

MÁRIO MARTINS RAMOS

MERCADO DE LÍTIO

Trabalho de Conclusão de Curso
(Bacharelado em Geologia)

UFRJ
Rio de Janeiro
2013



UFRJ

MÁRIO MARTINS RAMOS

MERCADO DE LÍTIO

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

José Mário Coelho

Rio de Janeiro

Fevereiro 2013

R175m Ramos, Mario Martins

Mercado de lítio / Mario Martins Ramos. – Rio de Janeiro: UFRJ, Instituto de Geociências, 2013.

37 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: José Mario Coelho

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Geologia, 2013.

1. Lítio. 2. Lítio – Aspectos econômicos – Indústria.
3. Geoquímica. I. Título. II. Coelho, José Mario. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Mário Martins Ramos

Mercado de Lítio

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

José Mário Coelho

Aprovada em: 06/fevereiro/2013

Por:

Orientador: Prof. Dr José Mário Coelho (UFRJ)

Engenheiro Paulo Fernando Almeida Braga D.Sc.

Economista Gilberto Dias Calaes D.Sc.

AGRADECIMENTOS

Devo inicialmente meus agradecimentos ao Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro pelo excelente aprendizado que tornou possível a realização desse trabalho.

Ao meu orientador, Professor Doutor José Mario Coelho, sou grato por todo apoio e confiança, e por se dispor a compartilhar sua experiência, informações e materiais de pesquisa, fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Agradeço ainda aos demais professores do Departamento, especialmente a Cícera Neysi de Almeida e Everton Bongiolo, que também me cederam dados e materiais importantes para o desenvolvimento dessa monografia.

Por fim, agradeço aos meus amigos e minha família que, direta ou indiretamente, sempre me auxiliaram e apoiaram.

RESUMO

RAMOS, Mário Martins. *Mercado de Lítio*. 2012. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

As particularidades das baterias de lítio praticamente moldaram o que a sociedade está se tornando hoje. De telefones celulares a veículos elétricos, este metal representa um alicerce fundamental para a sociedade contemporânea. Porém, estamos apenas no início do que seria mais uma revolução energética; perspectivas futuras preveem carros com motores totalmente elétricos substituindo os tradicionais. O presente trabalho faz uma análise sobre este metal com enfoque na indústria, suas propriedades e particularidades, suas fontes, o mercado atual e os cenários futuros.

Palavras-chave: Lítio; Mercado; Pegmatitos; Salares.

ABSTRACT

RAMOS, Mário Martins. *Lithium Market* 2012. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The particularities of lithium practically shaped the society we live in today. From mobile phones to hybrid cars, this metal is an important part of contemporary society. However, we are only at the beginning of what could be another energetic revolution. Prospects for the future include purely electric cars which will replace the traditional vehicles. This work provides an analysis on this metal properties focusing on industry, its peculiarities and its sources, as also the current market and future scenarios.

Key-Words: Lithium; Market; Pegmatite; Brines.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO	II
ABSTRACT	III
SUMÁRIO.....	IV
1- INTRODUÇÃO	1
1.1- OBJETIVOS	2
1.2- METODOLOGIA	3
1.3- PROPRIEDADES.....	3
1.4- PROPRIEDADES GEOQUÍMICAS.....	4
1.5- MINERALOGIA.....	5
1.6- PRINCIPAIS TIPOS DE DEPÓSITOS DE LÍTIO NO MUNDO	6
1.6.1 Depósitos de lítio em Pegmatitos	7
1.6.2 Depósitos de lítio em Salares	9
2- MERCADO DE LÍTIO.....	11
2.1- LAVRA E BENEFICIAMENTO.....	12
2.1.1 Lavra e Beneficiamento de Minerais de Pegmatitos	13
2.1.2 Lavra e Beneficiamento de Salares	16
2.2- USOS E FUNÇÕES DO LÍTIO	17
2.3- PRODUÇÃO MUNDIAL	20
2.4- PRODUÇÃO BRASILEIRA	Erro! Indicador não definido.
2.5- SUBSTITUTOS.....	23
3- CENÁRIOS	26
3.1- INOVAÇÕES ATUAIS.....	26
3.2- CENÁRIOS FUTUROS, 2020-2100.....	28
3.3- POSSIBILIDADE DE DEPLEÇÃO.....	29

4- CONCLUSÃO	31
5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

FIGURAS

Figura 1	Abundância Atômica dos Elementos no Sistema Solar.....	5
Figura 2	Localização dos Principais Depósitos de Lítio.....	8
Figura 3	Concentração Média de Li e Recursos para Depósitos Pegmatíticos.....	10
Figura 4	Concentração Média de lítio e Recursos em Depósitos de Salares.....	12
Figura 5	Processamento e Usos do Lítio.....	15
Figura 6	Fluxograma do Beneficiamento.....	23
Figura 7	Processo Ácido.....	14
Figura 8	Processo Básico.....	15
Figura 9	Processamento da Amblygonita.....	16
Figura 10	Processamento de Sais de Lítio.....	17
Figura 11	Usos de Lítio no Mundo – 2011.....	18
Figura 12	Densidade energética- Curva Ragone.....	19
Figura 13	Crescimento do Consumo Mundial de Lítio -2000-2011.....	22
Figura 14	Usos de Lítio no Brasil - 2010.....	23
Figura 15	Curva de Custo e Viabilidade de Lítio – 2100.....	29

TABELAS

Tabela 1 Propriedades do Lítio e Substitutos.....	2
Tabela 2 Principais Minerais de Lítio	3
Tabela 3 Recursos Estimados de Lítio: Principais Depósitos de Pegmatito.....	4
Tabela 4 Recurso Estimado de Lítio: Principais Salares.....	4
Tabela 5 Custos de Produção por Países e Depósitos.....	7
Tabela 6 Aplicações e Compostos de Lítio – 2002.....	7
Tabela 7 Produção e Reservas Mundiais.....	9
Tabela 8 Principais Elementos Substitutos do Lítio.....	10
Tabela 9 Quadro comparativo entre Veículos Convencionais e Elétricos Híbridos.....	11

1- INTRODUÇÃO

As particularidades das baterias de lítio praticamente moldaram o que a sociedade está se tornando hoje. De telefones celulares a carros híbridos, este metal representa um alicerce fundamental para a sociedade contemporânea. Porém, estamos apenas no início do que seria mais uma revolução energética; perspectivas futuras preveem carros com motores totalmente elétricos substituindo os tradicionais. No entanto, um longo caminho precisou ser percorrido, concomitante às inovações tecnológicas promovidas desde o século XVIII e início do século XIX.

Em 1818, o químico sueco Jöns Jacob Berzelius anunciava em carta a Claude Louis Berthollet que seu compatriota Johan August Arfwedson, examinando a petalita recém-descoberta pelo naturalista brasileiro José Bonifácio de Andrada e Silva, descobrira um novo álcali. Na época, dentre os álcalis, só se conhecia o sódio e o potássio. Como estes elementos foram descobertos, respectivamente, nos reinos vegetal e animal, resolveram batizar o novo elemento com de lítio — oriunda da palavra grega lithos —, em referência ao “reino mineral” (WEEKS, 2003, p. 124).

Em seguida, o lítio foi identificado também no espodumênio e na lepidolita, como um constituinte destes minerais. Em 1821, William Thomas Brande, químico inglês, conseguiu isolá-lo em sua forma metálica, a partir da eletrólise do óxido de lítio. (BRANDE, 1821)

No período entre o fim do século XIX e o início do século XX, que inclui a Primeira Guerra Mundial, os Estados Unidos se tornaram o maior produtor de lítio e produtos associados. Em 1923, na Alemanha, o lítio metálico começou a ser vendido em escala comercial pela Metallgesellschaft, o grande conglomerado industrial sediado em Frankfurt.

Com a chegada da Segunda Guerra Mundial, o lítio passou a ser utilizado na produção de graxas e lubrificantes, tornando-se sua principal aplicação até o advento das baterias de lítio. Durante o pós-guerra, e consequentemente durante a guerra fria, o lítio esteve presente nas corridas espaciais e armamentistas. Na indústria aeroespacial foi desenvolvida a pirocerâmica, capaz de resistir a altas temperaturas e à alta velocidade. Talvez sua aplicação mais conhecida seja o recipiente de vidro tipo

Corning Ware, recipientes cerâmicos capazes de ir do refrigerador ao forno sem se quebrarem.

Apesar de grande quantidade de lítio ser produzida a partir dos concentrados minerais no pós-guerra, em 1966 se iniciou a produção de Silver Peak (Nevada, EUA) pela Foote Mineral Company que, por 20 anos, foi a única fonte de carbonato de lítio oriunda dos salares. Em 1969, o governo chileno identificou altas concentrações de lítio no Salar de Atacama, mas sua produção somente se iniciou em 1986 pela SCL (Sociedad Chilena de Litio). Eventualmente a SQM (Sociedad Quimica y Minera) desenvolveu os depósitos no Salar de Atacama, produzindo diversos compostos como o cloreto de potássio, sulfato de potássio, carbonato de lítio e ácido bórico. Em 1988, o Chile passou a ser o maior produtor mundial de carbonato de lítio (KUNASZ, 2006).

Durante boa parte dos anos 90, uma estabilidade relativa se mantinha na oferta e demanda anual de lítio até que, em 1997, a companhia chilena SQM entrou no mercado, passando a produzir carbonato de lítio em grande quantidade, a partir do cloreto de lítio e com baixo custo de produção se comparado à produção de concentrados minerais o que ocasionou uma queda de 50% no preço de mercado.

A partir de 2001, o mercado sofreu uma significativa expansão, desta vez impulsionada pelo uso do lítio nas baterias recarregáveis, que apresentava um grande potencial de consumo.

Os carros híbridos e puramente elétricos fazem com que renasça um grande interesse pelo lítio e, em consequência, na sua mineração, pesquisa, lavra, processamento, refino e uso. O presente trabalho faz uma análise sobre este metal com enfoque na indústria, suas propriedades e particularidades, suas fontes, o mercado atual e os cenários futuros.

1.1- OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo o estudo do mercado de lítio, caracterizando suas condições atualizadas e perspectivas futuras, assim como a análise de cenário, verificando sua aplicabilidade também no cenário brasileiro.

1.2- METODOLOGIA

Este trabalho foi estruturado com base nos dados arrolados e enunciados por S.E Kesler, em seu artigo *Global lithium resources: Relative importance of pegmatite, brine and other deposits* (2012), que forneceu as linhas gerais seguidas nessa monografia. Entretanto, uma vez que o artigo dedica-se prioritariamente a uma análise dos diferentes depósitos de lítio, fez-se necessário complementar tais informações com outras obras que, inclusive, dessem conta de questões mais específicas.

No que se refere ao aspecto econômico e análise das variáveis de mercado, foram utilizados os trabalhos de Ebensperger, *The Lithium Industry: Its Recent Evolution and Future Prospects*, de 2005, sobre a evolução da indústria de lítio, e de Andrés Yaksic e John T. Tilton (2009), *Using the cumulative availability curve to assess the threat of mineral depletion: the case of lithium*, cujo maior mérito corresponde à sua avaliação do mercado de lítio, considerando um prazo de até 100 anos.

Para cada um dos tópicos abordados um artigo específico foi utilizado, aliado a pesquisas auxiliares para incremento dos dados, com destaque para as análises estatísticas do DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral) e USGS (United States Geological Survey), essenciais para as análises econômicas.

1.3- PROPRIEDADES

O lítio é o terceiro elemento da tabela periódica, um metal de baixa densidade e extremamente reativo. Possui coloração cinza a branca e um intenso brilho metálico, que se perde rapidamente ao ser exposto ao ar devido à oxidação rápida. Por conta disto, é geralmente armazenado em óleo mineral.

Este metal se destaca também por ter um baixo ponto de fusão, um alto calor específico (o maior de todos os sólidos) e também um elevado potencial eletroquímico (Tabela 1).

Tabela 1
Propriedades do Lítio e Substitutos

Propriedade	Elemento			
	Lítio	Sódio	Níquel	Alumínio
Ponto de Fusão	180,6°C	97,7°C	1455,0°C	660,3°C
Calor Específico	3,4 J/gK	1,2 J/gK	0,5 J/gK	0,9 J/gK
Potencial Eletroquímico	-3,0 V	-2,7 V	-0,3V	-1,7 V

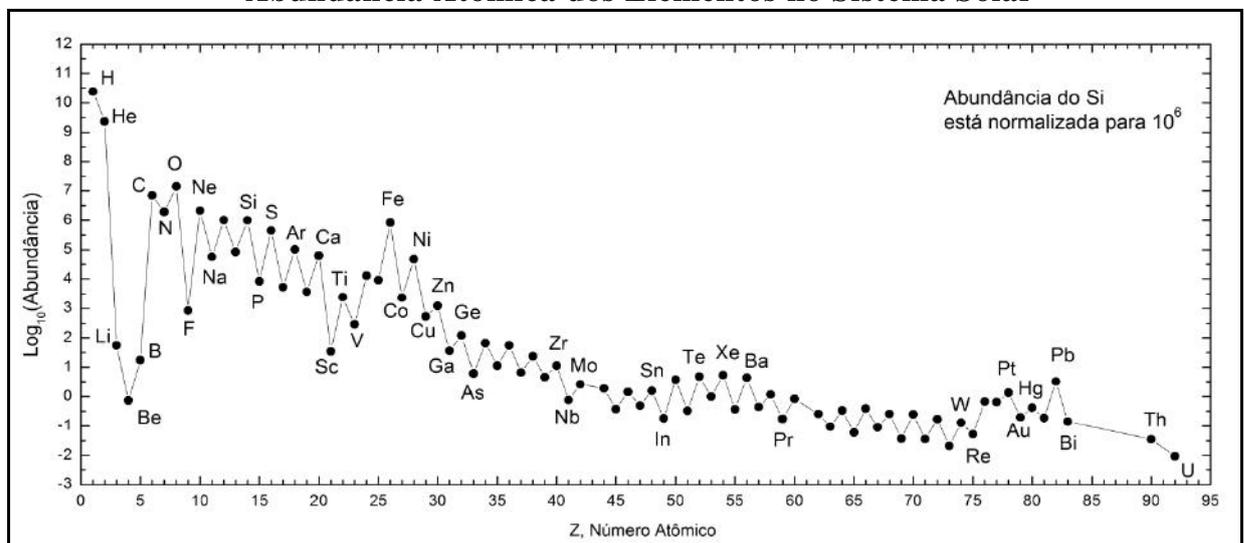
Fonte: EBENSPEGER, 2005; ENGINEERING, 2012b.

