

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS ITUMBIARA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO *LATO SENSU* EM ENSINO DE CIÊNCIAS E
MATEMÁTICA

LUCIANA NOGUEIRA DE SOUZA GARCIA

TERRAS RARAS NUMA ABORDAGEM CTSA: Elaboração de material didático para o
Ensino de Química

ITUMBIARA-GO
2024



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☒ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☐ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Luciana Nogueira de Souza Garcia

Matrícula: 20231040120262

Título do Trabalho: **TERRAS RARAS NUMA ABORDAGEM CTSA:**

Elaboração de material didático para o Ensino de Química

Autorização - Marque uma das opções

- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

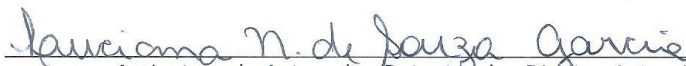
- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Itumbiara-GO, 14/10/2024.
Data


Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

LUCIANA NOGUEIRA DE SOUZA GARCIA

TERRAS RARAS NUMA ABORDAGEM CTSA: Elaboração de material didático para o Ensino de Química

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Ensino de Ciências e Matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Itumbiara, como requisito à obtenção do título de Especialista.

Área de Concentração: Ciências Humanas; Educação; Ensino-Aprendizagem; Métodos e Técnicas de Ensino.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Katiúscia Daiane Ferreira

ITUMBIARA-GO
2024

LUCIANA NOGUEIRA DE SOUZA GARCIA

**TERRAS RARAS NUMA ABORDAGEM CTSA:
Elaboração de material didático para o Ensino de Química**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Ensino de Ciências e Matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Câmpus Itumbiara, como parte dos requisitos à obtenção do título de Especialista.

Área de concentração: Ciências Humanas; Educação; Ensino-Aprendizagem; Métodos e Técnicas de Ensino.

Aprovada em 19 de setembro de 2024.



Prof. Dra. Katiúscia Daiane Ferreira
Orientadora - IFG – Câmpus Itumbiara



Prof. Dra. Blyeny Hatalita Pereira Alves
Avaliadora - IFG – Câmpus Itumbiara



Prof. Dra. Tatiana Aparecida Rosa da Silva
Avaliadora - IFG – Câmpus Itumbiara

ITUMBIARA - GO
2024

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	4
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1	Configuração eletrônica.....	8
2.2	Propriedades.....	11
3	METODOLOGIA.....	14
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
4.1	Pequisa bibliográfica.....	15
4.2	Material didático.....	18
5	CONCLUSÃO.....	20
	REFERÊNCIAS.....	21
	APÊNDICE A.....	24
	APÊNDICE B.....	46
	APÊNDICE C.....	47
	APÊNDICE D.....	53
	AGRADECIMENTOS.....	55

TERRAS RARAS NUMA ABORDAGEM CTSA: Elaboração de material didático para o Ensino de Química¹

RARE EARTHS IN A CTSA APPROACH: Elaboration of didactic material for the Teaching of Chemistry

Luciana Nogueira de Souza Garcia;²
Katiúscia Daiane Ferreira.³

RESUMO

O ensino de Química na perspectiva CTSA, mostra-se bastante eficaz, uma vez que possibilita tornar o conteúdo programático mais relevante e envolvente para os alunos, mostrando-lhes como a Química está intrinsecamente ligada à vida cotidiana. Adotando a temática “Terras raras” o objetivo foi usar um tema de alta relevância científica e tecnológica, ainda pouco abordado, objetivando uma maior compreensão de conteúdos químicos por parte dos alunos, além de possibilitar o desenvolvimento de um conhecimento crítico sobre o impacto que a utilização desses elementos tem sobre a sociedade. Nesse contexto, para o desenvolvimento desta pesquisa, empregou-se a metodologia qualitativa e produção de material didático. Assim, as etapas procedimentais foram, além da revisão bibliográfica, a elaboração de um material didático composto por uma apostila e jogo didático. Na apostila estruturou-se informações químicas importantes sobre os elementos terras raras, possibilitando o uso para explicação de vários conteúdos químicos, bem como a aplicação dos elementos desse grupo em tecnologias atuais. Os conteúdos foram apresentados numa linguagem dinâmica e de fácil entendimento e compreensão para o público alvo, que é constituído pelos alunos do 1º ano do ensino médio. Destaca-se a partir do desenvolvimento desta pesquisa a importância da busca de relacionar os conteúdos programáticos ao cotidiano com o objetivo de um melhor envolvimento dos alunos nas aulas e assim facilitar o processo de ensino aprendizagem trazendo dessa forma resultados satisfatórios para uma aprendizagem eficiente.

Palavras-chave: Terras Raras; CTSA; Lantanídeos; Ensino de Química.

ABSTRACT

Teaching Chemistry from a CTSA perspective has proven to be quite effective, since it makes it possible to make the program content more relevant and engaging for students, showing them how Chemistry is intrinsically linked to everyday life. By adopting the theme “Rare Earths” the objective was to use a highly relevant scientific and technological topic that has not yet been widely discussed, aiming at a greater understanding of chemical content by students, in addition to enabling the development of critical knowledge about the impact that the use of these elements has on society. In this context, for the development of this research, qualitative

¹ Artigo elaborado conforme as normas definidas pela NBR6022:2018, da ABNT.

²Discente - Programa de Pós-graduação *Lato Sensu* em Ensino de Ciências e Matemática, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) - Câmpus Itumbiara, Goiás, Brasil. E-mail: (lucianansg@hotmail.com).

³Docente - Departamento de Áreas Acadêmicas, IFG - Câmpus Itumbiara, Goiás, Brasil. E-mail: katiuscia.ferreira@ifg.edu.br

methodology and production of teaching material were used. Thus, the procedural steps were, in addition to bibliographic research, the preparation of a teaching material consisting of a booklet and a teaching game. The booklet structured important chemical information about rare earth elements, enabling its use to explain various chemical contents, as well as the application of the elements of this group in current technologies. The content was presented in a dynamic language that was easy to understand and comprehend for the target audience, which is made up of first-year high school students. The development of this research highlights the importance of relating the program content to everyday life with the aim of improving student involvement in classes and thus facilitating the teaching-learning process, thus bringing satisfactory results for efficient learning.

Keywords: *Rare Earths; CTSA ; Lanthanides; Chemistry education.*

1 INTRODUÇÃO

Os elementos terras raras (TR), são compostos pelos elementos chamados de lantanídeos (Ln), pertencentes à primeira série de transição do bloco f da tabela periódica, envolvendo os elementos químicos de número atômico situado entre 57 e 71, além do escândio (Sc) e ítrio (Y). São um conjunto de elementos químicos, normalmente encontrados na natureza misturados a minérios e que têm aplicações importantes em tecnologia, eletrônica, energia renovável e muitos outros campos (Shriver e Atkins, 2003).

De acordo com Serra, de Lima e Souza Filho (2015, P. 248), terras raras constituem um grupo especial de elementos no que tange à ocorrência natural, similaridade de comportamentos químicos e propriedades ópticas e magnéticas, sendo, portanto, de papel tecnológico imensamente importante nos dias de hoje. São frequentemente usadas em materiais avançados, como catalisadores, fósforos para telas de dispositivos eletrônicos e ímãs.

Dentro dessa perspectiva, o tema apresentado torna-se bastante eficaz para ser trabalhado em sala de aula sob a abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTSA) sendo uma maneira eficaz de tornar o conteúdo mais relevante e envolvente para os alunos, mostrando como a química está intrinsecamente ligada à vida cotidiana, à tecnologia e à sociedade. Essa abordagem é caracterizada pelo ensino contextualizado dos conteúdos científicos, ou seja, leva em consideração o meio tecnológico e social que dialoga com estes conteúdos, permitindo o desenvolvimento de uma visão crítico-reflexiva (Costa e Silva, 2013; Faria, 2020).

Nos últimos anos, as terras raras despertaram um considerável interesse por várias razões, especialmente devido às suas características únicas o que também atraiu crescentes preocupações relacionadas com o fornecimento seguro de tecnologias modernas de eletrônica

e energia altamente eficientes. Com o crescente uso dos elementos TR em diversas áreas, cresce a produção de resíduos sólidos que apresentam estes elementos em sua composição (Lamb, 2021, p.18). No meio deste súbito aumento de interesse, a atenção tem sido dada aos impactos ambientais da produção e à distribuição global de reservas, porém, esses impactos ainda são pouco conhecidos. Os processos de extração e refino de terras raras produzem elevados níveis de lixo tóxico, com altos riscos de radioatividade, sendo que a refinação de 1 tonelada de terras raras produz duas mil toneladas de lixo tóxico não tratado (Cardoso, 2014).

Portanto a questão ambiental é um assunto de extrema importância quando o assunto são terras raras. Sua mineração sustentável, o impacto ambiental da extração e a reciclagem de produtos que os contêm são assuntos que podem ser trabalhados na abordagem CTSA. Além disso, o estudo das terras raras pode se estender para outras disciplinas, como física, geografia, ciências ambientais, o que o torna um tópico interdisciplinar bastante valioso no ensino de química. Ao abordar esse assunto em sala de aula, o tema pode enriquecer a compreensão dos alunos sobre a química, sua relevância na indústria e tecnologia modernas e as implicações ambientais de seu uso, ao mesmo tempo em que ajuda a contextualizar a tabela periódica, além de promover o desenvolvimento de habilidades críticas dos alunos. Isso permite o trabalho com os alunos dentro de uma variedade de tópicos previstos no conteúdo programático de Química, como tabela periódica, estrutura atômica, propriedades dos elementos, comportamento químico e ligações metálicas.

No ensino da química, as terras raras podem desempenhar um papel importante, não apenas por sua contribuição para a compreensão dos conteúdos programáticos já citados, mas também porque podem ser exemplo prático e interessante para ensinar conceitos da formação de íons complexos e das aplicações tecnológicas no ensino superior. No entanto, segundo Faria (2020), a esses elementos são atribuídos pouca importância por falta de conhecimento.

A relação entre terras raras e o ensino da química é um campo de estudo que tem gerado uma variedade de artigos e pesquisas ao longo dos últimos anos. Algumas referências exploram como estes elementos podem ser incorporados no currículo de química e como seu estudo pode enriquecer a compreensão de conceitos químicos fundamentais. Dessa forma, o presente trabalho apresenta os resultados de uma revisão bibliográfica acerca das produções científicas no Brasil na área de ensino de química com eixo central no tema “Terras raras”.

Além disso, também é apresentado o resultado da produção de um material didático usando a temática dos elementos Terras Raras para o ensino de química no ensino médio, adotando uma abordagem de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTSA). O material confeccionado objetivou destacar a importância de introduzir o tema aos alunos numa

abordagem que contemple as relações existentes entre ciência, tecnologia e sociedade unindo assim, o âmbito social e o conhecimento químico possibilitando aos discente o real entendimento das relações existentes entre a química e o cotidiano. Tais características atendem às demandas elencadas pelas Orientações Curriculares Nacionais as quais estabelecem que o ensino de química deve oportunizar o acesso a conhecimentos que permitam a “construção de uma visão de mundo mais articulada e menos fragmentada, contribuindo para que o indivíduo se veja como participante de um mundo em constante transformação” (Brasil, 1999, p. 241 apud Brasil, 2006, p.107).

2 REVISÃO DE LITERATURA

Terras raras (TR) são um grupo de elementos químicos que desempenham um papel fundamental no campo da química, bem como em muitas outras áreas da ciência e tecnologia. A expressão “terras raras” porém, não é a adequada para designar estes elementos. Esse nome foi atribuído aos elementos desse grupo devido ao fato de terem sido encontrados na natureza em forma de óxidos, com aparência terrosa, e durante um bom período de tempo foram considerados muito escassos devido ao desconhecimento dos processos de purificação (Faria, 2020). Nos tempos atuais, porém, sabe-se que esses elementos não são nada raros e alguns deles são mais abundantes do que o cobre e chumbo, por exemplo (Miranda Jr, 2000), e estão espalhadas por toda a crosta em baixas concentrações, com exceção feita ao promécio, que não ocorre na natureza, apenas em traços nos minerais do urânio (4×10^{-15} g/kg), como consequência da fissão espontânea do urânio-238 (Ferreira; Nascimento, 2013, p. 9). Em seus estudos, Martins e Isolani (2005, p. 111) nos apresentam um bom exemplo disso ao nos informar que os elementos túlio (0,5 ppm) e lutécio (0,8 ppm), que são as terras raras menos abundantes na crosta terrestre, são mais abundantes que a prata (0,07 ppm) e o bismuto (0,008 ppm). Porém, ainda que abundantes, os minerais fontes de elementos de TR são difíceis de extrair, o que encarece sua produção (Rocio et.al. 2012, p.371).

O termo terras raras, apesar de não representar a realidade da existência desses minerais ainda é capaz de expressar a trajetória histórica desses minerais. “Atualmente, pode-se notar que os elementos classificados como “terras” correspondem à metais com elevados potenciais de oxidação e que formam óxidos estáveis e insolúveis em água” (Serra, de Lima e Souza Filho 2015, P. 249). Na natureza a dificuldade de isolá-los refere-se ao fato de que esses elementos não são encontrados como metais puros na crosta terrestre, mas se apresentam misturados em minerais na forma de combinações de vários TR.

O grupo dos TR é constituído por 17 elementos, pertencentes ao grupo 3 da tabela periódica, 15 deles são os lantanídeos - Ln (lantânio, cério, praseodímio, neodímio, promécio, európio, gadolínio, térbio, disprósio, hólmio, érbio, túlio, itérbio e lutécio), apresentados fora do corpo principal da tabela periódica, e possuem número atômico (Z) entre 57 e 71. Os outros 2 são os elementos escândio (Z = 21) e o ítrio (Z = 39), incluídos por apresentarem propriedades físico-químicas semelhantes aos lantanídeos. Os Terras Raras são fotoluminescentes, ou seja, têm a capacidade de absorver a luz e emití-la em outro comprimento de onda. Por conta dessas características químicas, espectroscópicas e magnéticas, têm aplicações em diversas áreas da tecnologia (Lamb, 2021, p.18).

