

Universidade Federal do Paraná

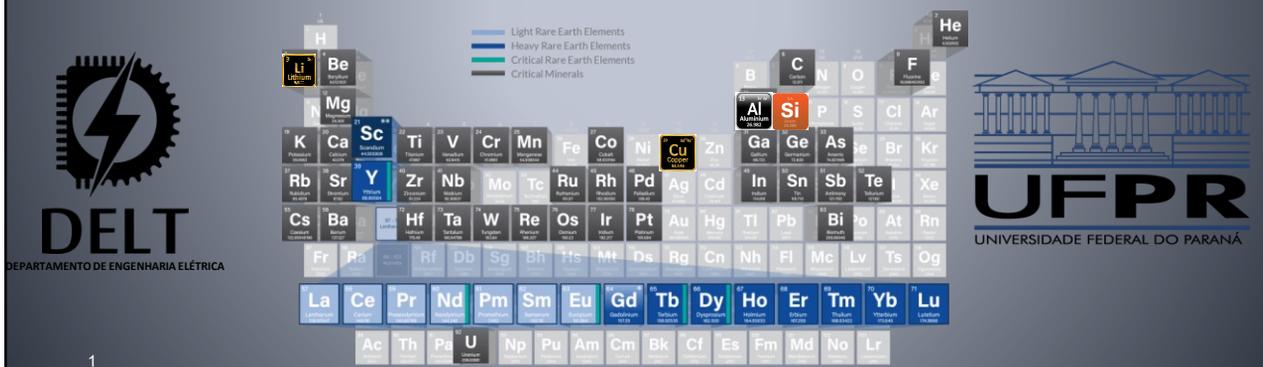
Ewaldo Luiz de Mattos Mehl

Departamento de Engenharia Elétrica

mehl@ufpr.br

Materiais Elétricos

MATERIAIS ESTRATÉGICOS PARA A ENGENHARIA ELÉTRICA



1

1

10. Materiais Estratégicos para Engenharia Elétrica

Definição de Material Estratégico

Metais básicos

Metais tecnológicos

Semicondutores

Lítio

Terras raras

Sc Y La Ce Pr Nd Pm Sm Er Tm Yb Lu Ho

2

10. Materiais Estratégicos para Engenharia Elétrica

Material estratégico é qualquer tipo de matéria-prima importante para o plano estratégico de um indivíduo ou ramo de atividade industrial.

A falta de fornecimento de materiais estratégicos pode deixar uma organização ou governo vulnerável à interrupção da fabricação de produtos que exigem esses materiais



3

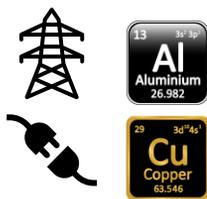
3

10. Materiais Estratégicos para Engenharia Elétrica

Alguns materiais são relativamente simples, mas são necessários em grandes quantidades por um determinado setor industrial

Outros são obscuros e tecnicamente complexos.

Embora não sejam necessários em grandes quantidades, sua insubstituibilidade e necessidade crítica os tornam especialmente valiosos e importantes



4

4

Novas tecnologias = novas demandas

THE TYPES OF LITHIUM-ION BATTERIES

The composition of a lithium-ion battery determines its **energy density, safety, cost, and overall performance.** Here's a look at the tradeoffs between six major types of Li-ion cathode technologies:

BREAKDOWN OF CATHODE TYPES

Of the six major Li-ion technologies, the **NMC, NCA, and LFP cathodes are most commonly used in EVs.**

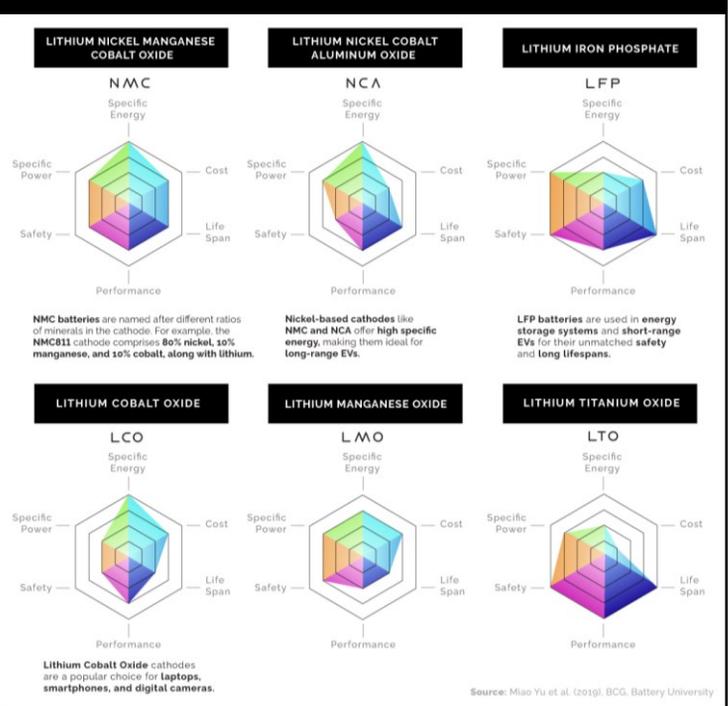
HOW TO READ

The farther the colored shape extends along an axis, the better the performance in that dimension.

- Specific Energy:** Refers to the energy content per unit of mass of the battery.
- Specific Power:** Is the ability to deliver high current or energy on demand in an EV. This determines potential acceleration.
- Cost:**
- Life Span:**
- Safety:**
- Performance:** Reflects the condition of the battery when used in extreme temperature environments.

<https://elements.visualcapitalist.com/the-six-major-types-of-lithium-ion-batteries/>

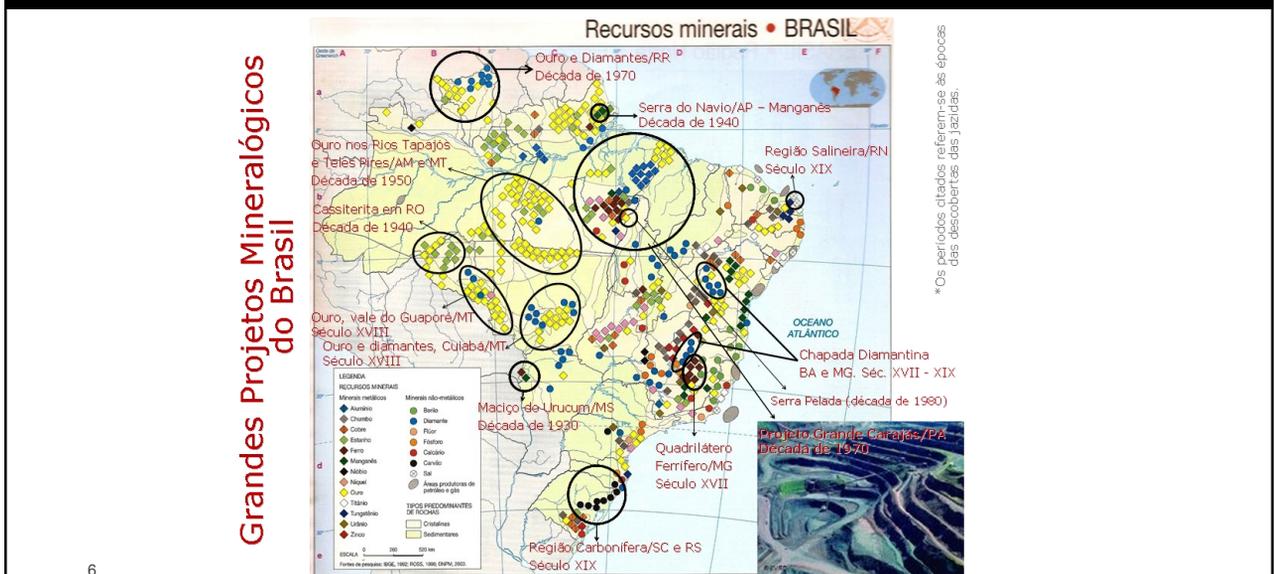
5



5

Brasil

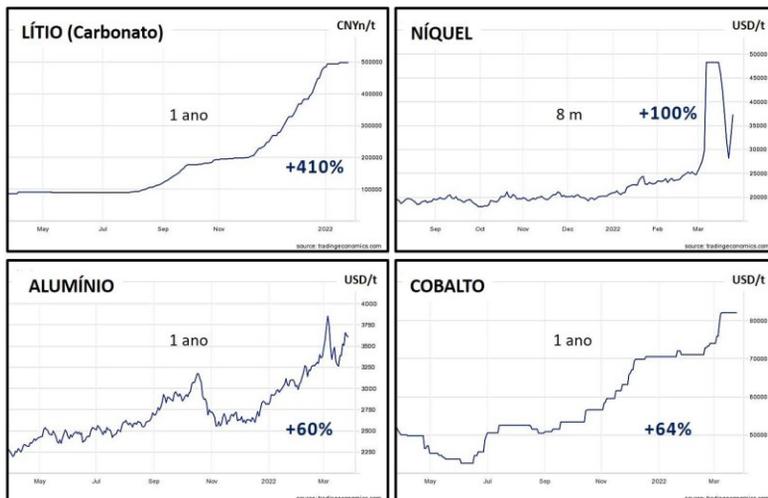
Ferro, Bauxita (Al), Níquel, Ouro, Estanho, Tântalo, Quartzo (Si), Nióbio, Monazita (Th, Ce, La), Manganês, Urânio, Carvão



6

Evolução dos preços internacionais

VARIAÇÃO DO PREÇO [COMPONENTES BATERIAS]



Manganês + 17% | Cobre + 18%

©2022 WWW.MA8CONSULTING.COM

Fontes: TE | LME | BI | MA8

7

7

Brasil – deficiências

Apesar das enormes jazidas de ferro, a maior parte da exportação do produto brasileiro é na forma de minério bruto, sem nenhum beneficiamento.

A produção de cobre metálico no Brasil é baixa. Novas jazidas recém descobertas destinam-se unicamente à exportação do minério não-refinado.

Apesar de ser o maior produtor mundial de cristal de quartzo, o Brasil não produz polissiloxano (Silicone) nem silício para células solares ou para microeletrônica.

Provavelmente o Brasil possui de 8% a 10% das reservas mundiais de lítio na forma de Pegmatitos Litiníferos em Minas Gerais. Mas a produção de lítio é ainda muito baixa.

O Brasil possui a 3ª maior reserva mineral de níquel do Mundo, mas a produção do metal é baixa.

A produção de ouro no Brasil é feita em grande parte por garimpo com métodos primitivos e danosos ao meio ambiente.

O Brasil tem condições de produzir cobalto como subproduto do refino do níquel e do cobre, mas não produz atualmente este metal (produção no Congo em condições de semi-escravidão)

A produção de alumínio brasileira é exclusivamente de alumínio eletrolítico. Ligas de alumínio essenciais para várias indústrias tem que ser importadas.

EMBRAER
Renault

A produção de alumínio brasileira é basicamente para atendimento ao mercado interno. Ainda há exportação de minério bruto (bauxita).

Provavelmente o Brasil possui a maior reserva de Monazita do Mundo, o que coloca o país com a 2ª ou 3ª maior reserva mineral de Terras Raras do Mundo. Mas a produção de Terras Raras no Brasil é extremamente pequena.

