



Uso da análise da razão isotópica na resolução de problemas complexos

Por João Paulo Ferreira e Fabiana Imagawa
Traduzido e adaptado do EnviroMail 61 Canadá

A unidade da ALS em Luleå (Suécia), é um dos poucos laboratórios especializado no mundo que fornece serviços de análise para determinação da razão isotópica voltada para uma ampla variedade de elementos químicos. A unidade realiza a análise de elementos radiogênicos tradicionais e de analitos como: estrôncio (Sr), neodímio (Nd), plutônio (Pu), urânio (U); testes para isótopos estáveis leves (lítio, boro, silício); e estáveis pesados, como prata (Ag), cálcio (Ca), cádmio (Cd), ferro (Fe), magnésio (Mg), molibdênio (Mo), silício (Si) e zinco (Zn). Esse tipo de análise funciona como uma captura de "impressão digital" do material, fornecendo informações valiosas sobre a origem ou a idade geológica de amostras. A técnica permite rastrear fontes de poluição ambiental e monitorar exposições a contaminantes, auxiliando na resolução de problemas ambientais e geológicos de alta complexidade.

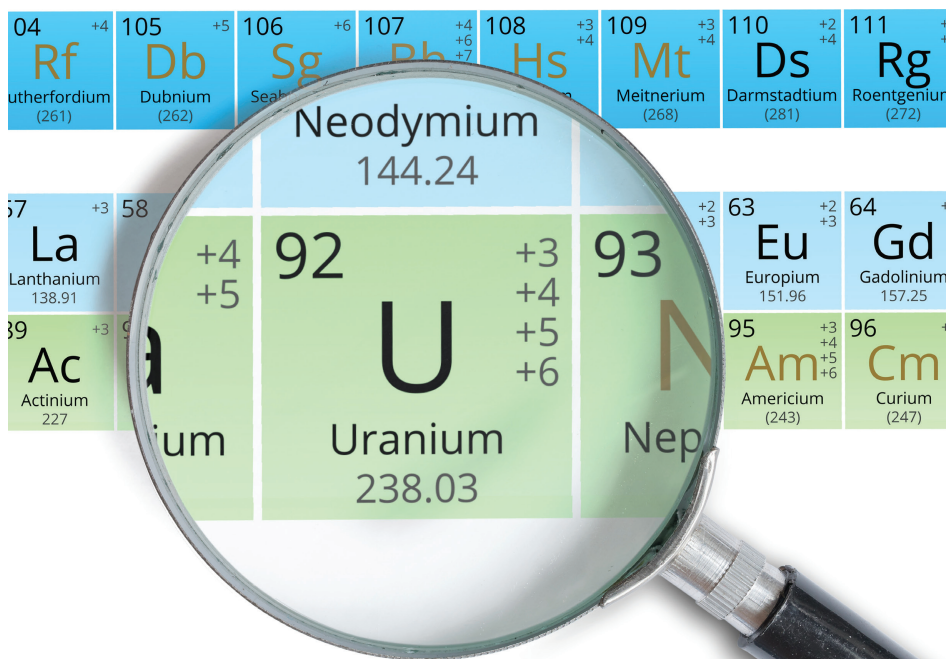
Análise de razão de isótopos

A composição isotópica de um elemento é influenciada por fatores como: sua origem, exposição a processos de intemperismo, interações biológicas e bioquímicas, e a idade geológica do material. O interessante é que a existência desses fatores de variações permite a obtenção de informações valiosas para identificar características

específicas e realizar diagnósticos em diferentes aplicações.

A análise de razão isotópica mede com precisão diferenças sutis nas proporções de isótopos de um elemento, sendo uma ferramenta poderosa áreas da geologia, geocronologia, geoquímica, ciências forenses, nutrição humana, estudos de saúde e arqueologia. Um exemplo bem conhecido dessa aplicação é a datação por radiocarbono, que utiliza a proporção entre carbono-14 e carbono-12 para determinar a idade de materiais orgânicos com precisão, cobrindo um período de até 60.000 anos.

A espectrometria de massa de razão isotópica (IRMS) é amplamente empregada na medição de isótopos estáveis de elementos leves, como carbono (C), nitrogênio (N), enxofre (S), oxigênio (O) e hidrogênio (H). No entanto, a análise de isótopos estáveis de elementos mais pesados, como metais, apresenta desafios adicionais devido às baixas concentrações desses elementos em boa parte das amostras ambientais. Para superar essas limitações, são necessárias instrumentações especializadas e, frequentemente, processos de pré-concentração.



Os testes de razão isotópica para elementos pesados têm aplicações específicas em áreas como rastreamento de contaminação ambiental, determinação de proveniência geológica e estudos de interações químicas complexas. A Tabela 1 resume algumas das análises mais comuns e suas aplicações.

