

**CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENFERMAGEM**

**CAROLINE DA SILVA BARBOSA
ELIVÂNEA MAYZA BARBOSA DA SILVA
INGRID LIDIANY DA SILVA
RAFAEL LUCAS BARROS ABREU SILVA
WELLINGTON SOARES DA SILVA**

**Métodos para a quantificação de oligoelementos em urina por
Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite (GFAAS)**

RECIFE/2025

**CAROLINE DA SILVA BARBOSA
ELIVÂNEA MAYZA BARBOSA DA SILVA
INGRID LIDIANY DA SILVA
RAFAEL LUCAS BARROS ABREU SILVA
WELLINGTON SOARES DA SILVA**

**Métodos para a quantificação de oligoelementos em urina por
Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite (GFAAS)**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Disciplina TCC II do
Curso de Bacharelado em Enfermagem
do Centro Universitário Brasileiro -
UNIBRA, como parte dos requisitos
para conclusão do curso.

Orientador(a): Me. Hugo Christian de
Oliveira Felix
Coorientador: Dr. Elvis Joacir De França

RECIFE
2025

Ficha catalográfica elaborada pela
bibliotecária: Laís Cardoso, CRB-4/PE-1753/P.

B238m Barbosa, Caroline da Silva.

Métodos para a quantificação de oligoelementos em urina por Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite (GFAAS) / Caroline da Silva Barbosa, Elivânea Mayza Barbosa da Silva, Ingrid Lidiany da Silva, Rafael Lucas Barros Abreu Silva, Wellington Soares da Silva. - Recife: Edição do autor, 2025.
35 p. : il. color.

Orientador(a): Me. Hugo Christian de Oliveira Felix.
Coorientador(a): Dr. Elvis Joacir de França.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro
Universitário Brasileiro – Unibra. Bacharelado em Enfermagem,
2025.

Inclui Bibliografia.

1. Biomonitorização. 2. Análises químicas. 3. Elementos
químicos. 4. Biossegurança. I. Silva, Elivânea Mayza Barbosa da. II.
Silva, Ingrid Lidiany da. III. Silva, Rafael Lucas Barros Abreu. IV.
Silva, Wellington Soares da. V. Centro Universitário Brasileiro -
Unibra. VI. Título.

CDU: 616-083

**CAROLINE DA SILVA BARBOSA
ELIVÂNEA MAYZA BARBOSA DA SILVA
INGRID LIDIANY DA SILVA
RAFAEL LUCAS BARROS ABREU SILVA
WELLINGTON SOARES DA SILVA**

**Métodos para a quantificação de oligoelementos em urina por
Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite (GFAAS)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Disciplina TCC II do Curso de Enfermagem do Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA, como parte dos requisitos para conclusão do curso.

Examinadores:

Orientador – Me. Hugo Christian de Oliveira Felix

Wanuska Munique Portugal – Mestre em ciências nucleares e energéticas

Jéssica - Titulação

Nota: _____

Data: ____/____/____

AGRADECIMENTOS

Palavras não são capazes de descrever a emoção vivenciada ao longo dos cinco anos compartilhados com este grupo de trabalho de conclusão do curso (TCC), formado desde o primeiro período da faculdade, durante a maior crise sanitária provocada pela Covid-19, em uma aula prática de laboratório. Todos estávamos repletos de expectativas, sonhos, ansiedades, medos e inseguranças quanto aos desafios que surgiriam ao longo da graduação. A essa equipe, expressamos nosso mais sincero agradecimento por dividir esses cinco anos e torná-los mais leves, intensos e por transmitir segurança mútua, motivando-nos sempre a seguir em frente, apesar das adversidades enfrentadas. Agradecemos ao nosso orientador Me. Hugo Felix, pela brilhante orientação e pelos valiosos conselhos relativos à vida profissional. Manifestamos também gratidão à nossa Coordenadora de Curso, Dra. Wanuska Portugal, por nos apoiar em todas as situações. Estendemos nossos agradecimentos ao Prof. Dr. Elvis França, por toda contribuição na elaboração desta pesquisa. Além disso, nossa gratidão se dirige às nossas famílias (Mãe, Pai, Irmãos, Namorados e Avós), aos amigos queridos e todas as pessoas que foram luz e apoio em nossas vidas. Desejamos a todos uma jornada repleta de sucesso, paz, luz e que cada um alcance seus objetivos e realize todos os seus sonhos. Esse estudo foi vinculado ao projeto de mestrado do Prof. Douglas Henrique da Silva Ferreira, desse modo, agradecemos por toda parceria e colaboração. Agradecemos a Edson Wanderley da Silva pela revisão do texto e por auxílio nas fotografias, a Raphael Moura, Luciana Silva, Lindomar Souza e Amanda Jordão pós-doutorandos do CRCN/NE por toda orientação fornecida.

Agradecemos também ao CNPq, FACEPE, FINEP, CNEN e CRCN-NE.

EPÍGRAFE

“A Enfermagem é uma arte; e para realizá-la como arte, requer uma devoção tão exclusiva, um preparo tão rigoroso, quanto a obra de qualquer pintor ou escultor; pois o que é tratar da tela morta ou do frio mármore comparado ao tratar do corpo vivo, o templo do espírito de Deus? É uma das artes; poder-se-ia dizer, a mais bela das artes!”

Florence Nightingale, Riverside Press, 1871.

RESUMO

No Brasil, observa-se um déficit de estudos relacionados à quantificação de elementos químicos por meio das excretas humana nas rotinas hospitalares. O estudo tem como objetivo, desenvolver uma metodologia inovadora para quantificar os oligoelementos em urina de pacientes críticos utilizando o método de Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite (GFAAS), a partir da deposição direta de amostras de urina em ácido nítrico destilado em diferentes quantidades de volumes (2 mL, 5 mL e 10 mL). Este estudo constitui uma pesquisa experimental, aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) Parecer nº 5.499.611. Após a coleta, foi iniciado, o pré-tratamento químico em capela de fluxo laminar, durante 24 horas. Posteriormente, realizou-se o tratamento químico com banho de ultrassom, em 3 ciclos de 1 hora cada. Com as soluções de amostras de urina à temperatura ambiente, adicionaram-se 20 mL de água ultrapura para completar o volume e para análises químicas o método GFAAS foi empregado. Da análise dos dados obtidos, As apresentou CMD para o volume de 10 mL dentro do esperado para o valor de referência, enquanto o volume de 2 mL e 5 mL para Cd, Co, Pb e V estão acima dos valores de referência. Conclui-se que o método foi implementado para As, utilizando 10 mL. Contudo, Cd, Co, Pb e V apresentaram limitações, sendo necessário o desenvolvimento de novos estudos, acerca do tratamento de urina, utilizando 10 mL de volume de amostra com a urina de 24 horas.

Palavras-Chaves: Biomonitorização, Análises químicas, Elementos químicos, Biossegurança.

Methods for the quantification of trace elements in urine by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry (GFAAS)

ABSTRACT

In Brazil, there is a deficit of studies related to the quantification of chemical elements through human excreta in hospital routines. The aim of this study is to develop an innovative methodology for quantifying trace elements in the urine of critically ill patients using the Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry (GFAAS) method, based on the direct deposition of urine samples in distilled nitric acid in different volumes (2 mL, 5 mL and 10 mL). This study is an experimental study and was approved by the Research Ethics Committee (CEP) under report no. 5.499.611. After collection, chemical pre-treatment was started in a laminar flow hood for 24 hours. Subsequently, the chemical treatment was carried out in an ultrasound bath, in 3 cycles of 1 hour each. With the urine sample solutions at room temperature, 20 mL of ultrapure water was added to complete the volume and the GFAAS method was used for chemical analysis. From the analysis of the data obtained, As showed a CMD for the 10 mL volume within the expected reference value, while the 2 mL and 5 mL volumes for Cd, Co, Pb and V are above the reference values. It can be concluded that the method was implemented for As using 10 mL. However, Cd, Co, Pb and V showed limitations, making it necessary to develop new studies on the treatment of urine using 10 mL of sample volume with 24-hour urine.

Keywords: Biomonitoring, Chemical analysis, Chemical elements, Biosafety.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Paramentação e preparo dos tubos de centrífuga para coleta.....	13
FIGURA 2 – Etapas do estudo.....	14
FIGURA 3 – Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite (GFAAS).....	14
FIGURA 4 – Curvas Analíticas para determinação de As, Cd, Co, Pb e V.....	15
FIGURA 5 – Repetitividade/Exatidão.....	16
FIGURA 6 – Análise de Variância (ANOVA) entre as médias da CMD de As para os volumes de 2 mL, 5 mL e 10 mL.....	18
FIGURA 7 – Histograma de resíduos da ANOVA para os valores de CMD de As em função do método de urina testado.....	18
FIGURA 8 – Concentração de As nos diferentes volumes testados 2 mL, 5 mL e 10 mL de soluções de amostras de urina em $\mu\text{g mL}^{-1}$	19
FIGURA 9 – Análise de variância (ANOVA) entre as médias da CMD de Cd para os volumes de 2 mL, 5 mL e 10 mL.....	21
FIGURA 10 – Histograma de resíduos da ANOVA para os valores de CMD de Cd em função do método de urina testado.....	21
FIGURA 11 – Concentração de Cd nos diferentes volumes testados 2 mL, 5 mL e 10 mL de soluções de amostras de urina em $\mu\text{g mL}^{-1}$	22
FIGURA 12 - Análise de variância (ANOVA) entre as médias da CMD de Co para os volumes de 2 mL, 5 mL e 10 mL.....	23
FIGURA 13 - Histograma de resíduos da ANOVA para os valores de CMD de Co em função do método de urina testado.....	24
FIGURA 14 – Concentração de Co nos diferentes volumes testados 2 mL, 5 mL e 10 mL de soluções de amostras de urina em $\mu\text{g mL}^{-1}$	25
FIGURA 15 - Análise de variância (ANOVA) entre as médias da CMD de Pb para os volumes de 2 mL, 5 mL e 10 mL.....	26
FIGURA 16 - Histograma de resíduos da ANOVA para os valores de CMD de Pb em função do método de urina testado.....	27
FIGURA 17 – Concentração Pb nos diferentes volumes testados 2 mL, 5 mL e 10 mL de soluções de amostras de urina em $\mu\text{g mL}^{-1}$	28
FIGURA 18 - Análise de variância (ANOVA) entre as médias da CMD de V para os volumes de 2 mL, 5 mL e 10 mL.....	30
FIGURA 19 - Histograma de resíduos da ANOVA para os valores de CMD de V em função do método de urina testado.....	30