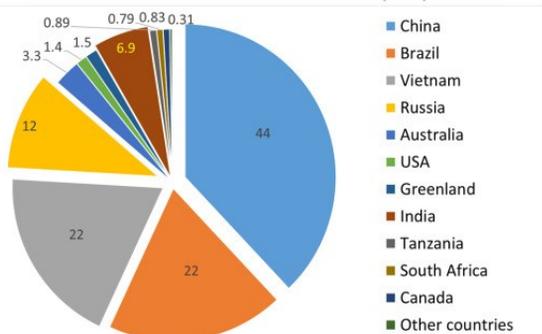
8

8

Brasil – deficiências

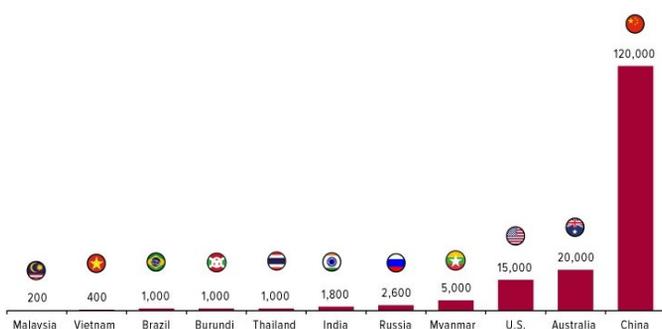
Reservas mundiais de Terras Raras

Global rare earths reserves, million metric tons by the year 2020



Source: USGS, USA

Produção mundial de Terras Raras



Source: U.S. Geological Survey, U.S. Global Investors

9

Materiais Estratégicos para Engenharia Elétrica

Metais Básicos



Cabos elétricos, principalmente em Alta Tensão



Cabos elétricos, principalmente em Baixa Tensão



Torres de energia e de telecomunicações

Cabos de aço (estais e cabos para-raios)

Núcleo magnético de motores e transformadores (FeSi)

10

10

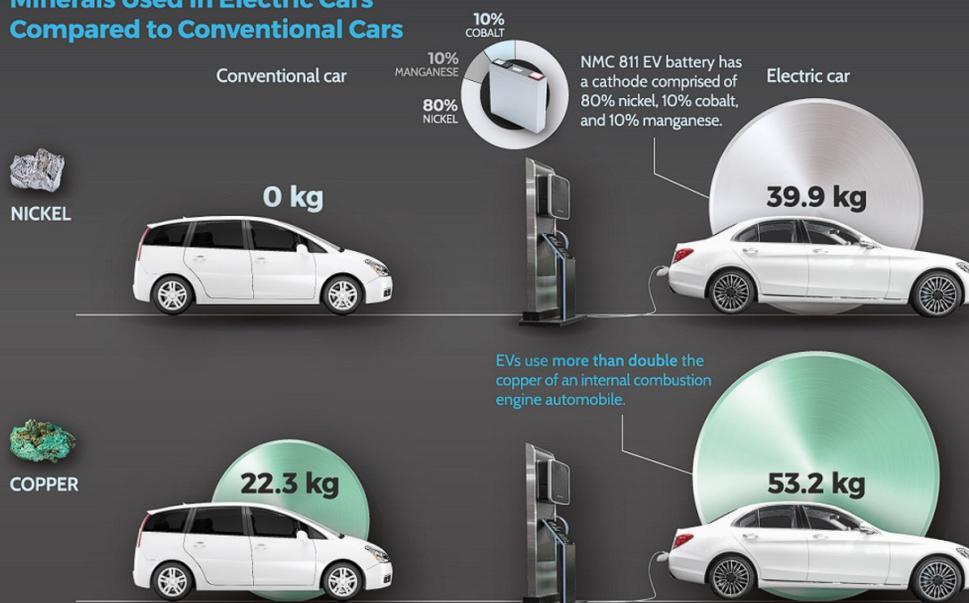
Materiais Estratégicos para Veículos Elétricos

Mineral	Content in electric vehicles (kg)	Content in conventional cars (kg)
Graphite (natural and synthetic)	66.3	0
Copper	53.2	22.3
Nickel	39.9	0
Manganese	24.5	11.2
Cobalt	13.3	0
Lithium	8.9	0
Rare earths	0.5	0
Zinc	0.1	0.1
Others	0.3	0.3

11

11

Minerals Used in Electric Cars Compared to Conventional Cars



Source: IEA

Top automakers plan to invest \$1.2 trillion to develop and produce millions of electric vehicles, as well as batteries and raw materials through 2030.

12

12

Níquel



A composição dos meteoritos faz-se supor que o níquel seja um metal abundante no núcleo da Terra mas é relativamente escasso na crosta terrestre e estratégico em várias aplicações:

- Aço Inox: 65% do níquel produzido é usado na fabricação de aço inox
- Baterias de lítio: Existem basicamente dois tipos de cátodos usados nas baterias de lítio, o de níquel, manganês e óxido de cobalto (NMC) e o de níquel, cobalto e óxido de alumínio (NCA)
- Ligas magnéticas:
 - AlNiCo (ímãs)
 - Permalloy: liga metálica com 70%-90%Ni (Níquel) e o restante principalmente de Fe (Ferro), podendo conter pequenos teores de outros elementos como Cu (Cobre), Cr (Cromo) e Mo (Molibdênio). Esta liga recebe tratamento térmico especial para que adquira suas propriedades magnéticas desejadas. Sua principal propriedade é uma permeabilidade magnética (μ) elevada, que pode atingir 200.000, em baixas intensidades de campo magnético.
 - Mu-metal ou Mumetal é uma liga metálica com 76%Ni (Níquel), 17%Fe (Ferro), 5%Cu (Cobre) e 2%Cr (Cromo) ou Mg (Magnésio), podendo ser considerada pertencente à família das ligas Permalloy. A permeabilidade magnética do Mu-metal pode atingir 100.000. Estes materiais são utilizados em núcleos de transformadores e bobinas, assim como para confecção de blindagens contra campos magnéticos.
 - Ligas níquel-cobre (monel) são muito resistentes a corrosão, utilizando-se em motores marítimos e indústria química.
 - Liga níquel-titânio (nitinol-55): apresenta o fenômeno memória de forma e é usado em robótica. Também é muito utilizada em Odontologia, na confecção de fios ortodônticos e limas endodônticas.

13

13

Meteorito Santa Catharina

É o meteorito metálico com mais alto teor de Níquel já encontrado (33,97%).



1875: Manoel Gonçalves da Rosa encontra em suas terras na Ilha de São Francisco do Sul (SC) duas grandes rochas semienterradas de aspecto brilhante que julga ser minério de ferro. Solicita e obtém direitos de lavra ao Governador da Província de Santa Catarina.

1875: André Rebouças (um dos irmãos *Engenheiros Rebouças*) que na época estava construindo a ferrovia Curitiba-Antonina, obtém uma amostra da rocha e a envia à Escola Polytechnica (atual UFRJ) onde é analisada (64%Fe+36%Ni). Uma amostra é enviada para Paris, para uma análise mais detalhada resultando em 63,69%Fe+33,97%Ni (esta amostra encontra-se atualmente no *Muséum National d'Histoire Naturelle* em Paris, França).

1876: Manoel da Rosa recebe a notícia do alto teor de Níquel no minério e passa a exporta-lo em pedaços para um comprador na Inglaterra. O Níquel, mineral raro na ocasião, vale mais do que o seu peso em prata. Outras três rochas menores foram também encontradas e exportadas em pedaços.

1877: dois geólogos franceses visitaram a "mina de níquel" em São Francisco do Sul, contataram que se tratava de um meteorito e que nada mais havia no local. Os registros de impostos da cidade de São Francisco do Sul comprovam a exportação de ~25.000 quilos de "minério de ferro", do que se supõe ser esta a massa original do meteorito. Era, portanto, o maior meteorito encontrado no Brasil

1884: O engenheiro Luiz Felipe Gonzaga de Campos, diretor da divisão de Mineralogia e Geologia do Museu Nacional realiza buscas na região de São Francisco do Sul e encontra um fragmento do meteorito com aproximadamente 700 g, que foi incorporado ao acervo do Museu Nacional no Rio de Janeiro. Esta peça foi perdida no incêndio do Museu de 2018 mas recuperada em 2019.

Obs.: A coleção de James M. DuPont (EUA) tem um meteorito identificado como "Santa Catharina" mas desconhece-se a sua origem.



Último fragmento do Meteorito Santa Catharina encontrado em 1884 em São Francisco do Sul, acervo do Museu Nacional

14

14

Níquel



- https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2022/03/guerra-na-ucrania-pode-impulsionar-exploracao-de-niquel-no-brasil.shtml?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=newsfolha
- <https://economia.uol.com.br/noticias/bbc/2022/05/12/a-tempestade-perfeita-que-afeta-preco-de-metal-essencial.htm>



Mina de níquel administrada pela Companhia Guatemalteca de Níquel, subsidiária da Swiss Solway Investment Group, no município indígena El Estor, no nordeste da Guatemala
Imagem: Getty Images

15

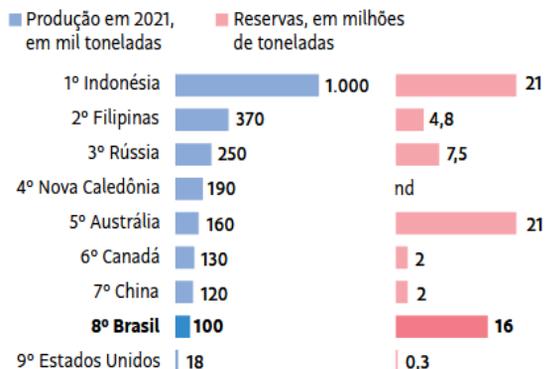
15

Níquel

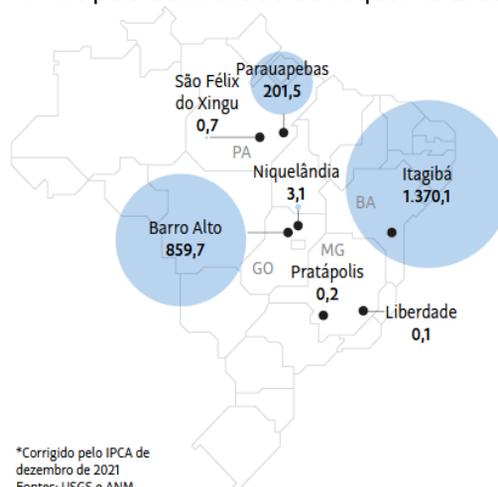


A corrida pelo níquel

Maiores produtores



Principais ocorrências do Níquel no Brasil



*Corrigido pelo IPCA de dezembro de 2021
Fontes: USGS e ANM

16

16

Níquel



Mina Santa Rita, em Itagibá (BA), antiga Mirabela Mineração, atual **Atlantic Nickel**. A exploração desta jazida mineral rica em sulfato de níquel foi feita de forma primitiva e foi encerrada em 2016. Em 2018 a empresa, até então de capital brasileiro, foi comprada pelo Appian Capital Advisory (UK) e reativada a produção em 2020.

A exploração a céu aberto está prevista para durar mais 8 anos, após o que a empresa tem planos de passar à exploração subterrânea. Estima-se que a jazida tem tempo de exploração superior a 30 anos.

17

17

Materiais Estratégicos para Engenharia Elétrica

Metais Básicos



Devido à escassez de cobre na Segunda Guerra Mundial, os cientistas do Projeto Manhattan pegaram emprestado quase 13.000 toneladas de **prata** do Tesouro dos EUA para fazer a fiação dos eletroímãs dos espectrômetros de massa usados para fazer a separação dos isótopos necessários para a Bomba Atômica. Após a guerra, os fios, que valiam **mais de um bilhão de dólares na época**, foram removidos das bobinas e a prata devolvida ao Tesouro dos EUA.

