores Fabiano Cabañas Navarro e Carolina Del Roveri, pela orientação, paciência e incentivo.

À AMG Brasil pela oportunidade.

À Universidade Federal de Alfenas, pela oportunidade de concluir esta pós-graduação.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG
Campus Avançado de Poços de Caldas
Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999 - Cidade Universitária
CEP: 37715-400 - Poços de Caldas/MG



“Tente, e não diga que a vitória está
perdida, se é de batalhas que se vive a
vida, tente outra vez. ”
(Raul Seixas)



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corpo A Pegmatito de Volta Grande, com escala.	16
Figura 2 - Mapa litoestrutural dos principais corpos pegmatíticos no contexto da Mina de Volta Grande.	17
Figura 3 - Mapa de localização da área de estudo.	19
Figura 4 - Anfibolito da Zona da Parede com presença de holmquistita fibrosa.	25
Figura 5 - Biotitito da Zona de Borda.	25
Figura 6 - Bolsão de Albita envolto por mica.	26
Figura 7 - Bolsões de Microclina decimétrica apresentando pertitas.	26
Figura 8 - Zona do Pegmatito Granular com pequenos cristais de espodumênio.	27
Figura 9 – Cristal de espodumênio com mais de 50 cm.	28
Figura 10 – Imagem de satélite de localização dos furos de sondagem.	29
Figura 11. Amostra 0003 120. Cristais de espodumênio (Spd), com exsoluções de minerais opacos (Mo), associados aos cristais de muscovita (Ms).	36
Figura 12. Amostra 0003 120. Cristal de espodumênio (Spd), com exsoluções de minerais opacos (Mo), associados aos cristais de quartzo (Qz).	36
Figura 13. Amostra 0003 130. Cristais de espodumênio (Spd) associados aos cristais de muscovita (Ms).	36
Figura 14. Amostra 0003 130. Microlita (MI) associada à tantalita (Ta).	36
Figura 15. Amostra 0001 100. Cristais de microclina (Mc), quartzo (Qz), albita (Ab) e muscovita Ms.	36
Figura 16. Amostra 0001 100. Cristais de quartzo (Qz) e muscovita (Ms).	36
Figura 17. Amostra 0002 110. Cristais de muscovita (Ms), quartzo (Qz) e albita (Ab). ...	37
Figura 18. Amostra 0002 110. Associação tantalita (Ta) + cassiterita.	37
Figura 19. Amostra 0004 140. Detalhe de um cristal de microlita (área tracejada).	37
Figura 20. Amostra 0004 140. Cristais de espodumênio (Spd), com exsoluções de minerais opacos (Mo), associados aos cristais de quartzo (Qz), albita (Ab) e muscovita (Ms).	37





Figura 21. Amostra 0004 150. Cristal de espodumênio (Spd) associados aos cristais de microclina (Mc), albita (Ab) e quartzo (Qz).	37
Figura 22. Amostra 0004 150. Cristais de cassiterita (Cst) associados aos cristais de tantalita (Ta).	37
Figura 23. Amostra 0005 160. Cristais de espodumênio (Spd), quartzo (Qz) e muscovita (Ms).	38
Figura 24. Amostra 0005 160. Cristais de espodumênio (Spd), quartzo (Qz) e muscovita (Ms).	38
Figura 25. Amostra 0005 170. Cristal de espodumênio (Spd) com exsoluções de minerais opacos (Mo) e com inclusão de quartzo (Qz).	38
Figura 26. Amostra 0005 170. Cristais de espodumênio (Spd), com exsoluções de minerais opacos (Mo), quartzo (Qz), muscovita (Ms) e albita (Ab).	38
Figura 27. Amostra 0011 230. Cristal de espodumênio (Spd), com exsoluções de minerais opacos (Mo), quartzo (Qz) e muscovita (Ms).	38
Figura 28. Amostra 0011 230 Cristal de espodumênio (Spd), quartzo (Qz), albita (Ab) e muscovita (Ms).	38
Figura 29. Amostra 0007 190. Cristal de espodumênio, com exsoluções de minerais opacos (Mo), incipientemente substituídos por muscovita (Ms).	39
Figura 30. Amostra 0007 190. Cristais de espodumênio associados aos cristais de muscovita (Ms), quartzo (Qz), albita (Ab) e microclina (Mc).	39
Figura 31. Amostra 0006 180. Cristais de espodumênio (Spd), muscovita (Ms) e quartzo (Qz).	39
Figura 32. Amostra 0006 180. Cristais de espodumênio (Spd), com inclusões de minerais opacos (Mo), quartzo (Qz) e muscovita (Ms).	39
Figura 33. Amostra 0012 240. Cristais de espodumênio (Spd) associados aos cristais de quartzo (Qz) e muscovita (Ms).	39
Figura 34. Amostra 0012 240. Cristais de espodumênio (Spd), com exsoluções de minerais opacos (Mo), associados aos cristais de quartzo (Qz), albita (Ab) e muscovita (Ms).	39





Figura 35. Amostra 0008 200. Cristais de espodumênio (Spd) associados aos cristais de microclina (Mc), carbonato (Cb), albita (Ab) e quartzo (Qz).	40
Figura 36. Amostra 0008 200. Cristais de espodumênio (Spd), com exsoluções de minerais opacos (Mo), associados aos cristais de muscovita (Ms), quartzo (Qz) e albita (Ab).....	40
Figura 37. Amostra 0009 210. Associação tantalita (Ta) + cassiterita (Cst) + granada (Grt).	40
Figura 38. Amostra 0009 210. Cristal de espodumênio (Spd), incipientemente substituído por muscovita (Ms), associado aos cristais de quartzo (Qz) e de albita (Ab).	40
Figura 39. Amostra 0010 220. Cristal de espodumênio (Spd), com exsoluções de minerais opacos (Mo), associado aos cristais de muscovita (Ms) e quartzo (Qz).	40
Figura 40. Amostra 0010 220. Detalhe de parte de um cristal de espodumênio (Spd) com exsoluções de minerais opacos (Mo) e incipientemente substituído por muscovita (Mo).	40



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Aplicações das três formas comerciais do lítio.	21
Tabela 2 - Principais minerais de lítio em pegmatitos.	24
Tabela 3 – Localização dos furos e amostras.	30
Tabela 4 – Descrições Petrográficas Zona do Espodumênio das Figuras 11 a 25.	34
Tabela 5 – Descrições Petrográficas Zona do Espodumênio das Figuras 26 a 40.	35
Tabela 6 – Resultados Análises Químicas.	42
Tabela 7 - Mineralogia (% em área).	45
Tabela 8 - Mineralogia (% em peso).	46
Tabela 9 - Minerais Detectados nos Estudos de DRX (% em peso).	47
Tabela 10 - Principais minerais identificados nas amostras (% em peso).	48
Tabela 11 - Teores de Óxido de Lítio Calculados a partir da Determinação Mineralógica.	50
Tabela 12 - Teores de Óxido de Lítio Calculados a partir da Análise de Fluorescência de Raio –X.	50



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	14
1.1. Localização	18
2. OBJETIVO	19
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1. Panorama Geral	19
3.1.1. Pegmatitos	22
3.1.2. Minerais de Lítio	23
3.2. Pegmatito de Volta Grande	24
3.2.1. Zona da Parede	25
3.2.2. Zona da Borda	25
3.2.3. Zona do Albita	26
3.2.4. Zona do K-Feldspato	26
3.2.5. Zona do Pegmatito Granular	27
3.2.6. Zona do Espodumênio	27
4. MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1. Levantamento de dados internos	29
4.2. Locação dos furos de sondagem e seleção de amostras	29
4.3. Análise Mineralógica	30
4.3.1. Confeção de Lâmina Delgada Polida	31
4.3.2. Determinação Mineralógica em Área e Peso	31



4.3.3.	Determinação da Porcentagem dos Óxidos e Elementos a Partir da Mineralogia	31
4.3.4.	Estudos por Difração de Raios-X	32
4.4.	Análise Química	32
4.5.	Tratamento dos Dados	33
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6.	CONCLUSÕES	51
	REFERÊNCIAS	53



RESUMO

O pegmatito da mina de Volta Grande, localizada no município de Nazareno, Minas Gerais e de direito mineral da AMG-Brasil, faz parte do complexo pegmatítico de São João Del Rei. O pegmatito em questão carece de análises voltadas a caracterização mineralógica, o que justifica a execução do presente trabalho, a fim de compreender a presença dos minerais portadores de lítio e também iniciar possibilidades quanto a lavra e beneficiamento dessa rocha. Para a realização deste estudo foram levantados dados internos da AMG-Brasil sobre seus furos de sonda, após isto os furos levantados foram localizados geograficamente e assim, seguiram as etapas realizadas em laboratório como a análise mineralógica das amostras que foram a confecção de lâmina delgadas polidas, determinação mineralógica por área e peso, determinação da porcentagem dos óxidos e elementos a partir da mineralogia, estudos por difração de Raios-X, análise química e tratamento dos dados. Assim pode ser compreendido que o principal mineral portador de lítio no pegmatito de Volta Grande é o espodumênio que compreende frações entre 10 a 20% da área e da massa das amostras analisadas. Para conhecimento geológico da província é necessário reproduzir outros estudos para uma caracterização global da província pegmatítica.

Palavras-chave: Caracterização mineralógica. Lítio. Pegmatito.



ABSTRACT

The Volta Grande pegmatite, Nazareno, Minas Gerais, is part of the Pegmatitic District of São João del Rei. Its different pegmatitic intrusions lack detailed mineral composition analysis, thus justifying the present work which aims to identify the lithium-bearing minerals and provide insight into the extraction and processing of this ore. Borehole data from the Volta Grande mine were compiled, georeferenced and its samples were then sent for mineralogical analysis. This was carried out by preparing polished thin sections, counting of mineral phases and weighing by area and unit weight, calculating oxides from mineralogy, x-ray powder diffraction studies, bulk-rock chemical analysis and data processing. The study indicates that the main lithium-bearing mineral phase is spodumene comprising 10 to 20% of area and weight of analyzed samples. For improved geological knowledge of the pegmatitic district characterization studies are required on other mineralized pegmatite bodies.

Keywords: Mineralogical characterization. Lithium. Pegmatite.

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A província pegmatítica de São João Del Rei abrange os municípios de Nazareno, Conceição da Barra de Minas, Resende Costa e Ritópolis e contribuí nacionalmente para produção de tantalita, feldspato e concentrado de espodumênio, pelo menos desde a década de 40. (Acervo AMG-Brasil).

A história do pegmatito de Volta Grande começou no final dos anos 40 e sendo que duas histórias ilustram a descoberta. A primeira com garimpeiros enviando areia preta de pegmatitos da província de São João Del Rei para Frei Norberto de Beaufort que a classificou como composta de minerais pesados e não magnéticos incluindo a cassiterita. (ASSUMPÇÃO, 2015, p.1)

A Província Pegmatítica de São João Del Rei segundo Francesconi (1972) ocupa uma área de cerca de 1400 km² (70 km de comprimento por 20 km de largura) e abrange os municípios de Nazareno, São Tiago, Cassiterita, São João Del Rei, Ritópolis e Coronel Xavier Chaves, na porção sul do Estado de Minas Gerais. Os principais corpos de exploração de minerais pesados da Província Pegmatítica de São João Del Rei de acordo com Francesconi (1972) encontram-se na área de Nazareno, sendo estes os corpos A, B, C, D, E e F, que fazem parte do conhecido enxame de pegmatitos do Volta Grande. Estes formam grandes massas lenticulares, predominantemente sub-horizontais, ricas em espodumênio e, secundariamente, em lepidolita, com teores anômalos de Cs e Rb. Os principais minerais de interesse econômico das minerações são cassiterita, columbita-tantalita e microlita, entretanto sabe-se que minerais de elementos terras-raras também podem ser encontrados nesses corpos. Portanto, a caracterização e descrição dos minerais presentes em um concentrado proveniente da Mina do Volta Grande e o conhecimento de sua ocorrência auxiliariam na geração de um concentrado desses minerais como subprodutos do processamento existente. (FRANCESCONI, 1972 apud NASCIMENTO, 2015, p.2)

Os pegmatitos da região da Mina de Volta Grande, ou simplesmente pegmatitos de Volta Grande, são compostos basicamente por albita, microclina, quartzo, muscovita, lepidolita e espodumênio, tendo como minerais acessórios a cassiterita, tantalita, columbita, fluorita, apatita, zinnwaldita, holmquistita e berilo (HENRICHE, 1964;

LAGACHE & QUÉMÉNEUR 1987; QUÉMÉNEUR & LAGACHE 1994; DINIZ-PINTO & HOFMEISTER 2004^a; PIRES & PORTO JUNIOR 1986; PIRES & PIRES 1992; PIRES & CABRAL 1998; PIRES *et al.* 2013; apud ASSUMPÇÃO, 2015, p.1).