FIGURA 20 – Concentração V nos diferentes volumes testados 2 mL, 5 mL e 10 mL de soluções de amostras de urina em $\mu\text{g mL}^{-1}$ 31

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Concentração mínima determinável de As em ($\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$).....	17
TABELA 2 - Concentração mínima determinável de Cd em ($\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$).....	20
TABELA 3 - Concentração mínima determinável de Co em ($\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$).....	23
TABELA 4 - Concentração mínima determinável de Pb em ($\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$).....	26
TABELA 5 - Concentração mínima determinável de V em ($\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$).....	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA – Análise de Variância

As – Arsênio

Cd - Cádmio

CEP – Comitê de Ética em Pesquisa

CMD – Concentração mínima determinável

Co – Cobalto

CRCN/NE – Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste

DPOC – Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica

EPI – Equipamento de proteção individual

Fe – Ferro

GFAAS – Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite

HNO₃ – Ácido Nítrico

K – Potássio

LECC – Laboratório emergencial de combate à Covid-19

Mg – Magnésio

Mo – Molibdênio

Na – Sódio

Pb - Chumbo

SNC – Sistema Nervoso Central

SNP – Sistema Nervoso Periférico

TCLE – Termo de consentimento livre e esclarecido

UTI – Unidade de Terapia Intensiva

V – Vanádio

Zn – Zinco

SUMÁRIO

1. Introdução.....	11
2 Materiais e métodos.....	12
2.1 <i>Origem da Amostra.....</i>	<i>12</i>
2.2 <i>Tratamento químico.....</i>	<i>13</i>
2.3 <i>Análises químicas.....</i>	<i>14</i>
2.6 <i>Tratamento dos dados.....</i>	<i>17</i>
3 Resultados e discussão.....	17
3.1 <i>Arsênio (As).....</i>	<i>17</i>
3.2 <i>Cádmio (Cd).....</i>	<i>20</i>
3.3 <i>Cobalto (Co).....</i>	<i>22</i>
3.4 <i>Chumbo (Pb).....</i>	<i>25</i>
3.5 <i>Vanádio (V).....</i>	<i>29</i>
4 Conclusões.....	31
Referências.....	32

1. Introdução

Oligoelementos desempenham funções cruciais para a saúde dos seres humanos, como cálcio, ferro (Fe), molibdênio (Mo), zinco (Zn), sódio (Na), potássio (K), magnésio (Mg)¹. Por outro lado, alguns metais tóxicos, como mercúrio, chumbo, cádmio e arsênio, possuem efeitos tóxicos mesmo em pequenas concentrações, podendo causar danos aos órgãos como a carcinogênese². Os principais meios de exposições a esses elementos químicos ocorrem por meio da ingestão de águas e alimentos vegetais e animais, inalação e absorção cutânea³.

Devido à grande relevância mundial, a biomonitorização humana pode ser realizada por meio de matrizes biológicas, como sangue, urina e fezes, bem como por amostras de tecidos queratinizados, incluindo unhas, cabelos e leite materno para estudar o caminhar de elementos químicos essenciais e tóxicos em humanos⁴. No Brasil, até o momento, observa-se um déficit de estudos relacionados à quantificação de elementos químicos por meio das excretas humanas nas rotinas hospitalares, o que pode ser atribuído à ausência de protocolos clínicos que garantam a biossegurança dos profissionais durante a manipulação de amostras biológicas em laboratórios químicos.

Um dos trabalhos pioneiros é o de Portugal⁵, que utilizou sangue total para quantificar oligoelementos de pacientes internados em Unidade de Terapia Intensiva (UTI) no Brasil, empregando ácido nítrico (HNO₃) destilado, para inativar as possibilidades de transmissão de microrganismos. Este estudo evidenciou alterações nas concentrações dos oligoelementos observados, este fato levantou questionamentos sobre os possíveis efeitos da internação nos níveis de elementos químicos dos pacientes, bem como sobre sua distribuição e os meios de excreção no corpo humano⁵. Para isto, é necessário a biomonitorização dos oligoelementos no período de internação dos pacientes.

Arsênio (As), apresenta alta toxicidade, potencial carcinogênico e está associado a disfunções metabólicas⁶. Além disso, não possui até o momento, função biológica claramente estabelecida. Sendo a exposição prolongada na forma inorgânica pode resultar em danos celulares, comprometendo os tecidos tegumentar, pulmonar e nervoso. Dessa forma, a biomonitorização desse oligoelemento torna-se essencial para a prevenção de riscos à saúde⁷. Em contrapartida, Cádmio (Cd) apresenta efeitos tóxicos e potencialmente carcinogênicos, sendo encontrado em concentrações mais elevadas em indivíduos fumantes. Esse metal afeta principalmente o sistema urinário e a exposição recorrente pode ocasionar problemas respiratórios. Os sinais e sintomas decorrentes de concentrações elevadas podem manifestar-se de forma aguda, como náuseas, vômito, diarreia, ou de forma crônica, contribuindo para o desenvolvimento de doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), enfisema pulmonar e disfunção renal^{8,9}.

Cobalto (Co), por sua vez, é um oligoelemento essencial que integra a vitamina B e é importante para a formação de coenzimas envolvidas na mitose celular¹⁰. A cobalamina, conhecida como vitamina B12, é um micronutriente relevante e hidrossolúvel que exerce função crucial na replicação do DNA durante a divisão celular, sendo indispensável para a maturação dos glóbulos vermelhos e para o funcionamento de diversas vias metabólicas. Além disso, essa vitamina é essencial para a saúde do sistema nervoso central (SNC) e periférico (SNP), contribuindo para a formação da bainha de mielina¹¹. Em contraste, temos Chumbo (Pb) que é altamente tóxico, com impacto significativo no sistema nervoso central, é um dos contaminantes ambientais mais prevalentes. Não há evidências de que Pb desempenhe qualquer função fisiológica no organismo. Seus efeitos adversos podem comprometer praticamente todos os órgãos e tecidos do corpo, mas a exposição ocorre predominantemente por ingestão, resultando em absorção, distribuição e posterior eliminação desse metal^{12,13}.

Recentemente, Vanádio (V) foi reconhecido como um oligoelemento com atividades benéficas para o organismo humano, com propriedades anticancerígenas, antibacterianas e antivirais. Contudo, em grandes concentrações, torna-se tóxico¹⁴. Também participa na regulação de algumas enzimas e de processos metabólicos, incluindo a formação óssea, modulação da ação da insulina e manutenção da homeostase celular e fornece proteção contra o estresse oxidativo¹⁵.

Na excreção de substâncias químicas pelo organismo, o sistema urinário formado pelos rins, ureteres, bexiga e uretra, desempenha a função de filtrar o sangue, além de ser responsável pela produção e armazenamento da urina. Durante o processo de filtração do sangue, as substâncias sem utilidade são eliminadas por meio da urina, enquanto outras substâncias necessárias são reabsorvidas, garantindo a homeostasia do corpo. No entanto, algumas substâncias podem não ser filtradas adequadamente pelos rins, causando a bioacumulação no organismo¹⁶.

De acordo com o estudo de Deugaszek et al.¹⁷, foi identificado um aumento nas concentrações de elementos químicos em pacientes com idade superior a 45 anos, a partir da análise de amostras de urinas coletadas durante um período de 24 horas, abrangendo homens e mulheres. Ressalta-se que tal fenômeno pode estar associado ao consumo de cigarros e à maior suscetibilidade a exposições ambientais¹⁷. Portanto, é fundamental o desenvolvimento de pesquisas científicas voltadas a elaboração de metodologias específicas para o tratamento de soluções de amostras de urina, com o intuito de biomonitorizar pacientes internados na UTI, assegurando a biossegurança das análises químicas.

Assim, objetiva-se desenvolver uma metodologia inovadora para quantificar os oligoelementos em urina de pacientes internados na UTI desenvolvida num hospital de grande porte na região Metropolitana do Recife, a partir da deposição direta de amostras de urina em HNO₃ destilado. Visando determinar a influência da variação de volume (2 mL, 5 mL e 10 mL) na precisão da quantificação de As, Cd, Co, Pb e V na urina por GFAAS, além de avaliar, identificar e comparar os resultados obtidos e a incerteza analítica.