18

18

Materiais Estratégicos para Engenharia Elétrica



19

19



Mina de cobre Los Bances da empresa Anglo American, nos Andes. A foto mostra uma lagoa com resíduos de cobre a 3500m de altitude, a 65 km de Santiago do Chile. A mina produz também molibdênio.
Foto Ivan Alvarado/Reuters

20

20



Mina de cobre Los Bances da empresa Anglo American, nos Andes. A extração do minério é feita entre 3000 e 4200 m de altitude. O teor médio de cobre é de 0,32%. A mina produz também molibdênio.
Foto Martin Creamer - <https://www.creamermedia.co.za>

21

21

Materiais Estratégicos para Engenharia Elétrica

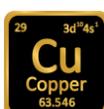
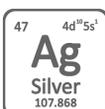
Metais tecnológicos



Latão (Sn+Cu)



Liga de Solda (Sn+Pb)



Liga de Solda *lead-free*
(Sn+Cu) ou (Sn+Cu+Ag)



Cassiterita (SnO₂)



Principal
ocorrência no
Brasil:
**Rondônia
Amazonas**

22

22

Materiais Estratégicos para Engenharia Elétrica

Metais tecnológicos

Uso em eletrônica:
Revestimento anticorrosivo



- Ouro 24 quilates = ouro puro — como é praticamente impossível o ouro ter uma pureza completa, o teor máximo é de 99,99% e assim chamado de ouro 9999. Impróprio para fabricação de joias por ser muito maleável.
- Ouro 22 quilates = 22/24 — 91,6% de ouro, também chamado de ouro 916.
- Ouro 20 quilates = 20/24 — 83,3% de ouro, também chamado de ouro 833.
- Ouro 19,2 quilates = 19,2/24 — 80,0% de ouro, também chamado de ouro 800 ou Ouro Português.
- Ouro 18 quilates = 18/24 — 75% de ouro, também chamado de ouro 750.
- Ouro 16 quilates = 16/24 — 66,6% de ouro, também chamado de ouro 666.
- Ouro 14 quilates = 14/24 — 58,3% de ouro, também chamado de ouro 583.
- Ouro 12 quilates = 12/24 — 50% de ouro, também chamado de ouro 500.
- Ouro 10 quilates = 10/24 — 41,6% de ouro, também chamado de ouro 416.
- Ouro 1 quilate = 1/24 — 4,1666% de ouro, também chamado de ouro 41.

23



23

Materiais Estratégicos para Engenharia Elétrica

Semicondutores



LEDs
Lasers
HF
Células Solares

AlGaInP (LEDs **vermelhos**, **laranjas** e **amarelos**)
InGaN (LEDs **verdes** e **azuis**).



Vidro

Polissiloxano
(Silicone)
Lubrificantes
Isolantes

Células Solares

Microeletrônica

24

24

Materiais Estratégicos para Engenharia Elétrica: Silício

A **MINASILÍCIO GMA MINERADORA** é a maior produtora mundial de quartzo, sendo proprietária de 27 jazidas de quartzo em Minas Gerais (Município de Jequitibá – MG)



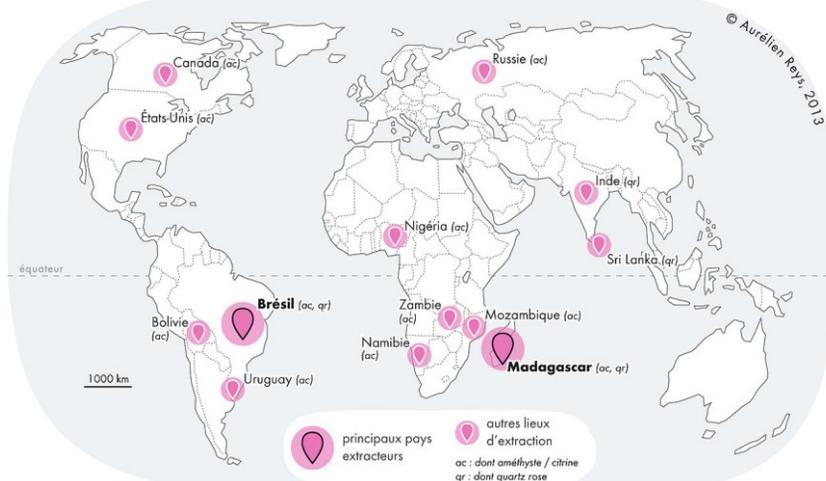
25

25

Materiais Estratégicos para Engenharia Elétrica: Silício

Les gisements de quartz dans le monde*

* dont améthyste et citrine



26

Sources : Shigley, J. & alli (2010) ["Gem localities of the 2000s", GEMS & GEMOLOGY, Vol. 46, No. 3, pp. 188-216] et bibliographie associée.

26

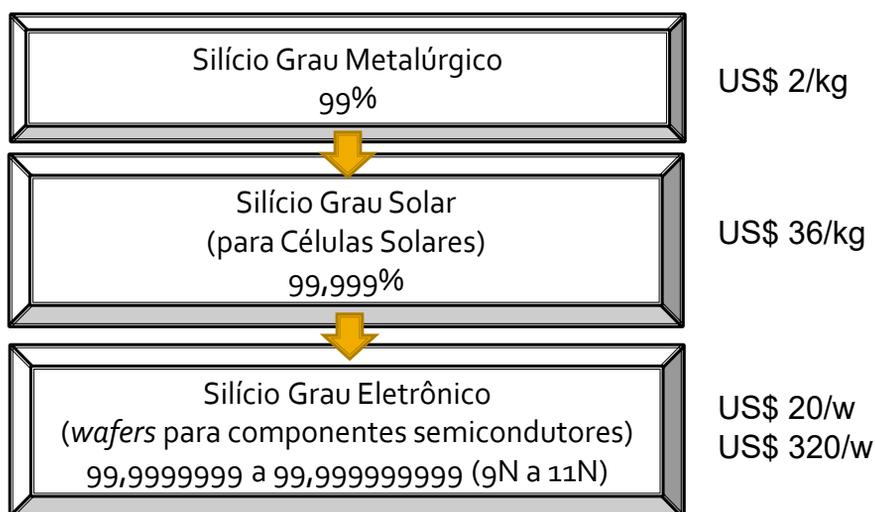
Materiais Estratégicos para Engenharia Elétrica: Silício



27

27

Materiais Estratégicos para Engenharia Elétrica: Silício



Preço de UM *wafer* de 200mm - <https://order.universitywafer.com/default.aspx?cat=Silicon&diam=200mm>

28

28

Quanto custa um wafer de Si?

Qty	ID	Diam	Type	Dopant	Orien	Res (Ohm-cm)	Thick (um)	Polish	Grade	Lead Time	Quantity	1 Unit Price	5 Unit Price	10 Unit Price	25 Unit Price	50 Unit Price	100 Unit Price	200 Unit Price	500 Unit Price	Description
500	704	200mm					750um	SSP	MECH	In Stock	1190	\$28.38	\$20.87	\$15.38	\$13.29	\$12.26	\$11.23	\$9.17		Mechanical Grade
2	3148	200mm	N	P	<100>	20-40	725um	SSP	Bad Quality	In Stock	2	\$34.92	\$30.80	\$24.72	\$24.72					NON-REFUNDABLE, POOR QUALITY. Sold "As-Is". One Flat.
4	3488	200mm			<110>		1000um	DSP	Bad Quality	In Stock	4	\$56.65	\$56.65	\$56.65	\$					WITH Poor quality Au layer (not well adhered). NON-REFUNDABLE, Sold "As-Is".
	3622	200mm		N/A	<100>		650um	SSP	Dummy	In Stock	5		\$26.68	\$21.53	\$21.53	\$21.12	\$20.50	\$19.06		Type/Dopant/Resistivity: N/A. TTV: S25um BO/W/Varp: S40um Particles: 0.3um<100ea. NON-REFUNDABLE. POOR QUALITY. Sold "As-Is".
5	3695	200mm	N	P	<100>	1-15	725um	DSP	Prime	In Stock	5	\$329.60	\$329.60	\$						
19	3650	200mm	P	B	<100>	1-100	725um	SSP	Prime		19	\$71.58	\$50.98	\$41.72	\$36.56	\$34.50				
10	3761	200mm	P	B	<100>	1-10	775um	SSP	Prime	In Stock	10		\$51.40	\$						Minimum Order Quantity: 10 wafers.
76	3786	200mm	N	As	<100>	0-0.0035	710-740um	SSP	Test	In Stock	76	\$24.62	\$21.53	\$18.44	\$17.41	\$16.38	\$15.35			No Certificate available, wafers sold "As-Is".

<https://order.universitywafer.com/default.aspx?cat=Silicon&diam=200mm>

29

29

Quanto custa um wafer de GaAs?

Gallium Arsenide

You may add the same item more than once to purchase the quantity you want.

Refine Search

Item	Id/Diam	Type	Dopant	Orientation	Resistivity	Thickness	Polish	Grade	Go
	All	All	All	All		All	All	All	

0 Product Total: \$0 [View Cart/Checkout](#)

Qty	ID	Diam	Type	Dopant	Orien	Res (Ohm-cm)	Thick (um)	Polish	Grade	Lead Time	Quantity	1 Unit Price	5 Unit Price	10 Unit Price	25 Unit Price	50 Unit Price	100 Unit Price	200 Unit Price	500 Unit Price	Description
50	1299	100mm	Undoped	Undoped	<100>	1E7	625um	DSP	Prime	6 WEEKS	50	\$180.90	\$180.90	\$180.90	\$174.90	\$170.90				EPD (Average): less than or equal to 5,000. Doping: Semi-Insulating, Undoped.

<https://order.universitywafer.com/default.aspx?cat=Gallium%20Arsenide&diam=100mm>

30

30

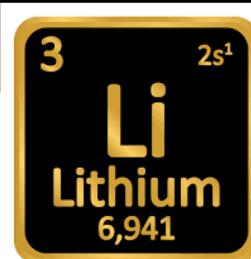
Materiais Estratégicos para Engenharia Elétrica: Lítio

1 H hidrogênio 1,008	2 He hélio 4,0026																		
3 Li lítio 6,941	4 Be berílio 9,0122																		
5 B boro 10,81	6 C carbono 12,011	7 N nitrogênio 14,007	8 O oxigênio 15,999	9 F flúor 18,998	10 Ne neônio 20,180														
11 Na sódio 22,990	12 Mg magnésio 24,305																		
13 Al alumínio 26,982	14 Si silício 28,086	15 P fósforo 30,974	16 S enxofre 32,06	17 Cl cloro 35,45	18 Ar argônio 39,948														
19 K potássio 39,098	20 Ca cálcio 40,078(4)	21 Sc escândio 44,956	22 Ti titânio 47,867	23 V vanádio 50,942	24 Cr cromo 51,996	25 Mn manganês 54,938	26 Fe ferro 55,845(2)	27 Co cobalto 58,933	28 Ni níquel 58,693	29 Cu cobre 63,546(3)	30 Zn zinco 65,38(2)	31 Ga gálio 69,723	32 Ge germânio 72,630(2)	33 As arsênio 74,922	34 Se selênio 78,971(8)	35 Br bromo 79,904	36 Kr criptônio 83,798(2)		
37 Rb rubídio 85,468	38 Sr estrôncio 87,62	39 Y itríio 88,906	40 Zr zircônio 91,224(2)	41 Nb nióbio 92,906	42 Mo molibdênio 95,95	43 Tc tecnécio [98]	44 Ru rútenio 98,906(2)	45 Rh ródio 101,07(2)	46 Pd paládio 106,32	47 Ag prata 107,87	48 Cd cádmio 112,411	49 In índio 114,82	50 Sn estanho 118,71	51 Sb antimônio 121,76	52 Te telúrio 127,60(3)	53 I iodo 126,905	54 Xe xenônio 131,29		
55 Cs césio 132,91	56 Ba bário 137,33	57 a 71																	
72 Hf hafnínio 178,49(2)	73 Ta tântalo 180,95	74 W tungstênio 183,84	75 Re rênio 186,21	76 Os ósmio 190,23(2)	77 Ir íridio 192,22	78 Pt platina 195,08	79 Au ouro 196,97	80 Hg mercúrio 200,59	81 Tl talho 204,38	82 Pb chumbo 207,2	83 Bi bismuto 208,98	84 Po polônio [209]	85 At astato [210]	86 Rn radônio [222]					
87 Fr frâncio [223]	88 Ra rádio [226]	89 a 103																	
104 Rf rutherfordio [261]	105 Db dubnio [262]	106 Sg seabúrgio [266]	107 Bh bohrio [264]	108 Hs hásio [265]	109 Mt meitnério [268]	110 Ds darmstadtio [281]	111 Rg roentgenio [282]	112 Cn copernício [285]	113 Nh nihônio [286]	114 Fl flavóvio [289]	115 Mc moscovio [288]	116 Lv livermório [293]	117 Ts tenessio [294]	118 Og oganesônio [294]					
57 La lantanio 138,91	58 Ce cério 140,12	59 Pr praseodímio 140,91	60 Nd néodímio 144,24	61 Pm promécio [145]	62 Sm samário 150,36(2)	63 Eu europio 151,96	64 Gd gadolínio 157,25(3)	65 Tb terbício 158,93	66 Dy disprósio 162,50	67 Ho hólmio 164,93	68 Er érbio 167,26	69 Tm túlio 168,93	70 Yb ítrio 173,05	71 Lu lutécio 174,97					
89 Ac actínio [227]	90 Th tório 232,04	91 Pa protactínio 231,04	92 U urânio 238,03	93 Np netúnio [237]	94 Pu plutônio [244]	95 Am amério [243]	96 Cm cúrio [247]	97 Bk berquélio [247]	98 Cf califórnio [251]	99 Es eisteínio [252]	100 Fm fermío [257]	101 Md mendelívio [288]	102 No nobélio [289]	103 Lr lawrêncio [262]					

31

31

Lítio



1797-1799 - O brasileiro Jose Bonifácio de Andrada e Silva, em uma missão de estudos na Suécia identificou 4 novos minerais - **espodumênio**, **criolita**, **escapolita** e **petalita** em amostras vindas da ilha de Utö.