A escolha dos elementos comparativos da Tabela 1 se deu com base nos elementos substitutos, segundo Ebensperger (2005). Os dados por sua vez foram obtidos no domínio <http://www.engineeringtoolbox.com>, 2012.

O lítio se enquadra dentre os elementos incompatíveis, ou seja, aqueles que estão preferencialmente concentrados nas fases líquidas durante os processos de fusão parcial e de cristalização.

1.4- PROPRIEDADES GEOQUÍMICAS

Figura 1
Abundância Atômica dos Elementos no Sistema Solar



Fonte: WIKIPEDIA, 2012

Sendo o terceiro elemento da Tabela Periódica, o lítio, teoricamente, deveria ser um dos elementos mais abundantes do universo, perdendo apenas para o hidrogênio e o hélio. Porém, o lítio é relativamente raro no sistema solar, como mostra a Figura 1.

O lítio é originalmente formado na chamada nucleossíntese primordial, onde se formam também o hidrogênio, hélio e berílio. Porém, tanto o lítio quanto o berílio são originados em sua forma isotópica, o Li_7 e Be_7 , facilmente destruídos nas reações nucleares interestelares posteriores a nucleossíntese. O que se supõe, atualmente, é que o lítio e o berílio tenham sido formados na chamada nucleossíntese de raios cósmicos, quando estes incidiram sobre aglomerados de gases, compostos em grande parte por hidrogênio e hélio, produzindo, assim, o lítio e o berílio. (MACIEL, 2004)

1.5- MINERALOGIA

O lítio geralmente é associado a pegmatitos, principalmente pegmatitos graníticos como minerais acessórios nas assembleias mais residuais.

O mineral litífero mais comum e mais importante é o espodumênio, devido a sua ocorrência em grande parte das jazidas, tendo grande participação na indústria mineral. Outros minerais como a ambligonita (fosfato análogo a montebrasita) também possuem relativa importância econômica, porém são mais incomuns. A Tabela 2 apresenta uma relação dos principais minerais de lítio.

Tabela 2
Principais Minerais de Lítio

Minerais	Fórmula	%Li ₂ O	
		Teórica	Típica
Ambligonita	LiAl(P _{0,4})(F,OH)	11,9	5
Eucryptita	LiAl(SiO ₄)	11,9	5
Lepidolita	K(Li,Al ₃)(Si,Al) ₄ O ₁₀ (F,OH) ₂	3,3 – 7,8	3,0 – 4,0
Montebrasita	LiAlP _{0,4} F	7	-
Petalita	LiAl(Si ₄ O ₁₀)	4,9	3,0 – 4,5
Espodumênio	LiAl(Si ₂ O ₆)	8	1,5 – 7,0
Zinnwaldita	K(Li,Al,Fe) ₃ (Al,Si) ₄ O ₁₀ (F,OH) ₂	5,6	2,0 – 5,0
Jadarita ¹	LiNaNiB ₃ O ₇ (OH)	7,3	-
Hectorite ¹	Na _{0,3} (Mg,Li) ₃ (Si ₄ O ₁₀)(F,OH) ₂	1,2	-
Zabuyelita ²	Li ₂ CO ₃	40,4	-

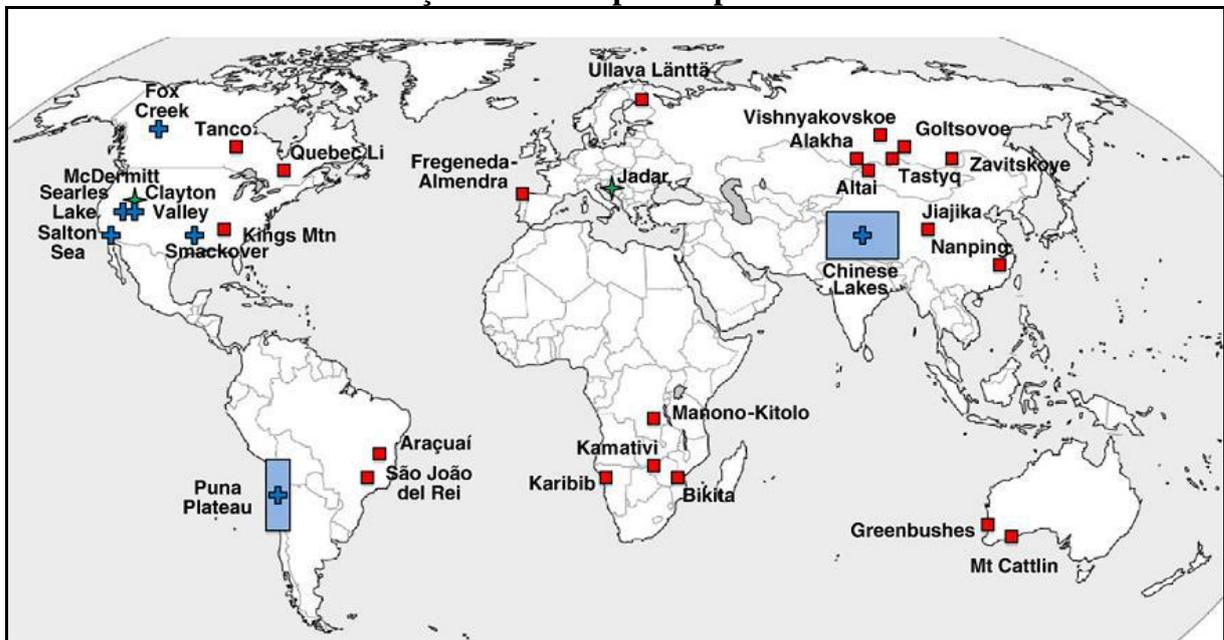
Nota : 1 Minerais considerados por Tilton (2009) como recurso; **2** Mineral citado por Kesler (2012).

Fonte: HARBEN, P.W. & KUŽVART, M., 1996; ROSKILL, 2009.

1.6- PRINCIPAIS TIPOS DE DEPÓSITOS DE LÍTIO NO MUNDO

Existem dois tipos principais de depósitos de onde se extrai o lítio; os pegmatitos e os salares. Os salares representam uma fonte de menor custo de produção na obtenção do carbonato de lítio, enquanto que os pegmatitos são mais viáveis economicamente para produzir os concentrados minerais e hidróxido de lítio. A Figura 2 apresenta os principais depósitos e sua localização no mundo. Áreas vermelhas representam os depósitos minerais, e em azul os salares. Os retângulos em azul claro representam áreas com ampla distribuição de salares.

Figura 2
Localização dos Principais Depósitos de Lítio



Fonte: KESLER, 2012.

1.6.1 Depósitos de Lítio em Pegmatitos

Segundo a USGS,

o Pegmatito é uma rocha ígnea intrusiva, com granulação excepcionalmente grosseira com grandes cristais intercalados (aproximadamente maior que 2,5 cm). Tipicamente se consolida sobre a forma de diques e veios ao longo de margens de batólitos. Um pegmatito granítico possui a mineralogia de um granito e grãos anormalmente grandes, enquanto que um pegmatito gabroico possui a mineralogia de um gabro e grandes cristais. Pegmatitos representam o magma mais tardio e hidratado a se cristalizar, e algumas vezes contém raros minerais enriquecidos em elementos como boro, Lítio, urânio, e terras raras. (PEGMATITE, 2012).

Basicamente, um pegmatito é caracterizado por sua granulometria anômala, visto que sua gênese está relacionada a inúmeros componentes e processos, dentre os quais se destacam alguns corpos intrusivos associados. (PEGMATITE, op. cit.).

De acordo com London (2005), com base em discussões anteriores sobre a gênese dos pegmatitos, fluxos, fluídos voláteis ou hiperfusíveis compostos comumente por H₂O, B, F e P atuam na formação de muitas das peculiaridades dos pegmatitos, ocasionando a granulometria anômala, as mineralizações e também a redução das temperaturas de fusão e cristalização, atuando ainda na miscibilidade entre fluídos. Estes fluxos enriquecidos em diversos elementos, ao interagirem com o material fusionado, eventualmente enriquecem a jazida, o que torna os pegmatitos particularmente ricos nestes elementos.

Stewart (1978) afirma que a cristalização do pegmatito ocorre do contato com a encaixante para o núcleo, visto que nenhuma assembleia mineral externa corta uma assembleia mineral interna, porém assembleias minerais internas cortam as externas.

Outro fator que apoia esta cristalização é que as assembleias minerais mais externas são enriquecidas em alumínio, além de possuírem grande concentração de feldspato e muscovita, enquanto que as assembleias minerais mais internas são mais enriquecidas em quartzo, até o núcleo, que costuma ser predominantemente quartzo. Além disto, Stewart comenta também que minerais enriquecidos em lítio costumam se formar nas assembleias mais internas, o que sugere que o lítio, um elemento incompatível, se mantém no magma residual e, conforme a cristalização procede, forma estes minerais (STEWART, 1978).

Outro tipo de depósito, geralmente associado a pegmatitos, é o greisen. Greisens são depósitos formados pelo processo de metassomatismo, que podem enriquecer ainda mais o pegmatito. Como o processo geralmente ocorre de fora do corpo pegmatítico para o interior do corpo, a alteração metassomática pode promover uma remobilização de elementos, ou seja, o pegmatito que anteriormente era enriquecido em lítio na sua porção mais central, passa a ser enriquecido nas extremidades, além de perder suas relações químicas e cristalográficas com as rochas intrusivas associadas (PARTINGTON, 1995).

Dentre os diversos pegmatitos existentes, Kesler (2012) enumera uma série de jazidas incluindo pegmatitos e províncias pegmatíticas que possuem importância significativa para o mercado, atribuindo também a quantidade de lítio de cada depósito (Tabela 3).

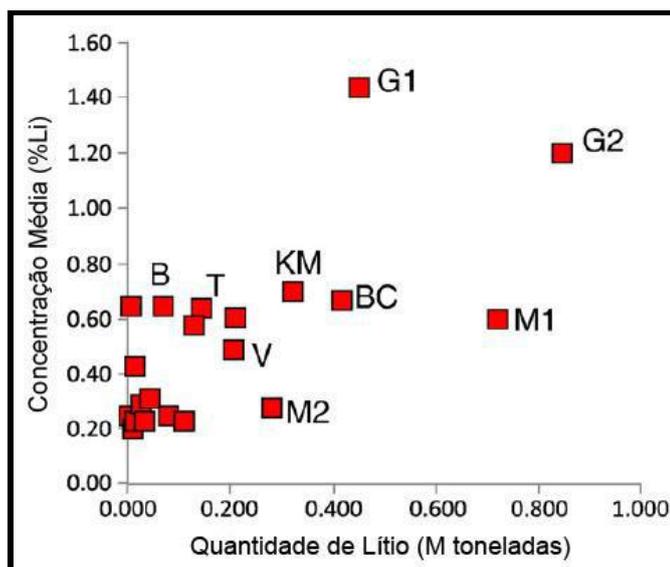
Tabela 3
Recursos Estimados de Lítio: Principais Depósitos de Pegmatito

Depósito	País	Li (Mt)
Greenbushes	Austrália	0,85
Jiajika	China	0,48
Bessemer City	EUA	0,42
Manono Kitolo	RDC	0,33
Kings Mountain	EUA	0,32
Kamativi	Zimbabwe	0,28
Barkam	Zimbabwe	0,22
Vishnyakovskoe	Rússia	0,21
Karibib	Namíbia	0,15
Tanco	Canadá	0,14
James Bay (Lithium One)	Canadá	0,13
Quebec Lithium	Canadá	0,11
Mt Cattlin	Austrália	0,09
Bikita	Zimbabwe	0,06
FI	Canadá	0,03
Thor	Canadá	0,02
Violet	Canadá	0,01
Ullava Länttä	Finlândia	0,01
Araçuaí	Brasil	0,01
Nama Creek	Canadá	0,01
Total		3,88

Fonte: KESLER, 2012.

Kesler (2012) também relaciona a quantidade de lítio de cada depósito com o teor médio destes mesmos depósitos (Figura 3).

Figura 3
Teor Médio de Li e Recursos para Depósitos Pegmatíticos



Fonte: KESLER, 2012.