As Terras Raras apresentam variações notáveis na configuração eletrônica, especialmente nos elétrons de valência “os átomos neutros deste grupo possuem em comum a configuração eletrônica $6s^2$ e que com exceção do lantânio, todos os demais apresentam configuração variável no nível $4f$ ” (Lamb, 2021, p.29). Esses elementos exibem propriedades químicas que só eles possuem e, segundo uma pesquisa de Marinho, Espinosa e Silva (2018, p. 160) quimicamente são fortes agentes redutores e apresentam alto ponto de fusão. Tais características propiciam a esses elementos um considerável destaque no campo industrial, o que os torna assim, bastante valiosos na produção tecnológica de computadores, celulares, lâmpadas especiais, além de contribuir para o desenvolvimento de veículos híbridos e energias limpas como a eólica e a solar (Faria, 2020).

Uma característica marcante dos elementos lantanídeos é a contração, ou seja, uma diminuição progressiva no tamanho do raio iônico à medida que o número atômico aumenta. Por exemplo, “os raios dos íons Ln^{3+} contraem gradualmente de 116pm, para o La^{3+} , até 98 pm, para o Lu^{3+} . O decréscimo no raio iônico é atribuído em parte, ao aumento do Z_{ef} (carga nuclear efetiva) à medida que elétrons são adicionados à subcamada $4f$ ” (Shriver, Atkins, 2003, P. 596). A principal causa da contração é o efeito eletrostático associado com o aumento da carga nuclear blindada imperfeitamente pelos elétrons $4f$ na configuração eletrônica (Martins, Isolani, 2005).

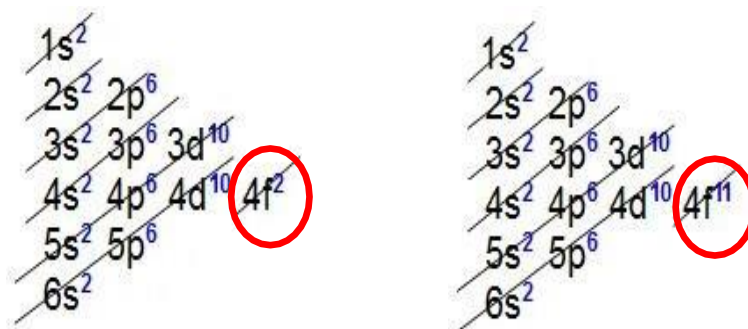
1.1. Configuração eletrônica

Os lantanídeos, 15 dos 17 elementos terras raras, exibem arranjos de elétrons internos, no subnível f . Os elétrons no subnível $4f$, não se encontram em regiões externas, mas sim internas dos níveis eletrônicos (Figura 1), o que faz com que seus raios atômicos sejam pouco afetados, permitindo assim que conservem suas propriedades observadas em átomos livres. Em seus estudos, Santana e Menezes (2020, p. 107) esclarecem que “os orbitais f desses íons

sofrem o efeito de blindagem das subcamadas mais externas de forma que suas capacidades espectrais são pouco perturbadas pelo campo externo gerado pelos ligantes, gerando assim, bandas estreitas $f-f$ de emissão e absorção”. Como resultado, são minimamente influenciados pelo contexto químico dos íons. Isso implica que os TR mantêm, em seus compostos no estado condensado, as características observadas nos átomos isolados, uma característica única, não encontrada em nenhum outro conjunto de elementos.

Figura 1 – Distribuição eletrônica dos elementos (a) cério e (b) hólmio. Observe que o subnível f encontra-se em regiões internas da eletrosfera.

a)



Fonte: Autoria própria

Os elementos terras raras possuem átomos com uma configuração eletrônica representada na tabela 1. Os íons mais estáveis desses elementos apresentam-se como cátions trivalentes, TR^{3+} , com configurações eletrônicas [Ar], [Kr] para o Sc e Y, respectivamente, e [Xe] $4f^n$ ($n=0 - 14$) para os Ln^{3+} , nesses íons os orbitais 4f são progressivamente preenchidos do La^{3+} ($4f^0$) ao Lu^{3+} ($4f^{14}$) (Tabela 2).

Tabela 1- Configuração eletrônica dos elementos TR no estado fundamental

Número Atômico	Configuração Eletrônica	Elemento
21	[Ar] $3d^1 4s^2$	Escândio (Sc)
39	[Kr] $4d^1 5s^2$	Ítrio (Y)
57	[Xe] $4f^0 5d^1 6s^2$	Lantânio
58	[Xe] $4f^1 5d^1 6s^2$	Cério (Ce)
59	[Xe] $4f^3 6s^2$	Praseodímio (Pr)
60	[Xe] $4f^4 6s^2$	Neodímio (Nd)
61	[Xe] $4f^5 6s^2$	Promécio (Pm)
62	[Xe] $4f^6 6s^2$	Samário (Sm)
63	[Xe] $4f^7 6s^2$	Európio (Eu)
64	[Xe] $4f^8 6s^2$	Gadolíneo (Gd)

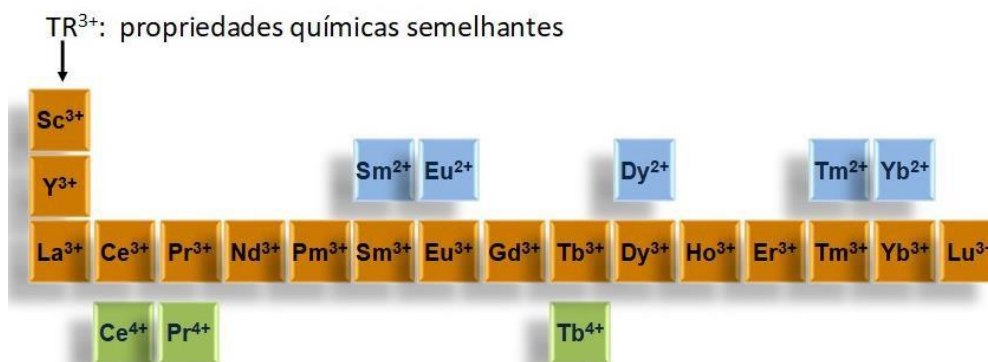
65	[Xe] 4f ⁹ 6s ²	Térbio (Tb)
66	[Xe] 4f ¹⁰ 6s ²	Disprósio (Dy)
67	[Xe] 4f ¹¹ 6s ²	Hólmio (Ho)
68	[Xe] 4f ¹² 6s ²	Érbio (Er)
69	[Xe] 4f ¹³ 6s ²	Túlio (Tm)
70	[Xe] 4f ¹⁴ 6s ²	Itérbio (Yb)
71	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²	Lutécio (Lu)

Tabela 2 – Distribuição eletrônica dos íons TR³⁺, distribuição eletrônica e os respectivos raios iônicos

Íon TR ³⁺	Conf. Eletrônica	Raio iônico (pm)
Sc ³⁺	[Ar]	87
Y ³⁺	[Kr]	102
La ³⁺	[Xe]	116
Ce ³⁺	[Xe] 4f ¹	114
Pr ³⁺	[Xe] 4f ²	113
Nd ³⁺	[Xe] 4f ³	111
Pm ³⁺	[Xe] 4f ⁴	109
Sm ³⁺	[Xe] 4f ⁵	108
Eu ³⁺	[Xe] 4f ⁶	107
Gd ³⁺	[Xe] 4f ⁷	105
Tb ³⁺	[Xe] 4f ⁸	104
Dy ³⁺	[Xe] 4f ⁹	103
Ho ³⁺	[Xe] 4f ¹⁰	102
Er ³⁺	[Xe] 4f ¹¹	100
Tm ³⁺	[Xe] 4f ¹²	99
Yb ³⁺	[Xe] 4f ¹³	99
Lu ³⁺	[Xe] 4f ¹⁴	98

Apesar dos íons terras raras catiônicos trivalentes, TR³⁺, apresentarem-se como íons mais estáveis, para alguns deles existem outros estados de oxidação, conforme apresentado na figura 2.

Figura 2 – Estados de oxidação existentes para os íons TR.



Fonte: Autoria própria

1.2. Propriedades

A principal característica dos TR reside no fato de que esse conjunto de elementos exibe propriedades químicas praticamente idênticas, sendo metais eletropositivos com uma notável uniformidade nas propriedades químicas, como magnetismo intenso e absorção e emissão de luz. Isso se deve ao fato de seus elétrons serem mais internos, nos subníveis f (Tabela 1). A distinção mais relevante entre os lantanídeos reside em seu tamanho; a opção por um lantanídeo de dimensões específicas geralmente proporciona a capacidade de ajustar as propriedades de seus compostos. As diferenças na reatividade de seus íons trivalentes são mínimas e estão principalmente relacionadas aos seus diferentes raios iônicos (Tabela 2).

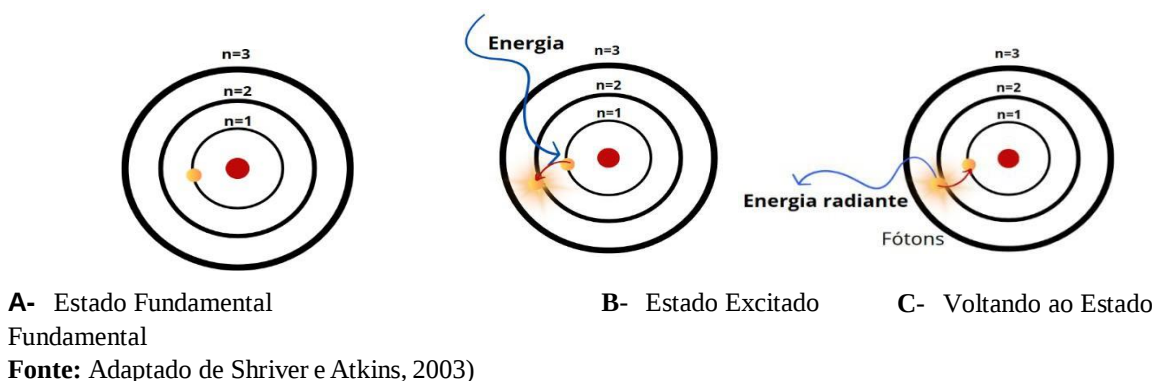
Os TR são elementos metálicos de consistência macia, apresentando densidade semelhante à dos metais do bloco 3d (variando entre 6 e 10 g cm⁻³). “Sob a forma metálica, eles são condutores de calor e eletricidade relativamente fracos, com condutividades térmicas e elétricas 25 a 50 vezes menores do que as do cobre, respectivamente” (Shriver e Atkins, 2003, p. 595). Demonstram reatividade ao entrar em contato com vapor d'água ou ácido diluído, embora possam ser, em certa medida, passivados por uma camada de óxido. Exibem uma intensa luminosidade e uma notável capacidade de condução elétrica. Sua coloração geralmente é prateada, podendo assumir uma tonalidade esverdeada quando sujeitos à oxidação. Do ponto de vista químico, esses materiais são poderosos agentes redutores e apresentam um elevado ponto de fusão.

Os terras raras são frequentemente divididos em dois grupos com base em suas propriedades físicas e químicas. Conforme Serra, Lima e Sousa Filho (2014, p. 250) afirmam, essas categorias são conhecidas como terras raras leves ou “terras céricas”, que incluem lantânio (La), cério (Ce), praseodímio (Pr), neodímio (Nd), promécio (Pm) e samário (Sm) e são caracterizados por terem menor massa atômica, menor densidade e propriedades físicas que os

tornam mais semelhantes entre si. E, ainda de acordo com os autores, terras raras pesadas ou “terras ítricas”, Gd-Lu e Y, que incluem europio (Eu), gadolínio (Gd), térbio (Tb), disprósio (Dy), hólmio (Ho), érbio (Er), túlio (Tm), itérbio (Yb) e lutécio (Lu), caracterizados por terem maior massa atômica, maior densidade.

Os íons desses elementos, especialmente Eu^{3+} e Tb^{3+} , exibem luminescência, que é a capacidade de emitir luz após absorção de energia. As características de luminescência desses elementos ocorrem quando, ao serem excitados, os elétrons desses materiais absorvem e acumulam a energia que recebem, e logo após algum tempo, essa energia cessa e aos poucos os átomos retornam ao seu estado normal, liberando o excesso de energia em forma de fótons, que compõe a luz do visível (figura 3). “Geralmente, os íons lantanóides apresentam espectros de absorção fracos, mas com bandas estreitas, pois as orbitais f estão blindadas, da influência dos ligantes” (Shriver e Atkins, 2003, P. 600). O processo de excitação e de emissão dos lantanídeos ocorre, portanto, devido às transições f - f .

Figura 3- Esquema que explica o mecanismo da propriedade luminescente.



As propriedades magnéticas dos TRs também são explicadas por suas orbitais f , uma vez que, segundo Galaço (2020, p. 4) o forte magnetismo exibido pelos metais e compostos de lantanídeos é originado dos elétrons desemparelhados localizados nas orbitais $4f$ que “são apenas ligeiramente perturbados pelos ligante, uma vez que eles estão muito internos espacialmente” (Shriver e Atkins, 2003, P. 600). De acordo com Ferreira e Nascimento (2013, p. 11) “os elementos Neodímio e Disprósio apresentam uma magnetização superior a elementos como o Ferro, o que permite utilizá-los na fabricação de um ímã mais forte e menor”.

Esses elementos exibem propriedades químicas, como a capacidade de formar complexos estáveis. De acordo com Marinho, Espinosa e Silva (2018, p. 160) “os TRs possuem alto brilho e elevada condutividade elétrica. Sua cor é tipicamente prata, podendo adquirir um tom esverdeado quando sofrem oxidação”.