1817: Johan August Arfwedson, trabalhando no laboratório do famoso químico Jöns Jakob Berzelius (ambos suecos), detectou a presença de um novo elemento químico em amostras de **petalita** descoberta por José Bonifácio. Berzelius batizou o novo elemento de *lithium*.

Arfwedson observou que o mesmo elemento estava presente em dois outros minerais, o espodumênio (*spodumene*) $\text{LiAl}(\text{SiO}_3)_2$ e a lepidolite ($\text{KLi}_2\text{Al}(\text{Al},\text{Si})_3\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$)

Espodumênio e lepidolite são encontradas com abundância no vale do Jequitinhonha em Minas Geras (Brasil), tradicional região produtora de minerais (blocos para a produção de mármore e granito, para construção civil). A petalita ocorre também em Minas Geras, mas não é explorada comercialmente.

Espodumênio $\text{LiAl}(\text{SiO}_3)_2$

Lepidolite $(\text{KLi}_2\text{Al}(\text{Al},\text{Si})_3\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2)$

Petalita $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$

32

32

Lítio

Espodumênio $\text{LiAl}(\text{SiO}_3)$



Lepidolite $(\text{KLi}_2\text{Al}(\text{Al},\text{Si})_3\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2)$



Petalita $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$



33

33

Jöns Jakob Berzelius (1779 – 1848) Suécia



- Considerado um dos fundadores da moderna química, foi responsável pela medição do peso atômico de aproximadamente 43 elementos químicos. Foi o descobridor do selênio, do tório e do cério e batizou o recém-descoberto lítio
- Deve-se a Berzelius a notação utilizada até hoje na Química, de se referenciar os elementos químicos por duas letras do nome latino:
Au = *Aurum*
Ag = *Argentum*
Cu = *Cuprum*
- Também deve-se a ele a notação do número de átomos em uma molécula por subíndices (H_2O ou Fe_2O_3), apesar que na época Berzelius usava sobre índices (H^2O ou Fe^2O^3)

34

José Bonifácio de Andrade e Silva (1763 — 1838)



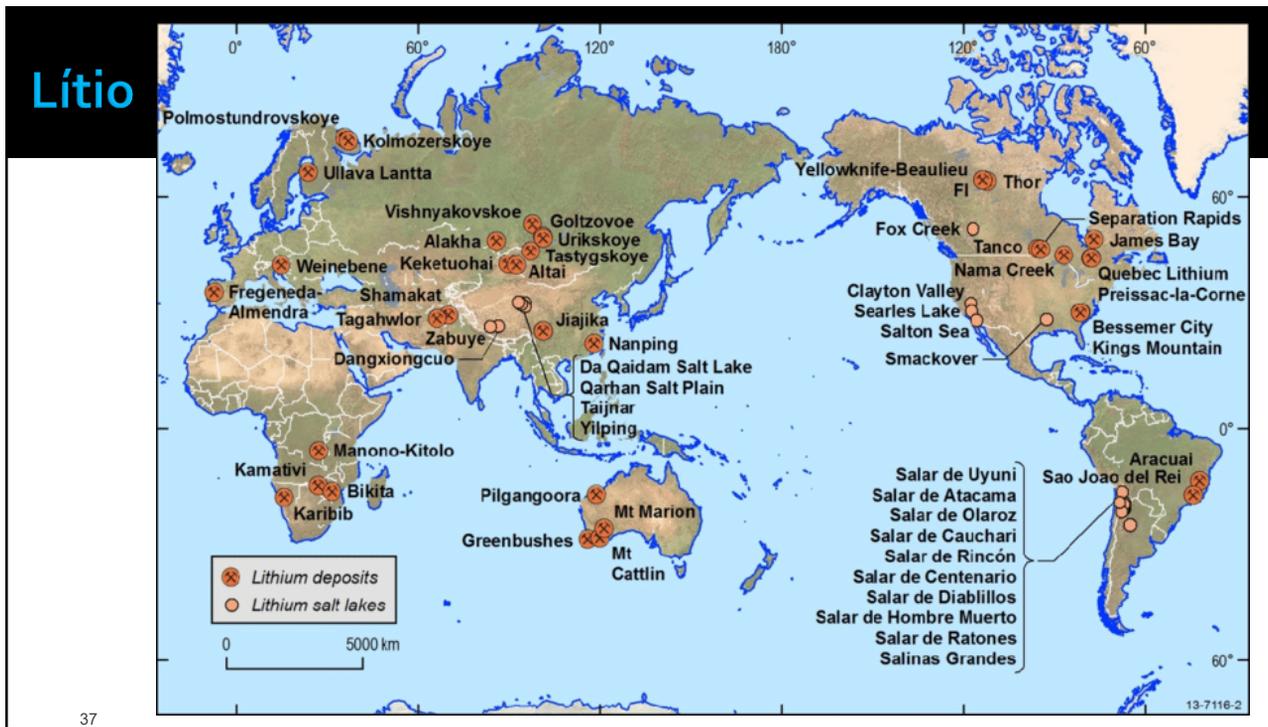
Obs.: não existem na internet imagens de José Bonifácio em seus anos mais jovens. Todos os quadros retratam-no com mais de 60 anos, principalmente no tempo de sua função como tutor de Dom Pedro II

- Nascido em Santos (SP), filho de um comerciante de pedras preciosas
- Mais conhecido na História do Brasil pela sua luta pela independência
- Tornou-se amigo da esposa do Príncipe D. Pedro (Futuramente D. Pedro I, 1.º Imperador do Brasil), Dona Leopoldina (austriaca, nascida Leopoldine Caroline Josepha von Habsburg-Lothringen) pelo fato de falar fluentemente o idioma alemão
- José Bonifácio, junto com Dona Leopoldina, foram os principais articuladores da Independência do Brasil, convencendo o Príncipe D. Pedro a declarar a Independência do Brasil
- Foi tutor do jovem Dom Pedro II quando Dom Pedro I abdicou do trono do Brasil para assumir suas funções como Rei Pedro IV de Portugal
- Pouco conhecida é sua atuação como pesquisador, com especial interesse em mineralogia. Residiu na Europa durante 36 anos (1783 a 1819). Em Paris, assistiu o início da Revolução Francesa. Na Itália, teve aulas com Alessandro Volta. A **petalita**, minério que contém lítio, foi descoberto por ele em uma estadia na Universidade de Uppsala, na Suécia.
- Foi professor de Mineralogia em Coimbra, Portugal.
- Em 1819 retornou ao Brasil, com 56 anos de idade, iniciando carreira política.

35



36



37

37

Lítio

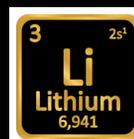
Name	Country	Average Li (mg/L in solution)	References
Salar de Cauchari	Argentina	380	Orocobre (2012b)
Salar de Centenario	Argentina	400	Rodinia Lithium (2012a)
Salar de Diablillos	Argentina	556	Rodinia Lithium (2012b)
Salar de Hombre Muerto	Argentina	520	Gruber <i>et al.</i> (2012)
Salar de Olaroz	Argentina	700	Gruber <i>et al.</i> (2012)
Salar de Rincón	Argentina	330	Gruber <i>et al.</i> (2012)
Salinas Grandes	Argentina	795	Orocobre (2012c)
Salar de Ratonés	Argentina	600	Rodinia Lithium (2012a)
Salar de Uyuni	Bolivia	532	Gruber <i>et al.</i> (2012)
Salar de Atacama	Chile	1400	Gruber <i>et al.</i> (2012)
Da Qaidam Salt Lake	China	300	Gruber <i>et al.</i> (2012)
Qarhan Salt Plain (Dabusun and others)	China	62	Shengsong (1986)
Dangxiongcuo	China	400	Gruber <i>et al.</i> (2012)
Zabuye	China	680	Gruber <i>et al.</i> (2012)
Taijnar	China	500	Kesler <i>et al.</i> (2012)
Clayton Valley (Silver Peak)	USA	200	Gruber <i>et al.</i> (2012)
Searles Lake	USA	50	Gruber <i>et al.</i> (2012)
Salton Sea	USA	200	Gruber <i>et al.</i> (2012)
Jadar (sedimentary deposit)	Serbia	87	Gruber <i>et al.</i> (2012)
Smackover (oilfield brines)	USA	146	Gruber <i>et al.</i> (2012)
Fox Creek (oilfield brines)	Canada	88	Channel Resources (2012)




38

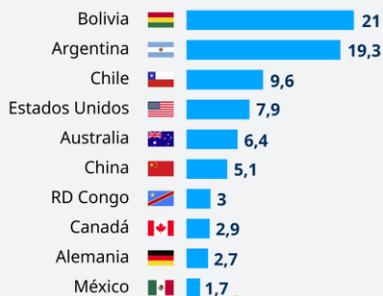
38

Lítio



Mayores reservas de litio en el mundo

(en millones de toneladas métricas), 2020



A jazida de Pegmatitos Litíferos de Minas Gerais poderá elevar as reservas brasileiras para 8% a 10% das reservas mundiais

Principales países productores de litio - 2020

En toneladas métricas



Fuente: Servicio Geológico de EE.UU.

Há indícios de que o Afeganistão possui reservas de lítio (na forma de Pegmatitos) equivalentes à Bolívia!