Os depósitos identificados na Figura 3 são: (B) Bikita, (T) Tanco, (V) Vishnyakovskoe, (KM) Kings Mountain, (BC) Bessemer City, (M1) e (M2) Manono-Kitolo, representando respectivamente as estimativas de Sinclair e Kesler e Greenbushes, sendo (G1) as reservas do Greenbushes e (G2) recurso estimado também do Greenbushes.

1.6.2 Depósitos de lítio em Salares

Os salares, ambientes hipersalinos, são formados quando a taxa de evaporação excede a taxa de reposição de água em ambientes áridos e semiáridos, onde se formam principalmente gipso, calcita, halita e, eventualmente, alguns minerais magnesianos, como a bloedita. Porém, para que se tenha uma fonte de lítio considerável é necessária primeiramente a presença de um ambiente vulcânico que abasteça o sistema

deposicional com este elemento, seja diretamente — por fluxos termais e soluções geotermiais —, ou indiretamente — através de sedimentos clásticos ou vulcânicos ricos em lítio, condição esta que caracteriza os salares de Clayton Valley (oeste dos EUA, estado de Nevada), Atacama (norte do Chile), Uyuni (sudoeste da Bolívia) e Zabuye (sul da China), basicamente os principais salares produtores de lítio do planeta (KUNASZ, 2006). O segundo requisito é o mecanismo que retém o lítio diluído nas bacias, como o controle estrutural evidente em Clayton Valley e no Salar de Atacama (um controle estrutural direto não é óbvio no Salar de Uyuni e no Salar de Zabuye).

Kesler (2012) faz uma estimativa de recurso para estes salares listados na Tabela 4:

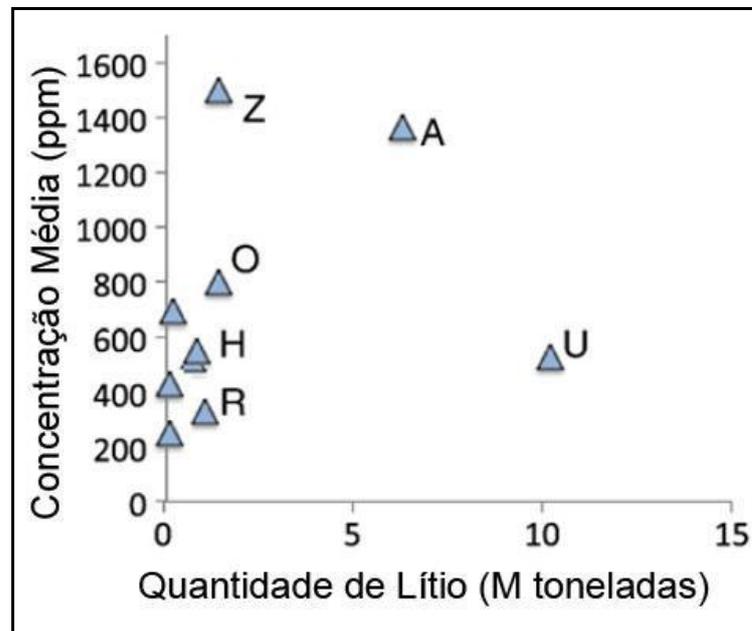
Tabela 4
Recurso Estimado de Lítio: Principais Salares

Depósito	País	Li(Mt)
Uyuni	Bolívia	10,20
Atacama	Chile	6,30
Olaroz	Argentina	1,50
Zabuye	China	1,50
Rincon	Argentina	1,10
Diablillos	Argentina	0,90
Tajinar	China	0,80
Hombre Muerto	Argentina	0,80
Sal de Vida	Argentina	0,30
Clayton Valley	EUA	0,20
Damxung	China	0,18
Total		23,78

Fonte: KESLER, 2012.

Kesler (op.cit.) também relaciona a quantidade de lítio de cada depósito com a concentração média destes mesmos depósitos (Figura 4).

Figura 4
Teor médio de lítio e recursos em depósitos de salares

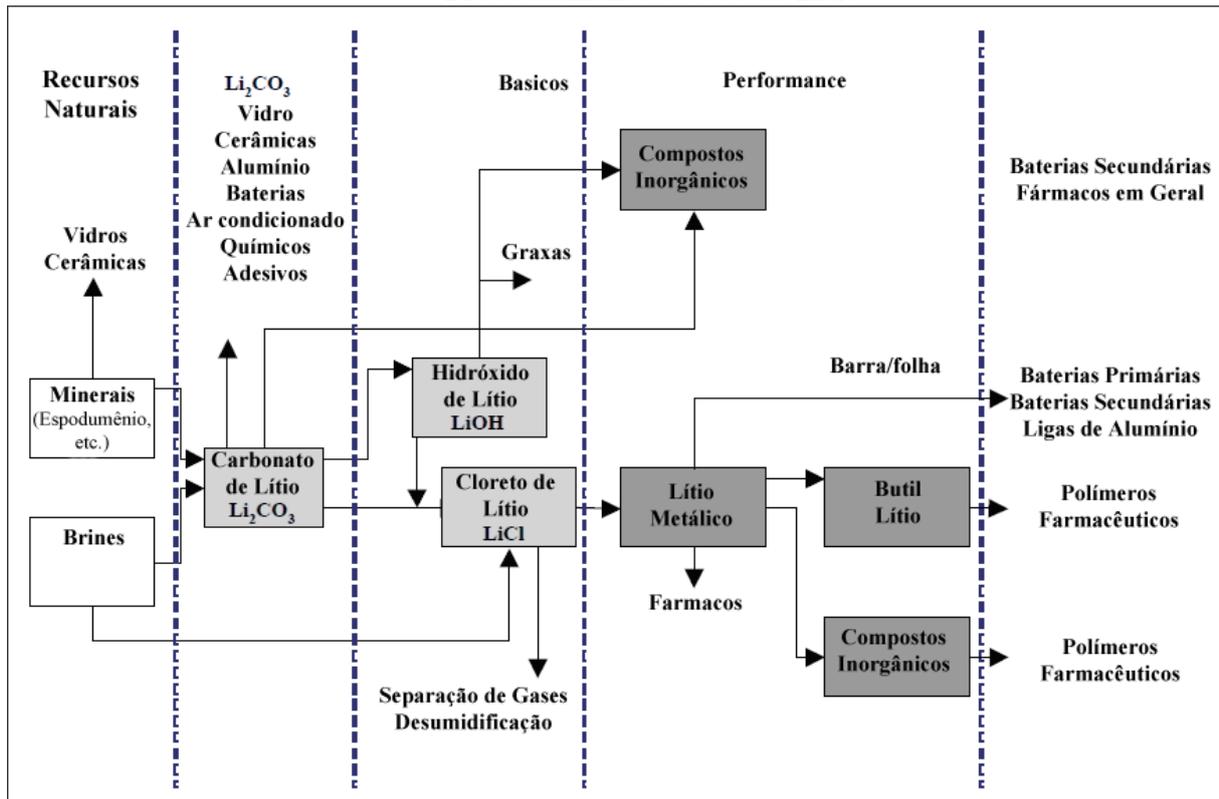


Fonte: KESLER, 2012.

2- MERCADO DE LÍTIO

O lítio é comercializado sob muitas formas (Figura 5). No que se refere ao mercado, dois produtos se destacam: o hidróxido de lítio e o carbonato de lítio. Apesar do carbonato de lítio ser o principal produto para a produção de diversos subprodutos, o concentrado mineral é mais competitivo no que se refere à indústria de vidros e cerâmicas.

Figura 5
Processamento e Usos do Lítio



Fonte: EBENSPERGER, 2005

2.1- LAVRA E BENEFICIAMENTO

Devido ao baixo teor de Li_2O nos minerais (Tabela 2), o beneficiamento de minerais de lítio oriundos de pegmatitos acaba sendo um processo dispendioso se comparado ao beneficiamento dos salares.

A Tabela 5 apresenta os custos de produção em diversos países e depósitos, onde é possível observar a diferença de valores.

Tabela 5
Custos de Produção por Países e Depósitos

Classificação	Depositos (provincia ou país)	País	Grau (Porcentagem de Lítio)	Razão (magnésio por Lítio)	Taxa de Evaporação (mm por ano)	Variação de custo (US\$ por Kg)
1	Atacama	Chile	0,15	6,4	3700	1,54 - 2,20
2	DXC	China (Tibet)	0,04-0,05	0,22	2300	2,20 - 2,64
3	Zhabuye	China (Tibet)	0,05-0,1	0,001	2300	2,20 - 2,64
4	Taijinaier	China	0,03	34	3560	2,42 - 2,86
5	Hombre Muerto	Argentina	0,06	1,37	2600	2,42 - 2,86
6	Olaroz	Argentina	0,09	2	2600	2,42 - 2,86
7	Silver Peak	USA	0,023	1,5	1000	2,42 - 2,86
8	Rincon	Argentina	0,04	8,5	2600	2,64 - 3,30
9	Maricunga	Chile	0,092	8	2600	2,64 - 3,30
10	Greenbushes	Australia	1,36	n/a	n/a	2,64 - 3,30
11	Uyumi	Bolívia	0,04	19	1500	2,86 - 3,96
12	Masvingo (Bikita)	Zimbabwe	1,4	n/a	n/a	2,86 - 3,96
13	Bernic Lake	Canada	1,28	n/a	n/a	2,86 - 3,96
14	Cherryville	USA	0,68	n/a	n/a	2,86 - 3,96
15	Barroso-Alvao e Covas de Barroso	Portugal	0,37-0,77 e 0,72	n/a	n/a	3,08 - 4,41
16	Gajika	China	n/d	n/a	n/a	3,08 - 4,41
17	Maerkang	China	n/d	n/a	n/a	3,08 - 4,41
18	Brasil	Brasil	n/d	n/a	n/a	3,30 - 4,41
19	Separation Rapids	Canada	0,62	n/a	n/a	3,96 - 4,85
20	Quebec	Canada	0,53	n/a	n/a	4,19 - 5,07
21	Jaijika	China	0,59	n/a	n/a	4,19 - 5,09
22	Qaidam Basin	China	n/d	n/d	n/d	3,30 - 5,51
23	Searles Lake	USA	0,0065	125	1000	4,41 - 5,51
24	Kings Mountain	USA	0,69	n/a	n/a	4,41 - 5,51
25	Etykinskoe	Russia	0,23-0,79	n/a	n/a	4,63 - 5,95
26	Namibia	Namibia	n/d	n/a	n/a	4,85 - 6,17
27	Salton Sea	USA	0,022	1,3	1800	4,85 - 6,17
28	Great Salk Lake	USA	0,004	250	1800	4,85 - 6,17
29	Mar Morto	Israel-Jordânia	0,002	2	n/d	5,29 - 6,61
30	Manono-Kitolo	Zaire	0,58	n/a	n/a	5,29 - 6,61
31	Bougouni Area	Mali	1,4	n/a	n/a	5,29 - 6,61
32	Yellow Knife	Canada	0,66	n/a	n/a	5,51 - 6,61
33	Mc Dermitt	USA	0,24-0,53	n/a	n/a	7,71 - 10,35
34	North Carolina	USA	n/d	n/a	n/a	7,71 - 10,37
35	Russian pegmatites	Russia	n/d	n/a	n/a	7,71 - 10,40
36	smackover	USA	0,0386/0,0365	20	n/d	11,01 - 14,10
37	Oceans	n/a	0,000017	n/a	n/a	15,42 - 22,03

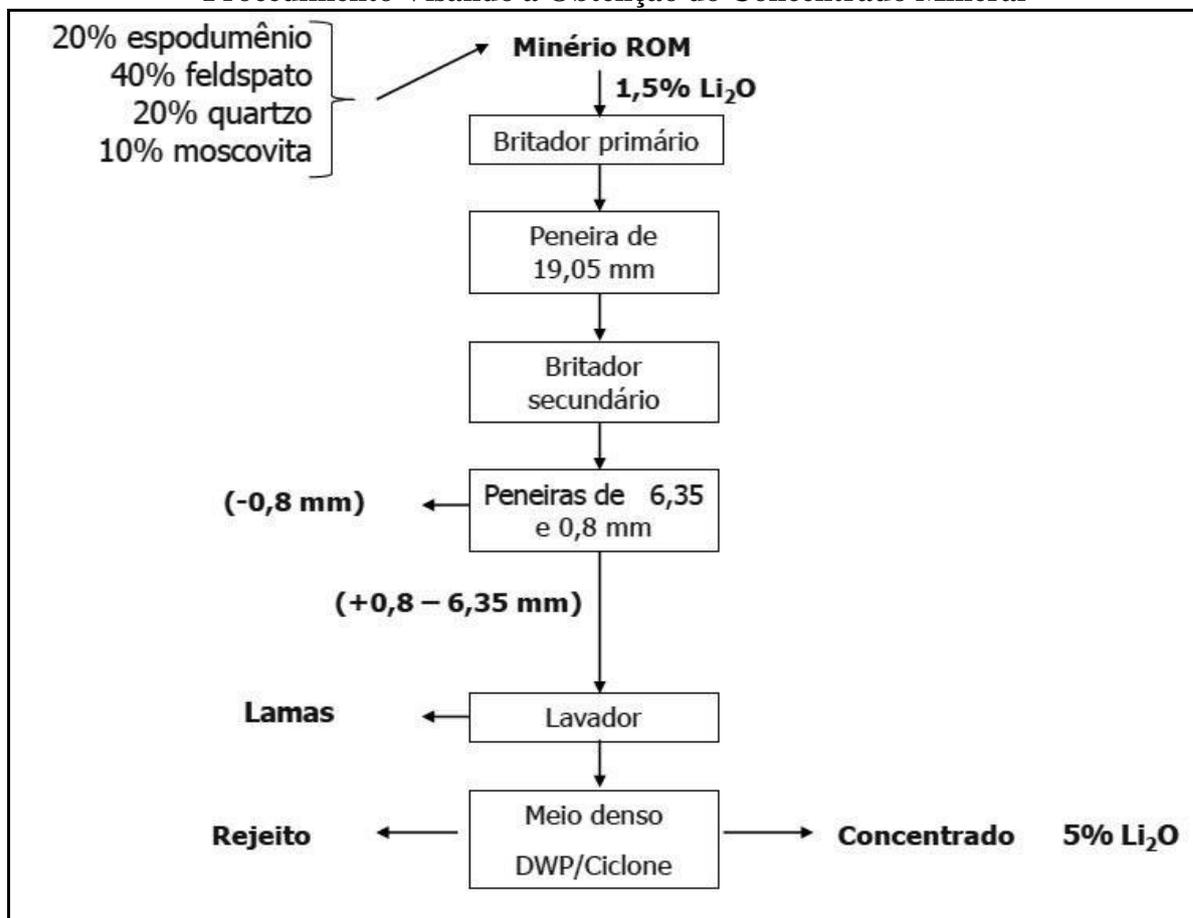
Fonte: YAKSIC e TILTON, 2009, p.193. Modificado..