Todas as características apresentadas por esses elementos os fazem muito importante no campo das indústrias de tecnologia, fazendo com que esses elementos estejam cada dia mais presentes na sociedade atual. Suas propriedades estão sendo amplamente utilizadas na fabricação de catalizadores, ímãs potentes, além de componentes eletrônicos, como smartphones, tablets, telas de TV e monitores de computador, devido às suas propriedades luminescentes. Algumas dessas aplicações são apresentadas na tabela 3, que lista os terras raras (com seus números atômicos e símbolos) e suas principais aplicações nas tecnologias atuais.

Tabela 3: Principais aplicações dos TRs

Nº Atômico	Símbolo	Elemento	Aplicação Atual
21	Sc	Escândio	Ligas empregadas na indústria aeroespacial
39	Y	Ítrio	Fósforos, cerâmicas e ligas metálicas
57	La	Lantânio	Baterias, catalisadores para refino de petróleo
58	Ce	Cério	Catalisadores, Polimento de vidros (como lentes)
59	Pr	Praseodímio	Ímãs de grande força, pigmento cerâmico amarelo
60	Nd	Neodímio	Ímãs de grande força, empregados em HDs
61	Pm	Promécio	Fonte de radiação Beta
62	Sm	Samário	Ímãs para temperaturas elevadas
63	Eu	Európio	Luzes fluorescentes
64	Gd	Gadolínio	Agente de contraste em imagens por ressonância magnética, reatores nucleares
65	Tb	Térbio	Fósforos para iluminação, Ímãs poderosos para temperaturas elevadas
66	Dy	Disprósio	Ímãs poderosos para temperaturas elevadas, Lasers
67	Ho	Hólmio	Ímãs mais poderosos existentes atualmente
68	Er	Érbio	Lasers, coloração de vidros
69	Tm	Túlio	Materiais cerâmicos magnéticos
70	Yb	Itérbio	Painéis solares, tecnologias de <u>fibras ópticas</u>
71	Lu	Lutécio	Scanners para Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET scanner)

3 METODOLOGIA

Na primeira etapa desta pesquisa adotou-se a metodologia de revisão bibliográfica com o propósito de identificar produções científicas na área de ensino de química que relacionem o assunto terras raras. Sob essa perspectiva, a revisão enfatizou resultados de estudos publicados sobre terras raras na perspectiva da Abordagem CTSA, a qual envolve a análise das interações complexas entre ciência, tecnologia e sociedade relacionadas a esses elementos químicos.

A pesquisa bibliográfica, para Fonseca (2002), é realizada

[...] a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Existem, porém, pesquisas científicas que se baseiam unicamente na pesquisa bibliográfica, procurando referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta (FONSECA, 2002, p. 32).

Para a realização desta revisão bibliográfica, utilizou-se como fonte artigos científicos publicados em periódicos, livros, documentos, sites e trabalho de conclusão de Curso (TCC) disponíveis em portais de busca científica como Google acadêmico e Periódicos Capes. Para o filtro da revisão foram usadas como palavras-chaves: “ensino de química e terras raras” “ensino de química e lantanídeos” “Terras raras e CTSA”. O levantamento bibliográfico foi realizado dentro do recorte temporal de 2018 a 2023.

Em um segundo momento, procedeu-se a confecção de material didático com o tema terras raras dentro da perspectiva CTSA, composto por uma apostila e um jogo didático contemplando conteúdos programáticos previstos para o 1º ano do ensino médio. No que se refere ao uso da apostila como material didático, Nicola e Paniz (2016, p. 359) entendem que, “todo e qualquer recurso ou método diferente do habitual utilizado pelo professor é de grande valia, e serve como apoio para as aulas”, o que proporciona uma maior demonstração de interesse ao tema a ser discutido por parte dos alunos tendo como resultado uma aprendizagem significativa. Sobre o uso de jogos como metodologia ativa na educação, Robaina (2008, p. 13) enfatiza que os jogos têm de transformar aulas comuns em momentos de um ensino eficiente, criativo e prazeroso para os alunos. Além de propiciar aos professores a diversificação de suas aulas, tornando-as mais interessantes, criativas e desafiadoras. Ainda sobre a ludicidade em aulas Cardoso et al.(2020, p. 1702) apontam que a gamificação oferece uma experiência de aprendizado mais interativa e envolvente, potencializando a compreensão de conceitos complexos em Química.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Revisão bibliográfica

Esse levantamento desempenhou um papel importante neste trabalho, por se tratar de uma investigação de natureza predominantemente teórica, ele ofereceu uma valiosa fonte de informações dos trabalhos já desenvolvidos dentro dessa temática por outros pesquisadores, que possibilitaram uma análise crítica e estimularam a introdução de novas perspectivas e ideias para a construção do material didático. Esta perspectiva é compartilhada por Lakatos e Marconi (2003, p. 183) quando argumentam que: “a pesquisa bibliográfica não é mera repetição do que já foi dito ou escrito sobre certo assunto, mas propicia o exame de um tema sob novo enfoque ou abordagem, chegando a conclusões inovadoras”.

Os resultados da revisão bibliográfica, realizada dentro dos filtros estabelecidos na metodologia, apontaram um escasso número de produções científicas com a temática. A tabela 4 elenca os trabalhos encontrados.

Tabela 4- Resultados da revisão bibliográfica acerca dos trabalhos encontrados na temática terras raras e ensino de química dentro dos recortes estabelecidos.

Nome do Artigo	Autores	Ano	Tipo de trabalho
Análise de uma sequência didática com o tema elementos terras raras: uma abordagem CTSA no Ensino de química	Greice Cristina Santos de Faria	2020	TCC
Experimentação no ensino de química: a luz dos elementos Terras raras	Greice C. Santos de Faria e Pedro Miranda Junior	2021	Artigo de revista
Elementos terras raras, lixo doméstico e água potável: Propostas para o ensino de química no novo ensino médio	Rosaura Krasuski Lamb	2021	Dissertação de Mestrado
Indicador fotoluminescente de pH: uma introdução às terras raras.	José Gabriel Santos Barbosa, Jorge F. S. de Menezes e Andrei M. Sá Pires Silva	2022	Capítulo de livro
Terras raras: tabela periódica, descobrimento, exploração no Brasil e aplicações.	Paulo C. de Sousa Filho, Ayla R. B.S. Galaço e Osvaldo A. Serra	2019	Artigo de revista
Método Team Based Learning no ensino e aprendizagem de Química Inorgânica aplicada: Uma visão sócio-interacionista	Bárbara Sprocati, Gustavo Bizarria Gibin e Ana Maria Pires	2020	Artigo de revista
A química dos lantanídeos európio e térbio: uma oficina contextualizada no ensino técnico	Thailana S. S. de Santana e Jorge F. Silva de Menezes	2020	Artigo de revista

Faria (2020) apresentou uma Sequência Didática com o tema “A luz dos Elementos Terras Raras”, na qual aborda diversas estratégias de ensino. Além disso, o trabalho também traz relatos de um experimento relacionado à luminescência, utilizando materiais de fácil acesso, além de relacionar a necessidade do descarte correto de resíduos eletrônicos. Em um trabalho subsequente, Faria e Miranda Junior (2021), relatam e descrevem as etapas de atividades de uma sequência didática com o tema elementos de terras raras, com o objetivo de analisar as potencialidades da Sequência Didática realizada em uma abordagem CTSA para o ensino de química. Essa SD foi apresentada em três etapas: (I) tabela periódica e elementos terras raras; (II) aplicação dos elementos TR; (III) experimentação: a luz dos elementos terras raras. Esta pesquisa revelou que, no ensino de química, é possível incentivar os alunos a refletirem sobre a aplicabilidade do conhecimento científico na sociedade. Demonstrou-se que os elementos terras raras contribuem para a economia global e para o avanço tecnológico do país em um cenário cada vez mais competitivo e globalizado. A estratégia didática implementada possibilitou discussões com os alunos sobre questões como preservação ambiental, bem como decisões conscientes relacionadas ao descarte e uso de materiais eletroeletrônicos. O objetivo foi informar e formar cidadãos capazes de utilizar o conhecimento para compreender e buscar soluções para os diversos problemas enfrentados pela sociedade.

Lamb (2021) destacou em seu trabalho a importância da Educação Ambiental no contexto da crescente preocupação. Ele destaca que a área de Ciências da Natureza tem a responsabilidade de fornecer aos alunos uma compreensão das diversas questões ambientais relacionadas aos recursos naturais e à aplicação de conhecimentos científicos e tecnológicos. Sendo assim, o autor apresentou uma proposta pedagógica que integra aspectos relacionados ao meio ambiente com tópicos de Química no ensino médio, tais como: elementos terras raras, lixo doméstico e água potável. Além disso, foi criado um Manual com Orientações para o Professor como resultado deste trabalho. O objetivo foi auxiliar os professores de Química, oferecendo estratégias de aprendizagem que incentivam a curiosidade e a pesquisa, permitindo a contextualização dos conceitos químicos nos temas ambientais abordados.

O trabalho de Lamb focou no ensino de Química por meio de uma oficina temática que explorou os temas Elementos Terras Raras, Lixo Doméstico e Água Potável. As atividades práticas, como pesquisas, experimentos e visitas técnicas, ajudaram os alunos a conectar conceitos químicos com questões ambientais, promovendo uma maior consciência e práticas sustentáveis. A avaliação revelou que, inicialmente, os alunos tinham conhecimento limitado sobre os temas, mas houve uma evolução significativa na compreensão e aplicação dos conceitos, além de uma melhoria nas atitudes ambientais.

Menezes, Barbosa e Silva (2022), desenvolveram uma pesquisa com o objetivo de sugerir de avaliar uma proposta experimental na qual produziu e aplicou um indicador de pH fotoluminescente para introduzir os estudantes à química das Terras Raras e seus complexos. Utilizando os três momentos pedagógicos de Delizoicov sob uma perspectiva de uma experimentação problematizada. Dentro deste contexto, os autores consideraram que os resultados deste trabalho foram alcançados com sucesso ao desenvolver uma proposta experimental para estudar a química das Terras Raras e seus compostos de coordenação. A proposta foi significativamente aprimorada com base nas sugestões dos participantes, utilizando um indicador fotoluminescente de pH sintetizado que se mostrou eficaz. As respostas do questionário de avaliação foram cruciais para a melhoria do material, resultando na reformulação da atividade.

Souza, Galaço e Serra (2019), trouxeram em seu trabalho uma breve discussão sobre a trajetória histórica dos elementos de terras raras na Tabela Periódica e sobre a exploração desses recursos no Brasil. Os autores detalharam algumas das atividades extrativistas desde o século XIX e algumas perspectivas para atividades futuras relativas a este grupo de elementos no Brasil.

Nos estudos de Sprocati, Gibin e Pires (2020), foi aplicado o método Aprendizagem Baseada em Equipes (Team-Based Learning -TBL) em um minicurso sobre luminóforos baseados em terras raras para estudantes iniciantes no curso de Licenciatura em Química da FCT/UNESP. O TBL enfatiza o desenvolvimento dos alunos por meio do trabalho em grupo, alinhando-se ao referencial teórico de Vygotsky, que destaca a relação entre linguagem e pensamento e a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) como o limiar entre o que um indivíduo pode fazer sozinho e com ajuda externa.

Santana e Menezes (2020) realizaram uma oficina com a temática das diversas aplicações dos elementos lantanídeos. Nessa oficina os autores procuraram contextualizar o ensino de química usando como exemplos elementos presentes no cotidiano a fim de demonstrar aos alunos quais fenômenos estão por trás de diversos equipamentos e objetos que estão no seu dia a dia. Dessa forma, procuraram demonstrar a importância de alinhar teoria e prática a fim de facilitar o aprendizado do aluno pois, auxilia uma melhor compreensão e fixação dos conteúdos por parte dos alunos. Durante a oficina foram realizadas experiências de fotoluminescência, com a turma do 2º ano do curso Técnico em Enfermagem do Centro Territorial de Educação Profissional do Vale do Jiquiriçá (CETEP).

Os resultados obtidos na revisão bibliográfica foram bastante significativos e enriquecedores no que diz respeito ao conhecimento científico e ideias para promoção de

melhorias no ensino de química usando essa temática. A realização desse levantamento de trabalhos divulgados favoreceram a verificação da importância científica do tema abordado, com o objetivo de proporcionar uma compreensão mais profunda do contexto educacional em questão. Os resultados desse levantamento incluíram a identificação de desafios, lacunas, necessidades dos alunos e as áreas em que a intervenção seria mais eficaz. Além disso, essa revisão proporcionou o estímulo a produção de novos trabalhos, gerando assim, novas fontes para pesquisa sobre os elementos terras raras no ensino de química.

4.2 Material didático

Para a construção do material didático, os esforços foram direcionados no sentido de desenvolver uma apostila com linguagem acessível e que contasse com um conjunto compilado de informações sobre o tema “Terras Raras” que colaborasse para explicação de conteúdos programáticos de química para o ensino médio, especialmente para turmas de 1º ano. As informações seriam úteis para o ensino de conteúdos programáticos como estrutura do átomo, configuração eletrônica, tabela periódica, ligações metálicas e propriedades dos metais dentro de uma perspectiva CTSA. Além disso, um jogo didático foi desenvolvido com a finalidade de constituir-se um instrumento avaliativo do processo de aprendizagem do tema em questão. Desta forma, o material didático compõe um material didático com o tema terras raras com objetivo de tornar o aprendizado de conteúdos de química mais acessível e eficiente.

Em relação à apostila, a capa e contracapa podem ser observadas na figura 4 e o conteúdo completo visualizado no apêndice A. Observa-se que ela foi construída com apresentação do conteúdo seguindo a seguinte divisão: 1) Configuração eletrônica; 2) Minerais de TR; 3) Propriedades dos TR; 4) Aplicações. Esse fluxo permite que o professor explore a configuração eletrônica, localização na tabela e outras características eletrônicas, seguindo para apresentação da fonte e obtenção dos elementos na natureza nas reservas minerais. As propriedades químicas e físicas são exploradas nos próximos itens, destacando especialmente as propriedades ópticas, magnéticas e catalíticas envolvidas em cada aplicação tecnológica. Tal disposição propicia condições para trabalhar os conteúdos programáticos na área de química já mencionados anteriormente, estabelecendo conexões pertinentes com questões científicas, tecnológicas e ambientais importantes.

