



Amostras miniaturizadas como ferramenta de melhoria de processos e redução de resíduos

Por João Paulo Ferreira e Fabiana Imagawa



Imagem 1. Comparação entre frascos após miniaturização das amostras ambientais

Projeto da ALS visa processos sustentáveis e miniaturizados na América Latina

A redução do volume de coleta de amostras ambientais é um tópico importante quando buscamos atrelar sustentabilidade e otimização de recursos. Ao diminuir a quantidade de material coletado, reduzimos significativamente o impacto ambiental associado à coleta, transporte, armazenamento e análise das amostras. Esse tema está atrelado ao nosso compromisso com a certificação ISO 140001 e a busca da ALS à inovação e ao desenvolvimento de produtos e serviços mais sustentáveis.

Planejar, fazer, verificar e agir

A conscientização sobre os desafios ambientais, juntamente com a busca de consumidores, impulsionou a criação de normas que promovam a sustentabilidade. Quando buscamos adotar essas normas, queremos demonstrar o compromisso com práticas responsáveis.

A ISO 14001 faz parte de um conjunto ISO de normas certificadoras de qualidade de serviços. Essa norma internacionalmente reconhecida estabelece diretrizes para um sistema de gestão ambiental eficaz. Dentro desse escopo é importante implementar ações necessárias para atingir os objetivos e metas de processos mais sustentáveis.

Ao utilizarmos uma diretriz ISO, demonstramos nosso compromisso com a melhoria de nossos processos. Como uma das formas de inovação no desenvolvimento de novos produtos e serviços mais sustentáveis, internalizamos a **miniaturização de amostragem para mais de 20 métodos de análise de matrizes ambientais no Brasil**, e que, paralelamente envolvem melhorias nos ensaios desses métodos juntamente com a redução de resíduos.

O fluxo de processo para ensaios ambientais

O fluxo de processos para ensaios de matrizes ambientais depende do tipo matriz a ser analisada (água, solo, ar, entre outros..), dos parâmetros a serem determinados e da legislação aplicável.

Independentemente do tipo, uma verdade se aplica a todas, a geração de resíduos. Pode até parecer irônico que segmentos voltados ao meio ambiente acabem gerando resíduos e impactem o meio ambiente. Para avaliarmos um poluente, geramos poluentes! Infelizmente, independente do segmento, todos impactamos.

A preparação das amostras e a realização dos ensaios fornecem uma variedade de resíduos, como solventes, resíduos líquidos e sólidos, subprodutos químicos e materiais de embalagem, que podem contaminar o meio ambiente em larga escala se não forem adequadamente gerenciados.

Muitos são os processos como filtração, extração e digestão, por exemplo. Os equipamentos utilizados nas análises ambientais consomem energia elétrica e água. Alguns ensaios geram efluentes líquidos que podem conter contaminantes e necessitam de tratamento antes de serem descartados. A utilização de combustíveis fósseis para geração de energia nos laboratórios e no transporte logístico contribui para as emissões de gases de efeito estufa.

Esses são alguns pontos que temos que lidar diariamente. Agora, como podemos reduzir nossos impactos ao mesmo tempo que atuamos no setor ambiental?

Planejamento e preparação

Independente do setor de atuação de um segmento comercial, duas perguntas são importantes. Qual a finalidade do meu processo/atuação? Qual informação se busca obter?

No segmento de ensaios, métodos mais adequados para cada parâmetro, considerando a matriz, a precisão e a detecção desejadas devem ser



Imagem 2 Veículo da ALS para coleta de amostras em campo

consideradas. Assim questões como **pontos de coleta, quantidade de amostra necessária, acondicionamento e preservação das amostras estão correlacionadas**. Não menos importante, questões relacionadas aos ensaios são consideradas, como verificação da calibração dos equipamentos, disponibilidade de reagentes e padrões de referência.

Todos esses pontos são de suma importância para obtermos, ao final do processo, a conformidade analítica.

Mitigação de impactos

Independente da área de atuação de um setor, é fundamental adotar práticas sustentáveis. Em nossa realidade alguns pontos são levados em consideração. Buscamos implementar programas de redução, otimização do consumo de energia e busca por alternativas menos tóxicas e mais seguras no uso reagentes químicos utilizados nos ensaios.

Um ensaio para uma matriz ambiental passa por dois pontos chave, **coleta e ensaio laboratorial**. Desenvolver métodos que exijam menores quantidades de reagentes, menor consumo de energia e que gerem menos resíduos são pontos importantes na parte de ensaios. No âmbito de coleta, a redução no volume de amostras impacta na redução direta na emissão de gases e volume de embalagens. Indiretamente reduzem a quantidade de resíduo para tratamento ou destino para descarte. O grande desafio é conseguir realizar essas modificações e manter a qualidade analítica dos resultados.