2.1.1 Lavra e Beneficiamento de Minerais de Pegmatitos

A lavra dos pegmatitos pode ser feita para qualquer dos minerais citados na Tabela 2, com exceção da hectorita e da zabuyelita, pois estes não são minerais componentes dos pegmatitos.

Após lavrado, o minério ROM, com cerca de 1,5% de óxido de lítio, é concentrado (Figura 6) até cerca de 5% de Li_2O , valor este que varia conforme o mineral a ser explorado, heterogeneidade da jazida e o tipo de mineralização.

Figura 6
Procedimento Visando a Obtenção do Concentrado Mineral

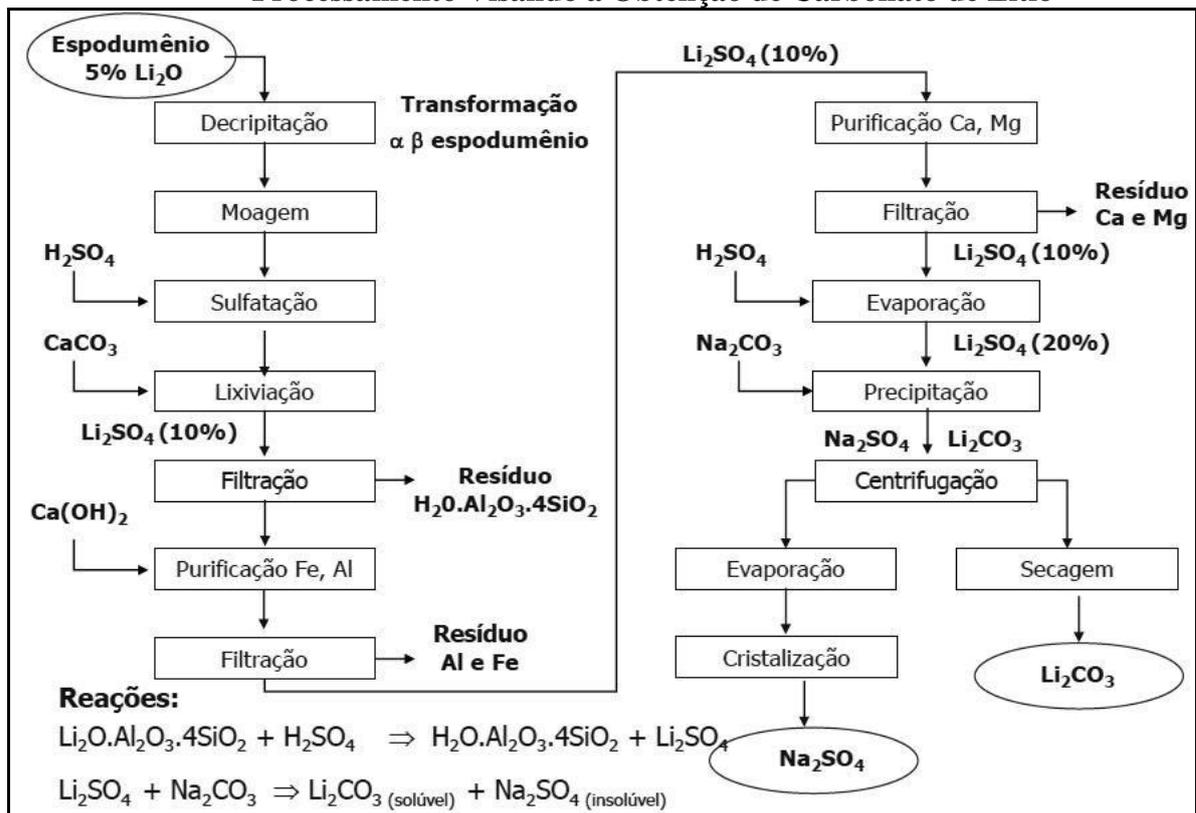


Fonte: BRAGA, 2012.

Atualmente, parte da produção se resume apenas a este processo, visto que o concentrado tem competitividade para a indústria de vidros e cerâmicas (Figura 5). As companhias que produzem o carbonato de lítio a partir de pegmatitos utilizam o processo ácido.

No processo ácido o ácido sulfúrico (H_2SO_4) no Brasil é utilizado para extrair o lítio sob a forma de sulfato de lítio (Li_2SO_4) e gera um resíduo que contém a sílica e o alumínio originário do mineral. Em seguida, se adiciona o carbonato de sódio (Na_2CO_3) ao sulfato de lítio, o que resulta no sulfato de sódio e no carbonato de lítio (Li_2CO_3), o principal produto de lítio. A Figura 7 ilustra o processo ácido.

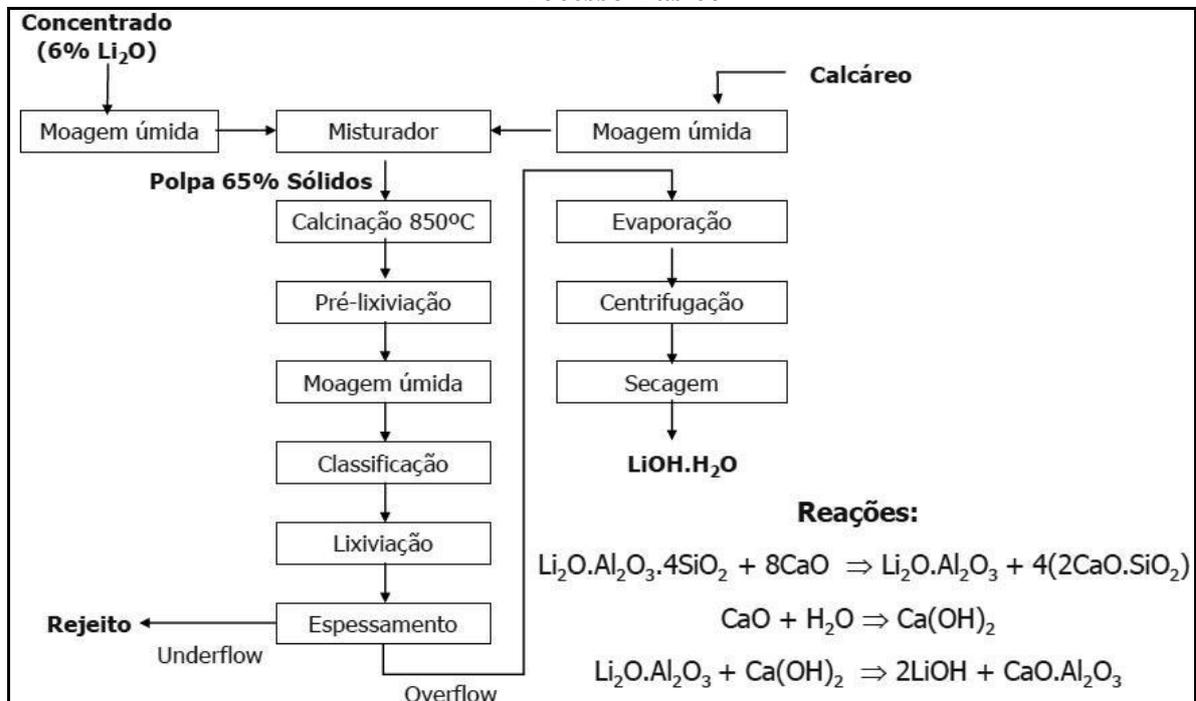
Figura 7
Processamento Visando a Obtenção de Carbonato de Lítio



Fonte: BRAGA, 2012.

No processo alcalino utiliza-se cal (CaO) ou calcáreo, o que resulta em dois produtos; aluminato de lítio e silicato de cálcio. Na sequência, o excesso de cal hidratada reage com aluminato de lítio, formando o hidróxido de lítio e o aluminato de cálcio. O hidróxido de lítio (LiOH), é utilizado principalmente na produção de graxas e lubrificantes e também na produção de carbonato de lítio por algumas empresas como a Nemaska por exemplo. (Figura 5). O processo descrito é demonstrado na Figura 8.

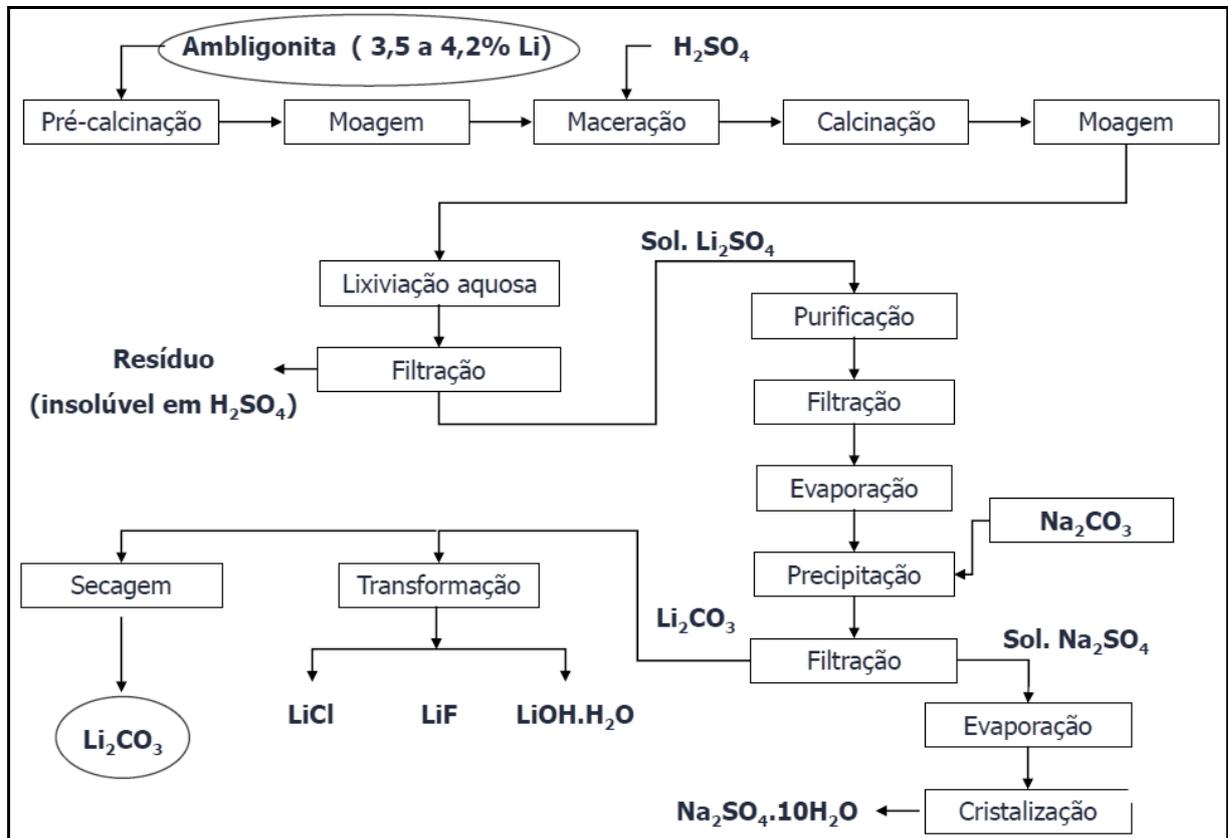
Figura 8
Processo Básico



Fonte: BRAGA, 2012.

É importante ressaltar que esses métodos descritos são utilizados quando o concentrado é de um mineral silicático como, por exemplo, o espodumênio. Quando o mineral é um fosfato, como no caso da ambligonita, o procedimento é distinto em algumas particularidades, mas os insumos utilizados são os mesmos da Figura 9.