2. Material e Métodos

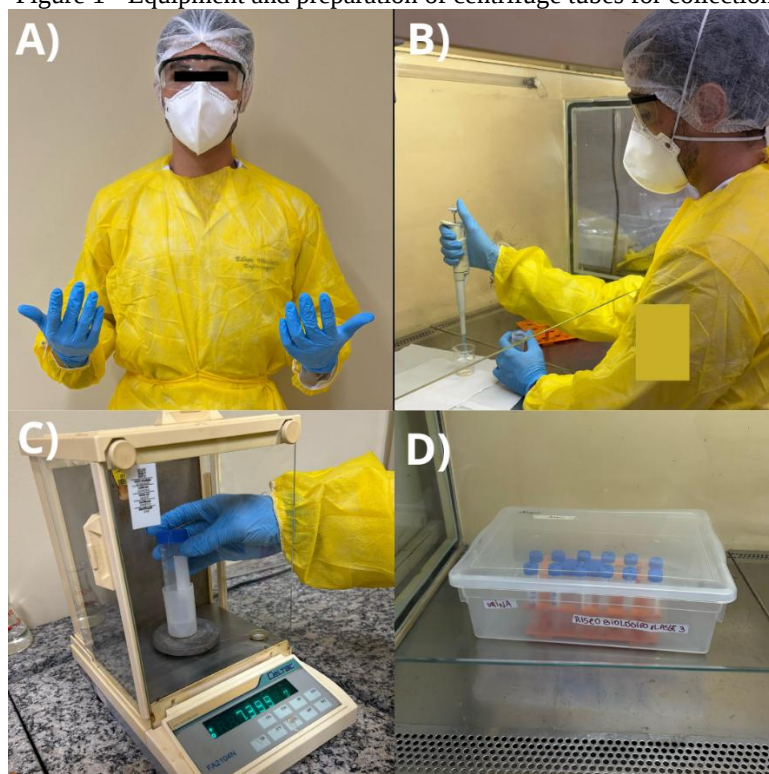
Este estudo constitui uma pesquisa experimental, para a implementação de um método para biomonitorizar pacientes na UTI a partir da urina. A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) (CAAE 36808720.0.0000.5200 e Parecer nº 5.499.611), em conformidade com as normas éticas estabelecidas pela Resolução nº 466/12. Todas as informações relacionadas à identificação dos participantes foram tratadas de forma sigilosa.

2.1 Origem da amostra

Antes da coleta do material biológico, foi realizada a paramentação completa dos profissionais, utilizando os Equipamentos de Proteção Individual – EPI's. Antes de realizar a coleta, os tubos de centrifuga foram previamente preparados, pesados e identificados, e adicionou-se volumes de 2 mL¹⁸, 5 mL¹⁸ e 10 mL¹⁹ de HNO₃ destilado, seguido por uma nova pesagem dos tubos, em seguida esses tubos foram armazenados (Figura 1). A manipulação das amostras foi classificada como Risco Biológico Classe 3. Esse estudo constitui uma expansão do protocolo de amostragem de sangue total de Portugal (2022)⁵.

A urina foi cedida por um paciente, tendo sido realizada a antisepsia prévia. Procedeu-se à coleta da primeira urina do dia em tubos estéreis para urinálise, sendo posteriormente transferida para tubos de centrifugas contendo HNO₃, com o descarte do primeiro jato. A coleta resultou em um volume total de 100 mL, sendo distribuídos alíquotas de 10 mL para o método de 2 mL, 25 mL para o método de 5 mL e 50 mL para o método de 10 mL. No total, foram coletadas 15 amostras de urina, distribuídas da seguinte forma: cinco amostras para o tratamento de 2 mL, cinco amostras para o tratamento com 5 mL e cinco amostras para o tratamento com 10 mL. Além disso, houve o preparo de cinco brancos analíticos para cada volume testado, afim de garantir uma maior confiabilidade ao estudo. O trabalho foi desenvolvido no contexto do projeto: “Implementação de metodologias integradas para a determinação de elementos químicos neurotóxicos associados a distúrbios neurocomportamentais”.

Figura 1 - Paramentação e preparo dos tubos de centrífuga para coleta.
 Figure 1 - Equipment and preparation of centrifuge tubes for collection



A) Paramentação dos pesquisadores; B) Preparo e identificação dos tubos; C) Pesagem dos tubos; D) Armazenamento dos tubos de centrífuga até a fase da coleta.

Fonte: Adaptado de Wanderley (2025).

Source: Adapted from Wanderley (2025).

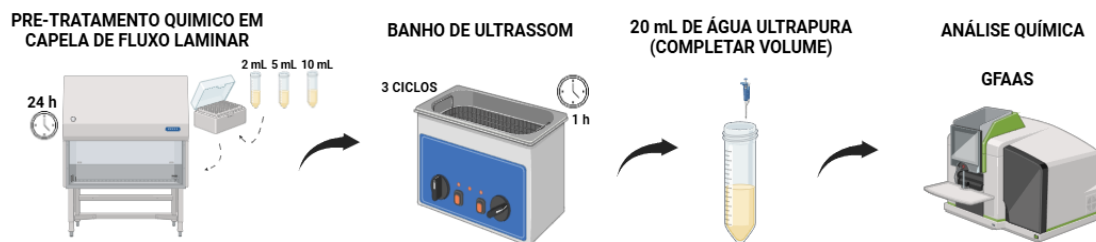
2.4 Tratamento químico

Foi realizada uma revisão de literatura sobre os trabalhos de determinação de elementos químicos em urina, dentre eles, foram selecionados os seguintes protocolos para testar o melhor volume de urina e ácido para o tratamento das soluções de amostras de urina:

- 1) 2 mL: Li et al.,¹⁸
- 2) 5 mL: Li et al.,¹⁸
- 3) 10 mL: Benkhedda et al.,¹⁹

Após a coleta, foi iniciado, no Laboratório Emergencial de Combate à Covid-19 (LECC/CRCN-NE), o pré-tratamento químico em capela de fluxo laminar, com duração de 24 horas. Em seguida, realizou-se o tratamento químico utilizando banho de ultrassom no equipamento Elma Elmasonic P 180H, aquecido em 80 °C e operando a uma frequência de 37 Hz, em 3 ciclos de 1 hora cada, com intervalos de 15 minutos entre os ciclos. Após o equilíbrio das soluções de amostras de urina à temperatura ambiente, adicionaram-se 20 mL de água ultrapura (Milli-Q) para completar o volume. Logo após, as amostras foram novamente pesadas, afim de verificar suas massas e, posteriormente, as soluções de amostras de urina foram armazenadas em temperatura 8°C até a análise química por meio da Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite (GFAAS). A Figura 2, descreve as etapas do estudo, como o pré-tratamento químico, tratamento químico no banho de ultrassom, a adição de 20 mL de água ultrapura e a análise química no GFAAS.

Figura 2 - Etapas do estudo
Figure 2 - Study stages



Fonte: adaptado de Biorender.com (2025).
Source: adapted from Biorender.com (2025).

2.5 Análises químicas

Para análise química de As, Cd, Co, Pb e V, utilizou-se o método de Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite (GFAAS) em triplicata. GFAAS é uma técnica analítica empregada para determinar os teores de elementos químicos em amostras por meio do aquecimento gradual das amostras para liberar os átomos do elemento de interesse (atomização)²⁰, figura 3. As incertezas analíticas foram calculadas e expandidas em nível de confiança de 95% de acordo com Eurachem/CITAC Guide CG²¹.

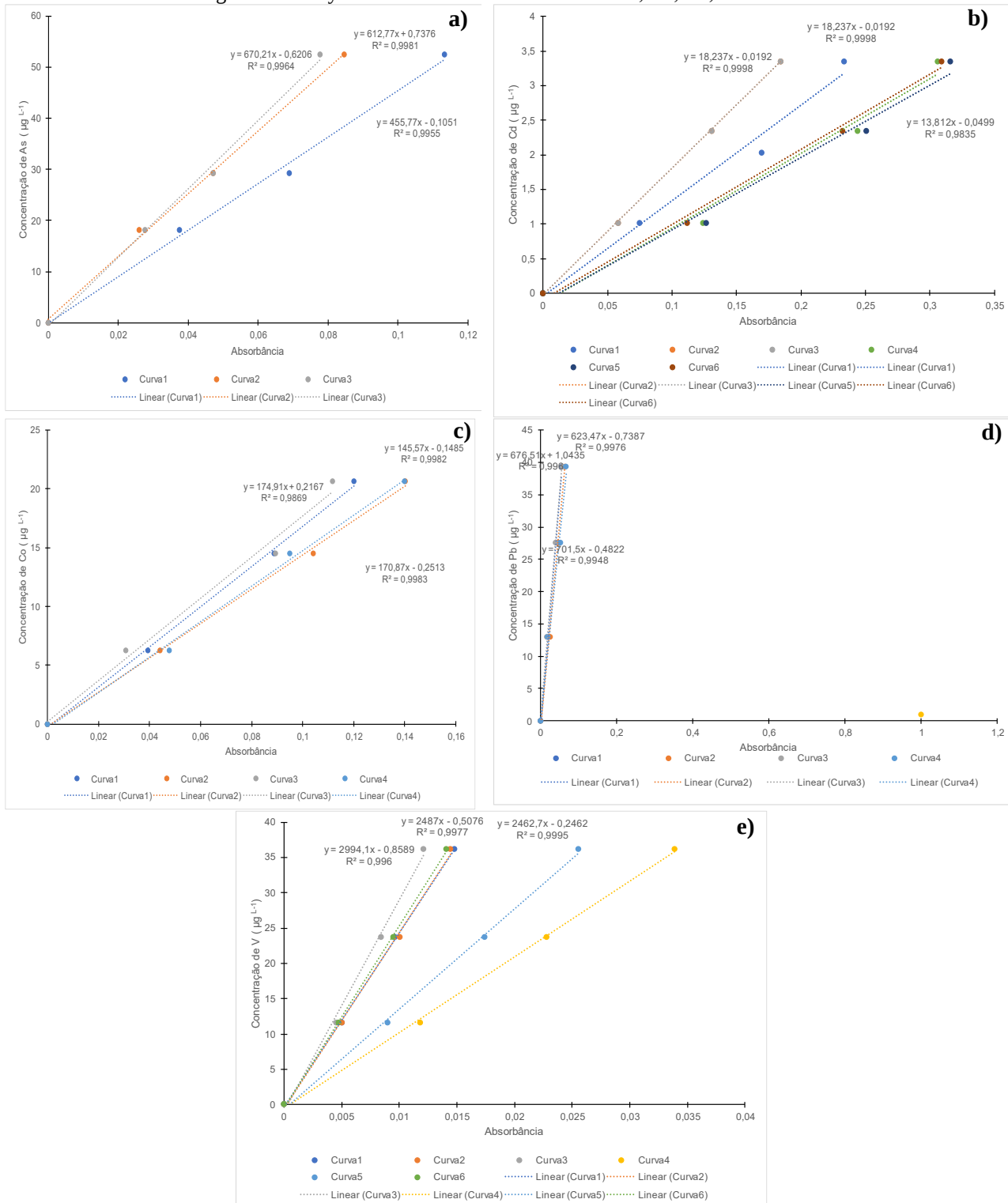
Figura 3 - Espectrometria de Absorção Atômica com Forno de Grafite (GFAAS)
Figure 3 - Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry (GFAAS)



Fonte: adaptado de Wanderley (2025).
Source: adapted from Wanderley (2025).