A mina de Volta Grande é caracterizada por diversos corpos pegmatito, nomeados como corpos A, B, C, E, F e M (QUÉMÉNEUR 1987, PIRES & PIRES 1992). Sendo o corpo A o maior deles, que é explorado pela AMG Brasil atualmente.

AMG Brasil é uma empresa de origem holandesa que opera no Brasil há 75 anos com a exploração de variados metais. No município Nazareno, no centro sul do estado de Minas Gerais, a exploração ocorre na mina a céu aberto de Volta Grande, que possui depósitos pegmatíticos de espodumênio. A planta de lítio se localiza na cidade de Nazareno, MG. A produção do lítio está associada ao tântalo, o que traz uma sinergia entre os dois minerais, possibilitando a exploração de dois minerais em uma única rocha, o que diminui os custos fixos (HALLAK, 2019).

Os estudos da concentração do lítio se iniciaram no ano de 2003. Em 2014, a rota do beneficiamento de lítio foi consolidada e sua operação se deu em 2018 após um ano de construção. A demanda de lítio atual e a necessidade de reduzir os rejeitos gerados pela operação de tântalo. (HALLAK, 2019).

A usina de beneficiamento de pré concentrado de espodumenio da empresa AMG, é alimentada com matéria prima com granulometria de 500 microns, teor de óxido de lítio de 1% e 1.50% de óxido de ferro. O material é enviado para uma peneira de escalpe onde o produto retido é descartado e o passante alimenta um tanque que serve como pulmão. Após esta etapa o material é enviado para classificação em hidrociclones e moagem em circuito fechado, o produto gerado neste processo possui granulometria de 180 microns e é enviado para etapa de separação magnética. O produto obtido na separação magnética alimenta a etapa de flotação, sendo essa etapa do processo responsável direto em fazer o enriquecimento do lítio acima de 5%, o produto denominado flotado. As etapas seguintes a estes processos têm como objetivo a regularização da umidade, através de um desaguamento por filtro prensa e secagem do material. Por fim, o material é embalado para ser expedido para o cliente.

Segundo dados estatísticos, a AMG contribuiu de forma direta para o desenvolvimento na região. A empresa conta com 390 funcionários na unidade de

mineração e na unidade de siderurgia com 270 empregos diretos. Durante a construção da planta de lítio alcançou 2000 contratações considerando diretas e indiretas (HALLAK, 2019).

Trata-se de uma mina a céu aberto multimineral (nióbio, tântalo, berílio, estanho) que possui cobertura de solo cobrindo um corpo de anfibolito onde ocorrem rochas pegmatíticas contendo espodumênio com formato lenticular (Figura 1). O beneficiamento do espodumênio é alimentado pelo underflow do processamento do tântalo, do material contido nas barragens praticamente secas e da rocha fresca (HALLAK, 2019).

A capacidade de produção é de 90.000 toneladas/ano com teor de alimentação da usina de beneficiamento aproximado de 1,00% de óxido de lítio e o concentrado final entre 5,5 a 6,5%, e uma reserva de 20.000.000 de toneladas de pegmatito. (HALLAK, 2019).

A AMG possui em andamento pesquisas voltadas para construção de uma planta química com o objetivo de produzir pasta catódica de hidróxido ou carbonato de lítio para aplicação em baterias (AMG, 2018).

Figura 1 - Corpo A Pegmatito de Volta Grande, com escala.



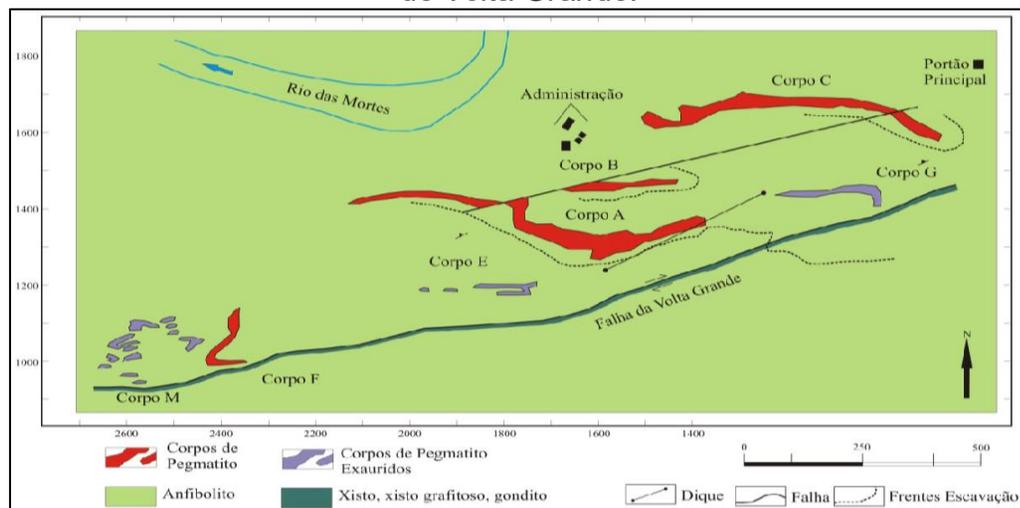
Fonte: Autor, 2021.

Segundo Paes *et al.* (2016), os corpos de pegmatito de Volta Grande, são ricos em espodumênio.

Macroscopicamente, o corpo A possui granulação grossa, cor branca a cinza claro e mineralogia composta basicamente de quartzo, microclina, plagioclásio, espodumênio, zinnwaldita e, subordinadamente cristais de cassiterita, columbita-tantalita e minerais do grupo da microlita (ASSUMPÇÃO, 2015).

Os pegmatitos de Volta Grande são do tipo “albita e espodumênio” de Cerny (1991). Eles apresentam um zoneamento incomum, não sendo possível identificar todas as zonas definidas por Cameron (1949). As possíveis zonas são as seguintes, comumente do exterior para o interior (sendo as duas primeiras nas encaixantes), zona da parede, zona da borda, zona do albitito, zona do K-feldspato, zona do pegmatito granular e zona do espodumênio (ASSUMPÇÃO, 2015, p.31)

Figura 2 - Mapa litoestrutural dos principais corpos pegmatíticos no contexto da Mina de Volta Grande.



Fonte: Acervo AMG-Brasil, 2021.

Sendo o espodumênio o mineral de minério explorado para a concentração de lítio, serão destacadas algumas características deste elemento químico.

O lítio é o mais leve dos metais, apresentando número atômico 3, massa atômica de 6,939 e com abundância na crosta terrestre de 12 ppm (ALECRIM, 1982). Constitui o único elemento químico que teve um brasileiro envolvido em sua descoberta: José Bonifácio de Andrada e Silva. Conhecido como o “Patriarca da Independência”, foi mineralogista, estadista e poeta, trabalhando ainda como ministro de D. Pedro I e tutor

de D. Pedro II até atingir sua maioridade.

À medida em que as propriedades do metal lítio e de seus subprodutos foram sendo descobertas, a busca pela produção desse metal se intensificou com o passar dos anos, influenciando sua exploração, beneficiamento e transformação. É um elemento de grande importância nas indústrias de cerâmica e vidro, e de interesse cada vez maior na produção de baterias mais compactas.

Os principais compostos derivados do lítio, utilizados na indústria, são o carbonato de lítio (Li_2CO_3), o hidróxido de lítio (LiOH) e o butil-lítio ($\text{C}_4\text{H}_9\text{Li}$). O carbonato de lítio é principalmente utilizado na produção de alumínio e na indústria de vidros e cerâmicas. Já o hidróxido é usado na produção de baterias de íon-Li e graxas lubrificantes. O butil-lítio tem sua aplicação voltada para a área de farmacêuticos e agroquímicos (Braga, França, 2013). Atualmente, a produção destes compostos pode ser proveniente de salmouras, pegmatitos litiníferos, argilas hectoríticas e água do mar. A nível mundial, os compostos litiníferos são normalmente obtidos a partir de salmouras (59%) como o Salar de Atacama, o Salar Del Hombre-Muerto e alguns desertos na China. A produção de compostos litiníferos a partir de pegmatitos concentra-se principalmente na Austrália (MORENO, 2013).

O trabalho justifica-se pela carência de estudos de caracterização do minério de lítio na mina de Volta Grande, e pela necessidade de entender quais são os minerais portadores de lítio presente, de forma que os resultados encontrados neste estudo possam ser utilizados pelos setores de planejamento de lavra e processos.

1.1. Localização

A mina em estudo (Figura 3) é operada pela AMG Brasil, titular do direito de lavra, e está localizada em Nazareno, município brasileiro no sul do estado de Minas Gerais, distante cerca de 240 km da capital mineira, Belo Horizonte.

O acesso à área, a partir de Belo Horizonte, é feito através da Rodovia Fernão Dias (BR-381), que liga as capitais de São Paulo e Minas Gerais. Próximo a Santo Antônio do Amparo deve-se entrar na saída 648 em direção a Bom Sucesso/Ibituruna e

seguir na MG-332 até o Nazareno. Partindo de Nazareno chega-se à mina através de uma estrada não pavimentada, com uma distância de aproximadamente 19 km.

Figura 3 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Do autor, 2021.

2. OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo geral realizar a caracterização químico-mineralógica de amostras da zona do espodumênio do pegmatito de Volta Grande, na região de Nazareno, com ênfase nos minerais portadores de lítio. Essa caracterização poderá servir como fonte de informação para o planejamento e sequenciamento de lavra, além de auxiliar a previsão de qualidade do material que alimentará a usina de beneficiamento de pré-concentrado de espodumênio.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Panorama Geral

Estima-se que a Argentina, a Bolívia e o Chile detenham juntos 60% dos recursos e reservas minerais existentes em salares situados numa região conhecida como Platô de Puna ou Triângulo do lítio: Chile, no salar de Atacama, Bolívia, no salar Uyuni e

Argentina, nos salares Salinas Grande, Olaroz-Cauchari, De Hombre Muerto e de Rincon (KORINEK; KIM, 2011; MAZUMDARU, 2017; BRAGA, 2018).

Embora o lítio ocorra em diferentes minerais, as principais fontes de exploração comercial são o espodumênio e a petalita (GRUBER *et al.*, 2011), os quais ocorrem nos pegmatitos graníticos, em estágio primário, tanto no Brasil como em outros depósitos da África e dos Estados Unidos. Em geral, esses dois minerais excluem-se na natureza: o primeiro, mais denso, aparece a maiores temperaturas e pressões, enquanto o segundo ocorre em sistemas formados a maiores temperaturas, porém, sob pressões menores (MESHRAM; PANDEY; MANKHAND, 2014). No cenário nacional, as principais fontes de lítio estão distribuídas nos Estados de Minas Gerais, Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, geralmente associados a pegmatitos e rochas máficas (BRAGA; FRANÇA, 2011). Minas Gerais possui reservas de espodumênio, ambligonita, lepidolita e petalita, localizadas nas regiões do vale do Rio Jequitinhonha e Campo das Vertentes. As reservas localizadas no Ceará são de ambligonita, no município de Solonópole e de lepidolita no município de Quixeramobim. No Rio Grande do Norte e na Paraíba, o lítio é encontrado associado à ambligonita e micas, localizadas na província pegmatítica da Borborema (CORNEJO; BARTORELLI, 2010).

Entretanto, nem só a partir das salinas extrai-se o lítio, visto que vários países ibero-americanos (Brasil e Portugal) possuem reservas e minas desse minério a partir de pegmatitos (MARTIN *et al.*, 2017). Nesse processo, um rápido avanço e uma recuperação consistente na indústria de lítio foram confirmados entre 2013 e 2018, uma vez que as tecnologias de bateria de íon Li, consumidas em uma série de usos finais, impulsionaram o crescimento da demanda, por meio de novas operações que fornecem suprimentos adicionais de matéria-prima. Em 2017, as baterias recarregáveis representaram mais de 43% da demanda total de lítio (LITHIUM, 2016).

Os pegmatitos contribuem com 26% dos recursos globais, conhecidos de lítio, a maior parte advinda do espodumênio (GRUBER *et al.*, 2011). As principais fontes de lítio são depósitos evaporíticos oriundos de salmouras, representando cerca de 69% dos recursos globais de lítio, com a produção concentrada em minas continentais da América do Sul (Chile, Argentina e Bolívia) devido aos baixos custos de exploração, em comparação com rochas pegmatíticas (PUEYI; CHONG; AYORA, 2017).

O consumo de lítio no Brasil, há muitos anos, ocorre primordialmente sob as formas de concentrado mineral e de compostos de lítio. Os concentrados, usualmente constituídos por espodumênio, lepidolita e petalita em diferentes proporções, passam por processos de beneficiamento simples como moagem e calcinação, visando preparação para as indústrias de vidro, esmaltes, cerâmicas e fritas (BRAGA; FRANÇA, 2011).

Segundo Warner (2015), o lítio pode ser comercializado e utilizado sob três formas básicas: como minério/concentrado, como metal ou na forma de composto químico, (Tabela 1).