Figura 9
Processamento da Amblygonita



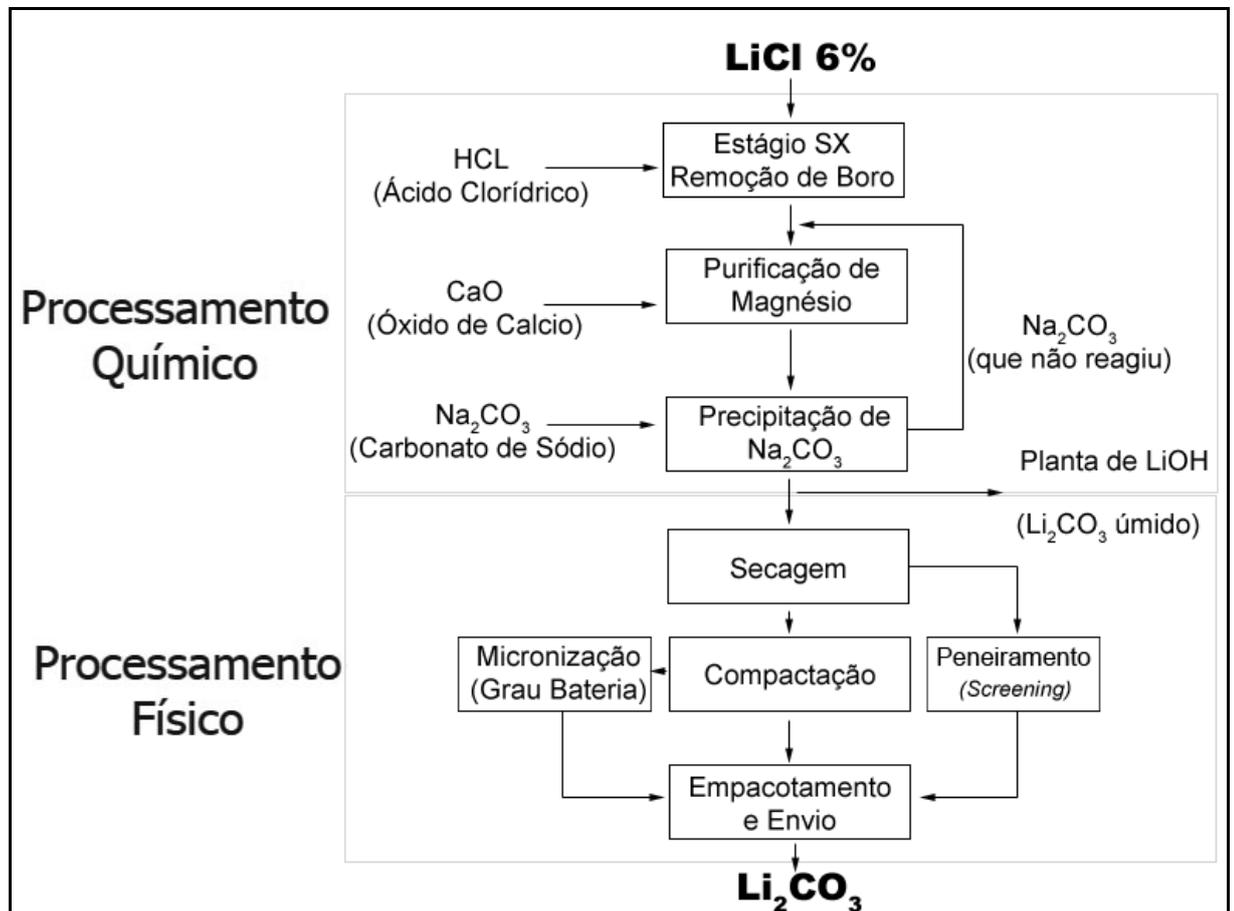
Fonte: BRAGA, 2012.

2.1.2 Lavra e Beneficiamento de Salares

O procedimento para se obter lítio dos salares é muito mais simples e, conseqüentemente, de menor custo operacional em relação aos supraticados. Com cerca de 1% o LiCl é concentrado em piscinas de evaporação (*pool ponds*), até próximo do ponto de precipitação do sal com cerca de 6% de LiCl. (BRAGA & SAMPAIO, 2009).

Em seguida, esse sal concentrado é encaminhado à planta, onde são adicionados ácido clorídrico (HCL) e cal (CaO) para remover, respectivamente, o boro e o magnésio. A Figura 10 mostra o procedimento utilizado para a produção de carbonato de lítio a partir do cloreto de lítio.

Figura 10
Processamento de Sais de Lítio



Fonte: BRAGA, 2012.

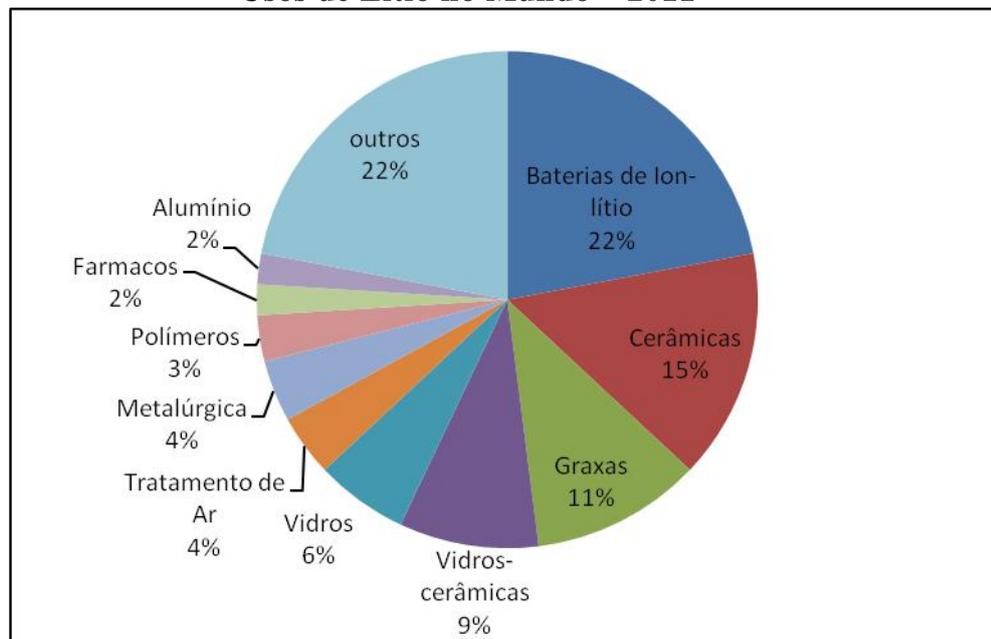
Tanto o beneficiamento de minerais quanto o de salmouras utilizam reagentes químicos no processo. Porém, no caso das salmouras, estes reagentes são usados para retirar constituintes que representam 1 a 2% do material, enquanto que no caso dos minerais de pegmatito é preciso remover cerca de 93 a 95% do material, o que representa um consumo bem maior, resultando praticamente no dobro do custo, se for considerado também todo o processo. [implicações ambientais]

2.2- USOS E FUNÇÕES DO LÍTIO

Embora o lítio seja hoje mais conhecido por seu uso em baterias, suas aplicações se estendem para a indústria de vidros, cerâmicas, de graxas, no tratamento de ar, metalurgia, produção de polímeros, indústria farmacêutica, produção de

alumínio. A Figura 11 apresenta o uso estimado do lítio em algumas de suas principais aplicações.

Figura 11
Usos de Lítio no Mundo – 2011

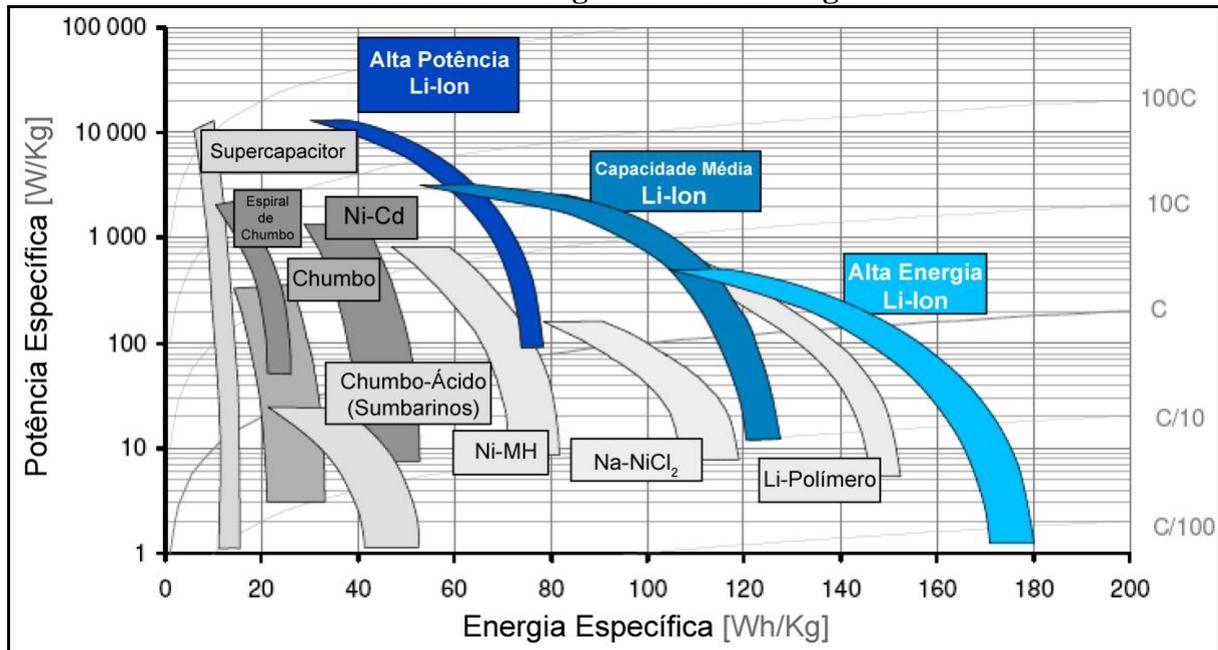


Fonte: ROSKILL, 2012.

As baterias de Íon-lítio se tornaram consagradas no mercado de baterias por não terem o chamado *efeito memória*, ou seja, não importa quantas vezes ela seja recarregada, sua capacidade de armazenamento permanecerá a mesma. Além disso, elas não precisam da recarga inicial prolongada, apenas a recarga padrão é suficiente, além de demorarem muito mais tempo para descarregar devido não somente às propriedades específicas da reação química, mas também em função de sua maior capacidade de carga .

Estas três vantagens tornaram as baterias de íon-lítio muito atrativas no mercado, além de serem mais leves e menos nocivas ao meio ambiente. A Figura 12 mostra um gráfico comparativo entre as baterias de lítio e outras baterias presentes no mercado, onde se pode perceber que apesar de possuírem uma menor potência específica, sua energia específica é visivelmente bem superior, o que significa uma maior capacidade de armazenamento e consumo mais eficiente ao longo do tempo.

Figura 12
Densidade Energética- Curva Ragone



Fonte: ROSOLEM, 2011.

As primeiras baterias de lítio foram criadas originalmente em 1912 pelo químico norte-americano Gilbert Newton Lewis, mas sua comercialização só foi possível em meados de 1970, devido a problemas de instabilidade. Hoje são particularmente conhecidas por seus usos em celulares, notebooks e eletro-eletrônicos portáteis em geral, mas também usadas em veículos elétricos e elétricos híbridos (NORTHWESTERN, 2011)

O lítio é bem conhecido há muito tempo por seu elevado calor específico, o maior de todos os sólidos, e isto o torna relativamente importante para graxas/lubrificantes que trabalham em temperaturas muito altas ou muito baixas, pois demoram a absorver o calor liberado pelo maquinário, permitindo um longo tempo de uso sem que a graxa comece a fundir, praticamente em qualquer ambiente. Esta propriedade também é aplicada na produção de vidros e cerâmicas, aonde se deseja que estes materiais apresentem uma maior resistência a intempéries.

Além de suas propriedades eletroquímicas, o baixo ponto de fusão do lítio (180°C) o torna útil para reduzir o ponto de fusão em outros processos, como na produção e aplicação de esmaltes em cerâmicas, na produção de vidro e de alumínio primário.

O lítio também é utilizado para criar substâncias desumidificadoras, sendo suas aplicações muito variadas na indústria, embora mais conhecidas na construção de aparelhos de ar condicionado. Aparelhos de refrigeração, em geral, trabalham com a retirada de calor através da troca de estados (líquido/sólido) de um fluido refrigerante. Um desses refrigerantes utilizados é o sistema água-brometo de lítio, onde o brometo de lítio (um eficiente desumidificador) retira a umidade do ar.

Na indústria de fármacos, o lítio atua diretamente no sistema nervoso, sendo utilizado no tratamento de transtorno bipolar e depressão.

como catalisador na produção. Catalisadores, em geral, atuam reduzindo a energia inicial de ativação do processo, pois aceleram uma reação, o que no fim resulta em economia de energia. O lítio é utilizado como catalisador na produção de borracha sintética, plásticos e compostos orgânicos para a indústria de polímeros. A Tabela 6 apresenta as aplicações mais relevantes dos principais compostos de lítio.

Tabela 6
Aplicações e Compostos de Lítio – 2002

Aplicação	Principal composto
Vidros/cerâmicas - Redução do ponto de fusão	Li
Vidros/cerâmicas - Vitrificação	Li ₂ CO ₃
Alumínio	Li ₂ CO ₃
Lubrificantes	LiOH
Baterias	Li ₂ CO ₃
Polímeros	Li ₂ CO ₃
Fármacos	Butilítio
Ar condicionado	LiBr
Borracha sintética	Butilítio
Outros	Li ₂ CO ₃

Fonte: EBENSPERGER, 2005.