As curvas analíticas apresentadas na Figura 4 foram construídas a partir de soluções padrão contendo concentrações previamente estabelecidas de um determinado analito. Foram amostrados coeficientes R^2 para As de 0,9955 a 0,9964, para Cd 0,9835 a 0,9998, para Co 0,9869 a 0,9983, Pb 0,996 a 0,9976 e para V 0,996 a 0,9995. Essas curvas desempenharam um papel fundamental na determinação da concentração de um elemento químico nas amostras, garantindo a confiabilidade nos resultados obtidos, devido à instabilidade das amostras durante a análise.

Figura 4 – Curvas analíticas para determinação de As, Cd, Co, Pb e V.
Figure 4 - Analytical curves for determination of As, Cd, Co, Pb and V.



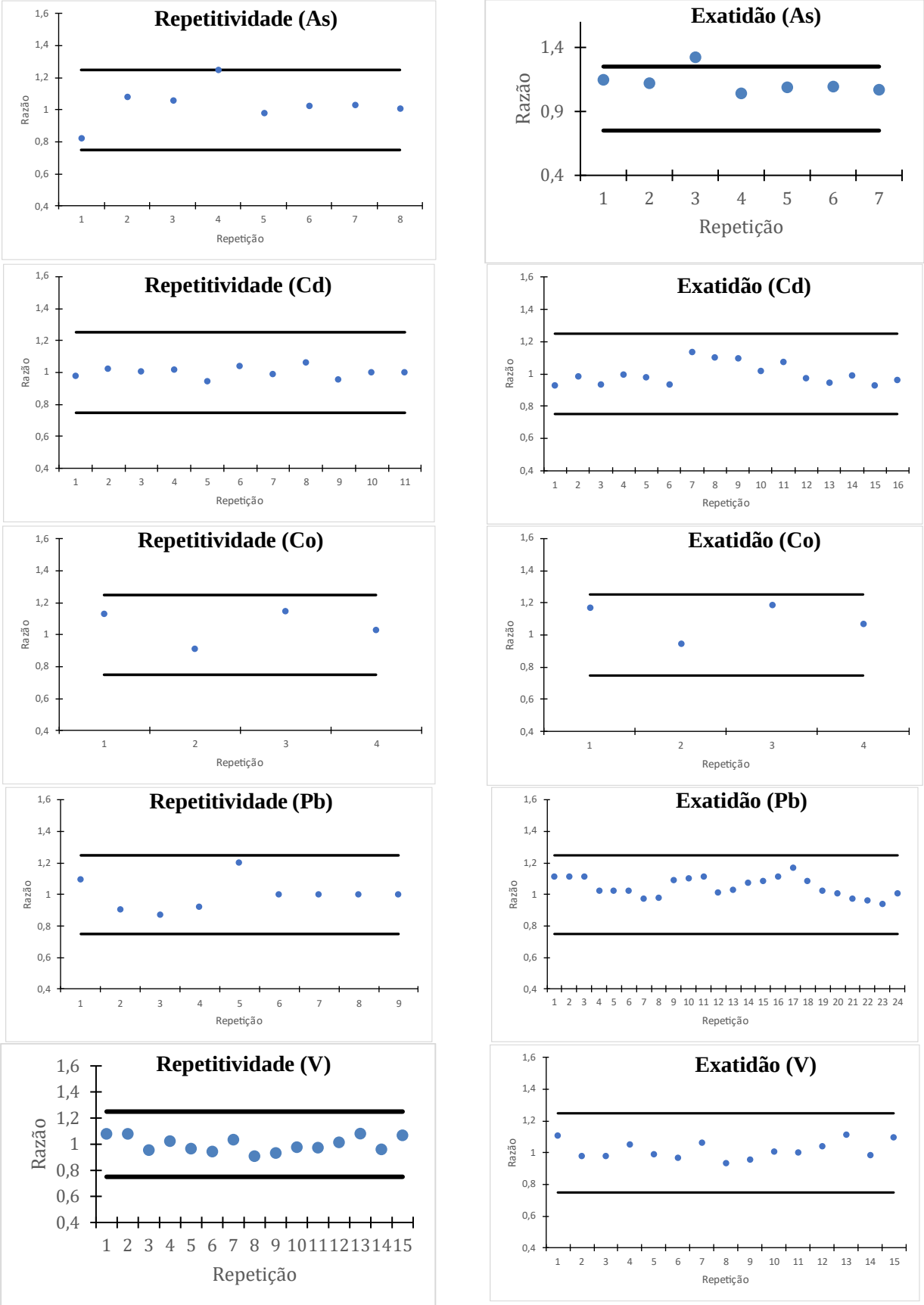
a) Curva Analítica para As; b) Curva Analítica para Cd; b) Curva Analítica para Co; d) Curva Analítica para Pb; e) Curva Analítica para V.

Fonte: Os autores (2025).

Source: The authors (2025).

Para comprovar a qualidade dos procedimentos analíticos, foram calculados a precisão e a exatidão dos dados obtidos a partir das curvas analíticas. A Repetitividade e a exatidão apresentaram variação entre 0,75 e 1,25, correspondendo a uma diferença de $\pm 25\%$ do valor, (Figura 5).

Figura 5 – Valores de repetitividade e exatidão para As, Cd, Co, Pb e V
Figure 5 - Repeatability and accuracy values for As, Cd, Co, Pb and V



Linhas se referem ao limite de 25%
Fonte: Os autores (2025).
Source: The authors (2025).

2.6 Tratamento dos dados

Optou-se por analisar a Concentração Mínima Determinável (CMD), tendo em vista que nem todas as amostras apresentaram resultados analíticos nessa matriz. A CMD trata-se de um parâmetro utilizado para estimar a menor concentração passível de determinação de um analito. A Equação 1 foi empregada para a estimativa da CMD.

$$CMDa = \frac{C * VI}{VM} \quad (1)$$

em que,

C = Concentração do analito no branco analítico;

A = Analito

VI = Volume Inicial

VM = Volume da massa

Para a análise estatística, recorreu-se à análise de variância (ANOVA), seguido do teste de comparação múltipla e ao teste de Shapiro-Wilk para verificar os requisitos da ANOVA se existe diferenças estatísticas entre as médias das CMD dos volumes amostrados.

3 Resultados e Discussão

3.1 Arsênio (As)

Presente em concentrações elevadas, apresenta toxicidade para à saúde humana⁶, por essa razão, torna-se necessário a realização da quantificação desse metal, afim de compreender o seu comportamento no organismo humano. Na Tabela 1, a média da CMD para o volume de 2 mL foi 0,0070 µg/mL⁻¹, enquanto, para o volume de 5 mL, o valor foi 0,0069 µg/mL⁻¹. Já o tratamento com 10 mL resultou em uma CMD de 0,0032 µg/mL⁻¹. Mesmo não tendo resultados analíticos nessa etapa, as CMD foram comparáveis com o estudo de Iyengar²², no qual os valores de referência de urina de 24 horas foram convertidos para valores de urina média do dia, cuja faixa de concentração foi 0,0067 a 0,02 µg/mL⁻¹. As CMD de 2 mL e 5 mL foram superiores ao limite máximo da urina do homem de referência²². No entanto, o tratamento de 10 mL permaneceu dentro da faixa esperada, o que evidenciou a aplicabilidade do método para a análise de soluções de amostras de urina para As.