Figura 4. Capa e contracapa da apostila do Material didático



Fonte: Autoria própria

Quanto ao jogo de tabuleiro, apresentado na figura 5, ele foi intitulado "**A Jornada das Terras Raras**" e tem como objetivo geral inserir os jogadores em uma viagem em que cada jogador ou equipe representa um explorador determinado a alcançar o final da trilha e reivindicar o título de maior especialista em terras raras do mundo. No entanto, o caminho está repleto de desafios, obstáculos e oportunidades únicas que testarão suas habilidades e estratégias de cada equipe.

O jogo (apêndice B), que possui regras próprias (Apêndice D), que precisam ser impressas e devem ser lidas aos jogadores, é jogado por duas ou mais equipes. A primeira equipe que chegar ao final do mapa no tabuleiro vence o jogo. Durante o caminho, há possibilidade de serem sorteados três tipos diferentes de cartas (Apêndice C): de curiosidades, que devem ser lidas a fim de aquisição de conhecimentos interessantes sobre o tema abordado, além de cartas com perguntas abertas e perguntas fechadas, que devem ser respondidas corretamente para que o jogador siga no jogo. O intuito de tais questões é avaliar a aprendizagem do tema abordado e explorado.

Figura 5. Tabuleiro o jogo didático



Fonte: Autoria própria

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo a realização de uma pesquisa abrangente que integrou duas etapas fundamentais: uma revisão bibliográfica e a construção de um material didático constituído por um material com a temática terras raras. Cada uma dessas etapas desempenhou um papel essencial no alcance dos objetivos propostos, contribuindo para o aprofundamento do conhecimento e para a disseminação de informações de forma clara, acessível e interativa.

A revisão bibliográfica encontrou um número reduzido de produções científicas realizadas por outros cientistas sobre a da temática terras raras/CTSA/ensino de química. Verificou-se a existência de escassas publicações dentro dos recortes estabelecidos na metodologia, indicando que o tema ainda pode ser muito explorado em muitos conteúdos programáticos de química numa abordagem CTSA. As lacunas de conhecimento observadas foram importantes para a construção de uma base que orientasse as etapas subsequentes do projeto. Por meio de uma ampla revisão da literatura existente, foi possível compreender o contexto histórico, as características químicas e físicas, bem como as aplicações industriais das terras raras. Essa etapa permitiu o embasamento teórico do trabalho e possibilitou que o conteúdo produzido fosse atual e relevante.

O material didático construído buscou apresentar os elementos terras raras de forma didática e estruturada, abordando desde conceitos fundamentais até suas aplicações tecnológicas e desafios ambientais. A apostila foi concebida para ser um recurso de fácil acesso

e compreensão, facilitando o aprendizado e incentivando o interesse pelo estudo das terras raras. Além disso, o conteúdo foi cuidadosamente organizado para servir como uma referência confiável, para o ensino de conteúdos programáticos de química relacionados à temática.

O jogo didático foi criado numa perspectiva de avaliação do conhecimento adquirido, reforçando conceitos abordados na apostila de maneira lúdica, mas com objetivo de tornar o aprendizado mais dinâmico e envolvente, estimulando a curiosidade e o pensamento crítico dos participantes. Essa abordagem interativa não apenas facilita a assimilação dos conteúdos, mas também promove a colaboração e a troca de conhecimentos entre os jogadores.

As duas etapas do projeto se complementam, uma vez que, a integração dessas diferentes abordagens, revisão bibliográfica e construção de material didático, permitiu a identificação de lacunas e escassez de pesquisas na área do ensino de química dentro da temática terras raras e possibilitou a construção de um material educativo compacto e acessível, que deve contribuir para o aprofundamento do conhecimento e para a disseminação de informações em um tema de grande relevância científica e tecnológica.

Este trabalho evidencia a possibilidade de unir métodos tradicionais e inovadores no ensino de química, demonstrando que o rigor acadêmico e a criatividade podem andar de mãos dadas na produção de conhecimento dentro da perspectiva CTSA para melhor formação dos alunos. Acredita-se que o objetivo de contribuir para o ensino de química e a popularização das terras raras foi cumprido com os resultados alcançados até aqui, além de estimular futuras pesquisas e o contínuo interesse pelo tema.

A aplicação e validação do material didático construído constitui-se uma proposta de trabalho futuro, que oportunizará a continuação desta pesquisa por outros alunos e pesquisadores.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação (MEC). Secretaria de Educação Básica (SEB). **Departamento de Políticas de Ensino Médio. Orientações Curriculares do Ensino Médio.** v. 2. Brasília: MEC/SEB, 2006.

CARDOSO, A. T.; BERNARDES, G. C.; GOULART, S. M., & ANDRADE, L. V. “Casadinho da Química”: Uma experiência com o uso da Gamificação no ensino de Química Orgânica. **Revista Prática Docente**, v. 5, n. 3, p. 1701-1716, 2020.

CARDOSO, I. L. **Terras Raras: Uma questão ambiental ou de defesa dos direitos humanos**. Disponível em: <https://gerador.eu/terras-raras-uma-questao-ambiental-ou-de-defesa-dos-direitos-humanos/> acessado em: 20/09/2023

COSTA, Y. F.; DA SILVA, B. H. **Polímeros: Solução ou Poluição? Uma abordagem CTSA no ensino de química orgânica para o ensino médio**. XIII jornada de ensino, pesquisa e extensão – JEPEX 2013 – UFRPE: Recife, 2013

de FARIA, G. C. S. **Análise de uma sequência didática com o tema elementos terras raras: Uma abordagem CTSA no Ensino de Química**. 2020. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática. IFSP – São Paulo.

de FARIA, G. C. S.; JUNIOR, P. M. Experimentação no ensino de química: a luz dos elementos terras raras. **Scientia Naturalis**, v.3, n. 3, 2021.

FERREIRA, F. A.; NASCIMENTO, M. **Terras Raras: Aplicações atuais e reciclagem**. Série Tecnologia Mineral. Rio de Janeiro, 2013.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila. Disponível em: <http://www.ia.ufrj.br/ppgea/conteudo/conteudo-2012-1/1SF/Sandra/apostilaMetodologia.pdf>

GALAÇO, A.R.B.S. **Redes metalo-orgânicas contendo íons lantanídeos: MOFs e LOFs**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo, SP: Atlas 2003.

LAMB, R, K, **Elementos terras raras, lixo doméstico e água potável: propostas para o ensino de química no novo ensino médio**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

MARINHO, D. Y; ESPINOSA, J. W. M.; SILVA, A. C. Os elementos terras raras e seu papel em uma sociedade sustentável. **Revista Gestão de Produção em foco**. Editora Poisson, Volume 7, 2018.

MARTINS, T. S.; ISOLANI, P. C, Terras raras: aplicações industriais e biológicas. **Química Nova**, v, 28, p, 111-117, 2005.

MENEZES, J.F.S; BARBOSA, J.G.S; SILVA, A.M.S.P. **Indicador fotoluminescente de ph: uma introdução às terras raras**. Química: desvendando propriedades e comportamentos da matéria 2, p. 44-59, Atena Editora, 2020.

MIRANDA JUNIOR, P. **Síntese, caracterização e estudo termoanalítico de picratos de lantanídeos hidratados, dos ligantes 1,3-ditiano-1-óxido (DTSO), cis-1,3-ditiano-1,3-dióxido (cis-DTSO₂) e trans-1,3-ditiano-1,3-dióxido (trans- DTSO₂) e de seus compostos de adição**. 2000. Tese Doutorado em Química Inorgânica) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. doi:10.11606/T.46.2019.tde-07062019-093709. Acesso em: 17 mar 2020.

NICOLA, J. A; PANIZ, C. M. A Importância da Utilização de Diferentes Recursos Didáticos no Ensino de Biologia, **Rev. NEaD-Unesp**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 355- 381, 2017.

ROBAINA, J. V. L. **Química através do lúdico: brincando e aprendendo**, Canoas: Ed. Ulbra, 2008, 480p.

ROCIO, M. A. R; SILVA, M. M. D; CARVALHO, P. S. L. D., & Cardoso, J. G. D. R. (2012). **Terras-raras: situação atual e perspectivas**. BNDES Setorial, n. 35, 2012.

SANTANA, T. S. S; de MENEZES, J. F. S. (2020). A química dos lantanídeos európio e térbio: Uma oficina contextualizada no Ensino Técnico. **Brazilian Journal of Development**, 6(12), 95106-95125.

SERRA, O. A., de LIMA, J. F., & de SOUSA FILHO, P. C. (2015). **A luz e as Terras Raras**. *Revista Virtual de Química*, 7(1), 242-266.

SPROCATI, B; GIBIN, G. B; PIRES, A. M. Método Team Based Learning no ensino e aprendizagem de Química Inorgânica aplicada: uma visão sócio-interacionista. **Revista Docência do Ensino Superior**, v. 10, p. 1-32, 2020.

SOUSA, P. C. de; GALAÇO, A.R.B.S; SERRA, O.A. Terras Raras: Tabela periódica, descobrimento, exploração no Brasil e aplicações. **Química Nova**, v. 42, p. 1208-1224, 2020.

SHRIVER, D,F,; ATKINS, P,W, **Química Inorgânica**, Porto Alegre: Bookman, 2003.



ELEMENTOS

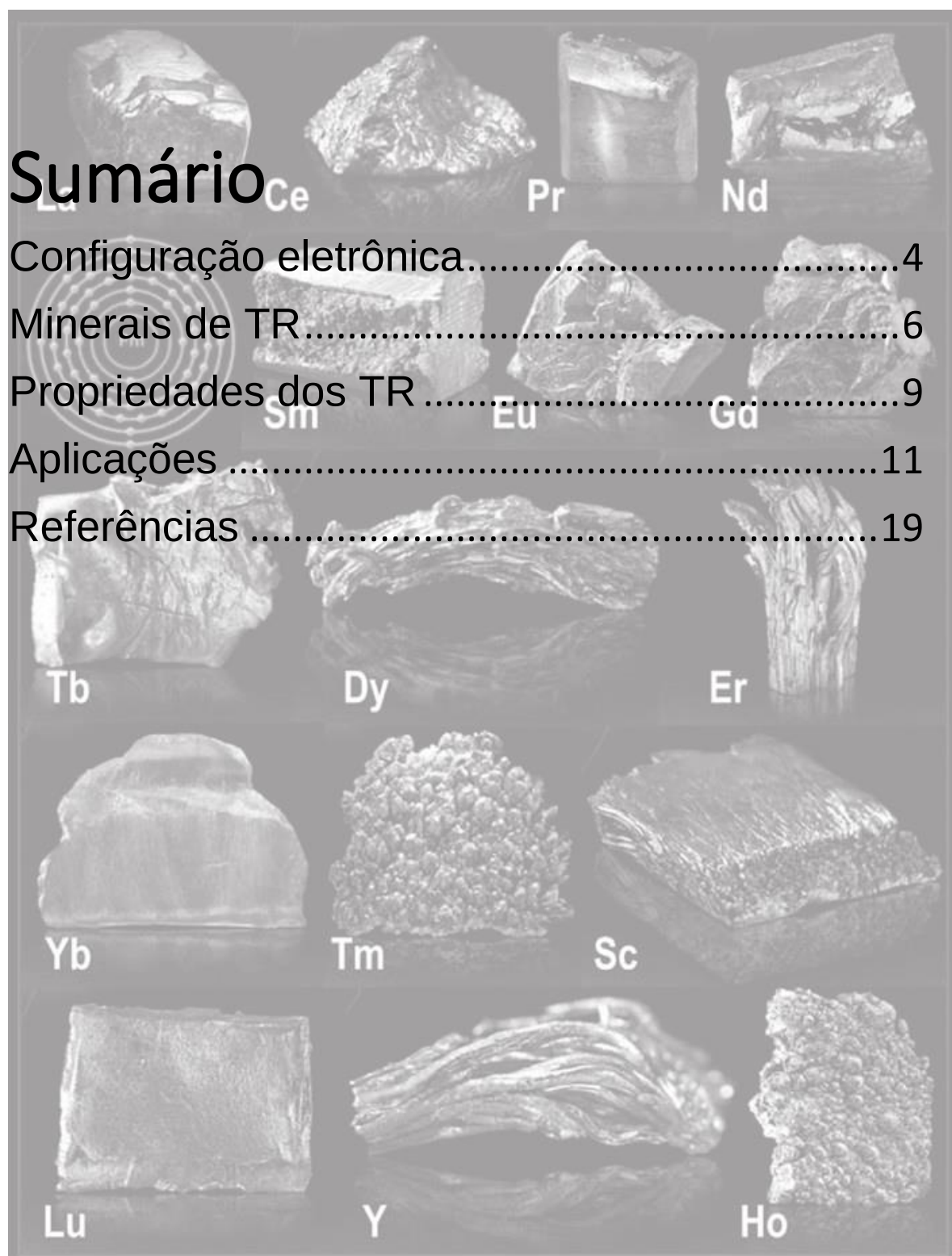
TERRAS

RARAS

PROPRIEDADES E APLICAÇÕES

Sumário

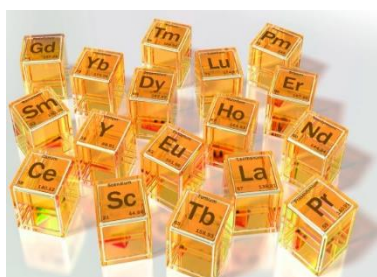
Configuração eletrônica.....	4
Minerais de TR.....	6
Propriedades dos TR	9
Aplicações	11
Referências	19



TERRAS RARAS

Terras raras (TR) são um grupo de elementos químicos que desempenham um papel fundamental no campo da química, bem como em muitas outras áreas da ciência e tecnologia.