39

39



One of the colourful brine pools that are part of a lithium salt pilot plant on the Uyuni salt lake, which holds the world's largest reserve of lithium, located at 3,656 meters (11,995 ft) above sea level in southwestern Bolivia, on November 5, 2012. <#>
Reuters/David Mercado

40

40



Workers build a hotel of salt blocks on the Salar de Uyuni, the world's biggest salt desert, in southwestern Bolivia, on July 14, 2007

41

41



Vista do Salar de Olaroz na Província de Jujuy, Argentina

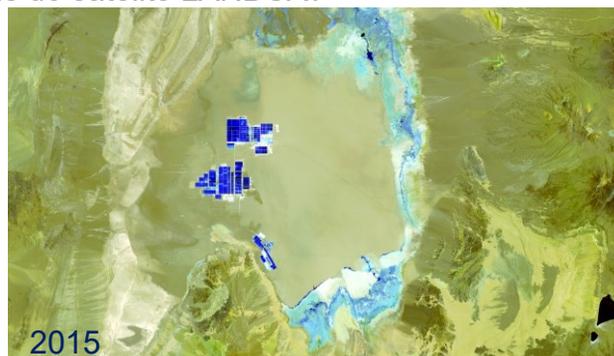
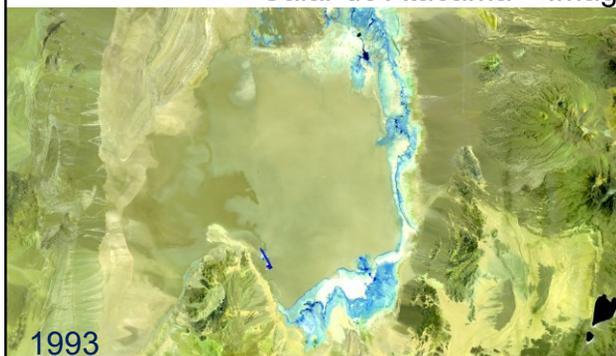
<https://youtu.be/crtOJJailJU>

42

42

Problemas ecológicos pela produção de lítio em salares

Salar do Atacama – Imagens do satélite LANDSAT



43

43



44

44

Dislocation of indigenous communities

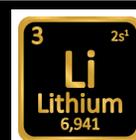
Intense use of water in a desert environment

Decrease of Flamingo and Vicuña population

45

45

Usos do Lítio



- Militar: Hidreto de lítio – $\text{Li}[\text{AlH}_4]$ – usado em propelente para foguetes e no revestimento do núcleo de bombas de hidrogênio (absorvedor de nêutrons)
- Mecânica: o hidróxido de lítio é usado como aditivo em óleos lubrificantes que devem operar em altas temperaturas
- Medicamentos: sais de lítio (geralmente *carbonato de lítio*) são usados para tratamento de transtorno bipolar, depressão e esquizofrenia.
- Indústria: aditivo em cerâmicas e ligas metálicas especiais.
- Ótica: O cristal de fluoreto de lítio (LiF) tem a aparência do vidro mas permite a passagem de radiação ultravioleta.

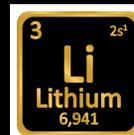
<https://www.crystran.co.uk/optical-materials/lithium-fluoride-lif>



46

46

Os 5 maiores produtores de Lítio



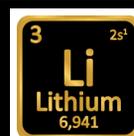
5) **SQM** (Valor: US\$6.44 B - Receitas US\$1.86 B) **Sociedad Quimica y Minera de Chile** – Produz Carbonato de Lítio e Hidróxido de Lítio no Salar do Atacama (Norte do Chile).



47

47

Os 5 maiores produtores de Lítio



4) **Mineral Resources Ltd.** (Valor: US\$6.98 B - Receitas [2019]: US\$1.16 B). Produtora de Ferro e Lítio na Austrália. A produção de lítio é feita no Projeto MT. MARION (em parceria com a Neometals Ltd e a Jiangxi Ganfeng Lithium Co. Ltd) e em WODGINA (parceria Mineral Resources 40% e Albemarle Corp. 60%).



MT. MARION

<https://youtu.be/R-Kk7dB9b1Q>



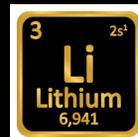
WODGINA



48

48

Os 5 maiores produtores de Lítio



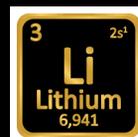
3) **Tianqi Lithium** (Valor: US\$11.73 B - Receitas [2019]: US\$748 M) Empresa chinesa, possui participação de 51% na mina Greenbushes na Austrália, junto com a Albermarle Corp.



49

49

Os 5 maiores produtores de Lítio



2) **Albermarle** (Valor: US\$18.38 B - Receitas (2019): US\$3.589 M) Empresa de origem norte-americana especializada em produtos químicos. A produção de lítio representa aproximadamente 30% da receita global da empresa. Além da participação nas minas Greenbushes e Wodgina na Austrália, a empresa produz lítio em lagoas de evaporação no deserto de Nevada nos EUA.



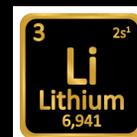
Instalação da
Albermale no
deserto de
Nevada, EUA



50

50

Os 5 maiores produtores de Lítio



1) **Jiangxi Ganfeng Lithium Co. Ltd** (Valor: US\$24.34 B - Receitas [2019]: US\$767.5) Baseada na China, é maior proprietária de minas de lítio no mundo, com produção na Austrália, no México e na China. A empresa planeja extrair lítio também na Argentina no Salar de Llullaillaco, Província de Salta (Projeto Mariana) ainda inexplorado.

赣锋锂业
GanfengLithium

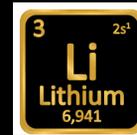
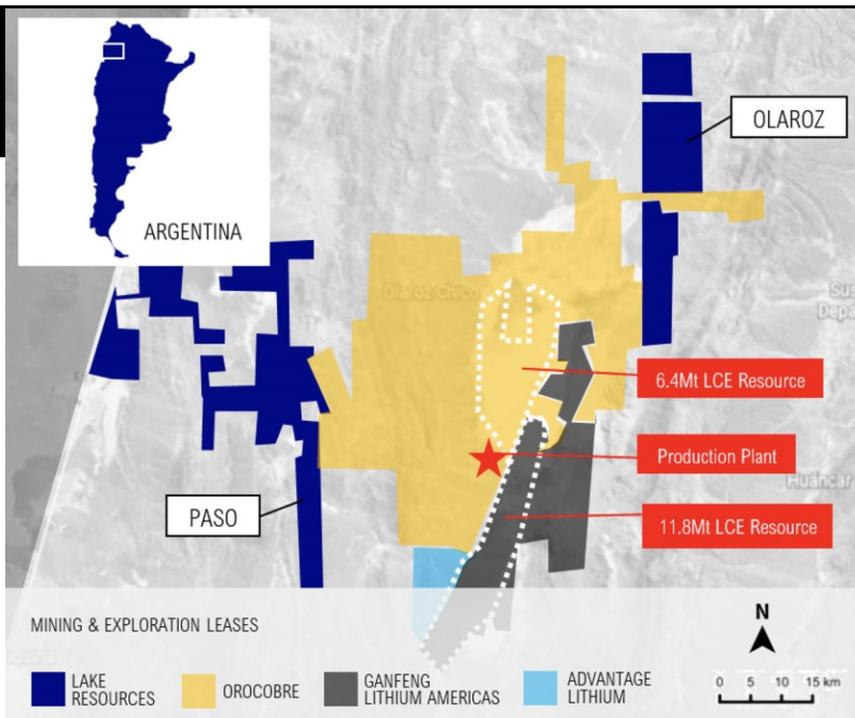
Salar de
Llullaillaco,
Argentina



51

51

Depósitos de
Lítio na
Argentina



52

52

NEWS

ELECTRIC VEHICLES

Who's Powering the EV Revolution? > CATL, LG Energy Solution, and Panasonic control 69 percent of the market

BY LAWRENCE ULRICH

Meeting Demand

Will the lithium-ion battery world be able to meet the EV demand? To have any shot, the United States alone may need 20 to 40 gigafactories over 15 years, with a combined tonnage of new battery capacity, to meet projected demand, says Venkat Srinivasan, director of the Argonne Collaborative Center for Energy Storage Science. "Right now, the United States doesn't have enough materials to do that, so materials substitution and recycling will be key to get this to go," Srinivasan says.

Racing to counter Asia's dominance, General Motors is building factories in Ohio and Tennessee with a combined 70-gigawatt capacity, double that of Tesla's Nevada gigafactory. Ford plans to scale up 140 GW of capacity in North America by 2030 (and 240 GW globally), in partnership with South Korea's SK Innovation. Ford figures that's about six plants' worth of homegrown capacity, and 10 globally.

Old Tech, New Tricks

Once seen as old news, lithium iron phosphate (LFP) batteries are booming—especially in China, where Contemporary Amperex Technology Co. (CATL), now the world's largest battery company, supplies LFP packs for Tesla's Model 3 Standard Range. Elon Musk made news recently by suggesting that Tesla is shifting long-term toward LFP chemistry. "This is actually good because there's plenty of iron in the world," he said.

LFP still makes up less than 10 percent of all Li-ion cells, but Ryan Castilhoux, managing director of Adamas Intelligence, said its global deployment soared more than 600 percent in the second half of 2020. LFP is less energy dense than nickel-rich cells, but its cathode material costs

Battery capacity deployed in electrified vehicles by cell supplier, from January to May 2021, gigawatt-hours

Rank	Cell supplier	EV makers served / under contract	GWh	% market share	% growth, 2016 to 2020
1	Contemporary Amperex Technology Co. (CATL)	BMW, Dongfeng Motor Corp., Honda, SAIC Motor Corp., Stellantis, Tesla, Volkswagen Group, Volvo Car Group	21.6	26	3,400
2	LG Energy Solution	General Motors, Groupe Renault, Stellantis, Tesla, Volvo, VW Group	21.4	26	1,193
3	Panasonic	Tesla, Toyota	14.1	17	214
4	Samsung SDI	BMW, Ford, Stellantis, VW Group	6.6	7	399
5	BYD Co.	BYD, Ford	6.6	7	113
6	SK Innovation	Daimler, Ford, Hyundai, Kia	3.4	4	226
7	China Aviation Lithium Battery (CALB)	GAC Motor, Zhejiang Geely Holding Group Co.	2.7	3	321
8	Gotion High-Tech	Chery Automobile Co., SAIC, VW Group	1.4	2	23
9	Automotive Energy Supply Corp. (AESC)	Groupe Renault, Nissan	1.4	2	46
10	Ruiipu Energy Co. (REPT)	Dongfeng, Yudo Auto	0.6	1	100
	Other		4.2	5	122
	Total		81.6	100	355

SOURCES: ADAMAS INTELLIGENCE; BUSINESSKOREA; ELECTRIVE; BMW, FORD, HONDA, VOLVO

less. To help address efficiency handicaps, "cell-to-pack" construction forgoes the use of cylindrical cells arranged in modules. Larger, prismatic cells integrate directly in packs, which saves space, reduces component count, and simplifies cooling and connections. "The pack is essentially one large module," Castilhoux says. China's best-selling EV, the GM-designed US \$4,500 Wuling Mini, uses LFP packs

by producers such as Hefei. Srinivasan says that LFP is ideal for some applications. "A cheaper car with LFP that will last a long time and go maybe 150 miles is not bad," he says. Castilhoux agrees that a global trend is emerging, with automakers—including General Motors, Tesla, and Volkswagen—adopting nickel-rich chemistries for longer-range or performance cars, and LFP for entry-level models.

Boomtimes in Batteries

It's a great time to be a battery maker: The world could see 145 million electric vehicles on roads by 2030, versus 10 million in 2020, according to the International Energy Agency. Buyers registered 3 million new EVs globally last year. Those cars were stuffed with 134.5 gigawatt-hours of batteries—a 40 percent jump in one year, according to Adamas Intelligence. Proliferation

adds, many EVs require ever-larger batteries to meet consumer demands for driving range, zippy performance, and now SUV size and utility. Ryan Castilhoux, of Adamas Intelligence, says COVID-19 barely dented mushrooming growth: "Through five months of 2021, the total auto battery capacity deployed on the world's roads is greater than all of 2018."

Big Players Dominate

Just six companies—BYD, CATL, LG Energy Solution, Panasonic, Samsung SDI, and SK Innovation—were responsible for supplying 89 percent of batteries and battery metals in passenger EVs in the second half of 2020. Tesla's deployment of 22.5 gigawatt-hours of batteries in that period was nearly as much as its five closest competitors combined: China's BYD, Hyundai, Mercedes, Renault, and Volkswagen. What Castilhoux calls a "tsunami of demand" has put unprecedented pressure on battery- and motor-material supply chains, sparking a surge in prices for lithium, nickel, cobalt, neodymium, praseodymium, dysprosium, and terbium.

Explosive Growth

Contemporary Amperex Technology's and LG Energy Solution's staggering growth rates from 2016 to 2020 are not typical, including CATL's 3,400 percent leap. What Goldman Sachs dubs a "commodity supercycle" may put rare, prolonged strain on supply chains and prices for lithium and rare metals. Governments and consumers will also have a big say when it comes to ultimate EV adoption. But growth and government signals over a climate-change crisis suggest the industry's stunning growth (see "Boomtimes in Batteries," above) is only the beginning.