Redução do volume de coleta e melhoria de procedimentos

A redução do volume de coleta de amostras tem como foco a otimização de recursos. Ao diminuir a quantidade de material coletado, é possível reduzir significativamente o impacto ambiental associado à coleta, transporte, armazenamento e análise das amostras.



Imagem 3: Em 2021 foram desenvolvidos e internalizados os métodos miniaturizados de TPH, PAH e Surfactantes na ALS Ambiental Brasil. Essa implementação permitiu a redução de insumos, solventes e geração de resíduos.

Um menor volume de coleta, permite que um número maior de amostras sejam transportadas ao mesmo tempo. Com isso obtemos uma menor relação da quantidade de emissão de gases poluentes por amostra.

A coleta de amostras envolve o uso de diversos recursos, como água (**preparo de amostras**), energia (**logística e ensaios**), embalagens (**caixas, recipientes de transporte**) e reagentes químicos (**preservantes de amostras, reagentes do ensaio**) e assim diminui-se a demanda por esses recursos.

Podemos ter uma estimativa de redução na geração de resíduos nesse âmbito. Em média **o volume de amostras mensais analisadas para determinação de metais pode ultrapassar 3000 ensaios**. Normalmente metodologias para esse tipo de ensaio podem demandar a coleta de 100 mL de amostra visando ensaio, reensaio ou possíveis perdas. Técnicas modernas necessitam entre 10-15 mL de amostra. Neste cenário, 70 mL seriam descartadas caso de não

sejam utilizadas em outros processos. Para uma média de 3000 ensaios, esse volume excedente de descarte fica em torno de 210 L/mês. Esse volume de resíduos é passível de ser evitado. Esse mesmo paralelo de ser aplicado para muitos outros ensaios, nos quais todos ainda demandam tratamentos especiais ou incineração de resíduos. Esse é um efeito dominó onde quanto mais resíduos temos, mais resíduos vão se somar a esses.

A coleta de amostras gera uma quantidade significativa de **resíduos, como embalagens, luvas, materiais de acondicionamento, entre outros** e com isso, a redução do volume diminui a quantidade de resíduos gerados. Outro ponto importante é que a diminuição do volume de coleta pode gerar economia de custos, tanto na fase de coleta quanto nas etapas subsequentes de transporte e análise.

Como aplicar a redução no processo?

A alteração do plano de amostragem possibilita coletar uma quantidade mínima de amostra necessária para obter resultados confiáveis. Essa alteração parte da revisão dos métodos existentes que possibilitam uma redução do volume de amostra em conformidade com o método.

Em caso de possibilidade, as técnicas analíticas devem ser passíveis de ajustes ou novas técnicas devem ser desenvolvidas. Aqui o foco é em empregar técnicas analíticas que permitam a detecção de concentrações menores de analitos, reduzindo a quantidade de amostra necessária.

Se há possibilidade de digitalização de todo o processo, a fim da redução de uso de papel, ganha-se mais otimização e redução de resíduos. Atualmente na **ALS Ambiental**, utilizamos processos informatizados em todos nossos processos, como o uso de tablets em campo (amostragem), base de dados para logística, registro de amostras e de ensaios informatizados.



Imagem 4: Informatização dos processos de coleta e ensaios.

Modificações para redução de resíduos nas unidades ambientais da ALS na América Latina

Todas as implementações de redução de resíduos e melhoria contínua fazem parte da política internacional da ALS. Como segmento da ALS Ambiental na América Latina, os times do da **Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, Equador, Peru e República Dominicana** estão atuando na melhoria de seus processos.

Brasil

A unidade iniciou o projeto de avaliação de métodos passíveis de miniaturização e redução do volume de amostras no início de 2021. **Até o momento, 24 processos tiveram redução na metade do volume de coleta.** Todos estão atrelados aos ensaios/serviços da Tabela 1. Grande parte dos analitos foram normalizados em 50 mL de amostra para realização dos testes.

Essa implementação permitiu uma redução aproximada de 1500 litros mensais de resíduos destinados a incineração e/ou tratamento. Atrelado a isso, alguns métodos colorimétricos foram vinculados a análises de fluxo segmentado, permitindo menor uso de volume de amostra e de reagentes, assim como menor tempo de análise em relação a procedimentos clássicos.