São constituídos por 17 elementos, pertencentes ao grupo 3:



- 15 deles são os lantanídeos - Ln (lantânio, cério, praseodímio, neodímio, promécio, európio, gadolínio, térbio, disprósio, hólmio, érbio, túlio, itérbio e lutécio), apresentados fora do corpo principal da tabela periódica, que possuem número atômico (Z) entre 57 e 71;
- Os outros 2 são os elementos escândio (Z = 21) e o ítrio (Z = 39), incluídos por apresentarem propriedades físico-químicas semelhantes aos lantanídeos (Figura 1).

Figura 1- Tabela periódica indicando os elementos terras raras – TR em destaque de azul.

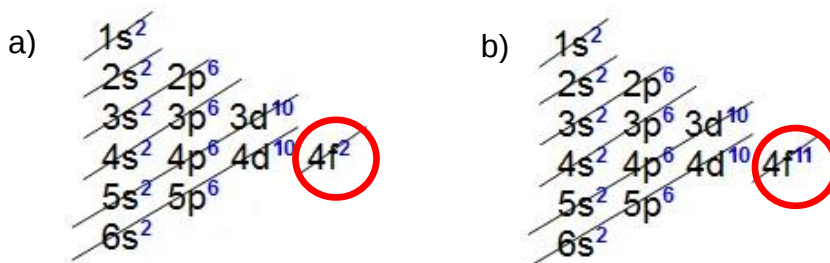
hydrogen 1 H 1.0079																	helium 2 He 4.0026						
lithium 3 Li 6.941	beryllium 4 Be 9.0122																	boron 5 B 10.811	carbon 6 C 12.011	nitrogen 7 N 14.007	oxygen 8 O 15.999	fluorine 9 F 18.998	neon 10 Ne 20.180
sodium 11 Na 22.990	magnesium 12 Mg 24.305																	aluminum 13 Al 26.982	silicon 14 Si 28.086	phosphorus 15 P 30.974	sulfur 16 S 32.06	chlorine 17 Cl 35.453	argon 18 Ar 39.948
potassium 19 K 39.098	calcium 20 Ca 40.078	scandium 21 Sc 44.956	titanium 22 Ti 47.867	vanadium 23 V 50.942	chromium 24 Cr 51.996	manganese 25 Mn 54.938	iron 26 Fe 55.845	cobalt 27 Co 58.933	nickel 28 Ni 58.693	copper 29 Cu 63.546	zinc 30 Zn 65.38	gallium 31 Ga 69.723	germanium 32 Ge 72.64	arsenic 33 As 74.922	selenium 34 Se 78.96	bromine 35 Br 79.904	krypton 36 Kr 83.798						
rubidium 37 Rb 85.468	strontium 38 Sr 87.62	yttrium 39 Y 88.906	zirconium 40 Zr 91.224	niobium 41 Nb 92.906	molybdenum 42 Mo 95.94	technetium 43 Tc [98]	ruthenium 44 Ru 101.07	rhodium 45 Rh 102.91	palladium 46 Pd 106.42	silver 47 Ag 107.87	cadmium 48 Cd 112.41	indium 49 In 114.82	tin 50 Sn 118.71	antimony 51 Sb 121.76	tellurium 52 Te 127.6	iodine 53 I 126.905	xenon 54 Xe 131.29						
cesium 55 Cs 132.91	barium 56 Ba 137.33	hafnium 72 Hf 178.49	tantalum 73 Ta 180.95	tungsten 74 W 183.84	rhenium 75 Re 186.21	osmium 76 Os 190.23	iridium 77 Ir 192.22	platinum 78 Pt 195.08	gold 79 Au 196.97	mercury 80 Hg 200.59	thallium 81 Tl 204.38	lead 82 Pb 207.2	bismuth 83 Bi 208.98	polonium 84 Po [209]	astatine 85 At [210]	radon 86 Rn [222]							
francium 87 Fr [223]	radium 88 Ra [226]	rutherfordium 104 Rf [261]	dubnium 105 Db [262]	seaborgium 106 Sg [266]	bohrium 107 Bh [264]	hassium 108 Hs [277]	meitnerium 109 Mt [268]	darmstadtium 110 Ds [271]	roentgenium 111 Rg [272]														

lanthanum 57 La 138.905	cerium 58 Ce 140.12	praseodymium 59 Pr 140.908	neodymium 60 Nd 144.24	promethium 61 Pm [145]	samarium 62 Sm 150.36	europium 63 Eu 151.964	gadolinium 64 Gd 157.25	terbium 65 Tb 158.925	dysprosium 66 Dy 162.50	holmium 67 Ho 164.930	erbium 68 Er 167.259	thulium 69 Tm 168.933	ytterbium 70 Yb 173.054	lutetium 71 Lu 174.967
actinium 89 Ac [227]	thorium 90 Th 232.038	protactinium 91 Pa 231.036	uranium 92 U 238.029	neptunium 93 Np [237]	plutonium 94 Pu [244]	americium 95 Am [243]	curium 96 Cm [247]	berkelium 97 Bk [247]	californium 98 Cf [251]	esbachium 99 Es [252]	fermium 100 Fm [257]	mendelevium 101 Md [258]	nobelium 102 No [259]	lawrencium 103 Lr [262]

Configuração eletrônica

Os lantanídeos, 15 dos 17 elementos terras raras, exibem arranjos de elétrons internos, no subnível f. Como resultado, são minimamente influenciados pelo contexto químico dos íons (Figura 2). Isso implica que as Terras Raras (TR) mantêm, em seus compostos no estado condensado, as características observadas nos átomos isolados, uma característica única, não encontrada em nenhum outro conjunto de elementos.

Figura 2 – Distribuição eletrônica dos elementos (a) cério e (b) hólmio.



Os elementos pertencentes à série dos lantanídeos possuem átomos com uma configuração eletrônica representada na tabela 1. Os íons mais estáveis desses elementos apresentam-se como Ln^{3+} com configurações eletrônicas $[\text{Xe}] 4f^n$ ($n=0 - 14$), nesses íons os orbitais 4f são progressivamente preenchidos do La^{3+} ($4f^0$) ao Lu^{3+} ($4f^{14}$) (Tabela 2).

Tabela 1- Configuração eletrônica dos Ln no estado fundamental

Número Atômico	Configuração Eletrônica	Elemento
57	$[\text{Xe}] 4f^0 5d^1 6s^2$	Lantânio
58	$[\text{Xe}] 4f^1 5d^1 6s^2$	Cério (Ce)
59	$[\text{Xe}] 4f^3 6s^2$	Praseodímio (Pr)
60	$[\text{Xe}] 4f^4 6s^2$	Neodímio (Nd)
61	$[\text{Xe}] 4f^5 6s^2$	Promécio (Pm)
62	$[\text{Xe}] 4f^6 6s^2$	Samário (Sm)
63	$[\text{Xe}] 4f^7 6s^2$	Európio (Eu)

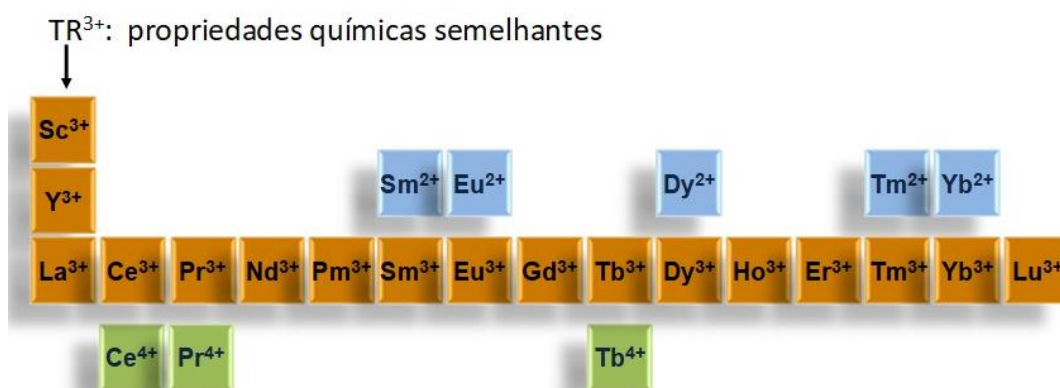
64	[Xe] 4f ⁸ 6s ²	Gadolínio (Gd)
65	[Xe] 4f ⁹ 6s ²	Térbio (Tb)
66	[Xe] 4f ¹⁰ 6s ²	Disprósio (Dy)
67	[Xe] 4f ¹¹ 6s ²	Hólmio (Ho)
68	[Xe] 4f ¹² 6s ²	Érbio (Er)
69	[Xe] 4f ¹³ 6s ²	Túlio (Tm)
70	[Xe] 4f ¹⁴ 6s ²	Ítérbio (Yb)
71	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²	Lutécio (Lu)

Tabela 2 – Distribuição eletrônica dos íons TR³⁺, distribuição eletrônica e os respectivos raios iônicos

Íon TR ³⁺	Conf. Eletrônica	Raio iônico (pm)
Sc ³⁺	[Ar]	87
Y ³⁺	[Kr]	102
La ³⁺	[Xe]	116
Ce ³⁺	[Xe] 4f ¹	114
Pr ³⁺	[Xe] 4f ²	113
Nd ³⁺	[Xe] 4f ³	111
Pm ³⁺	[Xe] 4f ⁴	109
Sm ³⁺	[Xe] 4f ⁵	108
Eu ³⁺	[Xe] 4f ⁶	107
Gd ³⁺	[Xe] 4f ⁷	105
Tb ³⁺	[Xe] 4f ⁸	104
Dy ³⁺	[Xe] 4f ⁹	103
Ho ³⁺	[Xe] 4f ¹⁰	102
Er ³⁺	[Xe] 4f ¹¹	100
Tm ³⁺	[Xe] 4f ¹²	99
Yb ³⁺	[Xe] 4f ¹³	99
Lu ³⁺	[Xe] 4f ¹⁴	98

Apesar dos TR^{3+} apresentarem-se como íons mais estáveis, para alguns deles existem outros estados de oxidação, conforme apresentado na figura 3.

Figura 3 – Estados de oxidação existentes para os íons TR.



A principal característica dos terras raras reside no fato de que esse conjunto de elementos exibe propriedades químicas praticamente idênticas, sendo metais eletropositivos com uma notável uniformidade nas propriedades químicas, como magnetismo intenso e absorção e emissão de luz. Isso se deve ao fato de seus elétrons serem mais internos, nos subníveis f (Tabela 1). A distinção mais relevante entre os lantanídeos reside em seu tamanho; a opção por um lantanídeo de dimensões específicas geralmente proporciona a capacidade de ajustar as propriedades de seus compostos. As diferenças na reatividade de seus íons trivalentes são mínimas e estão principalmente relacionadas aos seus diferentes raios iônicos (Tabela 2).

Minerais de TR



Os TR não ocorrem como metais livres na crosta terrestre. Devido ao seu comportamento geoquímico ocorrem como mistura de vários TR em minerais. Normalmente encontrados na natureza em forma de óxidos de aparência terrosa, por isso o nome “terras”, foram considerados muito escassos devido ao desconhecimento dos processos de purificação e considerados de difícil extração. Mais tarde, porém, foi evidenciado que esses elementos não são raros e alguns deles são mais abundantes

de que o cobre e chumbo, por exemplo, e estão espalhadas por toda a crosta em baixas concentrações.

A Tabela 3 mostra as formas de ocorrência dos principais minérios de terras raras.

Tabela 3- Ocorrências geológicas de terras raras.

Nome do Minério	TR presente	Forma de Ocorrência
Gadolinita	Cério, Lantânio, Neodímio, Ítrio	Rochas magmáticas.
Bastnasita	Cério, Lantânio e Ítrio	Rochas magmáticas e metamórficas.
Mônazita	Cério, Lantânio, Neodímio, Ítrio	Rochas magmáticas, metamórficas e sedimentares.
Allanita	Cério e alguns outros elementos terras raras	Rochas magmáticas e metamórficas.
Xenotímio	Fosfato de ítrio	Rochas magmáticas.
Loparita	Óxido de titânio e cério	Rochas magmáticas.
Fergusonite	Óxido de nióbio-tântalo, ítrio, cério e lantânio	Rochas magmáticas.
Samarskita	Óxido de nióbio-tântalo, ítrio e itérbio	Rochas magmáticas.
Euxenita	Óxido de nióbio-tântalo, ítrio, cério e tório	Rochas magmáticas.
Argilas lateríticas	Ítrio e lantanídeos pesados	Íons retidos

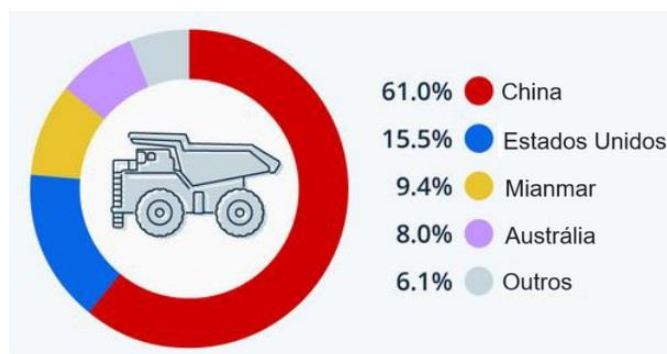
De acordo com a análise do Serviço Geológico dos EUA, cerca de 44 milhões de toneladas de óxidos de terras raras permanecem em reservas no solo chinês. A segunda maior reserva está no Vietnã, mas, segundo estimativas dos geólogos, é apenas metade do tamanho do da China, com 22 milhões de toneladas. Da mesma forma, acredita-se que mais de 20 milhões de toneladas estejam escondidas sob o solo russo e brasileiro conforme mostra a figura 4.