2.3- MERCADO MUNDIAL

Em 2011, a produção mundial de carbonato de lítio (LCE) foi de cerca de 161.000 toneladas, sendo que 81.000 t provindo da produção de pegmatitos, e 80.000 t dos salares (ROSKILL, 2012).

Os maiores produtores são: Chile, Austrália e Argentina, representando 96% da produção mundial (Tabela 7).

É importante destacar que o Chile é o maior produtor de carbonato de lítio, produzido no Salar de Atacama, enquanto que a Austrália é a maior produtora

concentrado de Espodumênio, concentrado de espodumênio oriundo principalmente do pegmatito Greenbushes.

Tabela 7
Produção e Reservas Mundiais

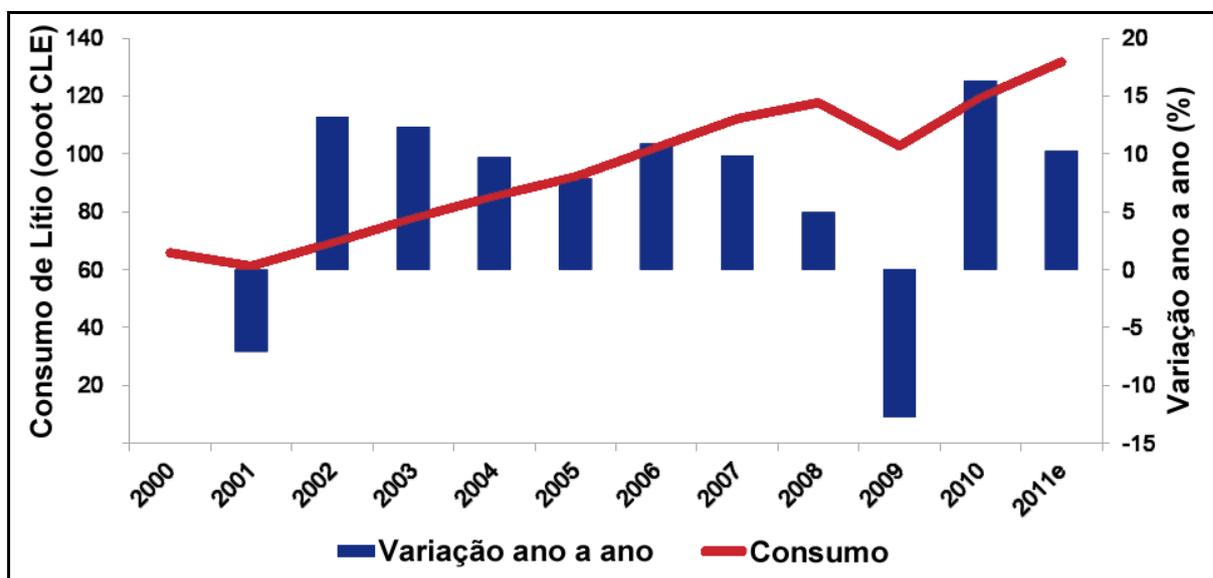
Países	Produção (t)		Reservas (t)
	2010	2011	
Estados Unidos	w	w	38.000
Argentina	2.950	3.200	850.000
Austrália	9.260	11.300	970.000
Brasil	489	489	64.000
Chile	10.510	12.600	7.500.000
China	3.950	5.200	3.500.000
Portugal	800	820	10.000
Zimbábwe	470	470	23.000
Total	28.429	34.079	12.955.000

Notas: “W” são dados não disponibilizados para evitar a divulgação de informações de proprietários.

Fonte: USGS, 2012; DNPM, 2012.

A tendência mundial do mercado tem sido a queda de preços, desde, que a SQM introduziu o carbonato de lítio pela metade do preço, em 1997. Atualmente, existe uma demanda crescente impulsionada, principalmente, pela indústria de baterias (Figura 13), mas que não leva a um aumento do preço do carbonato de lítio, uma vez que as principais indústrias já estabelecidas (SQM, Chemetall, FMC, China Brine, Sichuan Tianqui e outras indústrias chinesas) estão compensando esta demanda com a expansão de suas atividades, mantendo a estabilidade dos preços (ROSKILL, 2012).

Figura 13
Crescimento do Consumo Mundial de Lítio -2000-2011



Fonte: Roskill, 2012

2.4- MERCADO NACIONAL

Segundo o Anuário Mineral Brasileiro de 2010, o Brasil comercializa principalmente os concentrados minerais com o México, produzidos no Distrito de Araçuaí-Itinga, em Minas Gerais, onde atua a Companhia Brasileira de Lítio- CBL-, na mina de Cachoeira (SILVA 2011).

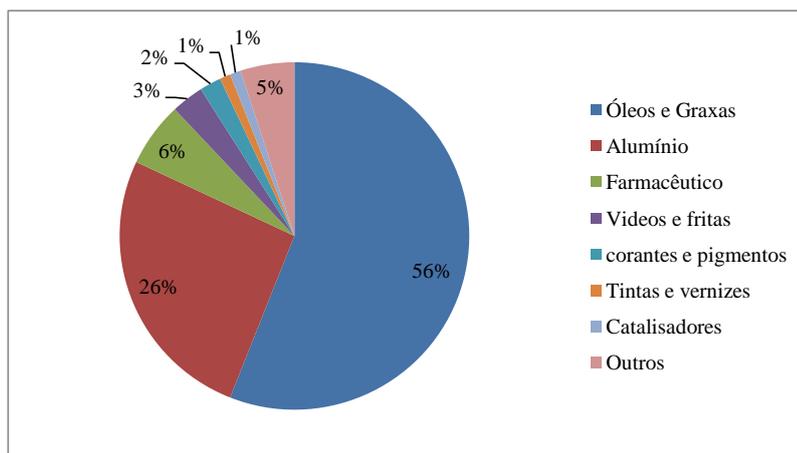
As principais empresas atuantes são a CBL, com cerca de 93,92% de participação, e a Arqueana de Minérios e Metais LTDA, com 6,08%. Estas produzem espodumênio e petalita. O espodumênio é comercializado principalmente como produto beneficiado, cerca de 510 t/ano, mas também comercializa 13 t/ano como substância bruta, enquanto que a petalita é comercializada apenas em sua forma bruta, cerca de 27 t/ano.

Do material produzido, 73,39% são destinados à produção nacional, principalmente para as indústrias de graxas e óleos (figura 14), 26,85% tem por destino o mercado externo, basicamente o México (160 t/ano).

De acordo com a portaria CNEN nº 279 a importação de produtos à base de lítio é controlada pela CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), definida segundo

cotas anuais estipuladas para produtos a base de lítio produzidos dentro e fora do Brasil.

Figura 14
Usos de Lítio no Brasil - 2010



Nota: O item “outros” inclui ainda a indústria de cerâmicas. Ver Anuário Brasileiro

Fonte: França 2012

2.5- SUBSTITUTOS

Devido a suas diversas aplicações, o lítio conta também com diversos substitutos, dependendo da aplicação (Tabela 8).

¹-Recentemente a indústria de alumínio parou de utilizar o lítio em sua escala produtiva.

Tabela 8
Principais Elementos Substitutos do Lítio

Discriminação	Uso como substituto	Propriedades		
		Potencial Eletroquímico (volts)	Calor Específico (kcal/kg°C)	Ponto de fusão (°C)
Lítio	-	-3,04	0,85	181
Potássio	Vidros, cerâmicas e produção de alumínio.	-2,92	0,18	64
Sódio	Vidros, erâmicas, produção de alumínio e baterias.	-2,71	0,29	98
Cálcio	Graxas, lubrificantes e baterias.	-2,87	0,15	839
Alumínio	Graxas e lubrificantes.	-1,67	0,22	660
Zinco	Baterias	-0,76	0,09	420
Magnésio	Baterias	-2,37	0,24	650
Níquel	Baterias	-0,24	0,10	1453
Cádmio	Baterias	-0,4	0,06	321
Mercúrio	Baterias	0,85	0,03	-39

Fonte: EBENSPERGER, 2005; ENGINEERING, 2012

Na produção de baterias existem outros materiais que por muito tempo sustentaram esta indústria (ver Figura 12) e ainda são amplamente utilizados. As pilhas em geral, por exemplo — C, B, AA, AAA ou as conhecidas pilhas de relógio —, que utilizam uma voltagem de 1,5 volts, comuns em diversos aparelhos eletro-eletrônicos, atualmente não podem ser substituídas pelas chamadas baterias de lítio, visto que as células de lítio trabalham com uma voltagem mínima de 3,0 volts.

Porém, as vantagens das baterias de lítio sobre as demais baterias acima de 3,0 volts torna muito improvável qualquer substituição, pois não se trata apenas da voltagem superior, mas também da ausência do *efeito memória* e sua maior durabilidade, de modo que o mercado já considera uma grande demanda ampliada principalmente pelo segmento de baterias automotivas em veículos híbridos e elétricos.

Os principais substitutos do lítio na produção de graxas e lubrificantes são o cálcio e o alumínio. O lítio é utilizado para produzir um lubrificante, em geral sólido, eficiente a extremos de temperaturas; considerando que o lítio possui o maior calor específico dentre os sólidos, é implausível que qualquer outro elemento venha a substituí-lo, senão por uma questão econômica. A previsão geral é de crescimento para este segmento, mas um crescimento tênue padrão.

As indústrias de vidros e cerâmicas utilizam o lítio como um fluxante para reduzir a temperatura de fusão destes materiais. Entretanto, cada fluxante tem uma propriedade específica. Os de sódio são geralmente utilizados em médio a alto fogo¹ (temperaturas altas) e os de potássio são utilizados em esmaltes de alto fogo, e se caracterizam por atribuir mais durabilidade do que o esmalte com fluxantes de sódio. Já o fluxante de lítio é utilizado para encorajar o crescimento de cristais em esmaltes cristalinos.

Além disso, os fluxantes também agem de modo distinto na qualidade do produto final, e por cada elemento atuar de modo bem particular, atribuindo características ao produto final, a supressão do lítio como fluxante pode acarretar na retirada de um determinado produto do mercado. Atualmente, também se atribui um crescimento econômico padrão a esta indústria.

Na produção de alumínio o lítio tem perdido espaço, uma vez que novas tecnologias aplicadas ao processo passaram a não utilizar este elemento. O que se estima é que o consumo se estabilize por algum tempo e depois venha a se reduzir (YAKSIC e TILTON, 2009).

3- CENÁRIOS

O consumo de lítio praticamente dobrou na última década, e o metal tornou-se cada vez mais presente na vida cotidiana, com a ampliação do consumo de equipamentos tais como celulares, *tablets* e computadores portáteis. A tendência geral é de um aumento ainda maior para os próximos anos, impulsionado principalmente pelas indústrias de baterias e veículos elétricos.

3.1- Inovações Atuais

Novas tecnologias podem alterar significativamente os mercados futuros. Veículos híbridos, por exemplo, já são uma realidade em algumas cidades do país e do mundo, principalmente nos Estados Unidos; apesar de seus valores ainda serem ligeiramente mais elevados, não mais representam um artigo único, inovador ou exótico, mas sim um produto progressivamente disponível no mercado, ao alcance do consumidor comum. Veículos híbridos, mesmo considerando-se seus custos diferenciados, são cada vez mais competitivos no mercado devido à economia de combustível. A Tabela 9 mostra o preço e o consumo de alguns veículos híbridos e convencionais.

Tabela 9
Quadro Comparativo entre Veículos Convencionais e Elétricos Híbridos

Automóveis convencionais e elétricos híbridos	Km/l gasolina		Custo (US\$)	Diferença
	Cidade	Estrada		
Corolla 09 (<i>convencional</i>)	11,1	15,3	17.150	
Prius 08 (<i>elétrico híbrido</i>)	20,4	19,1	21.100	23,0%
Camry 09 (<i>convencional</i>)	8,9	13,2	18.720	
Camry (<i>elétrico híbrido</i>)	14,0	14,5	25.350	35,40%
Honda Civic 08 (<i>convencional</i>)	10,6	15,3	15.010	
Honda Civic 08 (<i>elétrico híbrido</i>)	17,0	19,1	22.600	50,60%
Nissan Altima (<i>convencional</i>)	9,8	13,2	20.180	
Nissan Altima (<i>elétrico híbrido</i>)	14,9	14,0	25.170	24,70%

Fonte: Vac ,2011.

Os dados tabelados permitem calcular que, em média, os veículos convencionais fazem, em ambientes urbanos, cerca de 10,1 km por litro de combustível, enquanto que veículos híbridos fazem 16,6 km pela mesma quantidade de combustível. Entretanto, considerando-se que veículos híbridos custam em média 6.000 US\$ a mais, que a gasolina nos Estados Unidos custa cerca de 0,89 US\$ o litro e que o americano médio faz cerca de 52,8 Km/dia em seus veículos, levaria mais de 9 anos para que o veículo híbrido compensasse os 6.000 US\$ investidos, o que representa um tempo muito longo visto que a maioria das pessoas já teria trocado de automóvel no mínimo uma vez.

Devido a isto, apesar do preço mais acessível, os veículos híbridos só são atrativos para um consumidor bem específico, em geral com preocupações ecológicas (MACRUMORS, 2012).