Dois métodos comuns no setor ambiental tiveram melhorias: os métodos de TPH - Hidrocarbonetos de Petróleo Totais e PAHs -Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos. Em ensaios orgânicos é comum a necessidade do emprego de solventes orgânicos para extração dos compostos de interesse. Esses reagentes são muitas vezes tóxicos e de difícil tratamento.

Tabela 1: Ensaios com redução de volumes de amostras coletadas.

BRASIL
Analitos vinculados à redução de volume
Cromo VI (Matriz Líquida)
Cromo VI Dissolvido (Matriz Líquida)
Dureza (Matriz Líquida)
Ferro II (Matriz Líquida)
Ferro II Dissolvido (Matriz Líquida)
Varredura de Metais Dissolvidos (Matriz Líquida)
Varredura de Metais Totais (Matriz Líquida)
Sílica (Matriz Líquida)
Silício dissolvido (Matriz Líquida)
Silício e Sílica (Matriz Líquida)
Nitrogênio Total (Matriz Líquida)
Nitrato (Matriz Líquida)
Nitrito (Matriz Líquida)
DQO - Demanda Química de Oxigênio (Matriz Líquida)
Fluoreto (Matriz Líquida)
Cianeto Livre (Matriz Líquida)
Cianeto Total (Matriz Líquida)
Cianeto WAD (Matriz Líquida)
Turbidez (Matriz Líquida)
Ortofosfato (Matriz Líquida)

Os destaques para ambos os métodos vem na redução de solventes durante o processo, na validação e implementação de métodos cromatográficos, e utilização de tecnologias para obtenção de menores limites de concentração passíveis de análise.

Um dos testes que mais apresenta resíduos é o teste de Determinação de Surfataentes em Águas. Na unidade da ALS Ambiental de São Paulo foi desenvolvido um método miniaturizado e validado para o ensaio. Isso permitiu a **redução do uso de clorofórmio** (altamente tóxico) de aproximadamente 80%, assim como a redução dos reagentes utilizados e redução do descarte de resíduos, também próximo a 80% em relação ao método clássico.

Chile

A ALS Ambiental Chile conta com 5 metodologias para matrizes líquidas validadas com redução de volume de amostras para 100 mL e emprego de alíquotas para ensaio entre 5 e 10 mL. **Essas reduções permitiram a utilização de embalagens de menor tamanho,** implicando em uma diminuição na quantidade de detergente utilizado na lavagem de material, de reagentes utilizados na preservação de amostras e na realização de ensaios. Tudo isso se soma a uma redução dos resíduos gerados.

Tabela 2: Ensaios com redução de volume de amostras coletadas no Chile.

CHILE
Analitos com redução de volume
Cromo VI em águas
Íon Ferroso em águas
Ânions por ICS em águas (F-, Cl-, NO2-, SO4-2, Br-, NO3-, ClO3-, PO4-3)
Metais por ICP-MS e ICP-OES em águas
Nitrito por UV-Vis em águas

Colômbia

Em 2024, a unidade iniciou um projeto para desenvolver métodos analíticos mais eficientes, reduzindo a quantidade de amostra necessária para cada ensaio. **Houve diminuição em pelo menos 50% do volume de amostra em 33 processos analíticos listados na Tabela 3.** Atualmente, a maioria das análises é realizada com volumes de 100 mL, 50 mL ou ainda menores.

Tabela 3: Ensaios com volumes reduzidos de amostras coletadas.

COLÔMBIA	
Analitos relacionados com redução de volume	
Ânions por cromatografia de íons	
Cor a um comprimento de onda simples	
Cor a três comprimentos de onda	
Compostos Orgânicos Halogenados Adsorvíveis (AOX)	
Compostos Semivoláteis Fenólicos	
Condutividade	
Fenóis	
Nitrogênio Amoniacal	
Nitrogênio Kjeldahl	
Pesticidas Organoclorados	
Pesticidas Organofosforados	
pH	
Salinidade	
Surfactantes Aniônicos como SAAM	
Turbidez	
Acidez	
Alcalinidade	
Bicarbonatos, Carbonatos e Hidróxidos	
Sólidos Dissolvidos Totais	
Sólidos Suspensos Totais	
Sólidos Totais	
Sulfeto	
Nitrogênio Total	
Fósforo Reativo Dissolvido (Lido como Ortofosfato)	
Fósforo Reativo Total (Lido como Ortofosfato)	
Fósforo Orgânico Total	
Fósforo Total	
Hidrocarbonetos Aromáticos	
Polícíclicos (HAP)	
Dureza Cálcica	
Cromo Hexavalente	
Nitrito	
Sulfato	

Essa redução no volume das amostras resultou em uma diminuição significativa da quantidade de frascos de vidro utilizados, passando de uma média inicial de 0,50 kg/amostra para 0,27 kg/amostra,

o que representa quase 50% de redução. Com a implementação da miniaturização para a área de Cromatografia Gasosa (CG), a sede atingiu um uma média de 0,20 kg/amostra. Uma redução adicional de 30% em relação ao valor histórico.