Tabela 1 - Concentração mínima determinável de As em (µg mL⁻¹)

Table 1 - Minimum determinable concentration of As in (µg mL⁻¹)

Volume	Concentração mínima determinável – As (µg mL ⁻¹)			
	Média	Desvio-padrão	IC 95%	
2 mL	0,0070	0,00019	0,0066	0,0074
5 mL	0,0069	0,00019	0,0065	0,0073
10 mL	0,0032	0,00019	0,0028	0,0036
Valor de referência²²	0,0067 – 0,02 µg mL ⁻¹			

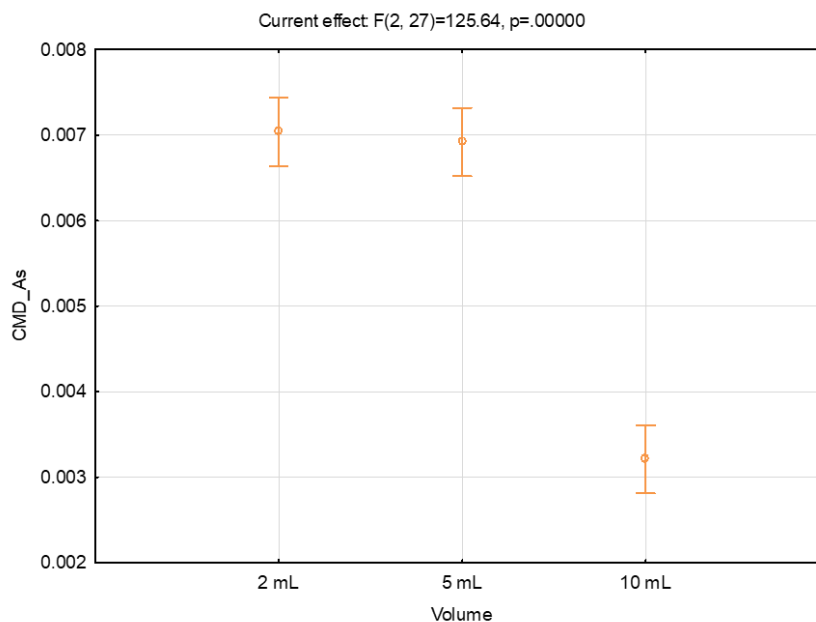
Fonte: Adaptado de Ferreira (2025)

Source: Adapted from Ferreira (2025)

Para selecionar o volume da amostra mais apropriado, diferenças estatísticas entre as médias das CMD para os volumes testados de 2 mL, 5 mL e 10 mL foram encontradas a partir da análise de variância (ANOVA), conforme evidenciado pelo valor de p = 0,0000. Os volumes de 2 mL e 5 mL não apresentaram diferenças estatisticamente significativas. No entanto, o método de 10 mL apresentou CMD abaixo do valor de referência esperado por Iyengar²², o que se é esperado, devido ao aumento do volume de amostra (Figura 6).

Figura 6 – Análise de variância (ANOVA) entre as médias da CMD de As para os volumes de 2 mL, 5 mL e 10 mL.

Figure 6 - Analysis of variance (ANOVA) between the means of the CMD of As for volumes of 2 mL, 5 mL and 10 mL.

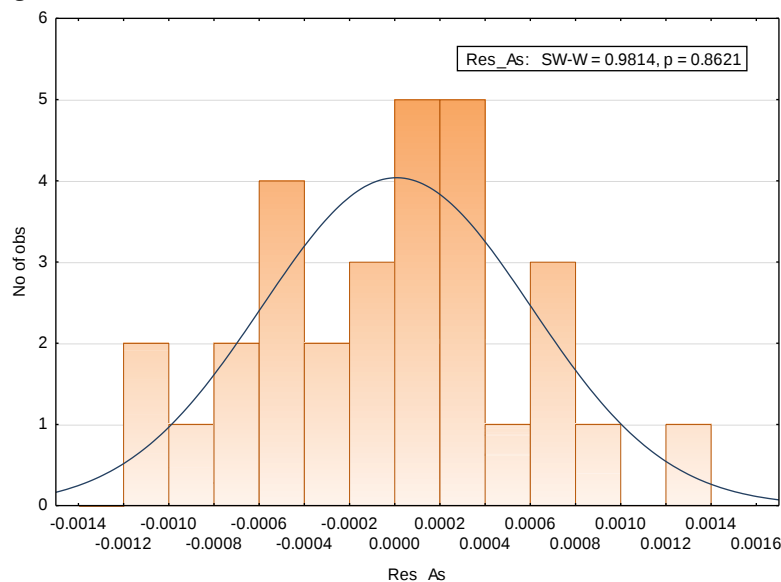


Fonte: Adaptado de Ferreira (2025)
Source: Adapted from Ferreira (2025)

O histograma exibido na Figura 7 demonstrou a normalidade da distribuição dos resíduos para os dados da ANOVA, dado o valor de $p = 0,8621$, o qual indicou a ausência de evidências estatísticas para a rejeição da hipótese nula de que os resíduos não são normalmente distribuídos.

Figura 7 – Histograma de resíduos da ANOVA para os valores de CMD de As em função do método de urina testado

Figure 7 - Histogram of ANOVA residuals for As CMD values as a function of the urine method tested



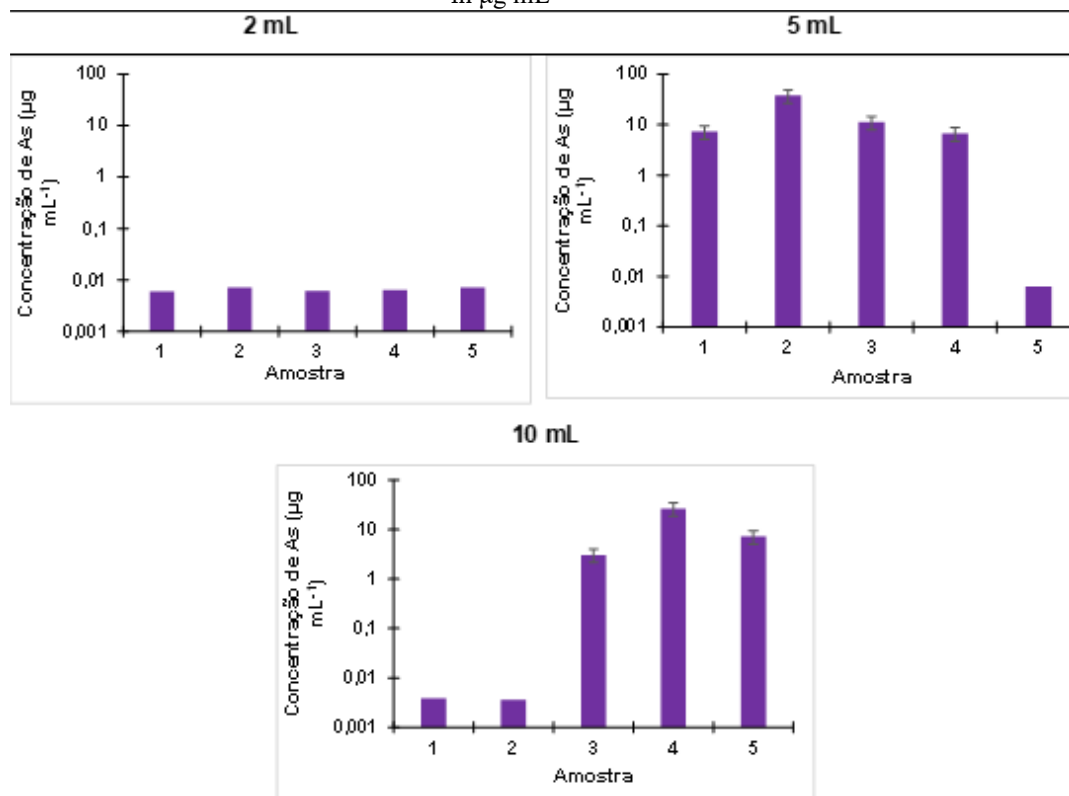
Fonte: Adaptado de Ferreira (2025)
Source: Adapted from Ferreira (2025)

As análises estatísticas realizadas nas CMD, foram comparadas as concentrações obtidas em algumas amostras. O volume de 2 mL não resultou em concentrações determináveis, ou seja, as cinco amostras permaneceram abaixo da CMD. Em comparação, o método de 5 mL produziu quatro resultados determináveis, enquanto uma única amostra permaneceu abaixo da CMD. Já o volume de 10 mL apresentou três amostras com concentrações determináveis, enquanto duas amostras permaneceram na

abaixo da CMD, indicando variação das concentrações de As devido aos diferentes volumes amostrados. Os valores obtidos para os tratamentos de 2 mL, 5 mL e 10 mL ficaram acima dos valores de referência do estudo de Iyengar²² (Figura 8).

Figura 8 - Concentração de As nos diferentes volumes testados 2 mL, 5 mL e 10 mL de soluções de amostras de urina em $\mu\text{g mL}^{-1}$

Figure 8 - Concentration of As in the different volumes tested 2 mL, 5 mL and 10 mL of urine sample solutions in $\mu\text{g mL}^{-1}$



Barras de erro tratam-se da incerteza analítica em nível de 95% de confiança, no caso de ausência de barras de erro se referem à concentração mínima determinável

Fonte: Adaptado de Ferreira (2025)

Source: Adapted from Ferreira (2025)

3.2 Cádmio (Cd)

As concentrações de Cd, quando em teores são elevados apresenta alta toxicidade ao organismo e pode ocasionar o desenvolvimento de câncer⁸. Assim, torna-se relevante a realização da biomonitorização desse metal tóxico em excretas. Na Tabela 2, nota-se que as médias das CMD para os volumes de 2 mL e 5 mL foram 0,16 $\mu\text{g/mL}^{-1}$, enquanto, para o volume de 10 mL, o valor obtido foi 0,075 $\mu\text{g/mL}^{-1}$. Os valores do homem de referência²² foram submetidos para a urina média, apresentando concentrações variando entre 0,00067 a 0,0033 $\mu\text{g/mL}^{-1}$. No caso de Cd, os resultados obtidos quando comparados com o estudo de Iyengar²², não foram satisfatórios, ficando acima dos valores de referência, o que indica a necessidade de mais estudos acerca do volume adequado das soluções de amostras de urina para Cd.