Recursos da ALS para análise de razão isotópica

No setor, a ALS Luleå possui mais de 30 anos de experiência em pesquisa e testes comerciais para análise de razão de isótopos estáveis utilizando instrumentação ICP-MS (espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado - Inductively coupled plasma mass spectrometry) de campo setorial de alta resolução (ICP-SFMS - Espectrometria de Massas com Fonte de Plasma Induzido de Setor Magnético - Inductively Coupled Plasma



Amostras de solo para preparo - Amostragem

Sector Field Mass Spectrometry) e ICP-MS multicoletor (MC-ICP-MS - Espectrometria de Massas com Plasma Indutivo Acoplado - Multicoletor multicollector inductively coupled plasma mass spectrometer). A equipe de especialistas fez contribuições substanciais para o campo da análise de razão isotópica com 170 publicações

revisadas por pares. A ALS Luleå oferece análises de razão isotópica para mais de 20 sistemas isotópicos estáveis e radiogênicos em uma variedade de matrizes de amostra e com alta precisão, mesmo onde as concentrações de amostra são muito baixas. A maioria dos testes de razão isotópica exigem alta precisão, pois apresentam pequenas diferenças observáveis nas razões isotópicas para a maioria dos elementos. O MC-ICP-MS é utilizado para as medições de proporção de isótopos mais exigentes, onde é necessária a melhor precisão possível. Por exemplo, a datação por idade de rochas e meteoritos usando proporções isotópicas de samário e neodímio requer uma precisão de pelo menos 0,002%, o que só pode ser alcançado via MC-ICP-MS. As incertezas com ICP-SFMS são maiores, variando de cerca de 0,05-1% (dependendo do teste), mas são suficientes para algumas aplicações. Os resultados dos testes para razões isotópicas são normalmente relatados como valores delta (δ) em unidades de partes por mil (‰), que se relacionam com os padrões de referência internacionalmente aceitos para cada sistema de isótopos.

SISTEMA DE ISÓTOPOS	ISÓTOPOS MEDIDOS	APLICAÇÕES COMUNS DE RAZÃO ISOTÓPICA
Boro	10,11B	Controle de enriquecimento na indústria de energia nuclear. Rastreamento de fontes de poluição.
Chumbo	204,206,207,208Pb	Rastreamento de fontes de poluição e exposição, geologia, geocronologia, estudos de proveniência, forense, arqueologia.
Neodímio	143,144Nd	Geologia, geocronologia, estudos de local de origem.
Selênio	77,78,82Se	Deteção e monitoramento da atenuação pós-mineração (selênio) em locais de mineração.
Estrôncio	86,87Sr	Geologia, geocronologia, estudos de origem, perícia.
Urânio	234,235,238U	Controle de enriquecimento na indústria de energia nuclear, rastreamento de fontes de poluição e exposição
Outros elementos pesados	Isótopos estáveis de Ag, Ca, Cd, Cu, Fe, Mg, Mo, Si, Zn	Geologia, rastreamento de poluição e fontes de exposição.

Tabela 1. Aplicações comuns de proporção de isótopos não tradicionais

Requisitos e opções de teste de razão isotópica

Os testes de razão isotópica podem ser realizados para uma ampla variedade de matrizes, incluindo (mas não se limitando a):

- Águas naturais e oriunda de processos industriais;
- Águas residuais;
- Solos;
- Sedimentos;

- Aerossóis;
- Biota;
- Produtos alimentícios;
- Material agrícola;
- Amostras clínicas;
- Material arqueológico;
- Metais e ligas.

Os testes de razão isotópica e os requisitos de aplicação são complexos. Os especialistas da ALS fornecem suporte para os clientes que desejam verificar quais as opções mais

apropriadas. Assim é possível apresentar os casos que necessitam de técnicas personalizadas de preparação de amostras, como remoção de matriz, pré-concentração de analitos e purificação, além da análise por IRMS.

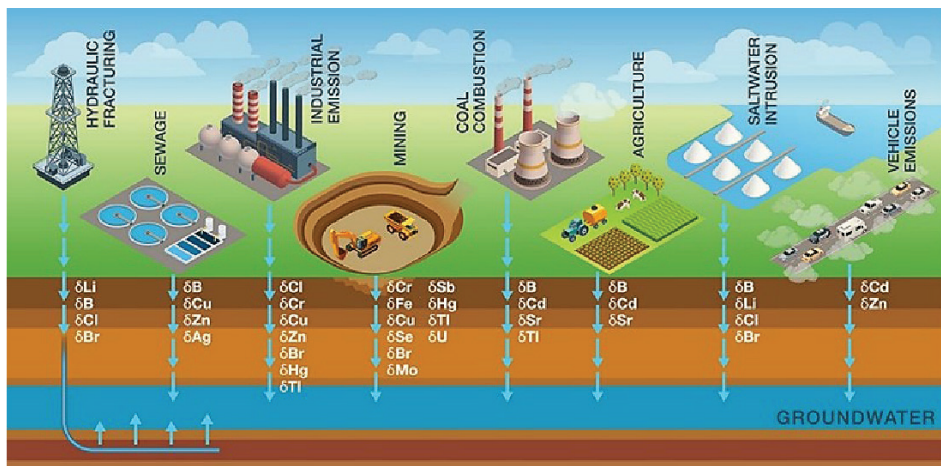
Os profissionais da ALS podem aconselhar sobre quantidades de amostragem e técnicas de preparação necessárias para diferentes matrizes e que consigam atender às quantidades mínimas ou recomendadas exigidas para realização dos métodos (conforme mostrado na Tabela 2).