Tabela 1 – Aplicações das três formas comerciais do lítio.

Fonte	Usos
Minérios / Concentrado	Amblygonita Compostos químicos, esmaltes;
	Espodumênio Cerâmica, vidros, compostos químicos;
	Lepidolita Vidros, cerâmica;
	Petalita Cerâmica, polidores, esmaltes, vidros;
Metal	Desoxidação, desgaseificação, ligas, compostos orgânicos, borracha, suplementos de vitaminas e minerais, energia nuclear, baterias;
Químicos	Brometo Absorção de CO ₂ , refrigeração;
	Butil-Lítio Polimerização, produtos farmacêuticos, síntese orgânica;
	Carbonato Cerâmica, compostos químicos, fundentes, produtos farmacêuticos, cubas de eletrólise de Al;
	Cloreto Lítio metálico, fundente, fibras sintéticas, traçadores, desumidificação;
	Fluoreto Porcelanas, esmaltes, polidores, soldas de elevada resistência, ótica;
	Hidróxido Graxas, sais de Li, absorção de CO ₂ .

Fonte: Warner, 2015.

3.1.1. Pegmatitos

De acordo com London (2008), pegmatitos são rochas compostas por minerais de granulometria grosseira (da ordem de centímetros até metros). Mais frequentemente originados de magmas graníticos, mas podem ser encontrados associados a outros tipos de rochas, tais como carbonáticas, máficas, ultramáficas ou sieníticas. O processo mais relevante é a cristalização de magmas graníticos residuais enriquecidos em fundentes, como por exemplo H₂O, B, F ou P. Outras características típicas são a heterogeneidade da granulação, a variação composicional ao longo do corpo (bordas e núcleo) e a abundância de cristais com hábitos esquelético, gráfico ou fortemente unidirecional (SIMMONS, 2007; LONDON, 2008).

Tais corpos podem ocorrer sob formas de lentes, diques e veios contínuos e descontínuos (CAMERON *et al.*, 1949).

Ocorrências de pegmatitos graníticos são relativamente comuns em todo o mundo, porém, estima-se que aproximadamente 0,1% dessas ocorrências apresenta algum enriquecimento em metais raros, o que representa um grande desafio na exploração de lítio nesse tipo de depósito para responder às demandas futuras (LAZNICKA, 2006). Estima-se que ¼ da produção mundial de lítio esteja associada a pegmatitos (NAUMOV; NAUMOVA, 2010).

Do ponto de vista composicional, os pegmatitos graníticos contêm K-feldspato, plagioclásio, quartzo, muscovita e biotita como os componentes principais, e turmalina, granada, apatita, entre outros como minerais acessórios. Uma variedade de elementos acessórios como lítio, berílio, tântalo, estanho e o céσιο podem ocorrer ou não em concentrações economicamente significativas (LUZ, 2003).

Os pegmatitos podem ser classificados em dois tipos conforme a mineralização (CERNY; ERCIT, 2005). LCT (contendo minerais de lítio, céσιο e tântalo) ou NYF (contendo minerais de nióbio, ítrio e flúor).

Embora o lítio ocorra em diferentes espécies minerais, o espodumênio é notadamente o mineral de lítio mais importante em depósitos pegmatíticos. Outros minerais de lítio como ambligonita, petalita, montebrasita e lepidolita raramente se caracterizam como fontes comerciais de lítio (KESLER *et al.*, 2012).

Os três maiores depósitos de lítio em pegmatitos do mundo se encontram nos Estados Unidos da América, na República Democrática do Congo e na Austrália. Nos Estados Unidos, o depósito pegmatítico está localizado no distrito de Kings Mountain, na Carolina do Norte, e sua identificação ocorreu ainda no início do século XX. A composição média modal desses pegmatitos apresenta 20% de espodumênio, 32% de quartzo, 41% de feldspato e 6% de muscovita. Cerca de 50 outros diferentes minerais representam apenas 1% da composição média desses pegmatitos, incluindo alguns fosfatos raros (KESLER *et al.*, 2012).

Na República Democrática do Congo, acredita-se que o depósito pegmatítico localizado na cidade de Manono apresente uma reserva de mais duas toneladas de lítio. A dimensão desse depósito varia de aproximadamente 5 quilômetros de comprimento por até 400 metros de largura com teores de espodumênio na ordem de 10 a 25% (EVANS, 2014).

Atualmente, a maior mina de extração de lítio em operação no mundo se encontra na cidade de Greenbushes, no Oeste da Austrália. Dados de 2012 apontam para um volume médio de 0,6 milhão de toneladas de lítio (INGHAM *et al.*, 2011). Em geral, o espodumênio constitui cerca de 26% dessas rochas, podendo chegar a 50% em algumas zonas mais enriquecidas no minério.

Segundo a CPRM (2017), o Brasil detém 0,33% das reservas mundiais de lítio, que estão contidos em pegmatitos LCT em exploração nos estados de Minas Gerais, Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia, Rio de Janeiro e Tocantins, por meio de minas, garimpos e ocorrências minerais.

No Brasil, as reservas de lítio exploradas em depósitos pegmatíticos estão localizadas nos municípios de Araçuaí, Itinga e Nazareno.

3.1.2. Minerais de Lítio

O lítio obtido em pegmatitos economicamente explotáveis é proveniente principalmente dos minerais amblygonita, espodumênio, lepidolita e petalita (Tabela 2).

Segundo Ribeiro (1984), o lítio participa da composição de diferentes minerais, mas somente o espodumênio, a lepidolita, petalita e amblygonita são utilizados como

fontes comerciais de lítio, além das salmouras. Os outros minerais são de pouco interesse devido a sua escassez.

Tabela 2 - Principais minerais de lítio em pegmatitos.

Minerais	Fórmula	% Li ₂ O (TEÓRICA-PRÁTICA)
Ambligonita	LiAl(PO ₄)(F, OH)	11,9 -5,0
Eucryptita	LiAl(SiO ₄)	11,9 - 5,0
Lepidolita	K(Li,Al ₃)(Si,Al) ₄ O ₁₀ (F,OH) ₂	3,3 a 7,8 - 3,0 a 4,0
Montebrasita	LiAlPO ₄ F	7, 0 -
Petalita	LiAl(Si ₄ O ₁₀)	4,9 - 3,0 a 4,5
Espodumênio	LiAl(Si ₂ O ₆)	8,0 - 1,5 a 7,0
Zinnwaldita	K(Li,Al,Fe) ₃ (Al,Si) ₄ O ₁₀ (F,OH) ₂	5,6 - 2,0 a 5,0

Fonte: Adaptado de Roskill (2002, apud Braga; Sampaio 2008).

A composição mineralógica dos pegmatitos é comumente granítica, que apresenta ocorrências de elementos como Li, Be, B, F, P, Sn, Ta, Nb (MARTIN & DE VITTO, 2005).

Segundo Santos *et al.* (2020) de acordo com os dados da International Mineralogical Association, atualmente, existem mais de 100 minerais cuja composição química reconhecidamente apresenta o lítio como elemento químico. Entretanto, sabe-se que a viabilidade econômica de minerais de lítio à indústria está restrita principalmente ao espodumênio e à petalita.

3.2. Pegmatito de Volta Grande

Assumpção (2015) descreve que o pegmatito da mina de Volta Grande apresenta uma distribuição sistemática e repetitiva dos seus minerais e textura, formando zonas contínuas distribuídas de topo para base com leve descontinuidade lateral.

De acordo Cerny (1991) os pegmatitos de Volta Grande apresentam seis zonas da borda para o centro: Zona da parede, zona da borda (Biotitito), zona do albita, zona do K-feldspato, zona do pegmatito Granular e zona do espodumênio.

3.2.1. Zona da Parede

Esta zona de coloração cinza esverdeada a verde escura é constituída essencialmente por um anfibolito mestassomatizado de granulação muito fina (0,06 mm a 0,9 mm). Trata-se de uma zona de contato do anfibolito com pegmatito caracterizado pela presença de holmquistita.

Figura 4 - Anfibolito da Zona da Parede com presença de holmquistita fibrosa.



Fonte: Autor, 2021.

3.2.2. Zona da Borda

É uma zona de pouca espessura composta basicamente de biotita (30 a 50%) associada a auréola metassomática. É comum a ocorrência de zinnwaldita, quartzo, epidoto e fluorita. A rocha, homogênea, exibe textura nematoblástica e lepidoblástica; com granulação que varia de muita fina a média (de $\leq 0,01$ mm até 3,50 mm).

Figura 5 - Biotitito da Zona de Borda.



Fonte: Autor, 2021.

3.2.3. Zona do Albita

Esta zona é essencialmente composta por bolsões de albitito com forma circular e irregular, frequentemente envoltos por mica. A coloração é branca ou levemente cinza, de granulação fina e textura aplítica, com cristais de dimensões variando desde alguns centímetros (3 a 5 cm) a alguns metros (15 metros).

Figura 6 - Bolsão de Albita envolto por mica.



Fonte: Autor, 2021.

3.2.4. Zona do K-Feldspato

Zona de ocorrência de bolsões ricos em K-feldspato de coloração cinza, composta principalmente por grandes cristais de microclina. É uma rocha cinza claro de granulação média à grossa composta de cristais de espodumênio maiores que 1 centímetro, albita, quartzo, zinnwaldita, muscovita e granada. Estes bolsões geralmente possuem dimensões métricas. É comum traços de minerais do grupo microlita, cassiterita e columbita-tantalita.

Figura 7 - Bolsões de Microclina decimétrica apresentando pertitas.



Fonte: Autor, 2021.

3.2.5. Zona do Pegmatito Granular

A zona do pegmatito granular é a zona de maior volume de todo o pegmatito. Nesta zona o pegmatito se mostra aproximadamente equigranular com textura predominantemente granítica, composta por quartzo, K-feldspato, espodumênio com mais de 2 centímetros, albita, zinnwaldita, muscovita e granada. É comum observar traços de minerais do grupo microlita, cassiterita e columbita-tantalita.

Figura 8 - Zona do Pegmatito Granular com pequenos cristais de espodumênio.



Fonte: Autor, 2021.

3.2.6. Zona do Espodumênio

Esta zona mostra uma textura pegmatítica gigante com cristais de espodumênio de até 1,0 metro em matriz de quartzo, k-feldspato, albita, zinnwaldita, muscovita e granada, é comum nesta zona a recorrência de traços de minerais do grupo microlita, cassiterita e columbita-tantalita.

Esta zona ocorre preferencialmente no núcleo do corpo pegmatítico, porém são descritas ocorrências desta zona próxima à zona de contato com o anfibolito, nas Zonas da Parede e Borda. Microscopicamente a rocha exibe uma textura granular ainda preservada sendo que a trama apresenta feições de recristalização. A rocha é homogênea e de granulação variando de muito fina até grossa (dimensão dos cristais de $\leq 0,01$ mm até $> 1,00$ cm).

Figura 9 – Cristal de espodumênio com mais de 50 cm.



Fonte: Autor, 2021.

3.3. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

A caracterização de minérios é uma etapa fundamental para o aproveitamento de um recurso mineral de forma otimizada, pois fornece ao engenheiro os subsídios mineralógicos e texturais necessários ao correto dimensionamento da rota de processo, ou permite identificar, com precisão, ineficiências e perdas em processos existentes, possibilitando a otimização do rendimento global de uma planta. Neste caso, a caracterização mineralógica é melhor conhecida como mineralogia de processos (NEUMANN, R. SCHENEIDER, C. L. NETO, A. A. 2004. p.55).

Além de influenciar no rendimento global de uma planta de beneficiamento mineral, a caracterização química e mineralógica ajuda a direcionar quais áreas alvos da lavra. Com isso também, indicando os minerais alvos para a planta de beneficiamento tanto em características físicas quanto químicas assim podendo otimizar etapas e caminhos dentro de uma usina de tratamento de minério.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas deste trabalho foram desenvolvidas de formas sucessivas, permitindo que a interpretação dos dados obtidos ocorresse gradualmente. Pode-se enumerar as etapas desenvolvidas: 1) Estudo de levantamento base de dados em acervo na AMG-Brasil, 2) Locação dos furos de sondagem dentro da Mina de Volta Grande, 3) Seleção e envio de amostras da zona do espodumênio para laboratório para análises químicas e mineralógicas e 4) interpretação dos resultados de laboratório.

4.1. Levantamento de dados internos

Realizou-se uma análise dos dados internos, disponibilizados pela empresa AMG, (furos de sondagem diamantada rotativa com recuperação de testemunho e análises químicas) além da descrição dos furos de sonda selecionados para estudo.

Figura 10 – Imagem de satélite de localização dos furos de sondagem.



Fonte: Autor, 2021.

4.2. Localização dos furos de sondagem e seleção de amostras

A aquisição de dados para este trabalho foi conduzida de forma a representar o corpo de pegmatito da mina de Volta Grande, com ênfase nos minerais portadores de lítio.