Tabela 2 - Concentração mínima determinável de Cd em ($\mu\text{g mL}^{-1}$)

Table 2 - Minimum determinable concentration of Cd in ($\mu\text{g mL}^{-1}$)

Volume	Concentração mínima determinável – Cd ($\mu\text{g mL}^{-1}$)			
	Média	Desvio-padrão	IC 95%	
2 mL	0,16	0,0046	0,15	0,17
5 mL	0,16	0,0046	0,15	0,17
10 mL	0,075	0,0046	0,066	0,084
Valor de referência²²	0,00067 – 0,0033 $\mu\text{g/mL}^{-1}$			

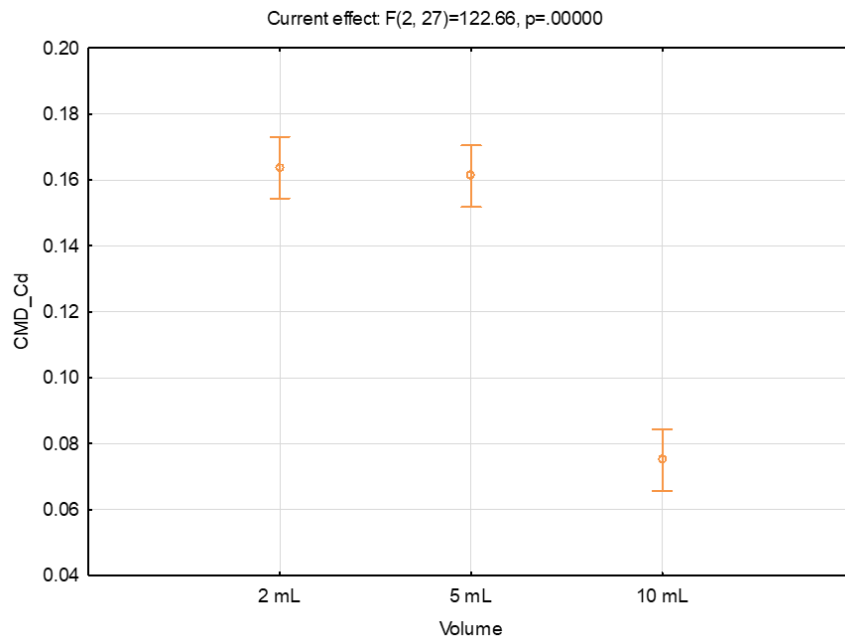
Fonte: Adaptado de Ferreira (2025)

Source: Adapted from Ferreira (2025)

Com os resultados encontrados, diferenças estatísticas entre as médias das concentrações mínima determinável (CMD) para os volumes testados de 2 mL, 5 mL e 10 mL foi encontrada a partir da análise de variância (ANOVA), conforme evidenciado pelo valor de $p = 0,0000$. Nota-se que a análise de variância indicou uma diferença estatisticamente significativa entre as médias das CMD para os volumes de 2 mL e 5 mL. As médias das CMD para os volumes de 2 mL e 5 mL não apresentaram diferenças estatísticas significativas. Contudo, ao analisar a CMD correspondente ao volume de 10 mL, verifica-se menor CMD. As CMD para os volumes testados para Cd ficaram acima do esperado pelo estudo de Iyengar²² (Figura 9).

Figura 9 – Análise de variância (ANOVA) entre as médias da CMD de Cd para os volumes de 2 mL, 5 mL e 10 mL.

Figure 9 – Analysis of variance (ANOVA) between the means of the CMD of Cd for volumes of 2 mL, 5 mL and 10 mL.

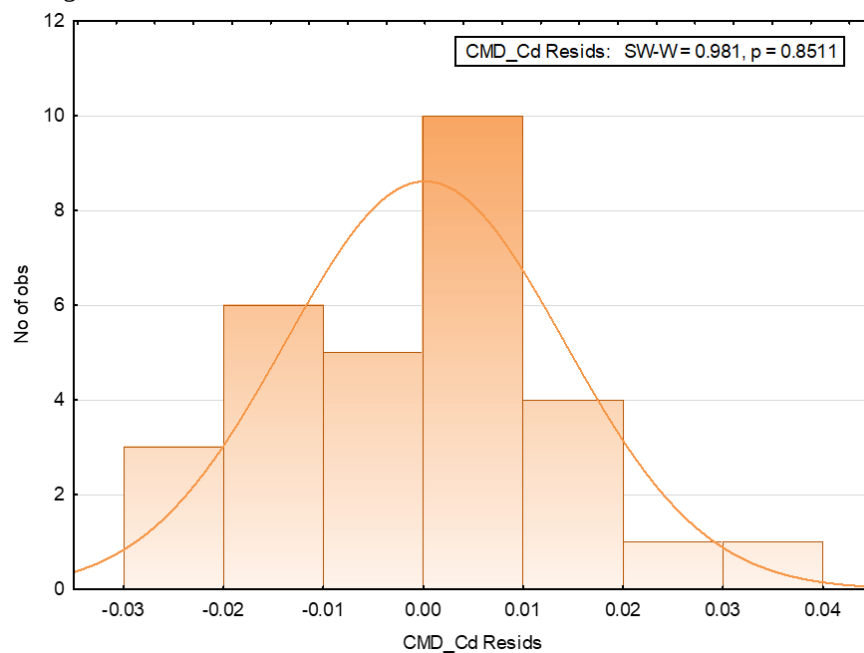


Fonte: Adaptado de Ferreira (2025)
Source: Adapted from Ferreira (2025)

Com o histograma exibido na Figura 10, comprovou-se a normalidade da distribuição dos resíduos para os dados da ANOVA, $p = 0,8511$, o qual indicou a falta de evidências estatísticas para a rejeição da hipótese nula de que os resíduos não são normalmente distribuídos, corroborando os resultados da ANOVA.

Figura 10 – Histograma de resíduos da ANOVA para os valores de CMD de Cd em função do método de urina testado

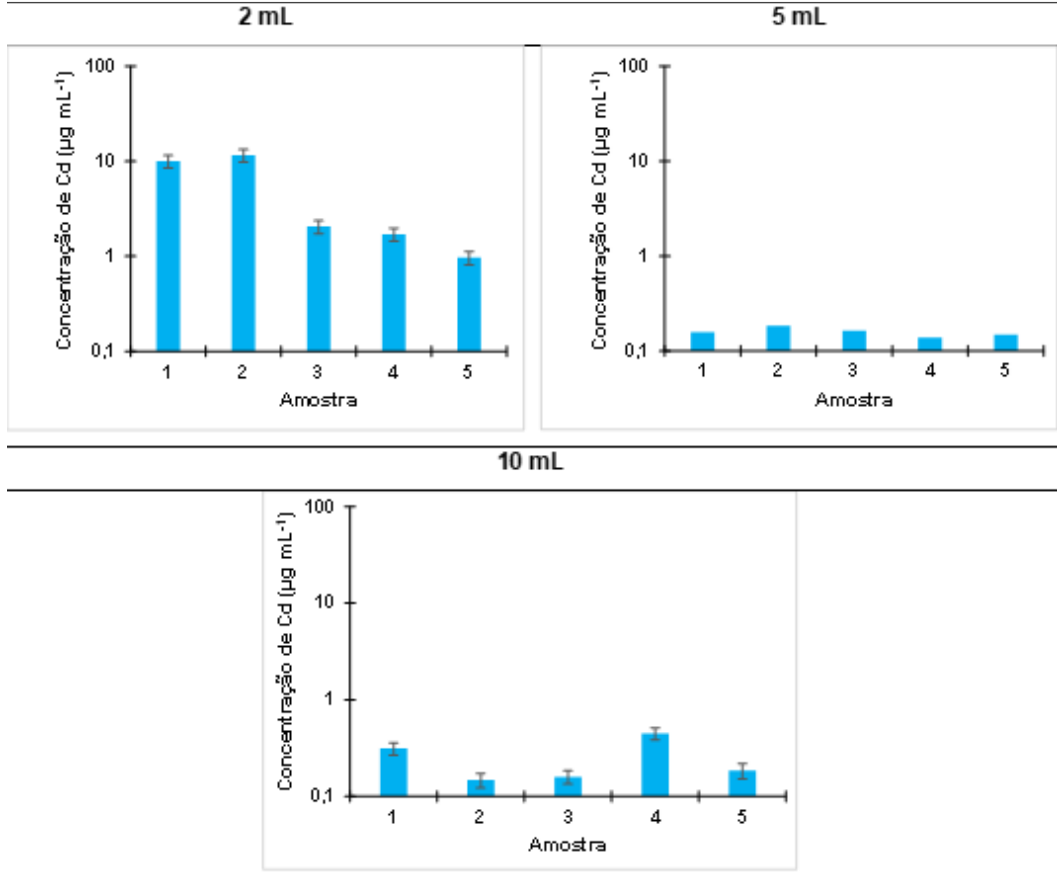
Figure 10 – Histogram of ANOVA residuals for Cd CMD values as a function of the urine method tested



Fonte: Adaptado de Ferreira (2025)
Source: Adapted from Ferreira (2025)

Mesmo com as análises estatísticas realizadas nas CMD, realizou-se a comparação entre as concentrações obtidas em algumas amostras para os tratamentos de 2 mL, 5 mL e 10 mL. O tratamento com 2 mL resultou em cinco amostras com concentrações determináveis. Enquanto, o tratamento de 5 mL não produziu amostras determináveis, ficando as cinco amostras abaixo da CMD. Em contrapartida, o método de 10 mL apresentou cinco amostras com concentrações determináveis, indicando uma variação das concentrações de Cd devido aos diferentes volumes amostrados. Os valores das concentrações obtidas para os métodos de 2 mL, 5 mL e 10 mL para Cd, ficaram acima dos valores de referência de acordo com Iyengar²² (Figura 11). O valor máximo encontrado foi 10 $\mu\text{g mL}^{-1}$, indicando possível contaminação.