Figura 4- Reservas globais de reservas de terras raras, em toneladas, em 2021. Fonte Statista.



Quanto à produção e extração das terras raras, a China é responsável por cerca de 61% da produção global e, portanto, extrai de longe a maior parte dos elementos comercializados no mercado mundial. Os Estados Unidos, por outro lado, embora sejam o segundo maior produtor, é muito menor que a China, com uma quota de mercado de apenas 15,5 por cento (figura 5).

Figura 5- Principais produtores de terras raras. Fonte Statista.



Na China e as terras raras estão contidas em bastnaesita, enquanto no Brasil, Malásia, Sri Lanka, Índia, África do Sul, Tailândia as areias monazíticas constituem-se em fontes secundárias importantes.



Apesar do Brasil ter a terceira maior reserva mundial conhecida de terras raras, essa riqueza não é explorada, devido ao alto custo da tecnologia de extração e separação, o que obriga o País a importar esses elementos para usar como matéria-prima nas indústrias, principalmente da China, maior produtor do mundo. No Brasil,

as terras raras são encontradas nas areias monazíticas do litoral e principalmente em jazidas próximas a vulcões extintos, como nas cidades de Araxá e Poços de Caldas, em Minas Gerais, e Catalão, em Goiás, e também em Pitinga, no estado do Amazonas (Figura 6).

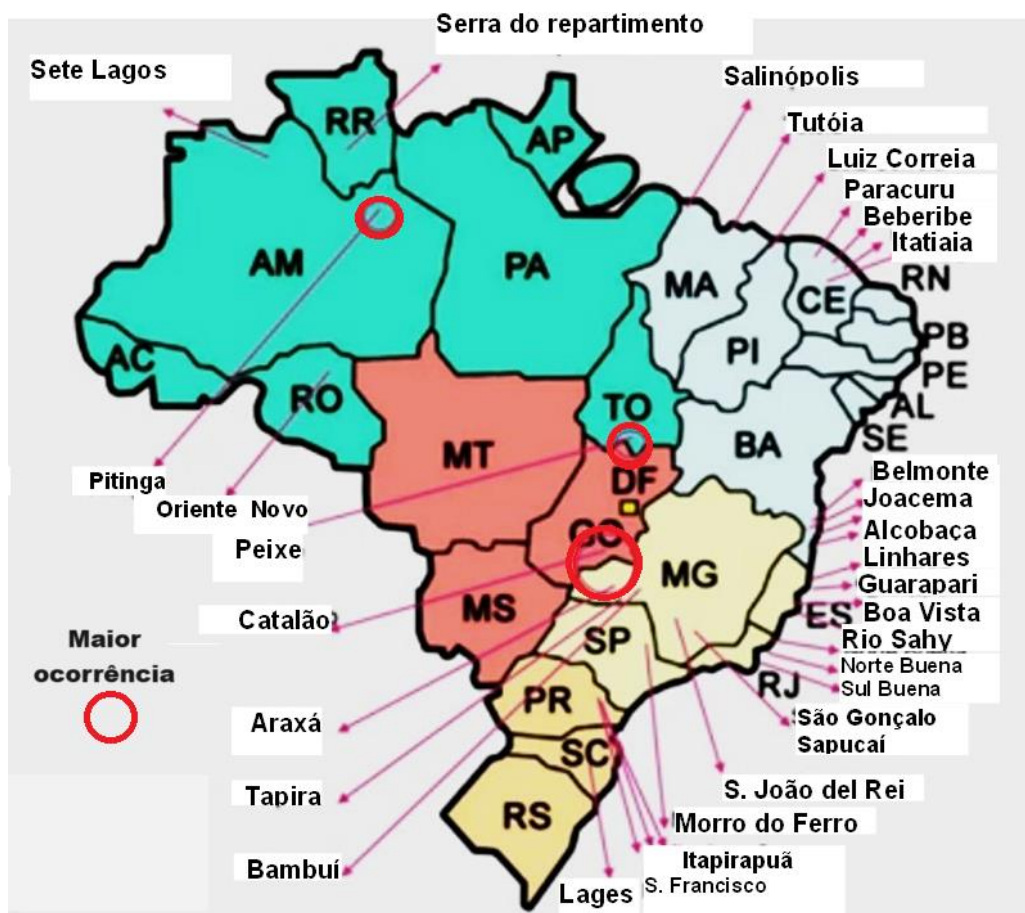


Figura 6 - Locais de maior incidência do extrativismo de terras raras no Brasil

Propriedades dos TR

Os TR são elementos metálicos de consistência macia, apresentando densidade semelhante à dos metais do bloco 3d (variando entre 6 e 10 g cm⁻³). Demonstram reatividade ao entrar em contato com vapor d'água ou ácido diluído, embora possam ser, em certa medida, passivados por uma camada de óxido. Exibem uma intensa luminosidade e uma notável capacidade de condução elétrica. Sua coloração geralmente é prateada, podendo assumir uma tonalidade esverdeada quando sujeitos à oxidação. Do ponto de vista químico, esses materiais são poderosos agentes redutores e apresentam um elevado ponto de fusão.

Os terras raras são frequentemente divididos em dois grupos com base em suas propriedades físicas e químicas. Essas categorias são conhecidas como terras raras leves ou “terras céricas”, que incluem lantânio (La), cério (Ce), praseodímio (Pr), neodímio (Nd), promécio (Pm) e samário (Sm) e são caracterizados por terem menor massa atômica, menor densidade e propriedades físicas que os tornam mais semelhantes entre si. E terras raras pesadas ou “terras ítricas”, Gd-Lu e Y, que incluem europio (Eu), gadolínio (Gd), térbio (Tb), disprósio (Dy), hólmio (Ho), érbio (Er), túlio (Tm), itérbio (Yb) e lutécio (Lu), caracterizados por terem maior massa atômica, maior densidade.

Os íons desses elementos, especialmente Eu^{3+} e Tb^{3+} , exibem luminescência, que é a capacidade de emitir luz após absorção de energia (figura 7). Geralmente, os íons lantanóides apresentam espectros de absorção fracos, mas com bandas estreitas, pois as orbitais f estão blindadas, da influência dos ligantes. Essas transições resultam em emissões de luz características, contribuindo para as cores distintivas observadas nos complexos de lantanídeos (figura 8).

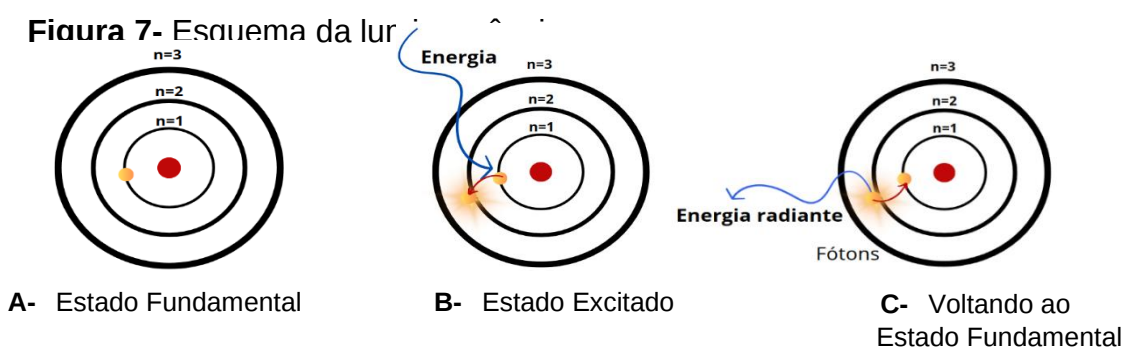
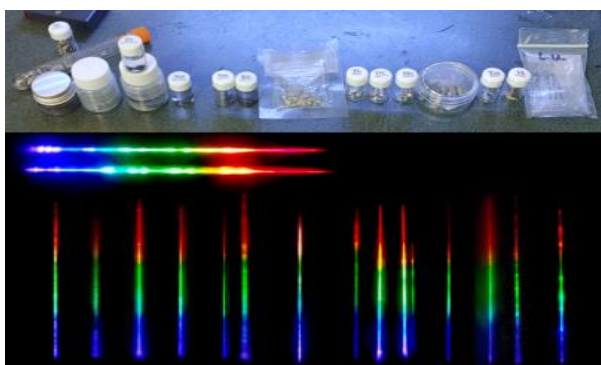


Figura 8- Elementos das terras raras e seus espectros de emissão luminescente.



Esses elementos exibem propriedades químicas únicas, como a capacidade de formar complexos estáveis e sua reatividade com ácidos e bases. Quimicamente são fortes agentes redutores e apresentam alto ponto de fusão.

Aplicações

A importância dos TRs na indústria moderna deve-se às suas inúmeras aplicações na metalurgia, indústria petrolífera, mineração, agricultura, dispositivos eletrônicos, dispositivos magnéticos catálise, energia eólica e nuclear, entre outras.

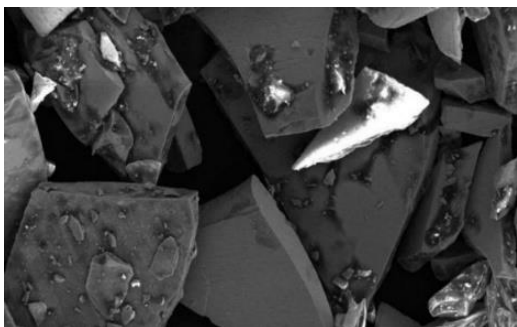
Para se ter uma ideia. Um veículo elétrico contém vários elementos dos terras raras (Figura 9).

Figura 9- Componentes de um carro elétrico.



Suas propriedades interessantes estão especialmente relacionadas ao magnetismo intenso, absorção e emissão de luz que os tornam valiosos para uma ampla gama de aplicações industriais, de pesquisa e tecnológicas.

-Aplicações devido às propriedades magnéticas



Neodímio e disprósio, por exemplo, são componentes essenciais nos ímãs. A capacidade dos ímãs desses elementos, de gerar campos magnéticos intensos em relação ao seu tamanho os torna indispensáveis em muitas aplicações tecnológicas modernas

usados em motores de veículos elétricos e turbinas eólicas.

Os ímãs permanentes comerciais mais comuns são SmCo_5 e $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, sendo o último o ímã permanente com maior campo magnético específico que se conhece. São amplamente utilizados em motores elétricos de veículos, relógios, tubos de microondas, transporte e memória de computadores, sensores, geradores, microfones, raios X, imagem de ressonância magnética (IRM), separação magnética, etc, tudo isso devido à sua força magnética excepcional.

Figura 10 - Aparelho de ressonância magnética nuclear-RMN de 900 MHz com um magneto de 21.2 T no Henry Wellcome Building for NMR (HWB-NMR), Birmingham, GB



-Aplicações devido às propriedades ópticas

Elementos de terras raras são essenciais também na fabricação de componentes eletrônicos, como smartphones, tablets, telas de TV e monitores de computador, devido às suas propriedades luminescentes.

Os íons de TR como Tb^{+3} e Eu^{+3} possuem propriedades luminescentes únicas capazes de uma alta eficácia luminescente e boa qualidade de luz branca.

Aplicações de Lâmpadas e Displays



Materiais luminescentes são também chamados de fósforos, são usados em lâmpadas LED para melhorar a eficiência luminosa, resultando em dispositivos mais econômicos e duráveis. A radiação eletromagnética emitida por esses materiais luminescentes ocorre geralmente na região do visível. Esses fósforos podem converter a luz azul emitida pelo LED em um espectro mais amplo de luz visível, resultando em uma melhor renderização e eficiência de cores. Os fósforos dopados com cério são comumente usados em produtos de iluminação LED.

Figura 11-Terras raras são usadas para fazer LEDs



Uma outra aplicação das terras raras é na fabricação de Laseres (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation que, traduzindo para o português, significa Amplificação da luz por emissão estimulada de radiação). Os materiais a serem utilizados como meio para laser ativo, para a obtenção de alta potência, devem

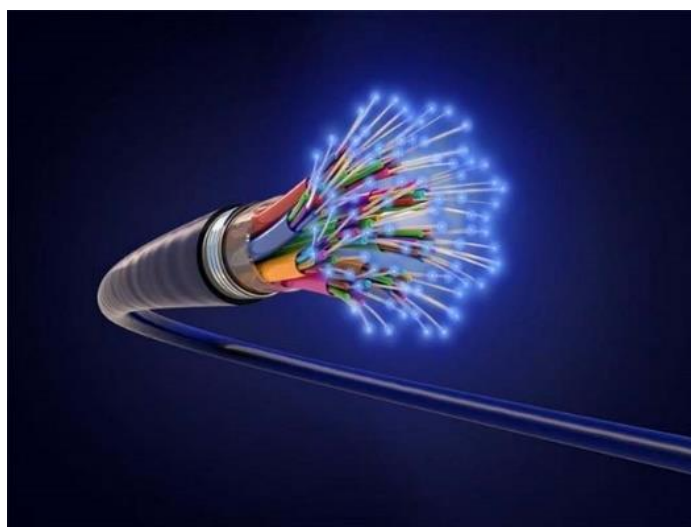
possuir linhas de emissão (luminescência) estreitas, bandas de absorção intensas e tempos de decaimento do estado metaestável longos para armazenamento de energia, características existentes nos elementos TR (figura 12).

Figura 12 - laser de Terras Raras



Em tecnologias de comunicação, esses elementos são utilizados em fibras ópticas e em componentes de dispositivos de comunicação móvel (Figura 13).

Figura 13- Fibra óptica



Na indústria de vidro as terras raras são também muito utilizadas e o cério é um dos elementos mais empregados. Devido ao fato de o íon cério absorver fortemente na região do ultravioleta, é também utilizado na fabricação de lentes oftálmicas especiais para uso solar e na fabricação de recipientes de vidro que absorvem a radiação ultravioleta para serem usados, por exemplo, para armazenar alimentos que são afetados pela luz.