<https://spectrum.ieee.org/the-top-10-ev-battery-makers>

12 SPECTRUM.IEEE.ORG SEPTEMBER 2021

SEPTEMBER 2021 SPECTRUM.IEEE.ORG 13

53

Battery capacity deployed in electrified vehicles by cell supplier, from January to May 2021, gigawatt-hours

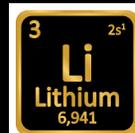
Rank	Cell supplier	EV makers served / under contract	GWh	% market share	% growth, 2016 to 2020
1	Contemporary Amperex Technology Co. (CATL)	BMW, Dongfeng Motor Corp., Honda, SAIC Motor Corp., Stellantis, Tesla, Volkswagen Group, Volvo Car Group	21.5	26	3,400
2	LG Energy Solution	General Motors, Groupe Renault, Stellantis, Tesla, Volvo, VW Group	21.4	26	1,193
3	Panasonic	Tesla, Toyota	14.1	17	214
4	Samsung SDI	BMW, Ford, Stellantis, VW Group	6.6	7	399
5	BYD Co.	BYD, Ford	6.6	7	113
6	SK Innovation	Daimler, Ford, Hyundai, Kia	3.4	4	226
7	China Aviation Lithium Battery (CALB)	GAC Motor, Zhejiang Geely Holding Group Co.	2.7	3	321
8	Gotion High-Tech	Chery Automobile Co., SAIC, VW Group	1.4	2	23
9	Automotive Energy Supply Corp. (AESC)	Groupe Renault, Nissan	1.4	2	46
10	Ruiipu Energy Co. (REPT)	Dongfeng, Yudo Auto	0.6	1	100
	Other		4.2	5	122
	Total		81.6	100	355

SOURCES: ADAMAS INTELLIGENCE; BUSINESSKOREA; ELECTRIVE; BMW, FORD, HONDA, VOLVO

<https://spectrum.ieee.org/the-top-10-ev-battery-makers>

54

Contemporary Amperex Technology Co. Limited (CATL)



Sede em Ningde, Província de Fujian (China)


85%
 新能源科技
 Amperex Technology Limited


15%

CATL
 宁德时代新能源科技股份有限公司
 Contemporary Amperex Technology Co., Limited



Fábrica em Yibin, Província de Sichuan (China)

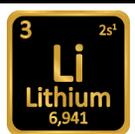


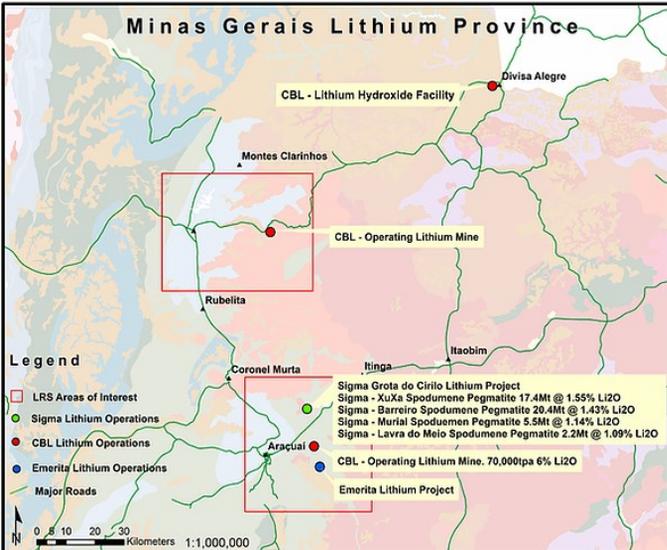
Fábrica em Erfurter Kreuz (Alemanha) 2022

55

55

Jazida de Espodumênio no Vale do Jequitinhonha (MG, Brasil)





Minas Gerais Lithium Province

CBL - Lithium Hydroxide Facility

Montes Clarinhos

Rubelita

Coronel Murta

Araçuaí

Itinga

Itaobim

Divisa Alegre

Legend

- LRS Areas of Interest
- Sigma Lithium Operations
- CBL Lithium Operations
- Emerita Lithium Operations
- Major Roads

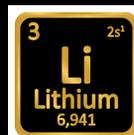
Sigma Grota do Cirilo Lithium Project
 Sigma - XuXa Spodumene Pegmatite 17.4Mt @ 1.55% Li2O
 Sigma - Barreiro Spodumene Pegmatite 20.4Mt @ 1.43% Li2O
 Sigma - Murial Spoduemene Pegmatite 5.5Mt @ 1.14% Li2O
 Sigma - Lavra do Meio Spodumene Pegmatite 2.2Mt @ 1.09% Li2O
 CBL - Operating Lithium Mine. 70,000tpa 6% Li2O
 Emerita Lithium Project

0 10 20 30 Kilometers 1:1,000,000




56

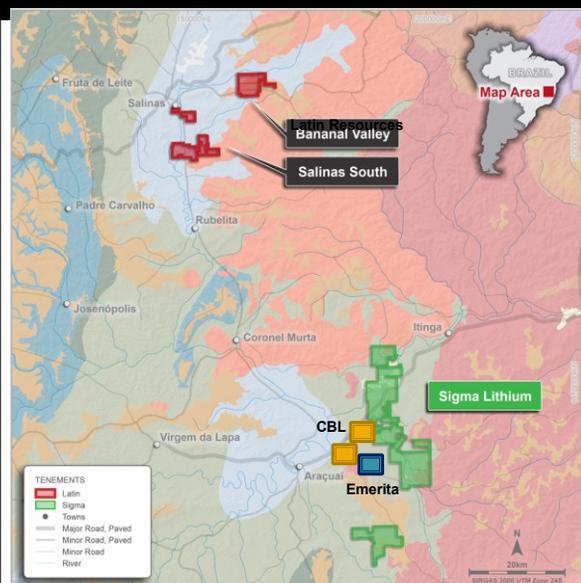
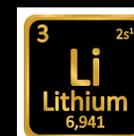
Jazida de Espodumênio no vale do Jequitinhonha (MG, Brasil)



Salinas, MG: Caverna de Pegmatito, rico em Espodumênio (partes brancas), mineral de onde se extrai o lítio

57

Lítio no Brasil



- **Latin Resources Lt.** (Austrália): investimento de A\$ 35 milhões no projeto de lítio Salinas e Vale do Bananal (MG). Início de produção previsto para 2023.
- **Sigma Mineração SA** (proprietária: Sigma Lithium, Canadá): iniciou a produção piloto em 2018 de lítio extraído às margens do Rio Jequitinhonha. Identificou depósitos de lítio em Grota do Cirilo, Genipapo, Santa Clara e São José, municípios de Itinga e Araçuaí (MG).
- **Companhia Brasileira de Lítio** (empresa 100% nacional) produz Carbonato de Lítio e Hidróxido de Lítio a partir do minério de Pegmatitos Litiníferos extraído na Mina da Cachoeira, município de Araçuaí (MG). O processamento é feito a 180km de distância, em uma Planta Química no município de Divisa Alegre (MG).
- **Emerita Resources** (Espanha) comprou em junho de 2016 100% da Falcon Metais, no Vale do Jequitinhonha. A empresa tem direitos de lavra de uma área próxima à Mina da Cachoeira, da CBL. Ainda sem produção.

58



LATIN RESOURCES

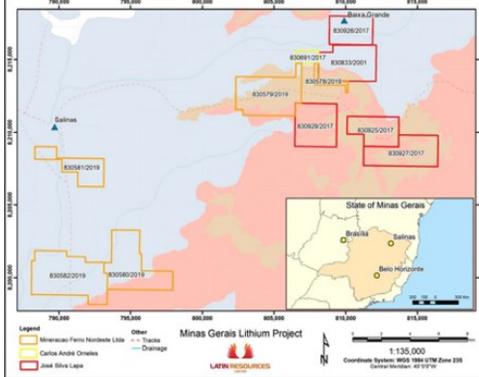


3⁺ 2s⁺

Li

Lithium
6,941

Sondagens feitas pela Latin Resources Lt. (empresa com sede na Austrália) no vale do Jequitinhonha (MG)





59

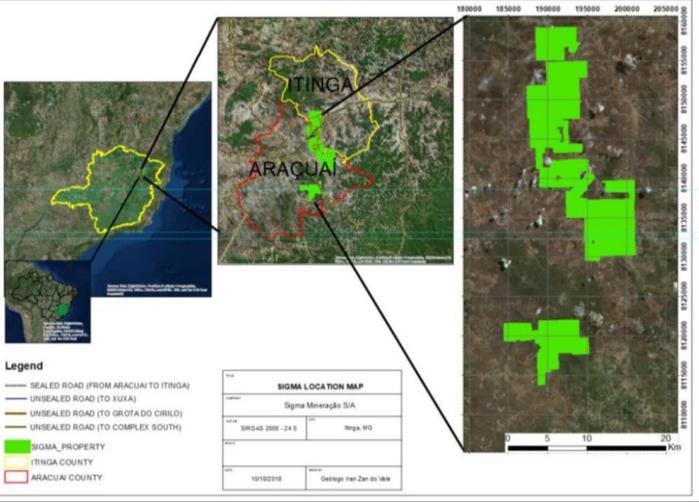


SIGMA LITHIUM

3⁺ 2s⁺

Li

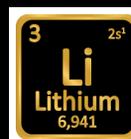
Lithium
6,941





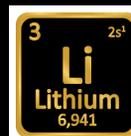
60

CBL
COMPANHIA BRASILEIRA DE LÍTIO



61

AMG BRASIL



2018: a **AMG do Brasil** (sede: Amsterdam, Holanda) identificou a presença de espodumênio nos rejeitos de mineração de tântalo em dois depósitos de mineração, localizadas no município de Nazareno, MG. Os rejeitos são resultado de 38 anos de exploração de minério de tântalo pela empresa.

2020: início da produção de concentrado de lítio.

Estimativa de produção de 40 mil toneladas por ano.

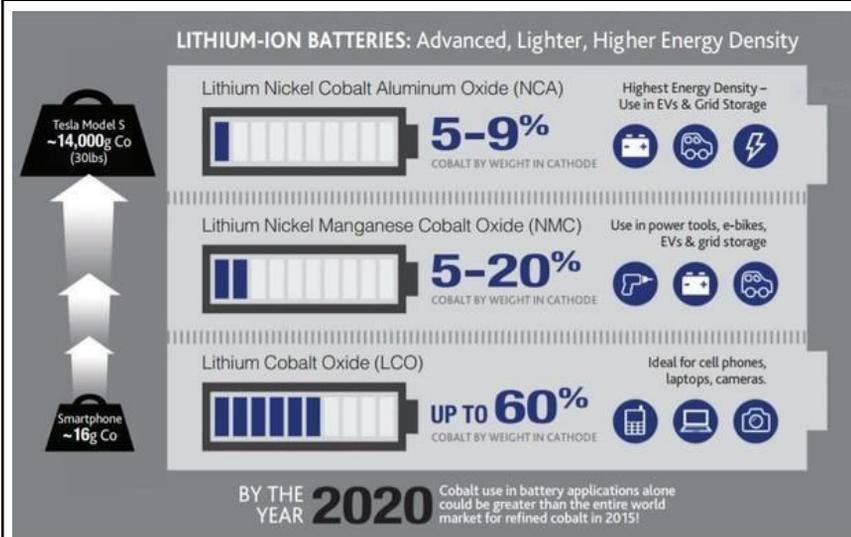
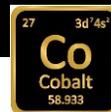
A produção é totalmente direcionada para a **AMG-Lithium** na Alemanha, para a produção de baterias.



Foto AMG - Advanced Metallurgical Group.