Figura 11 - Concentração de Cd nos diferentes volumes testados 2 mL, 5 mL e 10 mL de urina em $\mu\text{g mL}^{-1}$
Figure 11 - Cd Concentration Cd concentration in different tested volumes 2 mL, 5 mL and 10 mL of urine in $\mu\text{g mL}^{-1}$



Barras de erro tratam-se da incerteza analítica em nível de 95% de confiança
A falta de barras de erro se refere aos valores da concentração mínima determinável
Fonte: Adaptado de Ferreira (2025)
Source: Adapted from Ferreira (2025)

3.3 Cobalto (Co)

Co é um elemento químico de relevância para a saúde humana. Contudo, em concentrações elevadas, pode apresentar efeitos tóxicos¹⁰. Por isso, faz-se necessário a quantificação desse metal no organismo humano, afim de conhecer a distribuição dele no organismo. Na Tabela 3, é possível perceber que a média da CMD para o volume de 2 mL foi 6,0 $\mu\text{g/mL}^{-1}$, enquanto para 5 mL, o valor obtido foi 5,9 $\mu\text{g/mL}^{-1}$. Já para o volume de 10 mL, a CMD registrada foi 2,7 $\mu\text{g/mL}^{-1}$. Mesmo não tendo resultados analíticos nessa etapa, as CMD foram equiparadas ao estudo de Iyengar²², que relatou concentrações variando entre 0,00033 a 0,0013 $\mu\text{g/mL}^{-1}$, vale destacar que os dados foram convertidos de urina de 24 horas para a média da urina do dia. Nota-se que, para Co, os resultados obtidos não foram satisfatórios, uma vez que valores obtidos de CMD estiveram acima dos reportados dos valores de referência, indicando a necessidade mais estudos acerca dos métodos para quantificação de Co na urina.

Tabela 3 - Concentração mínima determinável de Co em ($\mu\text{g mL}^{-1}$)
 Table 3 - Minimum determinable concentration of Co in ($\mu\text{g mL}^{-1}$)

Volume	Concentração mínima determinável – Co ($\mu\text{g mL}^{-1}$)			
	Média	Desvio-padrão	IC 95%	
2 mL	6,0	0,64	0,20	5,5
5 mL	5,9	0,50	0,16	5,6
10 mL	2,7	0,39	0,12	2,5
Valor de referência ²²	0,00033 – 0,0013 $\mu\text{g/mL}^{-1}$			

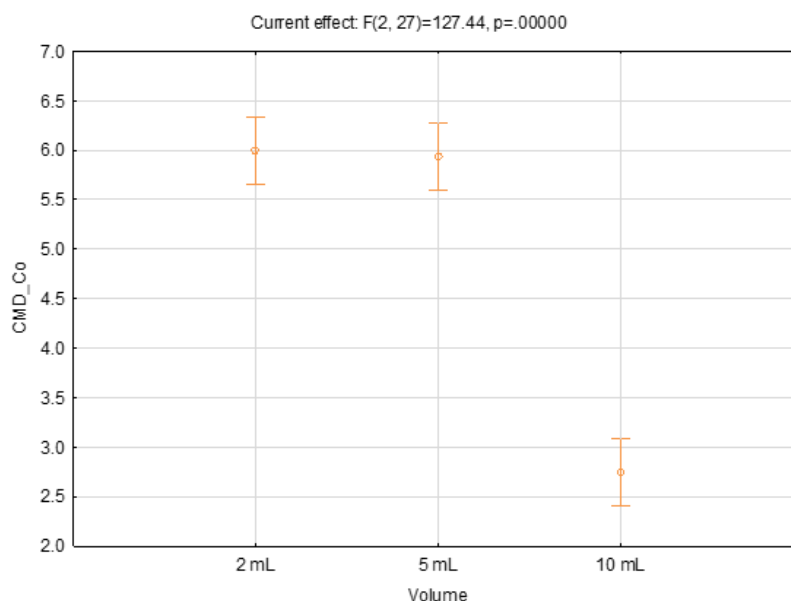
Fonte: Adaptado de Ferreira (2025)

Source: Adapted from Ferreira (2025)

Para selecionar o volume da amostra mais apropriado, diferenças estatísticas entre as médias das CMD para os volumes testados de 2 mL, 5 mL e 10 mL foi encontrada a partir da análise de ANOVA, conforme evidenciado pelo valor de $p = 0,0000$. Novamente, as médias do CMD para os volumes de 2 mL e 5 mL não apresentaram diferenças estatísticas significativas. Contudo, o volume de 10 mL apresenta valor de CMD menor. Entretanto, os valores das médias das CMD ficaram acima do limite inferior indicado no estudo Iyengar²² (Figura 12).

Figura 12 - Análise de variância (ANOVA) entre as médias da CMD de Co para os volumes de 2 mL, 5 mL e 10 mL.

Figure 12 – Analysis of variance (ANOVA) between the means of the CMD of Co for volumes of 2 mL, 5 mL and 10 mL.



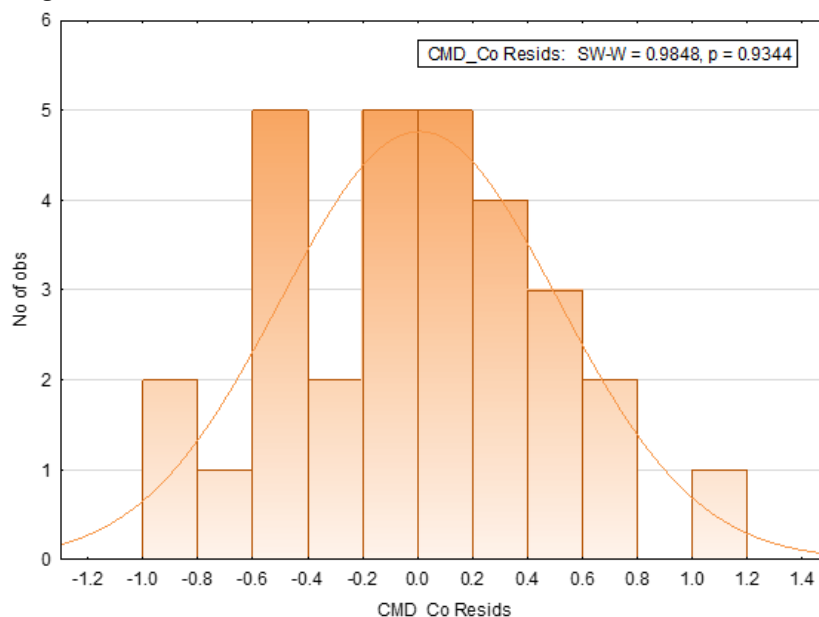
Fonte: Adaptado de Ferreira (2025)

Source: Adapted from Ferreira (2025)

O histograma exibido na Figura 13 representou a normalidade da distribuição dos resíduos para os dados da ANOVA, valor de $p = 0,9344$ o qual indicou a falta de evidências estatísticas para a rejeição da hipótese nula de que os resíduos não são normalmente distribuídos. Com isso, os resultados da ANOVA foram considerados adequados.

Figura 13 - Histograma de resíduos da ANOVA para os valores de CMD de Co em função do método de urina testado

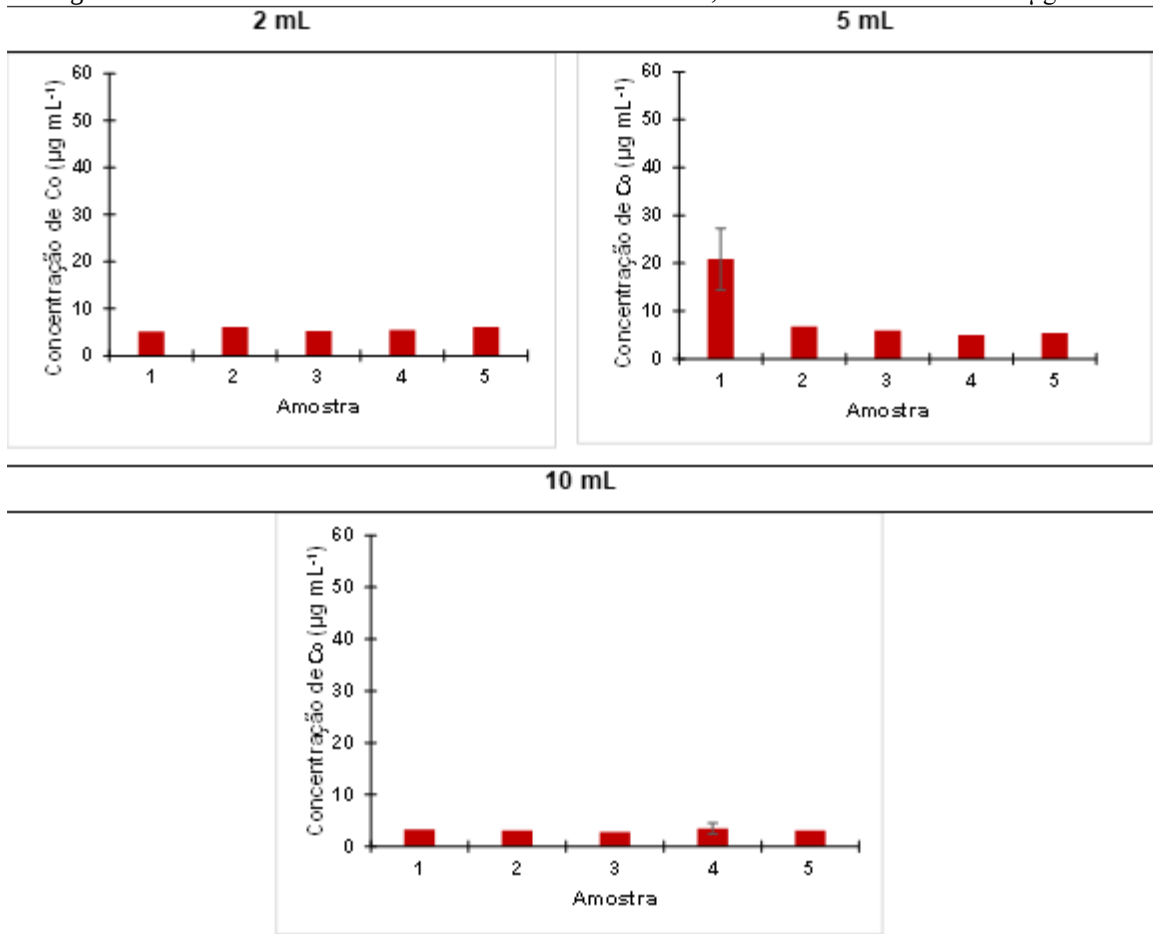
Figure 13 – Histogram of ANOVA residuals for Co CMD values as a function of the urine method tested