Os trabalhos de campo foram desenvolvidos em duas etapas. Na primeira etapa foi realizado um levantamento para locar os furos de sondagem. Na segunda etapa ocorreu a seleção das amostras da zona do espodumênio e encaminhamento para análises químicas e mineralógicas.

Tabela 3 – Localização dos furos e amostras.

FURO	AMOSTRA	LOCALIZAÇÃO - DATUM: SAD 69, ZONA 23 S		
		X	Y	Z
DHVG0001	100	543127,26	7668103,47	912,28
DHVG0002	110	543182,20	7668105,60	901,74
DHVG0003	120	542938,60	7668078,22	943,83
	130			
	140			
DHVG0004	150	542913,96	7668210,28	910,99
	160			
DHVG0005	170	542553,66	7668013,09	883,83
	180			
DHVG0006	180	541550,42	7667556,95	873,63
DHVG0007	190	541909,10	7667573,79	913,25
DHVG0008	200	541944,16	7667681,25	935,24
DHVG0009	210	541467,76	7667461,20	867,56
DHVG0010	220	541833,19	7667513,58	921,81
DHVG0011	230	541766,78	7667716,51	945,48
DHVG0012	240	541725,47	7667514,79	925,78

Fonte: Autor, 2021.

4.3. Análise Mineralógica

Através da análise do banco de dados interno da AMG, foram selecionadas amostras pulverizadas com noventa e cinco por cento passante em 325 mesh, do arquivo interno, que representam a zona do espodumênio conforme descrição do zoneamento do pegmatito, cujo teores de óxido de lítio eram maiores que 0,9%, uma vez que este é o *cut off* da planta de beneficiamento de lítio da empresa. As amostras foram enviadas para laboratório para realização de descrição petrográfica, foram utilizadas trinta seções polidas que representam cada um dos doze furos selecionados, em microscópio óptico (luz transmitida e luz refletida), e análise de difração de raios X, com objetivo de classificar e reconhecer os minerais portadores de lítio.

4.3.1. Confecção de Lâmina Delgada Polida

A confecção de lâminas foi realizada pela empresa MOTTA DE LAFÕES GEOLOGIA. As lâminas delgadas polidas de grãos foram preparadas com amostras aproximadamente 30 g misturadas a uma resina sintética e seguido de desbastes até uma espessura de cerca de 30 μm .

Na preparação das lâminas delgadas polidas de grãos soltos foi realizado um fosqueamento da lâmina de vidro na politriz com abrasivo de 600 μm . Em seguida os grãos soltos foram misturados com resina, colados na lâmina de vidro para posterior nivelamento com lixas e abrasivos de granulometria decrescente. O material foi então rebaixado até cerca de 30 μm , sempre acompanhado de controle de qualidade ao microscópio óptico. O polimento final foi realizado em politriz.

4.3.2. Determinação Mineralógica em Área e Peso

Para os estudos microscópicos foi utilizado microscópio petrográfico modelo LEICA DM750P, com luz transmitida e refletida, e com software acoplado para a captura de imagens. A contagem (cerca de 500 cristais) e a classificação dos minerais transparentes e daqueles designados como opacos consistiram de varredura sistemática da preparação ao microscópio utilizando objetiva de 20x a ar e oculares de 10x. Esta varredura é realizada a partir de incrementos fixos nos eixos X e Y da platina acoplada ao microscópio. Outra varredura utilizando objetiva de 50x a óleo e oculares de 10x também foi realizada visando a caracterização dos minerais opacos.

Para o cálculo de percentagem em peso utilizou-se a densidade média de cada mineral presente da amostra disponível no site: www.webmineral.com.

4.3.3. Determinação da Porcentagem dos Óxidos e Elementos a Partir da Mineralogia

Os teores dos óxidos e dos elementos foram determinados por cálculo estequiométrico a partir da percentagem em peso dos minerais presentes na amostra e

de suas fórmulas teóricas. Usualmente adota-se a fórmula teórica de minerais disponível no site www.webmineral.com.

4.3.4. Estudos por Difração de Raios-X

As amostras enviadas para os estudos por Difração de Raio-X, se encontram com granulometria de 90% abaixo de 320 mesh, as mesmas foram inseridas diretamente no porta-amostras do equipamento uma vez que apresentavam características granulométricas adequadas para a realização das análises.

A técnica de análise, semiquantitativa, envolveu difratometria de Raio-X pelo método do pó utilizando-se difratômetro de fabricação Rigaku, modelo DMAX ÚLTIMA automático, com goniômetro θ - θ e tubo de raios-X de cobre, nas seguintes condições de operação: faixa de 2θ (4 a 80°), velocidade do goniômetro ($1^\circ 2 \theta/\text{min}$), intensidade de corrente, 30mA) e tensão (40KV).

A identificação dos minerais foi obtida por comparação do difratograma de Raios-X das amostras com o banco de dados da ICDD - *International Center for Diffraction Data / Joint Committee on Powder Diffraction Standards* – JCPDS (Sets 01 -58: MDI; Jade 9; 2008).

Vale mencionar que minerais com percentuais modais em peso inferiores a 5% e identificados na microscopia óptica nem sempre são detectados nos estudos de DRX.

4.4. Análise Química

As análises foram realizadas no laboratório da SGS Geosol (Brasil), o procedimento utilizado foi a leitura por ICP-OES/MS.

Foi feita determinação por digestão multiácida (20 mL) - 0,25 g de amostra - ICP OES e posteriormente colocada no aparelho de leitura.

4.5. Tratamento dos Dados

Foram observados os teores de óxido de lítio das amostras dos furos de sondagem rotativa diamantada, e selecionados as amostras na qual os resultados fosse acima de 0,90% de Li_2O e que estivesse descrita na zona do espodumênio, comparando com o próprio universo amostral, e também com os pegmatitos litiníferos da Mina da Cachoeira que possuem ótima qualidade com teor de 1,6 de Li_2O (ALVARENGA, 2019).

Esta interpretação teve como alvo os minerais de lítio, seus minerais portadores, seus teores de óxidos e sua influência mineralógica em área e peso. Com o intuito de compreender como os minerais presentes no pegmatito de volta grande se comportam, tanto em suas características petrográficas quanto físico-químicas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objetivo da caracterização é compreender o corpo de pegmatito da Mina de Volta Grande, através dos resultados obtidos das amostras descritas da zona do espodumênio, buscando uma caracterização voltada aos portadores de lítio a exemplo de espodumênio, holmsquitita, zinnwaldita, lepidolita, petalita e ambligonita, já que, estes são o alvo para a produção.

Nas amostras estudadas, os minerais modais compondo a assembleia quartzo-feldspato-muscovita-espodumênio são típicos de pegmatitos graníticos mineralizados, particularmente devido à granulação grossa e de minerais acessórios como tantalita e cassiterita, corroborando com Assumpção (2015). Particularmente na mina de Volta Grande os cristais de quartzo têm textura granoblástica, carecem de indícios de deformação viscoplástica e formam simplectitos com feldspato (mirmequita) e espodumênio. O feldspato tem geminações magmáticas como carlsbad e polissintética, e não exhibe sinais de alteração. Conforme figura 20, muscovita e espodumênio formam macrocristais com clivagens perfeitas que contêm inclusões de minerais opacos ou sericita. Muscovita localmente apresenta *kink bands* e extinção ondulante como produto da cominuição, assim como o fraturamento transversal à elongação do espodumênio. As descrições petrográficas das amostras estão descritas nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Descrições Petrográficas Zona do Espodumênio das Figuras 11 a 25.

Descrições Petrográficas		
Figura	Amostra	Descrição
11	0003 120	Microclina com geminação tipo Tartan, cristais de albita com geminação polissintética e livres de sericitização, muscovita euédrica sem inclusões e intercrescida com quartzo.
12	0003 120	Cristais de quartzo sem extinção ondulante ou texturas de deformação, agregados a muscovita.
13	0003 130	Macrocrístais de muscovita com inclusões de quartzo e intercrescido com albita.
14	0003 130	Grãos finos de tantalita com reflexões internas vermelhas ao redor de inclusões, em fraturas e borads, intercrescidos com cassiterita
15	0001 100	Espodumênio de hábito prismático e pegmatítico, com clivagens prismáticas preenchidas por minerais opacos, e intercrescido com muscovita
16	0001 100	Espodumênio ocorre como prismas curtos com inclusões de minerais opacos ao longo de clivagens e textura simplectítica com quartzo
17	0002 110	Espodumênio com intercrescimento de muscovita que preenche fraturas dando indicações de ser secundária
18	0002 110	Grãos finos e anédricos de microlita intercrescida com tantalita.
19	0004 140	Cristais subédrico de microlita com intenso fraturamento e inclusões de quartzo
20	0004 140	Macrocrístais de espodumênio com clivagens perfeitas preenchidas com minerais opacos, ricos em quartzo, e preenchidos com agregados de muscovita e albita em margens fraturadas
21	0004 150	Espodumênio límpido, com geminação polissintética e fraturamento transversal ao seu alongamento. Ocorre associado com um agregado fino de microclina com geminação Tartan, albita com macla Carlsbad e polissintética, e quartzo sem extinção ondulante.
22	0004 150	Grãos finos e anédricos de cassiterita intercrescida com tantalita.
23	0005 160	Cristais de espodumênio ricos em inclusões e clivagens perfeitas.
24	0005 160	Cristais de espodumênio, quartzo, e muscovita exibindo extinção ondulante como produto de deformação durante moagem.
25	0005 170	Cristais de espodumênio ricos em inclusões de quartzo e minerais opacos.

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 5 – Descrições Petrográficas Zona do Espodumênio das Figuras 26 a 40.

Descrições Petrográficas		
Figura	Amostra	Descrição
26	0005 170	Espodumênio rico em inclusões de minerais opacos, cristais de muscovita com sinais de microdobramento, e albita com geminação polissintética.
27	0011 230	Agregado fino a médio de espodumênio pobre em inclusões, quartzo com textura granoblástica, microclina com geminação Tartan preenchendo espaços intergranulares, e carbonatos
28	0011 230	Espodumênio intensamente fraturado com inclusões de muscovita e muscovita preenchendo fraturas.
29	0007 190	Cristal de espodumênio rico em inclusões de muscovita e de minerais opacos alongados em clivagens. Aspecto geral de alteração causado por inclusões finas
30	0007 190	Cristal de espodumênio intensamente fraturado com fraturas preenchidas por albita, muscovita e quartzo, e com textura poiquilítica com inclusões de quartzo e microclina.
31	0006 180	Espodumênio rico em inclusões de minerais opacos e sinais de preenchimento de clivagens com minerais secundários
32	0006 180	Cristais de espodumênio com alta densidade de inclusões finas e muscovitas com kink bands incipientes
33	0012 240	Macrocrystal de espodumênio pobre em inclusões de minerais opacos, com sinais de cominuição nas bordas onde forma agregados finos com muscovita e quartzo.
34	0012 240	Espodumênio rico em inclusões de muscovita e minerais opacos orientados segundo as clivagens
35	0008 200	Espodumênio com inclusões finas gerando aspecto de alteração.
36	0008 200	Espodumênio com pequena quantidade de inclusões de minerais opacos e clivagens pobremente desenvolvidas
37	0009 210	Espodumênio intercrescido com quartzo em proporções semelhantes formando pronunciada textura simplectítica e com muscovita finamente granulada, possivelmente recristalizada, em margens do grão
38	0009 210	Espodumênio com textura simplectítica com quartzo formada preferencialmente nas bordas, com inclusão albita e quartzo. Encontra-se agregado com muscovita exibindo extinção ondulante
39	0010 220	Espodumênio com textura simplectítica com quartzo, muscovita finamente granulada preenchendo fraturas indicando alteração, e albita sem geminação ocorrendo nas bordas dos grãos
40	0010 220	Grão de tantalita anédrica concrecionada com granada e cassiterita.

Fonte: Autor, 2021.

Analisando as micrografias, figura 11 a figura 40, podem ser visualizados cristais de espodumênio, que é o principal mineral portador de lítio da mina de Volta Grande, tantalita e cassiterita, que também são minerais de interesse econômico para o grupo AMG, corroborando Francesconi (1972).

Figura 11. Amostra 0003 120. Cristais de espodumênio (Spd), com exsoluções de minerais opacos (Mo), associados aos cristais de muscovita (Ms).

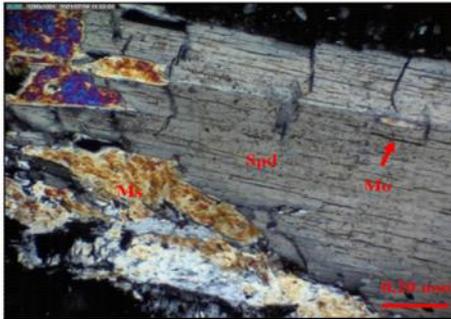


Figura 12. Amostra 0003 120. Cristal de espodumênio (Spd), com exsoluções de minerais opacos (Mo), associados aos cristais de quartzo (Qz).