Os métodos colorimétricos também foram adaptados a volumes menores, o que reduziu o consumo de amostras e reagentes e encurtou os tempos de análise em comparação com os métodos convencionais. A melhoria mais significativa foi alcançada na área de CG, onde o volume de amostra necessário para a determinação de Compostos Orgânicos Semivoláteis (SVOCs) foi reduzido de 1000 mL para 100 mL, mantendo a sensibilidade e diminuindo dez vezes o uso de diclorometano, um solvente tóxico e de difícil tratamento.

Essa redução no consumo de solventes e reagentes minimiza não apenas a geração de resíduos perigosos, mas também o impacto ambiental geral, contribuindo para um gerenciamento mais responsável dos recursos. No caso dos ensaios orgânicos, onde o uso de solventes é indispensável, a redução em seu consumo diminui a toxicidade e os desafios em sua eliminação, melhorando a sustentabilidade dos processos. A validação desses métodos miniaturizados e a otimização do uso de tecnologias para alcançar concentrações mais baixas destacam o compromisso com uma gestão ambiental mais eficiente e responsável, sem comprometer a qualidade analítica

República Dominicana

O ensaio para Surfactantes Aniônicos como MBAs passou por uma adaptação para redução de resíduos. O método interno foi validado, sendo adaptado a partir do procedimento SM 5540 C. O

método requer uma extração de amostra preliminar para análise. **A redução do volume foi de 100 mL para 50 mL de extrato final.**

Com a implementação, o volume de amostra necessário para a análise foi de 1 L para 500 mL. Essa implementação permite diminuir todos os consumíveis e resíduos tóxicos do processo de extração.

O método é acreditado pela ECA (Ente Costarricense de Acreditación) com Limite de Detecção de 0,0050 mg/L e Limite de Quantificação de 0,050 mg/L

Referências e Imagens

- <https://pt.vecteezy.com/arte-vetorial/25841725-mao-desehado-chile-mapa-ilustracao>
- <https://pt.vecteezy.com/arte-vetorial/3087856-esboco-simples-mapa-da-republica-dominicana>
- International Organization for Standardization (ISO)
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)
- CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo)
- <https://www.alsglobal.com/-/media/ALSGlobal/Resources-Grid/2024-ALS-Sustainability-Report.pdf>
- <https://www.sydle.com/br/blog/ciclo-pdca-6019c634725a6426834decea>
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 24 Ed.
- <https://www.epa.gov/>
- International Organization for Standardization (ISO). (2015). ISO 14001: Environmental management systems — Requirements with guidance for use. Ginebra, Suíça: ISO.
- International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). (1998). Guidelines for the Assessment of Environmental Analytical Methods. Pure and Applied Chemistry, 70(4), 993-1014.
- European Commission. (2009). Directive 2008/98/EC on Waste (Waste Framework Directive). Official Journal of the European Union, L 312, 3–30.
- Rudnick, L. R., & Techapiesancharoenkij, R. (2014). Green Analytical Chemistry: Theory and Practice. CRC Press.



14. Keith, L. H., & Gron, L. U. (2007). Principles of Green Analytical Chemistry and the Use of These Principles in Analytical Method Development. *Chemical Reviews*, 107(8), 2695-2708.
15. Przyjazny, A., Kokosa, J. M., & Namieśnik, J. (2000). Miniaturized Analytical Systems for Environmental Sample Preparation and Analysis: A Review. *Environmental Science & Technology*, 34(7), 1413-1420.
16. Harrington, P. B., & Krieger, M. S. (2005). Impact of Sample Size Reduction on the Performance of Environmental Methods and Monitoring Programs. *Environmental Monitoring and Assessment*, 105(1-3), 1-18.
17. Tobiszewski, M., Namieśnik, J., & Pena-Pereira, F. (2017). Environmental Risk-Based Ranking of Analytical Solvents. *Green Chemistry*, 19(5), 1034-1042.
18. Royal Society of Chemistry (RSC). (2013). *Environmental Analytical Chemistry*. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry Publishing.

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

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 2024 ALS Limited. All rights reserved.

alsglobal.com