Comparado ao veículo híbrido, o veículo elétrico chega a ser cerca de 70 a 90% mais eficiente do que o veículo convencional. Atualmente, ainda apresentam valores extremamente elevados devido ao fato da tecnologia ser relativamente nova nos motores elétricos, mas a tendência é de redução de preço conforme o aprimoramento das baterias e motores elétricos.

Outra inovação é representada pelo grafeno, um material sintético constituído de átomos de carbono em um arranjo de folhas hexagonal. Atualmente, as baterias utilizam o grafite, que seriam folhas de grafeno em arranjos aleatórios onde os átomos de lítio iônico passam através destas folhas em direção ao catodo. Mas o arranjo aleatório torna o “tráfego” dos íons relativamente lento, e isto resulta no tempo em que a bateria leva para recarregar.

Engenheiros da Universidade Northwestern (Evanston, IL, EUA) produziram um material que associa folhas de grafeno intercaladas por átomos de silício, eliminando a aleatoriedade das folhas, criando um curso mais direto, enquanto que os átomos de silício aumentam a capacidade em cerca de 10 vezes. O resultado foram baterias de celulares que podem durar cerca de uma semana, carregadas em apenas 15 minutos (NORTHWESTERN, 2011).

3.2- Cenários Futuros, 2020-2100

Existem várias previsões para 2020, principalmente no que se refere ao mercado de veículos elétricos e híbridos. O grupo de consultoria industrial TRU Group prevê um aumento na demanda de 25.000 t para 45.000 t em 2020, alimentado principalmente pelo mercado de baterias (o que inclui baterias para veículos elétricos e elétricos híbridos). Ainda sobre as considerações do TRU Group, a produção de veículos elétricos (que consiste em elétricos, elétricos híbridos e associados) deve aumentar de 1,5 milhões em 2012 para mais de 5 milhões em 2020 (TRU Group, 2012).

Roskill (2012), estima um crescimento da demanda anual de 7,5% até 2020. Este aumento que pode chegar a 10% ao ano, o que corresponde de 250.000 a 300.000 toneladas de carbonato de lítio. A produção de veículos elétricos, elétricos híbridos e associados seria de 6 milhões, com uma margem que pode variar entre 4 e 10 milhões, dependendo do cenário em questão.

A companhia Talison Lithium (2012) baseia em vários fatores sua análise das perspectivas para o mercado de lítio. Levando-se em consideração apenas o crescimento convencional, a demanda estaria entre 100.000 e 150.000 toneladas de carbonato de lítio para 2020.

Atentando também para o crescimento e desenvolvimento econômico global, principalmente o crescimento da China, a demanda seria algo próximo a 300.000 toneladas; ao se incluir ainda o mercado de transportes, a demanda seria próxima a 350.000 toneladas de carbonato de lítio para o cenário mais pessimista e de 500.000 toneladas para o cenário mais otimista.

Yaksic e Tilton (2009) consideram também o crescimento da demanda para baterias, graxas e lubrificantes, vidros e fritas, ar condicionado, alumínio e outros. A maioria destas aplicações teria um crescimento entre 5 e 8%, que se reduziria com o tempo, com exceção das baterias, que terão um crescimento entre 13 e 25%, mas também com tendência à redução. A produção de alumínio não terá nenhum crescimento nas próximas décadas, sofrendo uma retração até que não haja mais consumo de lítio neste mercado.

Yaksic e Tilton (2009) estimam – para 2050 - que 100% dos veículos disponíveis serão híbridos ou completamente elétricos, o que deverá representar cerca de 146 milhões de veículos, um cenário otimista visto que nem todos os veículos

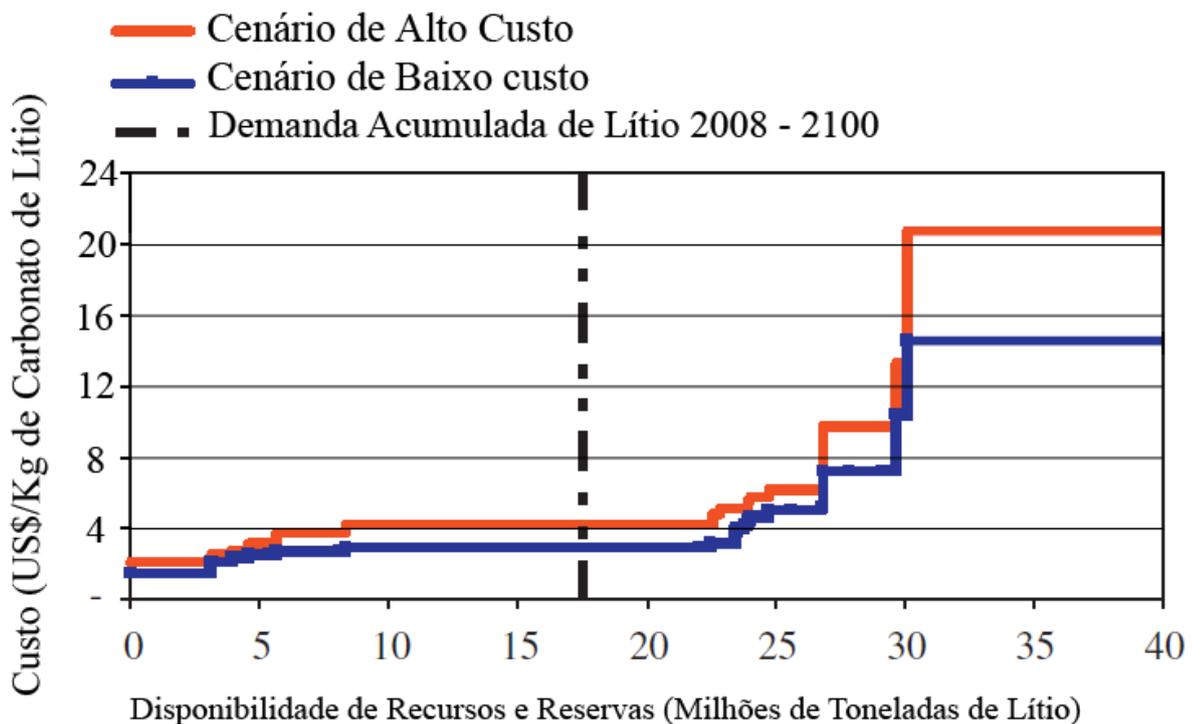
necessariamente seriam híbridos ou puramente elétricos. A produção de baterias primárias e secundárias teriam um crescimento de 3% até 2050, enquanto que as demais aplicações ficariam abaixo de 1%.

No ano de 2100, estima-se que a população mundial seja de 9 bilhões de habitantes (ONU), com 3 pessoas para cada automóvel e 100% dos veículos híbridos ou puramente elétricos. Com esses dados, Yaksic e Tilton (2009) consideram que serão necessárias 17,5 milhões de toneladas de lítio para suprir o mercado até 2100.

3.3- Possibilidade de Depleção

Em 2009, Tilton desenvolveu a *Curva de Custo e Viabilidade do lítio*, com base na análise da produção de diversos depósitos e províncias minerais ao redor do mundo, principalmente em dados de reservas. A curva mostra, no eixo das ordenadas, o custo de exploração de uma jazida em particular; no eixo das abcissas, a quantidade de lítio disponível nesta mesma jazida. Considerando-se as várias jazidas, é possível criar uma curva como a da Figura 15.

Figura 15
Curva de Produção e Disponibilidade Acumulada de Lítio – 2100



Fonte: YAKSIC e TILTON, 2009

A *Curva de Custo e Disponibilidade* em si já demonstra que não existe um risco de depleção física, uma vez que o lítio pode ser retirado dos oceanos, o que representa um recurso de 224.000 toneladas deste metal. Entretanto, o custo de exploração dessa jazida poderá alcançar o valor de 14 até 20 US\$/kg de lítio. Assim, o que poderia inviabilizar a disponibilidade do metal no mercado seria o progressivo aumento do custo de sua exploração com o esgotamento das jazidas menos dispendiosas, o que significa que a disponibilidade deste recurso depende mais da demanda/custo do que das reservas existentes.

4- CONCLUSÕES

Há bastante tempo, o lítio é conhecido na indústria por suas características praticamente únicas, o que o torna muito importante em diversas aplicações como a confecção de vidros, cerâmicas, graxas, tratamento de ar, metalurgia, produção de polímeros, indústria farmacêutica, produção de alumínio e uma série de outras aplicações, como a produção de bombas de hidrogênio.

Porém, na última década, com o advento das baterias de lítio, este elemento que antes era um agente implícito em diversas aplicações na indústria se transformou em algo fundamental para a sociedade.

Uma bateria representa mais do que uma fonte de energia, uma bateria representa portabilidade, um fenômeno que levou a era da informação para praticamente qualquer lugar. E, sendo o lítio um dos principais constituintes e, atualmente, sinônimo de bateria, o lítio também é um sinônimo da portabilidade. No início das décadas de 80 e 90, portabilidade era um artigo de luxo, requinte dos mais abastados, muito longe da realidade de bilhões de pessoas.

Porém, com o tempo, como ocorre com qualquer tecnologia a mesma se popularizou com os primeiros computadores portáteis, e os primeiros celulares. Mas uma série de problemas como o baixo tempo de duração das baterias, que precisavam de constantes recargas e com o curto prazo de validade impediam que a era de informação se mesclasse ao fenômeno da portabilidade.

Na verdade celulares e computadores portáteis representavam mais portabilidade do que funcionalidade.

A tendência mundial do mercado tem sido a queda de preços, desde, que a SQM introduziu o carbonato de lítio pela metade do preço, no final da década de 90.

Atualmente, existe uma demanda crescente impulsionada, principalmente, pela indústria de baterias, originada com a redução de preços, mas que não leva a um aumento do preço do carbonato de lítio, uma vez que as principais indústrias já estabelecidas (SQM, Chemetall, FMC, China Brine, Sichuan Tianqui e outras indústrias chinesas) estão compensando esta demanda com a expansão de suas atividades, o que tem como consequência a manutenção dos preços.

Hoje a produção mundial é de 161.000 toneladas (81.000 t provêm da produção de pegmatitos, e 80.000 t dos salares) de modo que Chile, Austrália, Argentina e China são os maiores produtores, representando 96% da produção do planeta. Desta produção, cerca de 22% é destinado ao mercado de baterias, tendência que têm aumentado nos últimos anos.

O Brasil também é um produtor e exportador, comercializando principalmente os concentrados, produzidos no Distrito de Araçuaí-Itinga, em Minas Gerais. Do material produzido, 73,39% são destinados à produção nacional, principalmente para as indústrias de alumínio, graxas e óleos, 26,85% tem por destino o mercado externo, basicamente o México (160 t/ano), e 0,24% não são informados.

Mundialmente, o consumo de lítio praticamente dobrou na última década, e o metal tornou-se cada vez mais presente na vida cotidiana, com a ampliação do consumo de equipamentos tais como celulares, tablets e computadores portáteis. A tendência geral é de um aumento ainda maior para os próximos anos, impulsionado principalmente pelas indústrias de baterias e veículos elétricos/híbridos.

As baterias de lítio, com mais tempo de duração e maior durabilidade permitiram que celulares e outros equipamentos portáteis tivessem, além de suas funções convencionais, mais funcionalidades, mais capacidade, e mais potência.

O impacto do lítio no mercado de baterias foi monstruoso na sociedade, mas que pode vir a ser considerado sutil se comparado à produção de carros elétricos e elétricos híbridos. Mais do que uma questão ecológica, esse tipo específico de veículo tem como diferencial a eficiência de consumo, cerca de 30% menos, o que compreende a uma economia considerável.

Atualmente, este valor ainda não produz uma diferença significativa quando comparado ao custo de produção, situação que tende a se alterar com o advento de novas tecnologias que podem tornar as baterias mais baratas, ou ainda mais eficientes, algo muito provável visto que a popularização de carros híbridos é um evento relativamente recente.

Roskill (2012), estima um crescimento de 7,5% na demanda anual até 2020. Este aumento que pode chegar a 10% ao ano, o que corresponde de 250.000 a 300.000 toneladas de carbonato de lítio (LCE). A produção de veículos elétricos, elétricos híbridos e associados seria de 6 milhões, com uma margem que pode variar entre 4 e 10 milhões, dependendo do cenário em questão.

A companhia Talison Lithium (2012) baseia em vários fatores sua análise das perspectivas para o mercado de lítio. Levando-se em consideração apenas o crescimento convencional, a demanda estaria entre 100.000 e 150.000 toneladas de carbonato de lítio.

Atentando também para o crescimento e desenvolvimento econômico global, principalmente o crescimento da China, a demanda seria algo próximo a 300.000 toneladas; ao se incluir ainda o mercado de transportes, a demanda seria próxima a 350.000 toneladas de carbonato de lítio para o cenário mais pessimista e de 500.000 toneladas para o cenário mais otimista.

Para 2050, Yaksic e Tilton (2009) estimam que 100% dos veículos disponíveis serão híbridos ou completamente elétricos, o que deverá representar cerca de 146 milhões de veículos, um cenário otimista visto que nem todos os veículos necessariamente seriam híbridos ou puramente elétricos. A produção de baterias primárias e secundárias teriam um crescimento de 3% até 2050, enquanto que as demais aplicações ficariam abaixo de 1%.