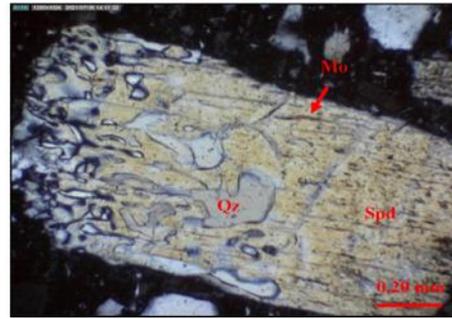


Figura 13. Amostra 0003 130. Cristais de espodumênio (Spd) associados aos cristais de muscovita (Ms).



Figura 14. Amostra 0003 130. Microlita (MI) associada à tantalita (Ta).

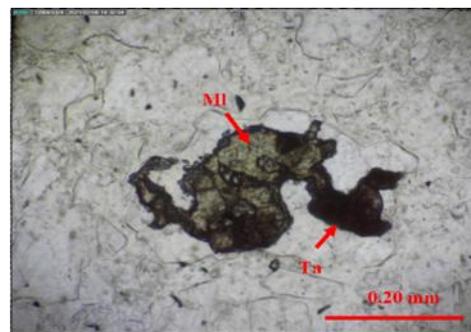


Figura 15. Amostra 0001 100. Cristais de microclina (Mc), quartzo (Qz), albita (Ab) e muscovita Ms.

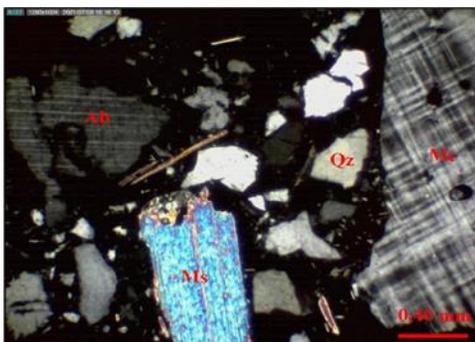


Figura 16. Amostra 0001 100. Cristais de quartzo (Qz) e muscovita (Ms).

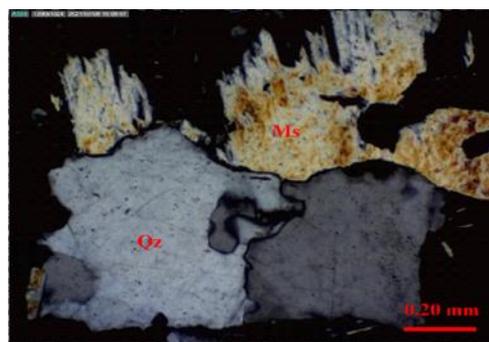


Figura 17. Amostra 0002 110. Cristais de muscovita (Ms), quartzo (Qz) e albita (Ab).

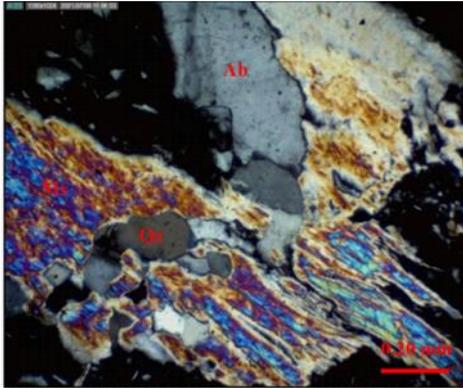


Figura 18. Amostra 0002 110. Associação tantalita (Ta) + cassiterita

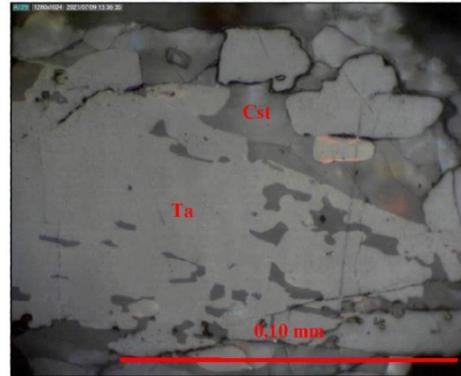


Figura 19. Amostra 0004 140. Detalhe de um cristal de microlita (área tracejada).

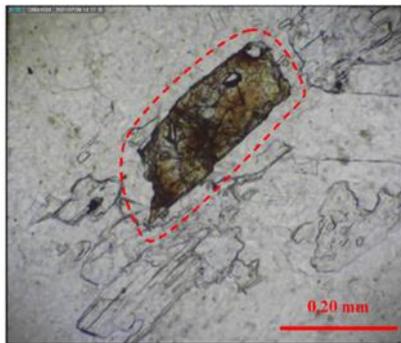


Figura 20. Amostra 0004 140. Cristais de espodumênio (Spd), com exsoluções de minerais opacos (Mo), associados aos cristais de quartzo (Qz), albita (Ab) e muscovita (Ms).

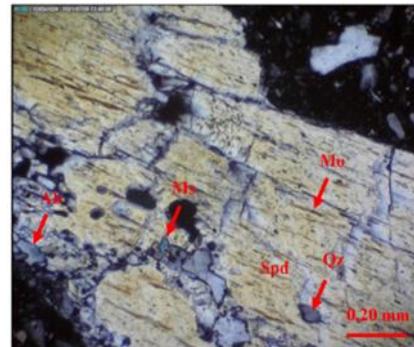


Figura 21. Amostra 0004 150. Cristal de espodumênio (Spd) associados aos cristais de microclina (Mc), albita (Ab) e quartzo (Qz).

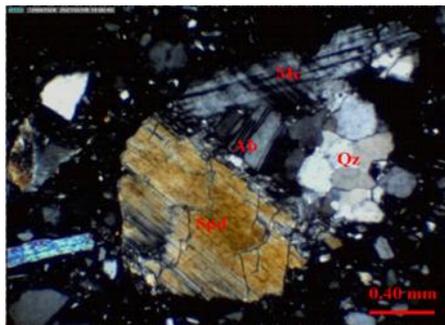


Figura 22. Amostra 0004 150. Cristais de cassiterita (Cst) associados aos cristais de tantalita (Ta).

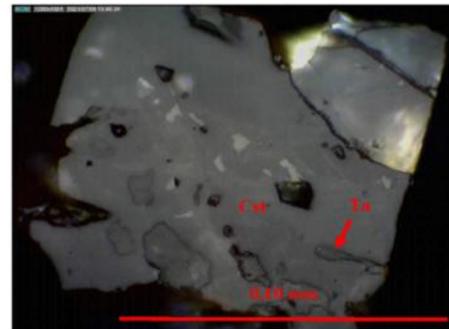


Figura 23. Amostra 0005 160. Cristais de espodumênio (Spd), quartzo (Qz) e muscovita (Ms).

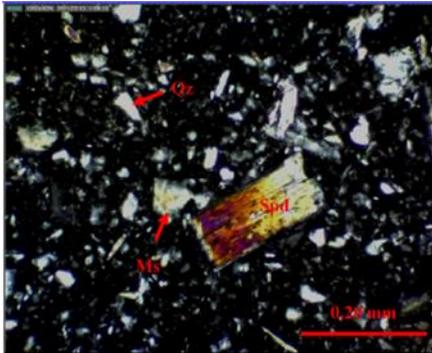


Figura 24. Amostra 0005 160. Cristais de espodumênio (Spd), quartzo (Qz) e muscovita (Ms).

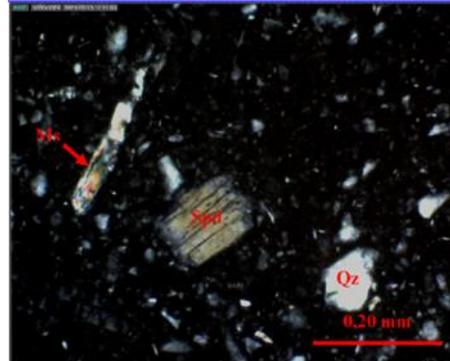


Figura 25. Amostra 0005 170. Cristal de espodumênio (Spd) com exsoluções de minerais opacos (Mo) e com inclusão de quartzo (Qz).

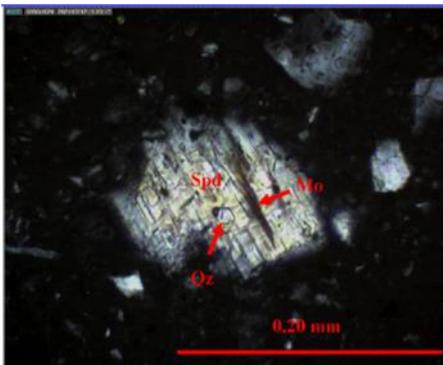


Figura 26. Amostra 0005 170. Cristais de espodumênio (Spd), com exsoluções de minerais opacos (Mo), quartzo (Qz), muscovita (Ms) e albita (Ab).

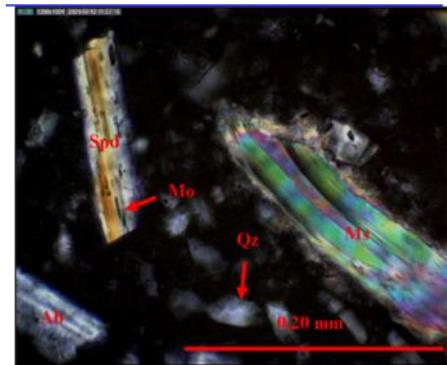


Figura 27. Amostra 0011 230. Cristal de espodumênio (Spd), com exsoluções de minerais opacos (Mo), quartzo (Qz) e muscovita (Ms).

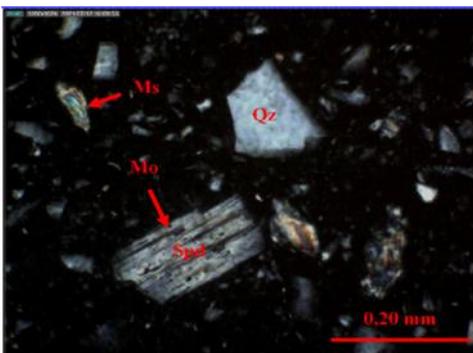


Figura 28. Amostra 0011 230 Cristal de espodumênio (Spd), quartzo (Qz), albita (Ab) e muscovita (Ms).

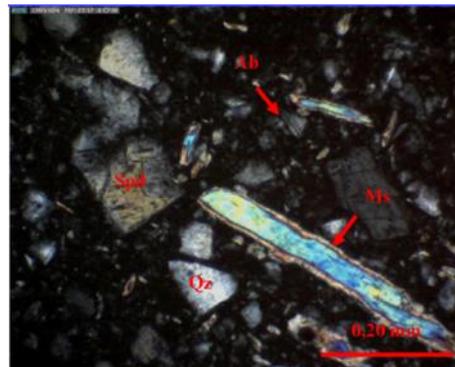


Figura 29. Amostra 0007 190. Cristal de espodumênio, com exsoluções de minerais opacos (Mo), incipientemente substituídos por muscovita (Ms).

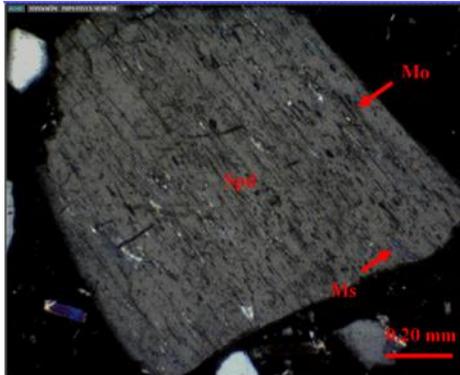


Figura 30. Amostra 0007 190. Cristais de espodumênio associados aos cristais de muscovita (Ms), quartzo (Qz), albita (Ab) e microclina (Mc).

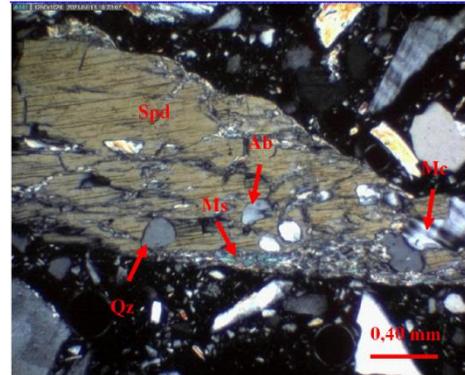


Figura 31. Amostra 0006 180. Cristais de espodumênio (Spd), muscovita (Ms) e quartzo (Qz).

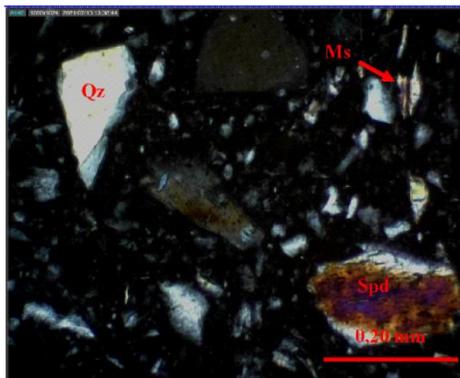


Figura 32. Amostra 0006 180. Cristais de espodumênio (Spd), com inclusões de minerais opacos (Mo), quartzo (Qz) e muscovita (Ms).