Figura 14- Vidro polido com óxido de cério, também conhecido como céria, um composto químico formado por cério e oxigênio.



Em vidros de alta qualidade óptica, é introduzido óxido de lantânio altamente puro. Esses vidros são empregados na produção de lentes de precisão, devido ao seu índice de refração elevado e baixa dispersão. As lentes fabricadas com esse material apresentam uma espessura menor quando comparadas a lentes equivalentes feitas de vidro óptico convencional.

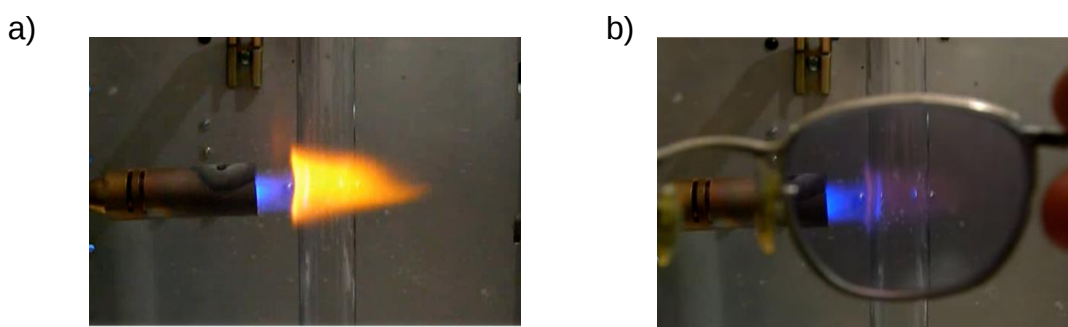
Figura 15- Lentes ópticas para câmeras de máquinas fotográficas



Vidros que contêm neodímio e praseodímio em alta pureza são utilizados como filtros especiais para calibrar instrumentos ópticos, pois esses íons possuem bandas

de absorção estreitas. A combinação de óxido de neodímio e praseodímio é aplicada na produção de óculos de proteção destinados a atividades de fusão e soldagem, devido à capacidade desses elementos de absorverem a luz amarela do sódio. Neste tipo de atividade a chama amarela, devido à presença de sódio, pode atrapalhar a visualização do local de trabalho, figura 16, e o uso de um destes óculos de proteção pode facilitar a tarefa figura 16.

Figura 16: a) imagem de um trabalho de solda sem uso de lente. b) imagem de um trabalho de solda usando lente de proteção composta de óxido de neodímio e praseodímio.



O óxido de neodímio é incorporado em vidros para telas de TV, com o propósito de aproveitar sua capacidade de absorver luz próxima a 580 nm, no pico de sensibilidade do olho humano, bloqueando assim a luz amarela indesejada do ambiente que incide diretamente no tubo da TV e reflete de volta.

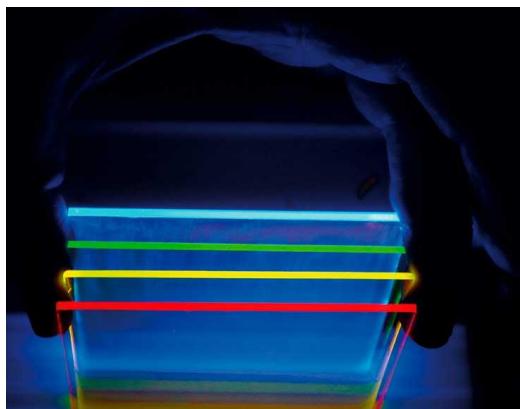
Vidros feitos com a adição de óxido de neodímio, em uma proporção de aproximadamente 4%, podem apresentar uma propriedade interessante. A cor muda quando se altera o tipo de iluminação que incide sobre esse vidro, sendo lilás sob luz normal e azulado quando iluminado com luz fluorescente.

Figura 17: Bulbo de lâmpada com vidro feitos com a adição de óxido de neodímio em diferentes fontes de luz.



Concentradores solares luminescentes que contêm terras raras permitem converter a faixa de luz UV em luz visível (aliás visível nestas faixas de cores distintas). Estes vidros concentram a energia do Sol e são usados em janelas eléctricas para edifícios.

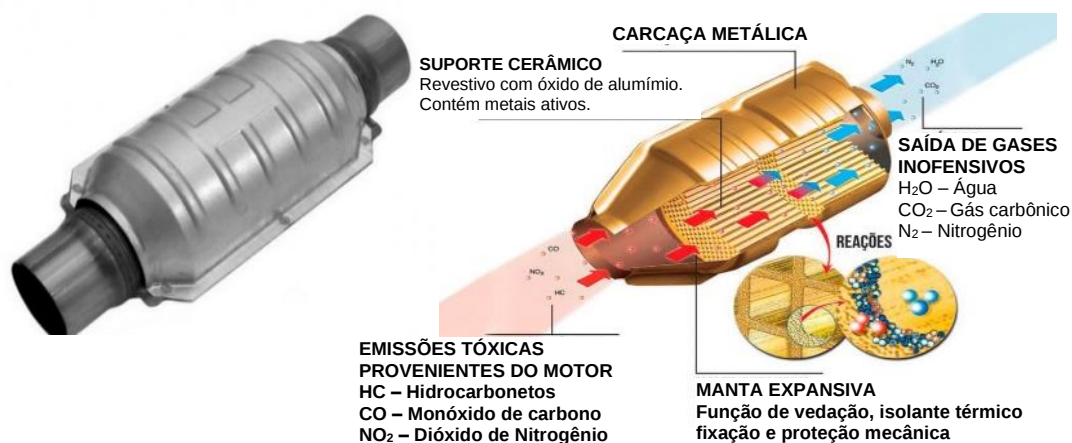
Figura 18: Concentradores solares luminescentes.



-Aplicações devido às propriedades catalíticas

Certos elementos de terras raras são empregados ainda, como catalisadores em processos industriais, como na produção de petróleo, na fabricação de produtos químicos e no tratamento de emissões automotivas (Figura 19). Nesse caso, o óxido de cério (também conhecido como céria, que é um sólido não estequiométrico de duas fases, composto de óxido de Ce^{3+} e Ce^{4+}) é o mais utilizado devido às suas propriedades de oxi-redução, alta mobilidade de oxigênio e também por ser um estabilizador.

Figura 19- Imagem de um catalisador de escapamento de carro



Algumas terras raras são usadas em tecnologias de baterias recarregáveis, contribuindo para a eficiência e desempenho de baterias em dispositivos eletrônicos portáteis e veículos elétricos.

Além de todas as aplicações já apresentadas, a tabela 4, lista os terras raras (com seus números atômicos e símbolos) e suas principais aplicações nas tecnologias atuais.

Tabela 4: Principais aplicações dos TRs

Nº Atômico	Símbolo	Elemento	Aplicação Atual
21	Sc	Escândio	Ligas empregadas na indústria aeroespacial
39	Y	Ítrio	Fósforos, cerâmicas e ligas metálicas
57	La	Lantânio	Baterias, catalisadores para refino de petróleo
58	Ce	Cério	Catalisadores, Polimento de vidros (como lentes)
59	Pr	Praseodímio	Ímãs de grande força, pigmento cerâmico amarelo
60	Nd	Neodímio	Ímãs de grande força, empregados em HDs
61	Pm	Promécio	Fonte de radiação Beta
62	Sm	Samário	Ímãs para temperaturas elevadas
63	Eu	Európio	Luzes fluorescentes
64	Gd	Gadolínio	Agente de contraste em imagens por ressonância magnética, reatores nucleares
65	Tb	Térbio	Fósforos para iluminação, Ímãs poderosos para temperaturas elevadas
66	Dy	Disprósio	Ímãs poderosos para temperaturas elevadas, Lasers
67	Ho	Hólmio	Ímãs mais poderosos existentes atualmente
68	Er	Érbio	Lasers, coloração de vidros
69	Tm	Túlio	Materiais cerâmicos magnéticos
70	Yb	Ítérbio	Painéis solares, tecnologias de fibras ópticas
71	Lu	Lutécio	Scanners para Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET scanner)

Referências

Bernardes, J, Valiosas e versáteis: pesquisas com terras raras mostram caminho para criar cadeia produtiva no Brasil, **Jornal da USP**, Ribeirão Preto, 19/11/2021 disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/valiosas-e-versateis-pesquisas-com-terras-raras-mostram-caminho-para-criar-cadeia-produtiva-no-brasil/> acesso em: 28/11/2023,

Holzle, L, R, B, Tabela periódica com aplicações dos elementos químicos, **Tabela periódica.org**, disponível em: <https://www.tabelaperiodica.org/tabela-periodica-com-aplicacoes-dos-elementos-quimicos/>, acesso em: 28/11/2023

Lamb, R, K, **Elementos terras raras, lixo doméstico e água potável: propostas para o ensino de química no novo ensino médio**, Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021

Sousa, P, C, de; Galaço, A, R, B, S; Serra, O, A, Terras Raras: Tabela periódica, descobrimento, exploração no Brasil e aplicações, **Química Nova**, v, 42, p, 1208-1224, 2019.

Martins, T, S,; Isolani, P, C, Terras raras: aplicações industriais e biológicas, **Química Nova**, v, 28, p, 111-117, 2005.

Martin Armstrong. **China Dominates the Rare Earth Market**. Statista, Jan 13, 2023. Disponível em: <https://www.statista.com/chart/29114/rare-earth-reo-reserves-and-production/>. Acesso em 21/03/2024.

Rocio, M. A. R., Silva, M. M. D., Carvalho, P. S. L. D., & Cardoso, J. G. D. R. (2012). **Terras-raras: situação atual e perspectivas**. BNDES Setorial, n. 35, 2012.

Shriver, D,F,; atkins, P,W, **Química Inorgânica**, Porto Alegre: Bookman, 2003.



ELEMENTOS TERRAS RARAS

PROPRIEDADES E APLICAÇÕES



APÊNDICE B

Tabuleiro do Jogo “Jornada das Terras Raras”



APÊNDICE C

Cartas do Jogo de Tabuleiro “Jornada das Terras Raras”

CURIOSIDADE!

O praseodímio é utilizado na criação de metais de grande resistência, cuja aplicabilidade ocorre em motores de aviões e aeronaves semelhantes.

FONTE: <https://tecnicoemineraçao.com.br/o-mercado-dos-elementos-terras-raras-e-suas-aplicacoes/>

CURIOSIDADE!

O elemento lutécio é resistente à corrosão, relativamente estável em presença do ar, é o mais pesado e duro dos TRs. É também o mais difícil de isolar, por isso apresenta poucas utilidades.

FONTE: <http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/terras-raras/>

CURIOSIDADE!

O cério é utilizado em conversores catalíticos - dispositivo que reduz a toxicidade de gases liberados por escapes de motores que contam com combustão interna.

FONTE: <https://tecnicoemineraçao.com.br/o-mercado-dos-elementos-terras-raras-e-suas-aplicacoes/>

CURIOSIDADE!

O neodímio é utilizado para a produção do tipo de ímã com mais poder do mundo. Essa afirmativa encontra amparo no seguinte exemplo: se fizerem um ímã, utilizando Neodímio, do tamanho de uma moeda, e o colocarem em contato com uma geladeira, não conseguiríamos retirá-lo.

FONTE: <https://tecnicoemineraçao.com.br/o-mercado-dos-elementos-terras-raras-e-suas-aplicacoes/>

CURIOSIDADE!

É graças à aplicação de neodímio em celulares, que esses aparelhos podem vibrar.

FONTE: <https://tecnicoemineraçao.com.br/o-mercado-dos-elementos-terras-raras-e-suas-aplicacoes/>

CURIOSIDADE!

O lantânio é muito importante para o refinamento de petróleo, no contexto de um processo que se chama de craqueamento. O objetivo do mesmo é o de promover a quebra de moléculas de peso elevado e baixo valor comercial no combustível, transformando-as em moléculas leves e de maior valor.

FONTE: <https://tecnicoemineraçao.com.br/o-mercado-dos-elementos-terras-raras-e-suas-aplicacoes/>

CURIOSIDADE!

O Lantânio é Dúctil e maleável, mole o bastante para ser cortado com uma faca, é um dos mais reativos TRs; oxida rapidamente quando exposto ao ar e reage diretamente com C, N, B, Se, Si, P, S e os halogênios. A água fria ataca lentamente o La, mas com a água quente o ataque é rápido. Pequenas quantidades de La, adicionados ao aço melhoram sua maleabilidade, ductilidade e resistência ao impacto.

FONTE: <http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/terras-raras/>

CURIOSIDADE!

O lantânio é um minério utilizado frequentemente em lentes seja de câmeras ou de telescópios, para maior acuidade visual.

FONTE: <https://tecnicoemineraçao.com.br/o-mercado-dos-elementos-terras-raras-e-suas-aplicacoes/>

CURIOSIDADE!

Os Estados Unidos já detiveram a primazia do mercado de Terras Raras, mas desativaram grande parte de suas minas. A partir desse momento, os chineses começaram, a partir da década de 1980, a ampliar sua influência em tal mercado.

FONTE: <https://tecnicoemineraçao.com.br/o-mercado-dos-elementos-terras-raras-e-suas-aplicacoes/>

CURIOSIDADE!

O Neodímio é um mineral altamente magnético e permite que alto-falantes sejam fabricados em tamanhos cada vez mais reduzidos, mas que contem com muita potência de som. O mesmo ocorre com os HDs - ou discos rígidos, os locais onde armazenamos informações digitais, em computadores e afins - sejam também cada vez menores, mas também ganhem em velocidade de transferência de dados.

FONTE: <https://tecnicoemineracao.com.br/o-mercado-dos-elementos-terras-raras-e-suas-aplicacoes/>

CURIOSIDADE!

Os elementos terras raras são usados em catalisadores automotivos, que filtram o carbono e o material particulado (fuligem) produzidos pelos veículos, reduzindo a emissão de poluentes.