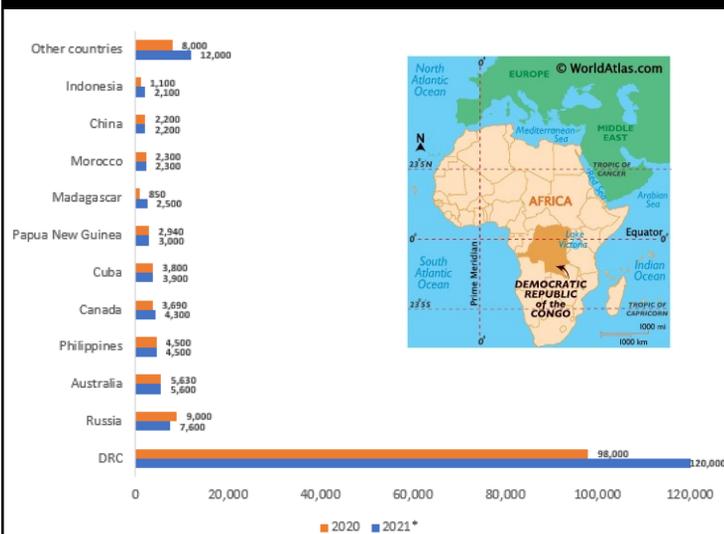
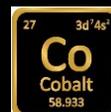
62

Cobalto: usado nos catodos das baterias tipo NCA & NMC & LCO



Em 2020 a quantidade de cobalto usado pelas indústrias de baterias de lítio foi maior do que todo o volume do mercado mundial de cobalto refinado comercializado em 2015

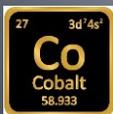
A produção mundial de cobalto é liderada pela República Democrática do Congo (DRC)



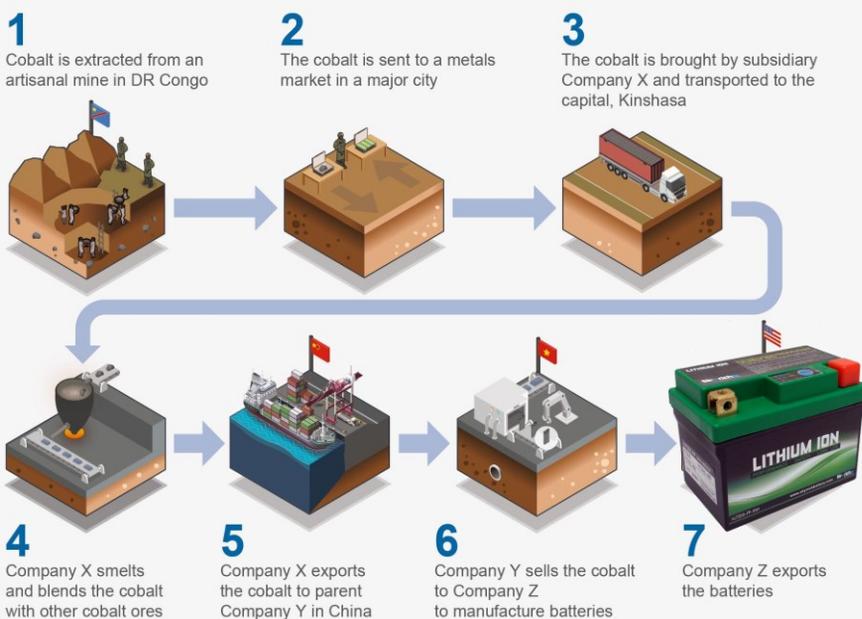
A produção de cobalto pela República Democrática do Congo subiu de 98 ton em 2020 para 120 ton em 2021

O Brasil tem condições de produzir cobalto como subproduto do refino do níquel e do cobre, mas não produz atualmente este metal pelo baixos preços praticados pelos produtores do Congo

Rota do cobalto produzido no Congo



Tracking the cobalt supply chain

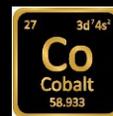


65

© Verisk Maplecroft 2017

65

Exploração artesanal de cobalto no Congo



Nas imediações da mina de cobalto da empresa **Glencore**, milhares de pessoas sobrevivem de coleta manual de minério não processado, empregando muitas vezes mão de obra infantil. Guardas armados da mineradora tentam reprimir sem sucesso este trabalho em condições sub-humanas. Grupos humanitários acusam a **Glencore** da própria empresa comprar o produto do trabalho artesanal.

Os trabalhadores informais afirmam conseguir ganhar o equivalente a **US\$200** em uma semana produtiva, o que representa uma pequena fortuna num país onmde a maior parte da população vive com **menos de US\$2 por dia..**

<https://www.africanews.com/2022/11/03/drcs-artisanal-cobalt-mines-tainted-by-lack-of-compliance/>

https://www.abc.net.au/news/2022-02-24/blood-cobalt/13769990?utm_campaign=abc_news_web&utm_content=link&utm_medium=content_shared&utm_source=abc_news_web

66

66

66



67

67

Terras raras

- grupo dos lantânídeos (elementos com número atômico entre Z=57 e Z=71)
- Sc = escândio (Z=21)
- Y = ítrio (Z=39)

1 H 1,00794																	2 He 4,003																		
3 Li 6,941	4 Be 9,012182	Terras raras "leves"														5 B 10,811	6 C 12,0107	7 N 14,00642	8 O 15,9994	9 F 18,9984032	10 Ne 20,1797														
11 Na 22,989770	12 Mg 24,3050	Terras raras "pesadas"														13 Al 26,981538	14 Si 28,0855	15 P 30,973761	16 S 32,066	17 Cl 35,4527	18 Ar 39,948														
19 K 39,0983	20 Ca 40,078	21 Sc 44,955910	22 Ti 47,867	23 V 50,9415	24 Cr 51,9961	25 Mn 54,938049	26 Fe 55,845	27 Co 58,933200	28 Ni 58,6934	29 Cu 63,546	30 Zn 65,39	31 Ga 69,723	32 Ge 72,61	33 As 74,92160	34 Se 78,96	35 Br 79,904	36 Kr 83,80																		
37 Rb 85,4678	38 Sr 87,62	39 Y 88,90585	40 Zr 91,224	41 Nb 92,90638	42 Mo 95,94	43 Tc (98)	44 Ru 101,07	45 Rh 102,90550	46 Pd 106,42	47 Ag 107,8682	48 Cd 112,411	49 In 114,818	50 Sn 118,710	51 Sb 121,760	52 Te 127,60	53 I 126,90447	54 Xe 131,29																		
55 Cs 132,90545	56 Ba 137,327	57 La 138,905	58 Ce 140,116	59 Pr 140,90766	60 Nd 144,242	61 Pm (145)	62 Sm 150,36	63 Eu 151,964	64 Gd 157,25	65 Tb 158,92534	66 Dy 162,50	67 Ho 164,93032	68 Er 167,26	69 Tm 168,93402	70 Yb 173,054	71 Lu 174,967	72 Hf 178,49	73 Ta 180,9479	74 W 183,84	75 Re 186,207	76 Os 190,23	77 Ir 192,227	78 Pt 195,078	79 Au 196,96655	80 Hg 200,59	81 Tl 204,3833	82 Pb 207,2	83 Bi 208,98038	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)				
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (263)	107 Bh (264)	108 Hs (265)	109 Mt (266)	110 (269)	111 (272)	112 (277)	113	114																						
																		58 Ce 140,116	59 Pr 140,90766	60 Nd 144,242	61 Pm (145)	62 Sm 150,36	63 Eu 151,964	64 Gd 157,25	65 Tb 158,92534	66 Dy 162,50	67 Ho 164,93032	68 Er 167,26	69 Tm 168,93402	70 Yb 173,054	71 Lu 174,967				
90 Th 232,0381	91 Pa 231,03588	92 U 238,0289	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)																						

68

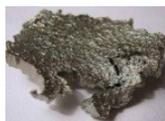
(Schuler et al., 2011).

68

Terras raras



Wikipedia photo = Assortment of lanthanoid group elements.
 Uploaded at 22:12, 19 April 2006 by [User:Tomihahndorf](#). Author
[User:Tomihahndorf](#). Permission=GFDL.



Scandium

Wikipedia photo = Gibe,
 free documentation license



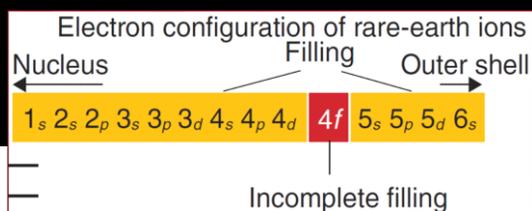
Yttrium

Wikipedia photo = Tomihahndorf,
 free documentation license

69

69

Terras raras



Propriedades eletroquímicas semelhantes:

- São eletropositivos (valência 3+). Também ocorrem algumas vezes Ce^{4+} e Eu^{2+}
- Diferentemente dos outros metais, a camada de valência ocorre em um nível orbital 4f que é **interno**, existindo uma “blindagem” dupla por um orbital 5s2 e um orbital 5p6 **externos** (completos)
- A “blindagem” executada pelos orbitais 5s2 e 5p6 explica porquê estes elementos são difíceis de serem isolados a partir dos minérios nos quais ocorrem na natureza

Atomic number	n°	Element	Electron configuration RE ³⁺	Ground term RE ³⁺
58	1	Cerium - Ce	4f ¹ 5s ² 5p ⁶	² F _{5/2}
59	2	Praseodymium - Pr	4f ² 5s ² 5p ⁶	³ H ₄
60	3	Neodymium - Nd	4f ³ 5s ² 5p ⁶	⁴ I _{9/2}
61	4	Promethium - Pm	4f ⁴ 5s ² 5p ⁶	⁵ I ₄
62	5	Samarium - Sm	4f ⁵ 5s ² 5p ⁶	⁶ H _{5/2}
63	6	Europium - Eu	4f ⁶ 5s ² 5p ⁶	⁷ F ₀
64	7	Gadolinium - Gd	4f ⁷ 5s ² 5p ⁶	⁸ S _{7/2}
65	8	Terbium - Tb	4f ⁸ 5s ² 5p ⁶	⁷ F ₆
66	9	Dysprosium - Dy	4f ⁹ 5s ² 5p ⁶	⁶ H _{15/2}
67	10	Holmium - Ho	4f ¹⁰ 5s ² 5p ⁶	⁵ I ₈
68	11	Erbium - Er	4f ¹¹ 5s ² 5p ⁶	⁴ I _{15/2}
69	12	Thulium - Tm	4f ¹² 5s ² 5p ⁶	³ H ₆
70	13	Ytterbium - Yb	4f ¹³ 5s ² 5p ⁶	² F _{7/2}

*Number of electros (n) in the 4f shell of three-valence Rare Earth ions.

70

70

Terras raras

Os elementos classificados que constituem o grupo das *terras raras* foram inicialmente isolados sob a forma de **óxidos**, recebendo então a designação de "terras", à época a denominação genérica dada aos óxidos da maioria dos elementos metálicos.

Por apresentarem propriedades muito similares, serem apenas conhecidos em minerais oriundos da Escandinávia e por serem de difícil separação, foram considerados "raros", daí resultando a denominação "terras raras", ainda hoje utilizada

Muitas das "terras raras" são comparativamente **abundantes** na composição da crosta da Terra.