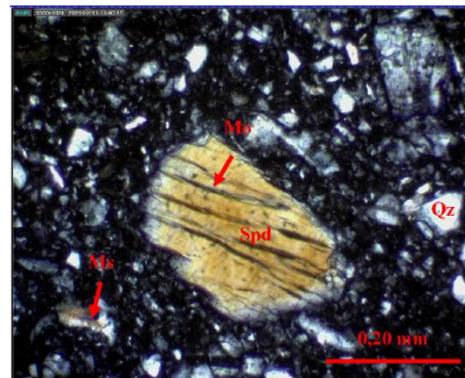


Figura 33. Amostra 0012 240. Cristais de espodumênio (Spd) associados aos cristais de quartzo (Qz) e muscovita (Ms).

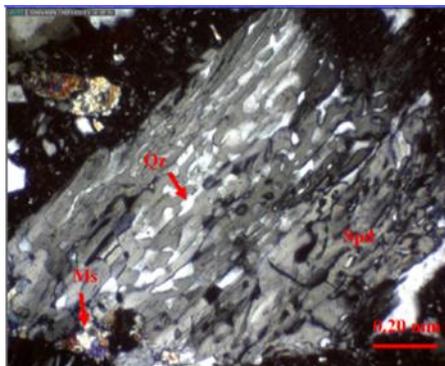


Figura 34. Amostra 0012 240. Cristais de espodumênio (Spd), com exsoluções de minerais opacos (Mo), associados aos cristais de quartzo (Qz), albita (Ab) e muscovita (Ms).

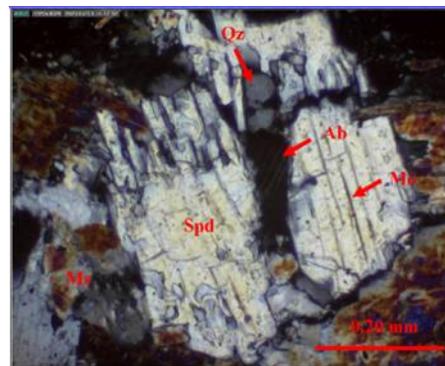


Figura 35. Amostra 0008 200. Cristais de espodumênio (Spd) associados aos cristais de microclina (Mc), carbonato (Cb), albita (Ab) e quartzo (Qz).

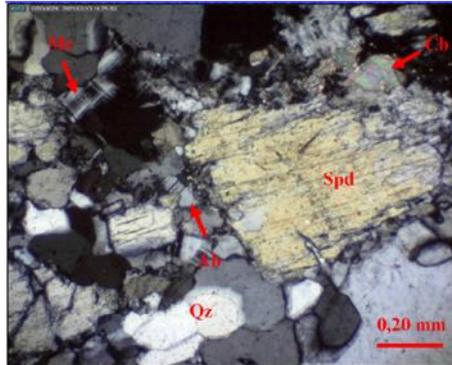


Figura 36. Amostra 0008 200. Cristais de espodumênio (Spd), com exsoluções de minerais opacos (Mo), associados aos cristais de muscovita (Ms), quartzo (Qz) e albita (Ab).

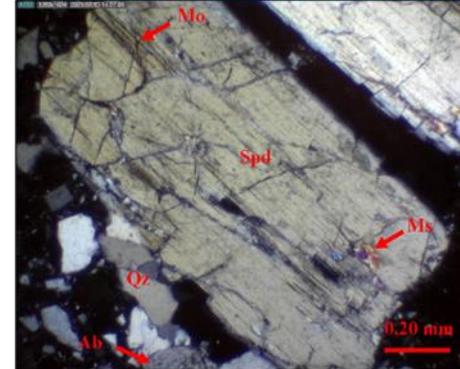


Figura 37. Amostra 0009 210. Associação tantalita (Ta) + cassiterita (Cst) + granada (Grt).

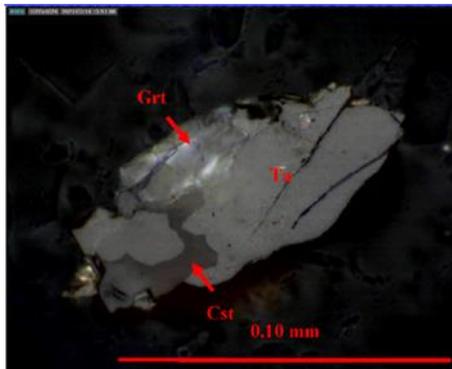


Figura 38. Amostra 0009 210. Cristal de espodumênio (Spd), incipientemente substituído por muscovita (Ms), associado aos cristais de quartzo (Qz) e de albita (Ab).

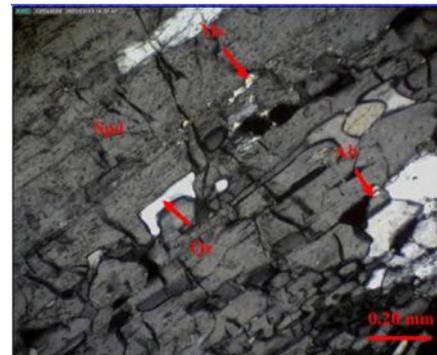


Figura 39. Amostra 0010 220. Cristal de espodumênio (Spd), com exsoluções de minerais opacos (Mo), associado aos cristais de muscovita (Ms) e quartzo (Qz).

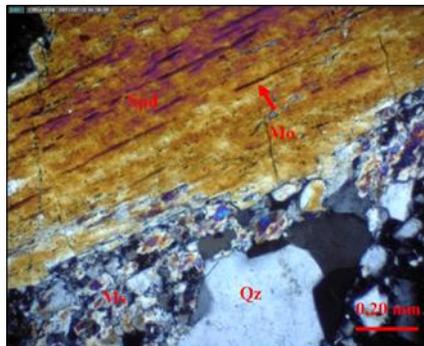
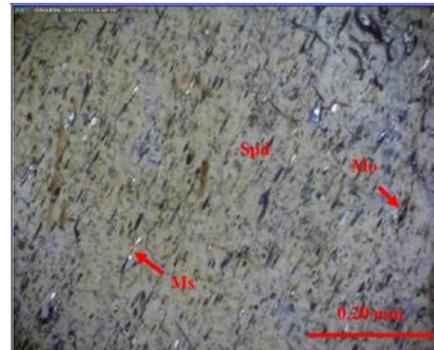


Figura 40. Amostra 0010 220. Detalhe de parte de um cristal de espodumênio (Spd) com exsoluções de minerais opacos (Mo) e incipientemente substituído por muscovita (Ms).



Os resultados de análise química dos principais óxidos presentes nas amostras, apresentam teores de óxido de lítio acima de 0,90% e com médias de 1,072% e com desvio padrão de 0,12%.

Os óxidos podem indicar que o mineral presente também é de espodumênio. Segundo Braga e Sampaio (2013) o espodumênio apresenta teores teóricos de Li_2O de 8%, entretanto tipicamente com teores entre 1,5% a 7%.

A produção industrial de compostos de lítio é obtida diretamente do mineral espodumênio, que é um aluminossilicato ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$) portador de lítio, com teor de 1 a 1,5% de Li_2O . (BRAGA e SAMPAIO,2013). Com isso podemos observar que 73,33% das amostras analisadas possuem teores que condizem com o escrito por Braga e Sampaio demonstrando resultados positivos quanto a presença do espodumênio em teores adequados ao beneficiamento. Os restantes 26,67% não possuem uma discrepância com os resultados também descritos por Braga e Sampaio, sendo a maior diferença 0,13% da amostra DHVG004 140. De maneira operacional e de acordo com planejamentos de lavra estes teores abaixo de 1% acabam sendo mitigados por teores maiores, e assim, regularizados para o que está de acordo com a literatura.

A tabela 8 demonstra separadamente cada amostra e apresentam as análises químicas dos óxidos de maior interesse e relevância. E que também demonstram quantitativamente cada amostra e o que foi discutido até o momento.

Tabela 6 – Resultados Análises Químicas.

FURO	AMOSTRA	Ta2O5_ppm	Nb2O5_ppm	SnO2_ppm	Li2O_%	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	TiO2	P2O5	Na2O	K2O	MnO
DHVG0001	100	6.06	12.00	18.00	0.96	48.20	16.50	14.70	5.81	7.78	1.75	0.25	0.47	2.26	0.16
DHVG0002	110	265.21	96.00	434.00	0.99	74.80	17.10	0.94	0.50	0.05	0.01	0.06	6.17	0.96	0.09
DHVG0003	120	148.95	27.00	181.00	1.14	76.80	14.50	0.86	0.17	0.05	0.01	0.11	1.68	5.01	0.06
DHVG0003	130	280.95	68.00	639.00	1.18	73.80	16.40	0.88	0.25	0.05	0.01	0.08	6.89	0.44	0.06
DHVG0004	140	280.95	53.00	572.00	0.87	75.20	16.50	1.27	0.29	0.05	0.01	0.05	6.00	0.96	0.05
DHVG0004	150	191.34	56.00	479.00	1.08	75.00	15.80	1.06	0.28	0.05	0.01	0.08	3.97	3.26	0.22
DHVG0005	160	245.83	97.00	445.00	0.92	73.50	16.30	1.39	0.70	0.14	0.01	0.19	4.92	1.17	0.18
DHVG0005	170	180.44	53.00	305.00	1.28	77.50	13.80	1.14	0.22	0.05	0.01	0.03	2.72	3.07	0.12
DHVG0006	180	445.65	44.00	353.00	1.32	73.40	17.00	0.64	0.32	0.05	0.01	0.07	5.36	1.02	0.13
DHVG0007	190	580.07	149.00	234.00	1.08	75.20	14.80	0.67	0.26	0.05	0.07	0.14	2.84	3.12	0.18
DHVG0008	200	122.31	11.00	89.00	1.04	76.10	13.30	0.83	0.18	0.05	0.03	0.06	1.82	4.65	0.05
DHVG0009	210	104.15	28.00	154.00	1.05	76.10	14.30	1.33	0.27	0.05	0.02	0.08	3.03	3.39	0.10
DHVG0010	220	282.16	38.00	216.00	1.07	74.10	15.60	0.89	0.49	0.05	0.02	0.12	4.86	1.44	0.16
DHVG0011	230	374.20	34.00	113.00	1.04	74.00	15.70	0.70	0.22	0.05	0.01	0.10	2.63	4.37	0.26
DHVG0012	240	204.66	19.00	241.00	1.06	71.60	16.40	0.98	1.28	0.17	0.04	0.56	4.12	1.75	0.23

Fonte: Autor, 2021.

A Tabela 7 contém os resultados da determinação mineralógica em % em área obtidos ao microscópio óptico e a Tabela 8, os resultados da determinação mineralógica em % em peso. A Tabela 9, contém resultados fornecidos por DRX mineral em porcentagem em peso.

Segundo Porphírio et al. (2010) as análises por área são mais estimadas do que medidas. Levando-se em conta que os resultados deste método estão sujeitos a imprecisões, pois nem todas as partículas da mesma fração têm as mesmas dimensões e os critérios de avaliação dos índices de liberação das partículas mistas são subjetivos e dependem da experiência do analista (PORPHÍRIO *et al.* 2010). Todavia o que demonstra na tabela 9 a presença de espodumênio em grande quantidade.

Já a tabela 8 de porcentagem em peso se baseia na área estimada e o provável volume de cada mineral.

As porcentagens finais de uma análise mineralógica semi-quantitativa, feita por contagens ao microscópio, são valores resultantes de uma quantificação volumétrica de cada mineral presente. Os resultados em porcentagens pesos são decorrentes do valor volumétrico multiplicado pela densidade teórica de cada mineral. As porcentagens em peso obtidas compatibilizadas para os valores percentuais máximos da fração permitem o cálculo final da composição mineralógica semi-quantitativa do minério (PORPHÍRIO *et al.* 2010).

É possível observar uma associação entre as tabelas 7 e 8, já que ambas têm relação com as análises químicas feitas e que indicam o óxido de lítio e que enfatizam uma grande fração do espodumênio na rocha de pegmatito. Corroborando desta maneira com todos os indicativos da presença do mineral.

Corroborando com Dana (1981) pode salientar que na natureza o mesmo mineral pode apresentar variações em sua composição química em função de processos de substituição de um íon por outro em sua estrutura cristalina e de acordo com o tamanho e cargas desses íons. As variações na composição química estão relacionadas às características físico-químicas de cada depósito

A tabela 9 apresenta os minerais detectados pelo DRX. A identificação de um mineral específico e de sua respectiva composição química pode ser determinada também através de outras técnicas instrumentais, tais como: difratometria de raios X

(DRX) (PORPHÍRIO *et al.* 2010). E assim como as tabelas mencionadas 7 e 8 a tabela 9 também traz o indicativo de que esperado com relação às outras análises anteriores a ela.