FONTE: <https://jornalusp.br/ciencias/valiosas-e-versateis-pesquisas-com-terras-raras-mostram-caminho-para-criar-cadeia>

CURIOSIDADE!

Além dos ímãs, o neodímio é empregado na produção de dispositivos laser por permitir emissões de luz com maior qualidade e pureza de cor.

FONTE: <https://jornalusp.br/ciencias/valiosas-e-versateis-pesquisas-com-terras-raras-mostram-caminho-para-criar-cadeia-productiva-no-brasil/>

CURIOSIDADE!

A primeira jazida de terra rara no Brasil foi descoberta em 1886, na praia de Cumuruxatiba, na Bahia, e em 1915 o Brasil era o maior fornecedor mundial de monazita, um mineral extraído da areia que contém terras raras, e na época era usado para produzir mantas incandescentes, que permitem aos lâmpadas de gás emitirem luz branca.

FONTE: <https://jornalusp.br/ciencias/valiosas-e-versateis-pesquisas-com-terras-raras-mostram-caminho-para-criar-cadeia-productiva-no-brasil/>

CURIOSIDADE!

Elementos de terras raras são essenciais para ímãs permanentes usados em turbinas eólicas e motores de veículos elétricos.

FONTE: <https://www.pv-magazine-brasil.com/2024/02/23/fabricacao-de-baterias-de-litio-no-brasil-pode-ser-incentivada-com-nova-politica/>

CURIOSIDADE!

O nióbio é um supercondutor com propriedades excepcionais de condução de corrente em baixas temperaturas. Também é amplamente utilizado em áreas de diagnóstico médico, como em aparelhos de ressonância magnética e espectrômetros de ressonância magnética nuclear.

FONTE: <https://canaitech.com.br/inovacao/china-descobre-mineral-que-promete-revolucionar-as-baterias-267269/>

CURIOSIDADE!

O elemento lutécio é resistente à corrosão, relativamente estável em presença do ar, é o mais pesado e duro dos TRs. É também o mais difícil de isolar, por isso apresenta poucas utilidades.

FONTE: <http://recursomineralmg.codemge.com.br/substancias-minerais/terras-raras/>

CURIOSIDADE!

Os ímãs de terras raras são ímãs super potentes feitos de uma combinação de componentes como por exemplo Neodímio, Ferro e Boro. Pertencem à última geração de ímãs permanentes e são os mais fortes e disponíveis no mercado atualmente.

FONTE: <https://www.topcomponentes.com.br/tecnologia-revolucionaria-imas-terras-raras>

F V

O elemento escândio faz parte do grupo dos lantanídeos.

Falso. Os elementos escândio ($Z = 21$) e o ítrio ($Z = 39$), são incluídos ao grupo terras raras por apresentarem propriedades físico-químicas semelhantes aos lantanídeos.

F V

Os elementos terras raras são usados principalmente na fabricação de joias

Falso. A importância dos TRs na indústria moderna deve-se às suas inúmeras aplicações na metalurgia, indústria petrolífera, mineração, agricultura, dispositivos eletrônicos, dispositivos magnéticos catalise, energia eólica e nuclear, entre outras.

F V

Os elementos terras raras têm propriedades físicas e químicas muito semelhantes.

Verdadeiro. A principal característica dos terras raras reside no fato de que esse conjunto de elementos exibe propriedades químicas praticamente idênticas, sendo metais eletropositivos com uma notável uniformidade nas propriedades químicas, como magnetismo intenso e absorção e emissão de luz.

F V

Todos os elementos TRs apresentam-se como íons TR^{3+}

Falso. Apesar dos TR^{3+} apresentarem-se como íons mais estáveis, para alguns deles existem outros estados de oxidação, como o Ce^{4+} , Pr^{4+} , Sm^{2+} , Eu^{2+} , Cd^{2+} , Tm^{2+} e Yb^{2+} .

F V

Os elementos terras raras são essenciais na fabricação de telas de televisão de plasma.

Verdadeiro. O óxido de neodímio é incorporado em vidros para telas de TV, para aproveitar sua capacidade de absorver luz próxima a 580 nm, no pico de sensibilidade do olho humano, bloqueando assim a luz amarela indesejada do ambiente que incide diretamente no tubo da TV e reflete de volta.

F V

As baterias produzidas a partir de terras raras, tem uma capacidade de armazenamento maior e são mais leves e menor.

Verdadeiro. Algumas terras raras são usadas em tecnologias de baterias recarregáveis, contribuindo para a eficiência e desempenho de baterias em dispositivos eletrônicos portáteis e veículos elétricos.

F V

O nome "terras raras" foi dado aos elementos devido à sua escassez na crosta terrestre.

Verdadeiro. Os elementos TRs foram considerados muito escassos devido ao desconhecimento dos processos de purificação e considerados de difícil extração.

F V

O urânio é considerado um elemento de terras raras.

Falso. O urânio não faz parte do grupo dos TRs.

F V

Os elementos terras raras são frequentemente usados na fabricação de ímãs permanentes.

Verdadeiro. A capacidade dos ímãs desses elementos, de gerar campos magnéticos intensos em relação ao seu tamanho os torna indispensáveis em muitas aplicações tecnológicas modernas usados em motores de veículos elétricos e turbinas eólicas.

F V

Certos elementos de terras raras são empregados como catalisadores no tratamento de emissões automotivas

Verdadeiro. Nesse caso, o óxido de cério (também conhecido como *céria*, que é um sólido não estequiométrico de duas fases, composto de Ce^{3+} e Ce^{4+}) é o mais utilizado devido às suas propriedades de oxidação-redução, alta mobilidade de oxigênio e também por ser um estabilizador.

F V

Vidros feitos com a adição de óxido de neodímio podem mudar de cor conforme a luz irradiada sobre ele.

Verdadeiro. A cor do vidro muda quando se altera o tipo de iluminação que incide sobre esse vidro, sendo lídido sob luz normal e azulado quando iluminado com luz fluorescente.

F V

Os Estados Unidos são os maiores produtores de minerais de terras raras do mundo.

R: Falso. A China é responsável por cerca de 61% da produção global e, portanto, extrai de longe a maior parte dos elementos comercializados no mercado mundial.

F V

O Brasil é a terceira maior reserva mundial conhecida de terras raras.

R: Verdadeiro. Porém, apesar do Brasil ter a terceira maior reserva mundial conhecida de terras raras, essa riqueza não é explorada, devido ao alto custo da tecnologia de extração e separação.

F V

No Brasil, há incidência do extrativismo de terras raras somente no litoral do país.

R: Falso. No Brasil, as terras raras são encontradas nas areias monazíticas do litoral, porém as maiores incidências são em jazidas próximas a vulcões extintos, como nas cidades de Araxá e Poços de Caldas em Minas Gerais, e Catalão, em Goiás, e também em Pitinga, no estado do Amazonas.

F V

Tanto no Brasil quanto na China, as fontes dos minerais de terras raras estão contidas em bastnaesita.

R: Falso. Na China e as terras raras estão contidas em bastnaesita, enquanto que no Brasil, Malásia, Sri Lanka, Índia, África do Sul, Tailândia as areias monazíticas constituem-se em fontes secundárias importantes.

F V

Os elementos terras raras são essenciais na fabricação de telas de televisão de plasma.

Verdadeiro. O óxido de neodímio é incorporado em vidros para telas de TV, para aproveitar sua capacidade de absorver luz próxima a 580 nm, no pico de sensibilidade do olho humano, bloqueando assim a luz amarela indesejada do ambiente que incide diretamente no tubo da TV e reflete de volta.

F V

Todos os elementos terras raras são metálicos.

Verdadeiro. Os TR são elementos metálicos de consistência macia, apresentando densidade semelhante à dos metais do bloco 3d.

Quantos são os elementos Lantanídeos?

R: Os elementos lantanídeos são 15 no total.

Qual é o número total de elementos que constituem o grupo das terras raras?

R: 17

Por que os elementos escândio e ítrio são incluídos no grupo das terras raras, apesar de não serem lantanídeos?

R: Os elementos escândio (Sc) e ítrio (Y) são incluídos no grupo das terras raras devido às suas propriedades químicas semelhantes aos elementos lantanídeos e por compartilharem algumas características físico-químicas comuns com os elementos desse grupo.

Qual é a faixa de números atômicos dos elementos lantanídeos?

R: Entre 57 e 71

Por que os elementos terras raras foram inicialmente considerados raros e escassos?

R: Devido ao seu comportamento geoquímico ocorrem como mistura de vários RE em minerais em forma de óxidos de aparência terrosa, e foram considerados muito escassos devido ao desconhecimento dos processos de purificação e dificuldade na extração.

Quais são os desafios enfrentados na extração e produção de elementos do grupo das terras raras?

R: São elementos presentes em minérios de outros elementos, portanto possui um alto custo da tecnologia de extração e separação.

Quais são as principais regiões do mundo onde as terras raras são encontradas em grandes quantidades?

R: China, Vietnã, Brasil e Rússia

Quais são os dois elementos não lantanídeos que fazem parte do grupo das terras raras?

R: Ítrio (Y) e Escândio (Sc)

Por que o Brasil, apesar de possuir uma das maiores reservas de terras raras do mundo, não explora esses recursos?

R: Apesar do Brasil ter a terceira maior reserva mundial conhecida de terras raras, essa riqueza não é explorada, devido ao alto custo da tecnologia de extração e separação.

Quais são as características físicas dos elementos do grupo das terras raras que contribuem para suas propriedades ópticas?

R: Capacidade de absorver e emitir luz em comprimentos de onda específicos. Essas propriedades luminescentes são exploradas em várias aplicações de iluminação, displays de telas e tecnologias de lasers.

Qual é a importância dos íons de terras raras, como Eu^{3+} e Tb^{3+} , em aplicações tecnológicas?

R: Devido às suas propriedades luminescentes podem ser usados em dispositivos ópticos como lasers, LEDs, amplificadores ópticos, guias de ondas.

Quais são as regiões específicas no Brasil onde as terras raras são encontradas?

R: No Brasil, as terras raras são encontradas nas areias monazíticas do litoral e principalmente em jazidas próximas a vulcões extintos, como nas cidades de Araxá e Poços de Caldas, em Minas Gerais, e Catalão, em Goiás, e também em Pitinga, no estado do Amazonas.

Quais são as principais aplicações dos elementos das terras raras?

R: As principais aplicações dos TRs na indústria moderna são nos dispositivos ópticos, metalurgia, indústria petrolífera, mineração, agricultura, dispositivos eletrônicos, dispositivos magnéticos catalise, energia eólica e nuclear, entre outras.

Como os elementos das terras raras contribuem para a fabricação de veículos elétricos?

R: Os elementos TRs estão presentes na fabricação de um carro elétrico nos seguintes componentes: aditivo para carburador, para-brisas anti UV, ecrã LCD, Faróis, bateria híbrida, catalisador, vidros e espelhos, motor híbrido, sensores.

Por que o neodímio e o disprósio são considerados componentes essenciais em ímãs utilizados em motores de veículos elétricos e turbinas eólicas?

R: Esses elementos são considerados essenciais na composição de ímãs por sua Intensidade Magnética extremamente fortes em relação ao seu tamanho e peso.

APÊNDICE D

Regras do Jogo: "A Jornada das Terras Raras"

Cada jogador ou grupo deve jogar com uma peça de cor diferente. A saída será dada ao jogador que obtiver maior pontuação ao jogar o dado. O jogador que iniciar, deverá jogar o dado e deslocar a peça de acordo com a pontuação obtida.

Se cair em uma casa com perguntas abertas ou fechadas o jogador deverá escolher uma carta correspondente e responder a pergunta da carta. Ao acertar a resposta o jogador pula mais uma casa no tabuleiro e se errar, o jogador volta uma casa.

Caso a posição da peça coincida com alguma instrução da pista, o jogador deverá obedecer a essa instrução. Se o jogador cair em uma casa de curiosidades o jogador deverá escolher uma carta e ler a curiosidade e permanecer no mesmo lugar. Será considerado vencedor o jogador que alcançar primeiro a chegada.

Texto a ser lido para os participantes antes de iniciar o jogo:

Vamos embarcar em uma emocionante aventura em busca das preciosas terras raras. Cada jogador representa um explorador determinado a alcançar o final da trilha e reivindicar o título de maior especialista em terras raras do mundo. No entanto, o caminho está repleto de desafios, obstáculos e oportunidades únicas que testarão suas habilidades e estratégias.

História: No coração de uma vasta selva, há rumores de uma antiga civilização que descobriu o segredo das terras raras e as protegeu com fervor. Os exploradores estão ansiosos para desvendar esse mistério e encontrar esses tesouros escondidos.

A jornada começa com os jogadores partindo de uma pequena vila remota. À medida que avançam pela trilha sinuosa, encontram desafios diversos. Ao longo do caminho, os jogadores têm a oportunidade de usar seu conhecimento sobre terras raras para superar os desafios encontrados.

No entanto, nem tudo são flores na jornada. Os exploradores também enfrentam contratempos.

À medida que se aproximam do final da trilha, a competição se intensifica e, apenas o mais habilidoso e determinado será capaz de desvendar seus segredos e reivindicar a glória como o maior especialista em terras raras.

Quem será o primeiro a chegar ao final da trilha e conquistar o título de mestre das terras raras? A resposta só será revelada ao final dessa emocionante jornada através da selva exuberante e cheia de mistério.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as oportunidades que me proporcionou até aqui.

A professora Dra. Katiúscia Daiane Ferreira pela orientação, e principalmente pela dedicação e paciência que demonstrou durante todo o processo. Obrigada professora, foi muito prazeroso trabalhar sob sua orientação.

À minha família, que sempre me apoiou e motivou a superar os desafios. Aos demais professores, que fizeram parte dessa caminhada.

Ao Instituto Federal de Goiás (IFG), por proporcionar a chance de adquirir mais conhecimento.