71

71

Não são "terras" e não são "raras"

Abundância de alguns elementos na crosta terrestre

Elements	Crustal Abundance (parts per million)
Nickel (₂₈ Ni)	90
Zinc (₃₀ Zn)	79
Copper (₂₉ Cu)	68
Cerium (₅₈Ce)^a	60.0
Lanthanum (₅₇La)	30.0
Cobalt (₂₇ Co)	30
Neodymium (₆₀Nd)	27.0
Yttrium (₃₉Y)	24.0
Scandium (₂₁Sc)	16.0
Lead (₈₂ Pb)	10
Praseodymium (₅₉Pr)	6.7
Thorium (₉₀ Th)	6
Samarium (₆₂Sm)	5.3

Elements	Crustal Abundance (parts per million)
Gadolinium (₆₄Gd)	4.0
Dysprosium (₆₆Dy)	3.8
Tin (₅₀ Sn)	2.2
Erbium (₆₈Er)	2.1
Ytterbium (₇₀Yb)	2.0
Europium (₆₃Eu)	1.3
Holmium (₆₇Ho)	0.8
Terbium (₆₅Tb)	0.7
Lutetium (₇₁Lu)	0.4
Thulium (₆₉Tm)	0.3
Silver (₄₇ Ag)	0.08
Gold (₇₉ Au)	0.0031
Promethium (₆₁Pm)	10⁻¹⁸

Lanthanides (lanthanoids), scandium, and yttrium are presented in boldface type.
(Adapted from Wedepohl, 1995)

72

72

Terras Raras: usos

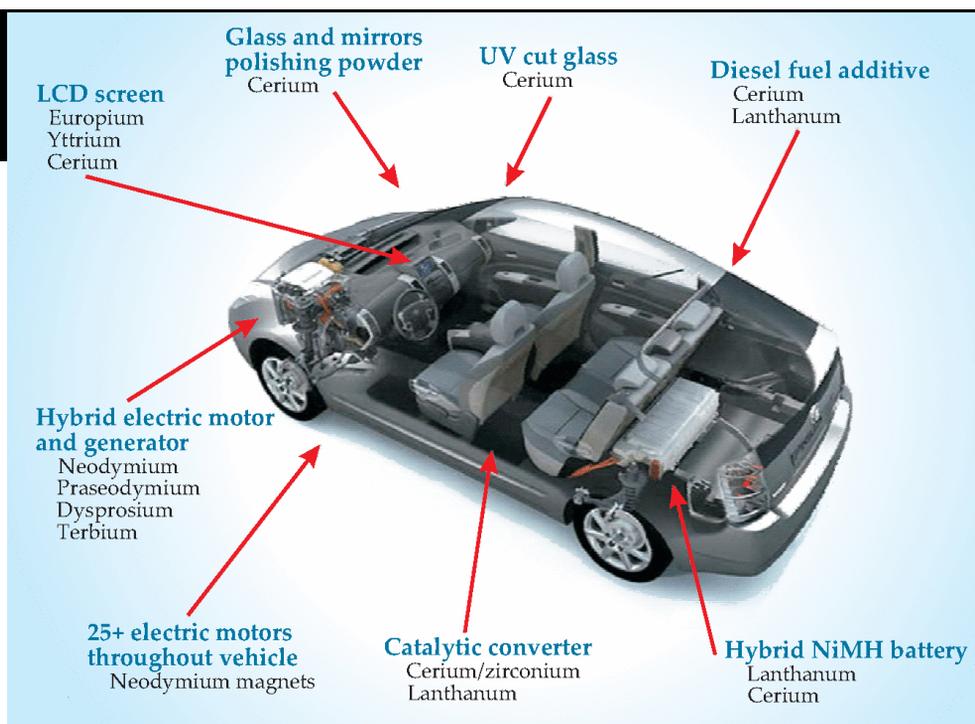
Element	Applications
Scandium	Metal alloys for the aerospace industry.
Yttrium	Ceramics, metal alloys, lasers, fuel efficiency, microwave communication for satellite industries, color televisions, computer monitors, temperature sensors. Used by DoD in targeting and weapon systems and communication devices. Defined by DOE as critical in the short- and mid-term based on projected supply risks and importance to clean energy technologies.
Lanthanum	Batteries, catalysts for petroleum refining, electric car batteries, high-tech digital cameras, video cameras, laptop batteries, X-ray films, lasers. Used by DoD in communication devices. Defined by DOE as near critical in the short-term based on projected supply risks and importance to clean energy technologies.
Cerium	Catalysts, polishing, metal alloys, lens polishes (for glass, television faceplates, mirrors, optical glass, silicon microprocessors, and disk drives). Defined by DOE as near critical in the short-term based on projected supply risks and importance to clean energy technologies.
Praseodymium	Improved magnet corrosion resistance, pigment, searchlights, airport signal lenses, photographic filters. Used by DoD in guidance and control systems and electric motors.
Neodymium	High-power magnets for laptops, lasers, fluid-fracking catalysts. Used by DoD in guidance and control systems, electric motors, and communication devices. Defined by DOE as critical in the short- and mid-term based on projected supply risks and importance to clean energy technologies.
Promethium	Beta radiation source, fluid-fracking catalysts.

73

(Adapted from US DOE, 2011)

Element	Applications
Samarium	High-temperature magnets, reactor control rods. Used by DoD in guidance and control systems and electric motors.
Europium	Liquid crystal displays (LCDs), fluorescent lighting, glass additives. Used by DoD in targeting and weapon systems and communication devices. Defined by DOE as critical in the short- and mid-term based on projected supply risks and importance to clean energy technologies.
Gadolinium	Magnetic resonance imaging contrast agent, glass additives.
Terbium	Phosphors for lighting and display. Used by DoD in guidance and control systems, targeting and weapon systems, and electric motors. Defined by DOE as critical in the short- and mid-term based on projected supply risks and importance to clean energy technologies.
Dysprosium	High-power magnets, lasers. Used by DoD in guidance and control systems and electric motors. Defined by DOE as critical in the short- and mid-term based on projected supply risks and importance to clean energy technologies.
Holmium	Highest power magnets known.
Erbium	Lasers, glass colorant.
Thulium	High-power magnets.
Ytterbium	Fiber-optic technology, solar panels, alloys (stainless steel), lasers, radiation source for portable X-ray units.
Lutetium	X-ray phosphors.

73



74

74

Terras Raras: Produção e Ocorrência

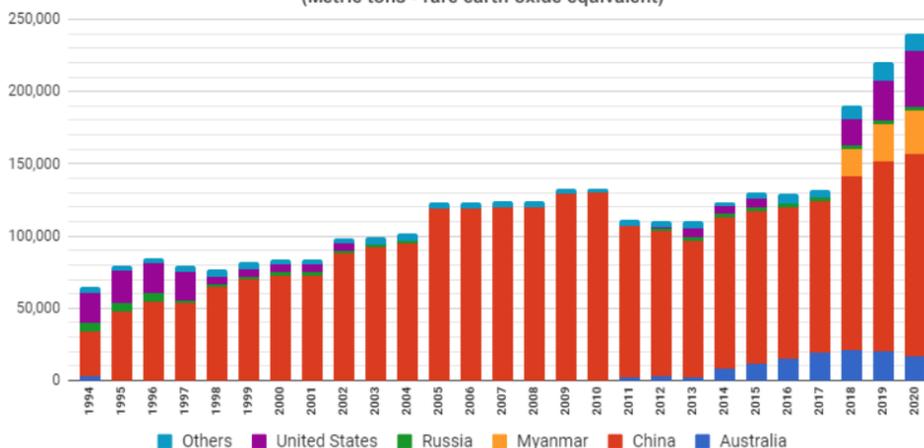
World Mine Production and Reserves (2020 Estimates)		
Country	Production (Metric Tons)	Reserves (Metric Tons)
United States	38,000	1,500,000
Australia	17,000	4,100,000
Brazil	1,000	21,000,000
Burma	30,000	not available
Burundi	500	not available
Canada	--	830,000
China	140,000	44,000,000
Greenland	--	1,500,000
India	3,000	6,900,000
Madagascar	8,000	not available
Russia	2,700	12,000,000
South Africa	--	790,000
Tanzania	--	890,000
Thailand	2,000	not available
Vietnam	1,000	22,000,000
Other Countries	100	310,000
World total (rounded)	240,000	120,000,000

<https://geology.com/articles/rare-earth-elements/>

75

75

Rare Earth Element Production (Metric tons - rare earth oxide equivalent)



REE production chart: This chart shows China's dominance in the production of rare earth elements between 1994 and 2020. The United States was a significant producer through the 1990s, but low-priced materials sold by China forced mines in the United States and other countries out of operation. As China limited exports, and prices increased rapidly in 2009 and 2010, mines in Australia and the United States became active again. In 2018, data from Burma / Myanmar became available, causing an increase in production that may have been present but unreported prior to 2020. Graph by Geology.com using data from the United States Geological Survey.

76

<https://geology.com/articles/rare-earth-elements/>

76

Terras Raras:

Ocorrência no Brasil



Diversas praias do litoral do Espírito Santo e no sul da Bahia apresentam areia de cor escura. Isto é devido à presença da MONAZITA, minério que contém tório, lantânio e cério.

A presença do tório faz com que a monazita seja **radioativa**, em grau leve a intenso dependendo da concentração de tório no mineral.

77

77

Monazita

Documentário sobre a areia monazítica de Guarapari:
<https://youtu.be/vOq2QfkpssA>



Desde 1890 a areia contendo monazita era retirada das praias de ES e da BA e exportada por preços irrisórios para França, Inglaterra, Alemanha e EUA.

Há indicações que diversas bombas atômicas norte-americanas foram fabricadas com tório proveniente do Brasil. A retirada de areia monazítica das praias brasileiras foi proibida em 1960.

78



Na década de 1950 era comum as pessoas se enterrarem nas areias escuras de Guarapari, procedimento que supostamente tratava os sintomas do reumatismo. Atualmente isto não é recomendado devido ao alto nível de radioatividade da areia.

78



O principal destino da monazita retirada das praias de ES e da BA foi a empresa Kerr-McGee, em Chicago (EUA). Esta fábrica funcionou de 1932 a 1970 e foi a maior produtora mundial de tório e terras raras, na época. Após a desativação da fábrica um bairro residencial foi construído na região, tendo as casas sido desocupadas a partir de 1990 após a constatação de uma taxa anormal de incidência de câncer nos moradores do local.



Foto de 2022 da área na cidade de Chicago onde funcionou a Kerr-McGee. A área verde ao fundo era onde estava a fábrica. Após a desativação da empresa diversas residências foram construídas e posteriormente demolidas devido à contaminação radioativa pelo tório. As residências restantes são consideradas seguras sob o ponto de vista da radioatividade mas muitas estão abandonadas.

<https://borderlessmag.org/2022/07/12/west-chicago-is-cleaning-up-the-last-of-its-nuclear-contamination-residents-exposed-to-radiation-say-its-not-over/>

79

79

Monazita



80

A monazita encontrada em praias brasileiras não pode ser atualmente explorada por restrições legais na área ambiental.

No entanto, encontra-se no Brasil também depósitos de monazita distantes do litoral, com potencial para exploração comercial.

80

Terras Raras:

Produção no Brasil

Atualmente a produção de Terras Raras no Brasil é incipiente, existindo projetos em andamento principalmente para aproveitamento de rejeitos de minérios diversos

- CBMM (Araxá/MG) – rejeitos da exploração de nióbio
- Serra Verde (Minaçu/GO)
- Pitinga/Mineração Taboca (Presidente Figueiredo/AM)
- Vale e Anglo American (Catalão/GO)
- ValeE (Araxá, Tapira, Salitre /MG)
- Primestar Mineração (Projeto Morro do Ferro/MG)
- MbAC (rejeitos minerários em Araxá/MG)
- Placers (areia monazítica – diversos no Brasil)
- Seis Lagos (SGB/CPRM)
- Rejeitos da INB em Caldas/MG
- Mineração Mata Azul (Tocantins)

Journal of Geochemical Exploration, 45 (1992) 113–157
Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam

113

The supergene thorium and rare-earth element deposit at Morro do Ferro, Poços de Caldas, Minas Gerais, Brazil

N. Weber

Mineralogisch-Petrographisches Institut, Universität Bern, Baltzerstrasse 1, 3012 Bern, Switzerland

(Received 13 March 1991; accepted after revision 12 May 1992)

ABSTRACT

Weber, N., 1992. The supergene thorium and rare-earth element deposit at Morro do Ferro, Poços de Caldas, Minas Gerais, Brazil. In: N.A. Chapman, I.G. McKinley, M.E. Shea and J.A.T. Smellie (Editors), *The Poços de Caldas Project: Natural Analogues of Processes in a Radioactive Waste Repository*. *J. Geochem. Explor.*, 45: 113–157.

81

81



82

82



© Ewaldo Luiz de Mattos Mehl, 2023

83