Assim, o que poderia inviabilizar a disponibilidade do metal no mercado seria o progressivo aumento do custo de sua exploração com o esgotamento das jazidas menos dispendiosas, o que significa que a disponibilidade deste recurso depende mais da demanda/custo do que das reservas existentes.

As baterias de lítio, com mais tempo de duração e maior durabilidade permitiram que celulares e outros equipamentos portáteis tivessem, além de suas funções convencionais, mais funcionalidades, mais capacidade, e mais potência. Se considerarmos que as inovações atuais, serão a base da sociedade do futuro, podemos então dizer que o lítio será um elemento fundamental do futuro, um material estratégico, referência em tecnologias energéticas que além de ecologicamente mais correto, e que acima da sustentabilidade, se caracteriza por sua eficiência.

5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCR – Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias. Estatísticas. Disponível em: <http://www.abcr.org.br/Conteudo/Secao/43/estatisticas.aspx>. Acesso em 03 set. 2012.

ABIVIDRO - Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automotivas de Vidro. Disponível em: www.abividro.org.br. Acesso em 4 jun. 2009.

ABUNDANCE of the chemical elements. In: *Wikipedia, the free encyclopedia*. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Abundance_of_the_chemical_elements. Acesso em: 3 out 2012.

BALLIVIAN, O.; RISACHER, F. (1981). *Los salares del Altiplano boliviano: metodos de estudio y estimacion econômica*. Paris: ORSTOM.

BARKS PUBLICATIONS. Grease: What it is; How it Works. Disponível em: <http://www.barks.com/2002/02-04feat.html>. Acesso em 28 maio 2012.

BARTHELMY, D. (2010). Mineralogy Database. Disponível em: <http://webmineral.com/>. Acesso em 1 set. 2012.

BATTERY UNIVERSITY. Is Lithium-ion the Ideal Battery? Disponível em: http://batteryuniversity.com/learn/article/is_lithium_ion_the_ideal_battery. Acesso em 24 jul. 2012.

BAYLIS, R. (2012). Vehicle electrification and other lithium end-uses: How big and how quickly? *4th Lithium Supply & Markets Conference*, Buenos Aires, Argentina, January 23–25, 2012.

BNDES. Oficina de Trabalho Veículo Elétrico. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/seminario/Oficina_VeiculosEletricos_CPqD.pdf. Acesso em 12 dez. 2012.

BRAGA, P.F.; FRANÇA, S.A. (2011). Mercado Internacional de Lítio - uma abordagem atualizada. *I Seminário sobre lítio –Brasil*. Rede de Pesquisas, Desenvolvimentos e Tecnologias para o Lítio Brasileiro (PTD Lítio). CETEM, Rio de Janeiro, 12 de agosto de 2011. CD ROM.

BRAGA, P.F.; FRANÇA, S.A. (2011). Processamento de Minerais de Lítio. *I Seminário sobre lítio –Brasil*. Rede de Pesquisas, Desenvolvimentos e Tecnologias para o Lítio Brasileiro (PTD Lítio). CETEM, Rio de Janeiro, 12 de agosto de 2011. CD ROM.

BRAGA, P.F.A.; SAMPAIO, J.A. (2009). Lítio. In: *Rochas e Minerais Industriais, Usos e Especificações*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT.

BRANDE, W. T.; MACNEVEN, W. J. (1821). *A manual of chemistry: containing the principal facts of the science, arranged in the order in which they are discussed and illustrated in the lectures at the Royal Institution of Great Britain*. New York: George Long Ed.

BRASIL (2010). Departamento Nacional de Produção Mineral. *Anuário Mineral Brasileiro 2005*. Brasília: DNPM.

CARMONA, V. et al. (2000). Solute inputs in the Salar of Atacama (N. Chile). *Journal of Geochemical Exploration*, n.69–70, pp. 449–452.

CERNY, P; TRUEMAN, D.L. (1978). The distribution and petrogenesis of lithium pegmatites in the western superior province of the Canadian shield. *Energy*, v.3, pp. 365-377.

CHAROY, B. et al. (1992). The crystal chemistry of spodumene some granitic aplite-pegmatite of northern Portugal. *Canadian Mineralogist*, v. 30, pp.639-665.

CHEMETALL, Lithium Division (2008). Applications. Disponível em: <http://www.chemetalllithium.com/>. Acesso em 09 jun. 2008.

CHEMETALL, Lithium Division. (2008). Rockwood Lithium. Disponível em: <http://www.rockwoodlithium.com/index.en.html>. Acesso em 3 de Agosto de 2012.

COSMIC, R. Nucleosynthesis. Disponível em: http://www.mpa-garching.mpg.de/lectures/ADSEM/SS04_Yoldas.pdf. Acesso em 15 out. 2012.

DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral. *Anuário Mineral Brasileiro 2010*. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2006/substancia%20f-m.pdf>. Acesso em 02 jun. 2012.

DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral. *Cadastro Mineiro 2009*. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br>. Acesso em 20 maio 2012.

DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral. *Sumário Mineral Brasileiro 2008*. In: www.dnpm.gov.br. Acesso em 20 maio 2012.

EBENSPERGER, A. et al. (2005). The Lithium Industry: Its Recent Evolution and Future Prospects. *Resource Policy*, v. 30, n. 3, pp.218 -231.

EIA, U.S. Energy Information Administration. Petroleum & other liquids. Disponível em: <http://www.eia.gov/petroleum/gasdiesel/>. Acesso em 30 ago. 2012.

EIA, U.S. Energy Information Administration. Disponível em <http://www.eia.gov/petroleum/gasdiesel/>. Acesso em 12 dez. 2012.

ENGINEERING ToolBox (2012a). Electrode Potential and Galvanic Corrosion. Disponível em http://www.engineeringtoolbox.com/electrode-potential-d_482.html. Acesso em 14 dez. 2012.

ENGINEERING ToolBox (2012b). Metals - Specific Heats. Common metals - aluminum, iron, mercury and many more - and their specific heats - imperial and SI units. Disponível em: http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-metals-d_152.html. Acesso em 14 dez. 2012.

GARCIA, I. J. (2011). Lítio. *Sumário Mineral 2011* - Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília: DNPM.

GAS-FIRED Air Conditioning Equipment. Disponível em: http://www.gasairconditioning.org/absorption_how_it_works.htm. Acesso em 27 ago. 2012.

HARBEN, P.W.; KUŽVART, M. (1996). *Industrial minerals: a global geology*. London: Industrial Minerals Information Ltd.

IHS CHEMICAL. Organometallics Disponível em: <http://www.ihs.com/products/chemical/planning/ceh/organometallics.aspx?pu=1&rd=chemihs>. Acesso em 12 dez. 2012.

KESLER, S.E. et al. (2012). Global lithium resources: Relative importance of pegmatite, brine and other deposits. *Ore Geology Reviews*, n.48, pp. 55–69.

KUNASZ, I. (2006). Lithium resources. In: KOGEL, J.E. (ed.). *Industrial minerals & rocks: commodities, markets, and uses*. Littleton: Society for Mining Metallurgy and Exploration. pp. 599–613.

LONDON, D. (2005) Granitic pegmatites, an assessment of current concepts and directions for the future. *Lithos*, n. 80, pp. 281-303.

LOPES, L. (2011). Astropt: A Sequência Espectral. Disponível em: <http://astropt.org/blog/2011/08/19/a-sequencia-espectral/>. Acesso em 23 de Jul. 2012.

MACIEL, W. J. (2004). Formação dos elementos químicos. *Revista USP*, n. 62, 66-73, jun/ago. 2004.

MACRUMORS. How many miles do you drive per day on average? Disponível em: <http://forums.macrumors.com/showthread.php?t=872202>. Acesso em 30 ago. 2012.

MINDAT.ORG - the mineral and locality database. Disponível em: <http://www.mindat.org>. Acesso em 12 dez. 2012.

MINERALOGY Database. Disponível em: <http://webmineral.com/>. Acesso em 12 dez. 2012.

MOORE, B. The lithium Mining Game - My two days with Nemaska Lithium. Disponível em: <http://evworld.com/article.cfm?storyid=2037>. Acesso em 15 out. 2012.

NEMASKA Lithium - The Whabouchi Project. Disponível em: <http://www.nemaskalithium.com/documents/files/nemaskalithium-whabouchi-project.pdf>. Acesso em 29 out. 2012.

NEMASKA Lithium - Your next Canadian lithium supplier. Disponível em: <http://www.slideshare.net/daveburwell/nemaska-lithium-fact-sheet-2012>. Acesso em 29 out. 2012.

NORTHWESTERN University. (2011). Better batteries: new technology improves both energy capacity and charge rate in rechargeable batteries. Disponível em: <http://www.northwestern.edu/newscenter/stories/2011/11/batteries-energy-kung.html>. Acesso em 15 out. 2012

PARTINGTONN, G.A. et al. (1995). A Review of the Geology Mineralization and Geochronology of the Greenbushes Pegmatite, *Western Australia. Economic Geology*, v. 90, pp. 616-635

PEGMATITE. Disponível em: <http://vulcan.wr.usgs.gov/LivingWith/VolcanicPast/Notes/pegmatite.html>. Acesso em 20 set. 2012.

PETERSON, B. Ceramic and Glaze Fluxes. Disponível em: <http://pottery.about.com/od/diyglazes/tp/fluxes.htm/>. Acesso em 12 dez. 2012.

PINHEIRO, J. C. F. (2011). *Brazilian Lithium Ores Resources and Reserves*. Brasília: DNPM.

ROSKILL (2009). *The economics of lithium*. 11th ed. summary Roskill Information Services. Disponível em: <http://www.roskill.com/reports/minor-andlight-metals/lithium>. Acesso em 20 mar. 2012.

ROSOLEM, M. F. (2011a). Aspectos Gerais sobre a Produção de Baterias de Lítio-ion. *I Seminário sobre lítio –Brasil*. Rede de Pesquisas, Desenvolvimentos e Tecnologias para o Lítio Brasileiro (PTD Lítio). CETEM, Rio de Janeiro, 12 de agosto de 2011. CD ROM.

ROSOLEM, M. F. (2011b). Materiais dos eletrodos para bateria de lítio-íon: aspectos gerais de processamento. In: *Valorização dos pegmatitos litiníferos: minifórum CYTED-IBEROEKA, LNEG, 26 e 27 de Maio de 2011*.

SANTOS, S. F. et al. (2010). Estudo colorimétrico de fritas feldspáticas. *Cerâmica*, São Paulo, v. 56, n. 337.

STEWART, D. B. (1978). Petrogenesis of lithium-rich pegmatites. *American Mineralogist*, v.63, pp. 970-80.

TALISON Lithium. Projects. Disponível em: <http://www.talisonlithium.com/projects>. Acesso em 3 out 2012.

THE LITHIUM Mining Game - The Energy Report. 2005. Disponível em: http://www.theenergyreport.com/cs/user/download/co_file/2646/EVWORLD1205.pdf. Acesso em 15 out. 2012.

TOPF, A. Nova Mining Scores Lithium Battery Hat-trick in China. Disponível em: <http://lithiuminvestingnews.com/6173/nova-mining-lithium-ion-battery-china-sqm/>. Acesso em 19 jun. 2012.

TRU Group Inc. Industry Consultants. TRU Supply-demand forecast lithium 2020. Disponível em: <http://trugroup.com/lithium-market-conference.shtml>. Acesso em 11 fev. 2012.

U. S. DEPARTMENT OF ENERGY (2012). U. S. Energy Information Administration. Disponível em: <http://www.eia.gov/petroleum/gasdiesel/>. Acesso em 11 de out. 2012.

USGS - U.S. Geological Survey, *U.S. Geological Survey Minerals Yearbook 2011*. Disponível em: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lithium/myb1-2011-lithi.pdf> Acesso em 21 Março 2012

USGS - U.S. Geological Survey, *Mineral Commodity Summaries 2012*. Disponível em: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lithium/mcs-2012-lithi.pdf> Acesso em 13 Março 2012

VALORIZAÇÃO de *Pegmatitos* Litíferos. Disponível em: <http://www.lneg.pt/divulgacao/noticias-institucionais/165>. Acesso em 3 out 2012.

VANDERPLAS, J. Light Element Nucleosynthesis: The Li-Be-B Story. Disponível em: <http://www.int.washington.edu/PHYS554/2005/vanderplas.pdf> (PLAS, 2007). Acesso em 15 out. 2012.

WEEKS, M. (2003). *Discovery of the Elements*. Whitefish (Montana, US): Kessinger Publishing.

WHEATLEY, F. D. (2012). Global Trends & The Lithium Market. *4th Lithium Supply & Markets Conference*, Buenos Aires, Argentina, January 23–25, 2012.

YAKSIC, A.; TILTON, J. T. (2009). Using the cumulative availability curve to assess the threat of mineral depletion: the case of lithium. *Resource Policy*, v. 34, n. 4, pp.185 -194.

VAC, D. (2011). VE's pelo mundo, tecnologias e mercados (Fulguris). *I Seminário sobre lítio –Brasil*. Rede de Pesquisas, Desenvolvimentos e Tecnologias para o Lítio Brasileiro (PTD Lítio). CETEM, Rio de Janeiro, 12 de agosto de 2011. CD ROM.

WIKIPEDIA Abundance of the Chemical Elements. Disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Abundance_of_the_chemical_elements. Acesso em 17 jul. 2012.