Tabela 7 - Mineralogia (% em área).

Mineralogia (% em área) ao Microscópio Óptico															
Minerais	0001 100	0002 110	0003 120	0003 130	0004 140	0004 150	0005 160	0005 170	0006 180	0007 190	0008 200	0009 210	0010 220	0011 230	0012 240
Espodumênio	10,00	12,73	1,00	0,88	11,12	15,48	11,90	15,95	13,00	13,70	12,80	10,73	12,30	9,86	9,76
Cassiterita	0,17	0,20	0,03	0,03	0,19	0,20	0,16	0,09	-	0,07	0,07	-	0,06	0,05	0,03
Tantalita	0,04	0,12	0,03	0,07	0,29	0,11	0,10	0,01	-	0,03	15,80	-	-	0,04	0,03
Quartzo	30,48	18,03	21,00	27,75	14,56	20,79	24,92	20,61	27,27	26,79	-	28,36	32,14	36,45	21,40
Microclina	22,15	0,18	23,30	16,34	0,92	26,60	0,38	2,00	20,16	12,31	0,80	0,18	27,26	16,53	0,59
Albita	22,00	50,03	34,26	32,17	47,17	20,34	40,14	36,15	20,10	26,40	53,18	30,50	22,15	21,49	47,40
Biotita	0,19	-	0,57	0,71	-	-	0,38	-	-	0,20	0,40	3,11	-	0,38	-
Clorita	0,77	0,18	0,19	0,18	0,37	1,15	1,15	0,19	-	0,20	0,80	0,18	0,19	11,84	1,17
Moscovita	10,82	13,95	16,07	15,87	20,13	10,11	17,27	20,00	18,00	18,76	14,20	21,94	2,69	0,38	18,26
Argilomineral	0,38	0,35	3,00	4,50	0,37	0,18	1,15	0,19	0,18	-	0,40	0,36	-	-	-
Clinozoisita	2,11	0,53	-	-	0,37	0,38	0,38	1,68	0,10	-	0,20	2,01	0,58	0,38	0,19
Apatita	0,01	1,77	0,01	-	-	0,01	0,01	0,19	0,01	0,02	0,02	0,36	-	0,19	0,01
Dolomita	0,02	0,18	0,03	0,35	2,59	2,10	-	-	-	0,20	0,20	0,36	1,15	0,94	0,05
Pirita	0,15	0,24	-	0,04	0,17	0,14	0,26	0,20	0,16	0,09	0,17	0,07	0,14	0,05	0,01
Pirrotita	0,01	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcopirita	0,06	0,28	-	-	0,02	0,01	-	-	0,02	-	-	-	-	0,01	-
Hematita	0,04	-	-	0,05	0,22	0,04	-	0,01	0,06	-	-	0,01	-	-	-
Rutilo/Anatásio	0,01	0,02	-	-	-	0,01	-	0,01	-	0,01	-	0,01	-	0,02	0,01
Goethita	0,32	0,48	0,51	0,63	0,41	0,34	0,45	0,60	0,74	0,25	0,72	0,21	0,42	0,35	0,08
Grafita	0,27	0,34	-	0,03	0,36	0,06	0,01	0,05	0,02	0,56	0,04	0,64	0,34	0,40	0,62
Microlita	-	0,35	-	-	0,74	0,96	-	-	-	-	-	-	0,20	0,38	-
Óxidos de Manganês	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ilmenita	-	-	-	0,04	-	0,01	-	0,02	-	0,01	-	0,05	-	0,02	-
Granada	-	-	-	0,36	-	0,96	1,15	0,37	0,18	0,40	-	0,55	-	0,05	0,39
Magnetita	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Actinolita	-	-	-	-	-	-	0,19	0,75	-	-	-	-	0,19	-	-
Edenita	-	-	-	-	-	-	-	0,56	-	-	0,20	-	-	-	-
Titanita	-	-	-	-	-	-	-	0,37	-	-	-	0,36	0,19	0,19	-
Zircão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-
Total	100,00														

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 8 - Mineralogia (% em peso).

Mineralogia (% em peso) ao Microscópio Óptico															
Minerais	0001 100	0002 110	0003 120	0003 130	0004 140	0004 150	0005 160	0005 170	0006 180	0007 190	0008 200	0009 210	0010 220	0011 230	0012 240
Espodumênio	11,72	14,65	1,20	1,05	12,73	17,74	13,71	18,21	15,15	15,92	14,91	12,35	14,50	11,55	11,45
Cassiterita	0,43	0,50	0,08	0,08	0,47	0,49	0,40	0,22	-	0,18	0,18	-	0,15	0,13	0,08
Tantalita	0,12	0,35	0,09	0,21	0,85	0,32	0,29	0,03	-	0,09	15,24	-	-	0,12	0,09
Quartzo	29,59	0,67	20,91	27,44	13,82	19,73	23,77	19,49	26,32	25,79	-	27,03	31,38	35,37	20,78
Microclina	20,77	17,18	22,41	15,61	0,84	24,38	0,35	1,83	18,80	11,45	0,74	0,17	25,72	15,49	0,55
Albita	21,11	0,17	33,73	31,45	44,22	19,08	37,85	33,80	19,18	25,12	50,72	28,71	21,39	20,62	45,51
Biotita	0,21	-	0,66	0,82	-	-	0,42	-	-	0,22	0,45	3,46	-	0,43	-
Clorita	0,75	47,13	0,19	0,18	0,35	1,09	1,10	0,18	-	0,19	0,77	0,17	0,19	-	1,14
Moscovita	11,18	0,17	17,03	16,70	20,31	10,21	17,53	20,13	18,49	19,22	14,58	22,25	2,80	12,23	18,87
Argilomineral	0,36	14,14	2,93	4,37	0,35	0,17	1,07	0,18	0,17	-	0,38	0,34	-	0,36	-
Ciinozoisita	2,58	0,33	-	-	0,44	0,45	0,46	2,00	0,12	-	0,24	2,41	0,71	0,46	0,23
Apatita	0,01	0,64	0,01	-	-	0,01	0,01	0,22	0,01	0,02	0,02	0,41	-	0,22	0,01
Dolomita	0,02	2,03	0,03	0,37	2,63	2,14	-	-	-	0,21	0,21	0,37	1,20	0,98	0,05
Pirita	0,28	0,18	-	0,08	0,30	0,25	0,47	0,36	0,29	0,16	0,31	0,13	0,26	0,09	0,02
Pirrotita	0,02	0,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcopirita	0,09	0,03	-	-	0,03	0,02	-	-	0,03	-	-	-	-	0,02	-
Hematita	0,08	-	-	0,10	0,42	0,08	-	0,02	0,12	-	-	0,02	-	-	-
Rutilo/Anatásio	0,02	0,42	-	-	-	0,01	-	0,01	-	0,02	-	0,02	-	0,03	0,02
Goethita	0,45	0,03	0,73	0,89	0,56	0,46	0,62	0,81	1,02	0,34	1,00	0,29	0,59	0,49	0,11
Grafita	0,21	0,66	-	0,02	0,28	0,05	0,01	0,04	0,02	0,44	0,03	0,50	0,27	0,32	0,49
Microlita	-	0,26	-	-	1,40	1,82	-	-	-	-	-	-	0,39	0,74	-
Óxidos de Manganês	-	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ilmenita	-	-	-	0,07	-	0,02	-	0,03	-	0,02	-	0,08	-	0,03	-
Granada	-	-	-	0,56	-	1,44	1,73	0,55	0,28	0,61	-	0,83	-	0,08	0,60
Magnetita	-	-	-	-	-	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Actinolita	-	-	-	-	-	-	0,21	0,81	-	-	0,22	-	0,21	-	-
Edenita	-	-	-	-	-	-	-	0,62	-	-	-	-	-	-	-
Titanita	-	-	-	-	-	-	-	0,46	-	-	-	0,44	0,24	0,24	-
Zircão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-
Total	100,00														

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 9 - Minerais Detectados nos Estudos de DRX (% em peso).

Minerais Detectados nos Estudos de DRX (% em peso)															
Minerais	0001 100	0002 110	0003 120	0003 130	0004 140	0004 150	0005 160	0005 170	0006 180	0007 190	0008 200	0009 210	0010 220	0011 230	0012 240
Espodumênio	9,72	10,49	1,08	-	9,96	13,45	9,15	14,28	11,30	12,92	13,99	12,65	9,58	7,75	7,89
Quartzo	25,38	-	18,15	27,39	12,63	17,39	24,78	21,78	26,14	28,96	16,84	27,84	34,51	37,52	20,88
Microclina	21,02	17,81	20,70	16,55	-	31,24	-	-	19,26	11,19	-	-	24,95	14,27	-
Albita	27,47	-	35,03	35,05	53,85	24,49	41,71	40,23	21,43	25,78	54,57	32,87	26,28	23,37	51,02
Moscovita	10,24	17,93	16,63	13,22	19,01	12,24	15,77	19,00	17,17	19,89	14,60	22,01	-	12,72	17,61
Clinoferrisilita	2,44	1,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silicato Hidratado de Alumínio e Lítio	3,73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Microlita	-	51,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Argilomineral	-	-	5,93	4,87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clinoferrisilita	-	-	2,49	2,92	1,71	1,19	2,67	1,67	3,40	1,26	-	-	-	-	-
Bustamita	-	-	-	-	-	-	3,58	-	-	-	-	-	-	-	-
Anortita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,78	-	-	-
Whitlockita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,85	-	-	-
Silicato de Lítio Sódio e Alumínio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,68	4,37	2,60
Mineral não identificado	-	-	-	-	2,85	-	2,34	3,02	1,30	-	-	-	-	-	-
Total	100,00	100,00	100,01	100,00	100,01	100,00	100,00	99,98	100,00						

Fonte: Autor, 2021.

A análise racional, relação entre análise mineralógica e os resultados de DRX, são coerentes. Vale mencionar que minerais com percentuais modais em peso inferiores ou próximos a 5% normalmente não são detectados nos estudos de DRX mineral.

A Tabela 10 contém um resumo dos principais minerais observados nas amostras estudadas ao microscópio óptico em percentagem em peso, bem como os minerais detectados nos estudos de DRX mineral. Alguns minerais de lítio foram detectados somente nos estudos de DRX mineral.

Tabela 10 - Principais minerais identificados nas amostras (% em peso).

Resumo dos Principais Minerais Identificados ao Microscópio Óptico (% em peso)															
Minerais	0001 100	0002 110	0003 120	0003 130	0004 140	0004 150	0005 160	0005 170	0006 180	0007 190	0008 200	0009 210	0010 220	0011 230	0012 240
Espodumênio	11.72	14.66	1.20	1.05	12.73	17.74	13.71	18.21	15.15	15.92	14.91	12.35	14.50	11.55	11.45
Cassiterita	0.43	0.50	0.08	0.08	0.47	0.49	0.40	0.22	-	0.18	0.18	-	0.15	0.13	0.08
Tantalita	0.12	0.35	0.09	0.21	0.85	0.32	0.29	0.03	-	0.09	-	-	-	0.12	0.09
Microlita	-	0.67	-	-	1.40	1.82	-	-	-	-	-	-	0.39	0.74	-
Quartzo	29.59	17.18	20.91	27.44	13.82	19.73	23.77	19.49	26.32	25.79	15.24	27.03	31.38	35.37	20.78
Microclina	20.77	0.17	22.41	15.61	0.84	24.38	0.35	1.83	18.80	11.45	0.74	0.17	25.72	15.50	0.55
Albita	21.11	47.13	33.73	31.45	44.22	19.08	37.85	33.80	19.18	25.12	50.72	28.74	21.39	20.62	45.51
Moscovita	11.18	14.14	17.03	16.70	20.31	10.21	17.53	20.13	18.49	19.22	14.58	22.25	2.80	12.23	18.87
Outros	5.08	5.21	4.55	7.46	5.36	6.23	6.10	6.29	2.06	2.23	3.63	9.46	3.67	3.74	2.67
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Amostras DHVG - Outros Minerais Identificados na DRX Mineral e Não Identificados na Microscopia Óptica (% em peso)															
Minerais	0001 100	0002 110	0003 120	0003 130	0004 140	0004 150	0005 160	0005 170	0006 180	0007 190	0008 200	0009 210	0010 220	0011 230	0012 240
Silicato Hidratado de Alumínio e Lítio	3.73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.36	2.60
Silicato de Lítio Sódio e Alumínio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.68	-	-
Clinoferrisilita	2.44	1.96	2.49	2.92	1.71	1.19	2.67	1.67	3.40	1.26	-	-	-	-	-
Busfamita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Anortita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.78	-	-	-
Whitlockita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.85	-	-	-
Mineral não identificado	-	-	-	-	2.85	-	2.34	3.02	1.30	-	-	-	-	-	-
	Percentuais modais de espodumênio são superiores a 10% e inferiores a 20%.														
	Ocorrências de cassiterita, tantalita e microlita.														
	Percentuais de microclina são inferiores a 1%.														
	Silicato hidratado de alumínio e lítio e um silicato de lítio, sódio e alumínio.														