A ALS na Suécia oferta os testes mais rápidos disponíveis para análise de razão isotópica de elementos pesados, com tempos de resposta de rotina de 6 a 10 dias úteis (após o recebimento de amostras na ALS Suécia) e com análise rápida possível para alguns testes.

SISTEMA DE ISÓTOPOS		ISÓTOPOS MEDIDOS	ICP-SFMS	MC-ICP-MS	
			Mínimo absoluto quantidade (ng total)	Mínimo absoluto quantidade (ng total)	Recomendado absoluto quantidade (µg total)
Boro	B	10, 11	100	1000	10
Cálcio	Ca	42, 43, 44	-	2500	25
Cádmio	Cd	110, 112, 113, 114	-	250	2,5
Cromo	Cr	52, 53	-	5000	50
Cobre	Cu	63, 65	-	2500	25
Ferro	Fe	54, 56, 57	-	5000	
Chumbo	Pb	204, 206, 207, 208	0,5	250	2,5
Lítio	Li	6, 7	50	500	5
Magnésio	Mg	24, 25, 26	-	2500	25
Mercúrio	Hg	199, 200, 201, 202	-	100	1
Molibdênio	Mo	92, 94, 95, 96, 97, 98	-	250	2,5
Neodímio	Nd	146, 148	-	250	2,5
Nickel	Ni	60, 62	-	7500	75
Ósmio	Os	187, 188, 189, 190, 192	0,0005	50	0,5
Plutônio	Pu	239, 240, (242)	0,00025	-	-
Rádio	Ra	226, (228)	0,00005	-	-
Rênio	Re	185, 187	-	250	2,5
Selênio	Se	77, 78, 82	-	5000	50
Silício	Si	28, 29, (30)	-	5000	50
Estrôncio	Sr	86, 87, (88)	250	1000	10
Tálio	Tl	203, 205	-	100	1
Tório	Th	230, 232	50	200	-
Urânio	U	234, 235, 236, 238	0,05	100	1
Zinco	Zn	64, 66, 68	-	5000	50

Tabela 2. Opções de teste de razão isotópica ALS Luleå e necessárias





Aplicações não tradicionais de razão de isótopos estáveis para águas subterrâneas
Current Opinion in Environmental Science & Health 2022, 26:100330Valores Elementais

Escreva para ambiental.br@alsglobal.com
para obter mais informações sobre as opções
de testes para razão isotópica com a ALS na
Suécia.

Referências

1. EnviroMail 61 Canada: Isotope Ratio Analysis
Solves Complex Problems;
2. Elemental stable isotope assessment
of groundwater contamination: Recent
developments, Ilia Rodushkin, Emma Engström,
Simon Pontér, and Maddalena Pennisi,
Current Opinion in Environmental Science
& Health 2022, 26:100330. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468584422000058>

UNIDADES DE ANÁLISES AMBIENTAIS

São Paulo
Rua Galatéia, 1824
São Paulo
+55 11 4082-4300

Rio de Janeiro
Rua General Argolo, 45
Rio de Janeiro
+55 21 3845-0629

Minas Gerais
Rua Clemente Aníbal Branco, 185
Contagem
+55 31 3045-8400

Bahia
Av. Santos Dumont, 7595
Lauro de Freitas
+55 71 3418-2555

Para mais informações sobre estes e outros
diversos parâmetros analisados em nossas
unidades ambientais, entre em contato com
Fabiana Imagawa, a Gerente Técnica da ALS
Ambiental para a América Latina.

[✉ fabiana.imagawa@alsglobal.com](mailto:fabiana.imagawa@alsglobal.com)

A ALS fornece uma ampla gama de serviços de testes especializados que abrangem todas as etapas do ciclo de vida do seu projeto. Visite o site alsglobal.com para obter mais informações sobre nossos serviços e especialidades.

ALS right solutions. right partner. © Copyright 2025 ALS Limited. All rights reserved.

alsglobal.com