Fonte: Autor, 2021.

O principal mineral de lítio é o espodumênio. Os percentuais modais de espodumênio são superiores a 10% e inferiores a 20%, conforme amostras salientadas em vermelho, na Tabela 10. Comparando com os três maiores depósitos de pegmatitos ricos em lítio no mundo, a composição média do espodumênio presente no pegmatito de Volta Grande, apresenta semelhança composicional com os mesmos.

Os três maiores depósitos de pegmatitos ricos em lítio do mundo se encontram nos Estados Unidos da América, na República Democrática do Congo e na Austrália. Nos Estados Unidos, o depósito pegmatítico está localizado no distrito de Kings Mountain, na Carolina do Norte e sua identificação ocorreu ainda no início do século XX. A composição média modal desses pegmatitos apresenta 20% de espodumênio, 32% de quartzo, 41% de feldspato e 6% de muscovita. Cerca de 50 outros diferentes minerais representam apenas 1% da composição média desses pegmatitos, incluindo alguns fosfatos raros (KESLER *et al.*, 2012) (KESLER *et al.*, 2012 apud SANTOS *et al.*, 2020).

No Brasil existem uma mina em operação com características semelhantes às amostras caracterizadas do pegmatito de Volta Grande. Segundo Romeiro (1998), o campo pegmatítico de Itinga os corpos da Mina da Cachoeira apresentam em sua mineralogia principal dos pegmatitos da mina uma constituição de albita e feldspato potássico (40-45%), quartzo (25%), espodumênio (20%) e muscovita (<10%).

A DRX caracterizou, nas amostras salientadas em verde na Tabela 10, um silicato hidratado de alumínio e lítio e um silicato de lítio, sódio e alumínio. Esses silicatos são sugestivos de substituição dos cristais de espodumênio.

Zinnwaldita, lepidolita, petalita, holmsquitita e ambligonita não ocorrem nas amostras estudadas.

Os principais minerais de ganga são feldspatos (albita + microclina), quartzo e muscovita. Na maioria das amostras, o feldspato dominante é a albita, que pode atingir percentual modal em peso superior a 50%, como é o caso da amostra 0008 200.

Em algumas amostras, salientadas em azul na tabela 10, os percentuais de microclina são inferiores a 1%.

O menor percentual modal em peso de muscovita é da amostra 0010 220 (2,80%).

Salientadas em amarelo na Tabela 10, são as ocorrências de cassiterita, tantalita e microlita ocorrem em algumas amostras.

As Tabelas 11 e 12 contêm os teores totais de Li_2O de cada amostra obtidos a partir da mineralogia e tendo como base a fórmula teórica de cada mineral, bem como os teores de Li_2O obtidos pelas análises de fluorescência de Raios-X.

Tabela 11 - Teores de Óxido de Lítio Calculados a partir da Determinação Mineralógica.

Amostra	Teor de Li_2O (%)	Amostra	Teor de Li_2O (%)
0001 100	0,94	0006 180	1,22
0002 110	1,18	0007 190	1,28
0003 120	0,10	0008 200	1,20
0003 130	0,08	0009 210	0,99
0004 140	1,02	0010 220	1,16
0004 150	1,42	0011 230	0,93
0005 160	1,10	0012 240	0,92
0005 170	1,46		

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 12 - Teores de Óxido de Lítio Calculados a partir da Análise de Fluorescência de Raio -X.

Amostra	Teor de Li_2O (%)	Amostra	Teor de Li_2O (%)
0001 100	1,07	0006 180	0,90
0002 110	0,84	0007 190	1,03
0003 120	0,09	0008 200	1,12
0003 130	0,04	0009 210	1,01
0004 140	0,79	0010 220	1,14
0004 150	1,07	0011 230	0,97
0005 160	0,73	0012 240	0,84
0005 170	1,14		

Fonte: Autor, 2021.

Os resultados apresentados nas Tabelas 11 e 12, corroboram com os dados apresentados por Hallak (2019), que o teor de óxido lítio para alimentar a usina de concentrado de espodumênio tem que ser 1%. Os valores gerados apresentam teores acima de 0,90%, exceto das amostras 120 e 130.

6. CONCLUSÕES

Com o tratamento dos dados obtidos na caracterização mineralógica e na DRX, podemos compreender que o principal mineral portador de lítio no pegmatito de Volta Grande é o espodumênio que compreende frações entre 10 a 20% da área e da massa das amostras analisadas.

Levando isso em consideração temos a confirmação de que as amostras analisadas são da zona do espodumênio conforme as descrições dos furos de sondagem, já que, não foram encontrados minerais como zinnwaldita, lepidolita, petalita, holmquistita e amblygonita que também são portadores de lítio. E assim indicando que houve uma possível mineralização do lítio na forma de espodumênio. A zona descrita evidencia a presença de lítio que é um elemento de interesse para a AMG-Brasil. Com isso, surge a hipótese de uma lavra seletiva da mina de Volta Grande, já que, é possível separar mineralogicamente as zonas do corpo mineral. Vale ressaltar que para esta abordagem no estilo de lavra é necessário um estudo com um número maior de amostras do corpo, para que todas as zonas presentes no mesmo sejam abordadas e assim, não haja estatísticas enviesadas com relação as amostras presentes na área de lavra.

Para fins de pesquisa, as amostras analisadas se restringem à zona do espodumênio e, deste modo, não fizeram uma demonstração de todas as zonas presentes no pegmatito e assim, precisarão de novos estudos que abrangem todas as zonas.

O pegmatito de Volta Grande que está presente na província pegmatítica de São João Del Rei representa somente uma de diversas porções dessa província e, portanto, não representa a mesma em sua totalidade. Para fins de conhecimento geológico da província por completo pode ser sugerido que trabalhos com o mesmo viés científico que este, sejam reproduzidos para uma caracterização global da província pegmatítica.

Através desse estudo houve uma iniciativa da realização da caracterização mineral não somente para estudos pontuais, mas também com o intuito da caracterização ser abordada desde do pegmatito in situ até a etapa de beneficiamento mineral.

O estudo em questão, não abrange todas as zonas do pegmatito de Volta Grande, entretanto inicia o processo de caracterização mineral no corpo, o que é um bom indicativo científico e também operacional.

REFERÊNCIAS

ALECRIM J. D. 1982. **Recursos Minerais do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, Metamig, 298 p.

AMG. Advanced Metallurgical Metalúrgica Group. **Projetos AMG na Cadeia do Lítio, Panorama Atual**, 2018. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/images/eventos/2018/iii-litio-brasil/apresentacoes/projeto-litio-amg-planta-concentracao-espodumenio.pdf>> Acesso em: 18 jan. 2022.

BRAGA, P. F. A.; FRANÇA, S. C. A. Tecnologias para produção de carbonato e hidróxido de lítio a partir de espodumênio e ambligonita. *In: MARTINS, L. M. P. et al. Valorização de Pegmatitos Litíferos*. [S. l.: s. n.], 2011. p. 55-61.

BRAGA, P. F. A.; FRANÇA, S. C. A. Tecnologias para produção de carbonato e hidróxido de lítio a partir de espodumênio e ambligonita. *In: MARTINS, L. M. P. et al. Valorização de Pegmatitos Litíferos*. Lisboa: DGEG, 2011. p. 55-61.

BRAGA, P. F. A.; FRANÇA, S. C. A. **Lítio: Mineral Estratégico**. Rio de Janeiro: CETEM, 2013. 1-43 p.

BRAGA, P. F. A.; FRANÇA, S. C. A.; SANTOS, R. L. C. **Panorama do lítio no Brasil**, Rio de Janeiro: CETEM, 2010. 237-246 p.

BRAGA, P. F. A.; SAMPAIO J.A . **Lítio**. Rio de Janeiro: CETEM, 2013. 1-43 p.

CAMERON, E. N. *et al.* **Internal Structure of Granitic Pegmatites**. Illinois: GeoScienceWorld, 1949.

CERNY P. 1991. Rare-element granitic pegmatites. Part 1: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. Part 2: Regional to global environments and petrogenesis. *Geoscience Canada*, **18**:49-81.

ČERNÝ, P.; ERCIT, S. T. The classification of granitic pegmatites revisited. **The Canadian mineralogist**, v. 43, n. 6, p. 2005–2026, 2005.

CORNEJO, C.; BARTORELLI, A. **Minerais e pedras preciosas do Brasil**. [S.l.]: Solaris Edições Culturais, 2010.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Disponível em:<https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/17648/1/evento_litio_brasil.pdf> Acesso em: 15/ de jan. 2022.

DANA, J. D. **Manual de mineralogia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1981. 642p.

EVANS, R. K. Lithium. *In*: GUNN, A. G. (ed.). **Critical Metals Handbook**. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd., 2014. Chapter 10.

GRUBER, P. W. *et al.* Global lithium availability: A constraint for electric vehicles?. **Journal of Industrial Ecology**, v. 15, n. 5, p. 760-775, 2011.

INGHAM, P. D. *et al.* Greenbushes lithium operations NI 43-101 Technical Report, **Behre Dolbear**, v. 100, 2011.

KESLER, S. E. *et al.* Global lithium resources: Relative importance of pegmatite, brine and other deposits. **Ore Geology Reviews**, v. 48, p. 55-69, 2012.

KORINEK, J.; KIM, J. Export restrictions on strategic raw materials and their impact on trade and global supply. **J. World Trade**, v. 45, n. 255, 2011.

LAZNICKA, P. **Giant Metallic Deposits**. Berlin: Springer, 2006.

LONDON, D. **Pegmatites**. [S.l.]: Mineralogical Association of Canada, 2008. 347 p. (The Canadian Mineralogist Special Publication, 10).

LUZ, A. B. **Pegmatitos do Nordeste: diagnóstico sobre o aproveitamento racional e integrado**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2003. 49 p.

MARTIN R.F., & De Vito C. 2005. The patterns of enrichment in felsic pegmatites ultimately depend on tectonic setting: *Canadian Mineralogist*. **43**:2027–2048.

MESHARAM, P.; PANDEY, B. D.; MANKHAND, T. R. Extraction of lithium from primary and secondary sources by pre-treatment, leaching and separation: A comprehensive review. **Hydrometallurgy**, v. 150, p. 192-208, 2014.

MORENO, L. (2013). **A strategic energy metal. Significant increase in demand head**. Euro Pacific Canada.

NAUMOV, A. V.; NAUMOVA, M. A. Modern state of the world lithium Market. **Russ. J. Non-ferrous Metals**, v. 51, p. 324–330, 2010.

PAES, V. J. C. *et al.* **Avaliação do potencial do lítio no Brasil: área do Médio Rio Jequitinhonha, Nordeste de Minas Gerais: texto explicativo e mapas**. [S. l.]: CRPM, 2016. 276p.

PIRES F.R.M. & PIRES H.L. 1992. Regional Zoning in the São João Del Rei Pegmatite District and Its Relation With The collisional Santa Rita Granite, Minas Gerais, Brazil. *In*: Congr. Bras. Geol., 37, São Paulo, *Boletim Resumos Expandidos*, 1:269-272.

PORPHÍRIO N.H. *et al.* **Caracterização Mineralógica de Minérios Parte I**. Comunicação Técnica elaborada para o Livro Tratamento de Minérios, 5ª Edição – Cap. 3(Parte I). Rio de Janeiro Agosto 2010 pág. 57–84.

PUEYO, J. J.; CHONG, G.; AYORA, C. Lithium saltworks of the Salar de Atacama: A model for MgSO₄-free ancient potash deposits. **Chemical Geology**, v. 466, p. 173-186, 2017.

RIBEIRO, G, F. **Diagnóstico sobre o lítio**: Situação brasileira. Rio de Janeiro: CNEN, 1984. 1-52 p

QUÉMÉNEUR J. & LAGACHE M. 1994. La holmquistite des pegmatites de Volta Grande près de São João del Rei, Minas Gerais, Brésil: caractéristiques chimiques et minéralogiques. *Geonomos*, **2(2):15-21**.

QUÉMÉNEUR J. J. G. 1987B. Petrography of the pegmatites from Rio das Mortes Valley, southeast Minas Gerais, Brazil. *Revista Brasileira Geociências*, **17(4):595-600**.

SANTOS et al **Valorização da Cadeia Produtiva do Lítio**: Alternativas sustentáveis para extração de lítio do espodumênio. Edufrn: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2020

SIMMONS S. 2007. Pegmatite genesis: Recent advances and areas for future research. Granitic Pegmatites: The state of the art, International Symposium, Porto, *Memórias*, **8:3-6**.

WARNER, J. T. **The handbook of lithium-ion battery pack design**: chemistry, components, types and terminology. [S.l.]: Elsevier, 2015.