Fonte: Adaptado de Ferreira (2025)
Source: Adapted from Ferreira (2025)

Mesmo com as análises estatísticas realizadas nas CMD, realizou-se a comparação entre as concentrações obtidas em algumas amostras para os tratamentos de 2 mL, 5 mL e 10 mL. O tratamento de 2 mL apresentou cinco amostras abaixo da CMD. Já o tratamento de 5 mL produziu apenas uma amostra determinável, em contrapartida quatro amostras permaneceram abaixo da CMD. O método de 10 mL também apresentou apenas uma amostra determinável, enquanto quatro amostras permaneceram abaixo da CMD. As concentrações de Co para os volumes de 2 mL, 5 mL e 10 mL foram acima dos valores de referência²² (Figura 14).

Figura 14 - Concentração Co nos diferentes volumes testados 2 mL, 5 mL e 10 mL de urina em $\mu\text{g mL}^{-1}$
Figure 14 - Co concentration in different tested volumes 2 mL, 5 mL and 10 mL of urine in $\mu\text{g mL}^{-1}$



Barras de erro tratam-se da incerteza analítica em nível de 95% de confiança e a falta de barras de erro tratam-se de valores referentes à concentração mínima determinável

Fonte: Adaptado de Ferreira (2025)
Source: Adapted from Ferreira (2025)

3.4 Chumbo (Pb)

O elemento químico Pb apresenta alta toxicidade ao corpo humano¹², por isso a biomonitorização desse metal tóxico é fundamental devido ao seu potencial risco à saúde humana. Na Tabela 4, percebe-se que as médias da CMD para os volumes de 2 mL e 5 mL foram 3,5 $\mu\text{g/mL}^{-1}$, enquanto, o volume de 10 mL apresentou uma CMD de 1,6 $\mu\text{g/mL}^{-1}$. Mesmo não tendo resultados analíticos nessa etapa, as CMD foram comparadas ao estudo de Iyengar²², com concentrações entre 0,0066 a 0,013 $\mu\text{g/mL}^{-1}$, os dados foram convertidos para a média da urina do dia. As CMD para Pb, estiveram acima dos valores de referência, necessitando de mais estudos acerca do método de tratamento de soluções de amostras de urina.

Tabela 4 - Concentração mínima determinável de Pb em ($\mu\text{g mL}^{-1}$)
 Table 4 - Minimum determinable concentration of Pb in ($\mu\text{g mL}^{-1}$)

Volume	Concentração mínima determinável – Pb ($\mu\text{g mL}^{-1}$)			
	Média	Desvio-padrão	IC 95%	
2 mL	3,5	0,38	0,12	3,2
5 mL	3,5	0,24	0,077	3,4
10 mL	1,6	0,23	0,073	1,4
Valor de referência²²	0,0066 – 0,013 $\mu\text{g/mL}^{-1}$			

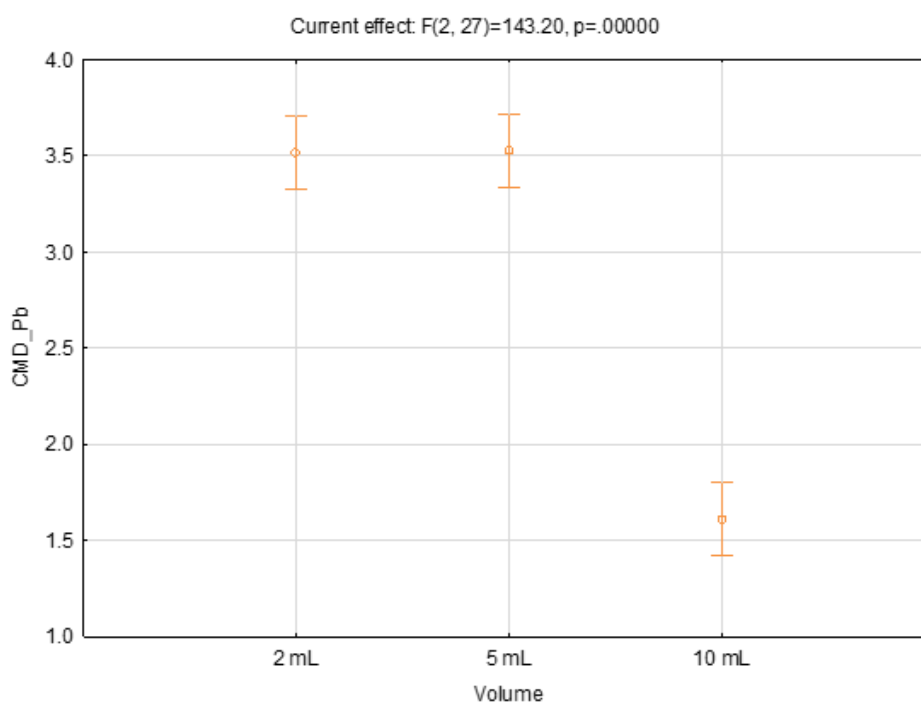
Fonte: Adaptado de Ferreira (2025)

Source: Adapted from Ferreira (2025)

Diferenças estatísticas entre as médias das concentrações mínima determinável (CMD) para os volumes testados de 2 mL, 5 mL e 10 mL foi encontrada a partir da análise de variância (ANOVA), conforme evidenciado pelo valor de $p = 0,0000$. As médias do CMD para os volumes de 2 mL e 5 mL não apresentaram diferenças estatísticas significativas. Contudo, o volume de 10 mL apresenta CMD menor. Contudo, os resultados obtidos para as CMD de 2 mL, 5 mL e 10 mL estão superiores aos dados encontrados no estudo de Iyengar²² (Figura 15).

Figura 15 - Análise de variância (ANOVA) entre as médias da CMD de Pb para os volumes de 2 mL, 5 mL e 10 mL.

Figure 15 – Analysis of variance (ANOVA) between the means of the CMD of Pb for volumes of 2 mL, 5 mL and 10 mL.



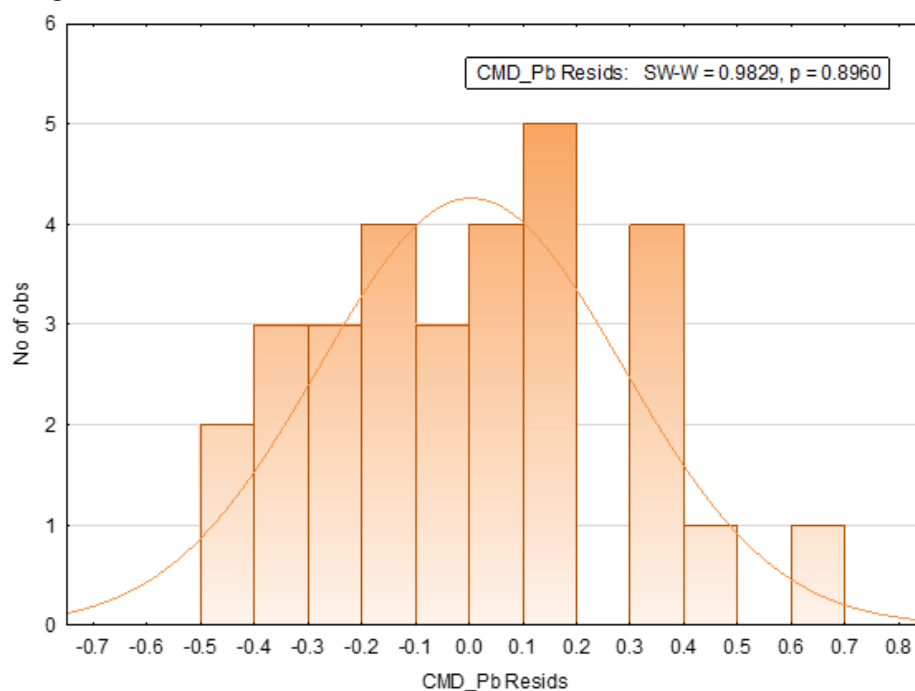
Fonte: Adaptado de Ferreira (2025)

Source: Adapted from Ferreira (2025)

O histograma apresentado na Figura 16 demonstra a normalidade na distribuição dos resíduos para os dados da ANOVA, valor de $p = 0,8960$, que demonstra a ausência de evidências estatísticas que justifiquem a rejeição da hipótese nula que os dados não são distribuídos normalmente.

Figura 16 – Histograma de resíduos da ANOVA para os valores de CMD de Pb em função do método de urina testado

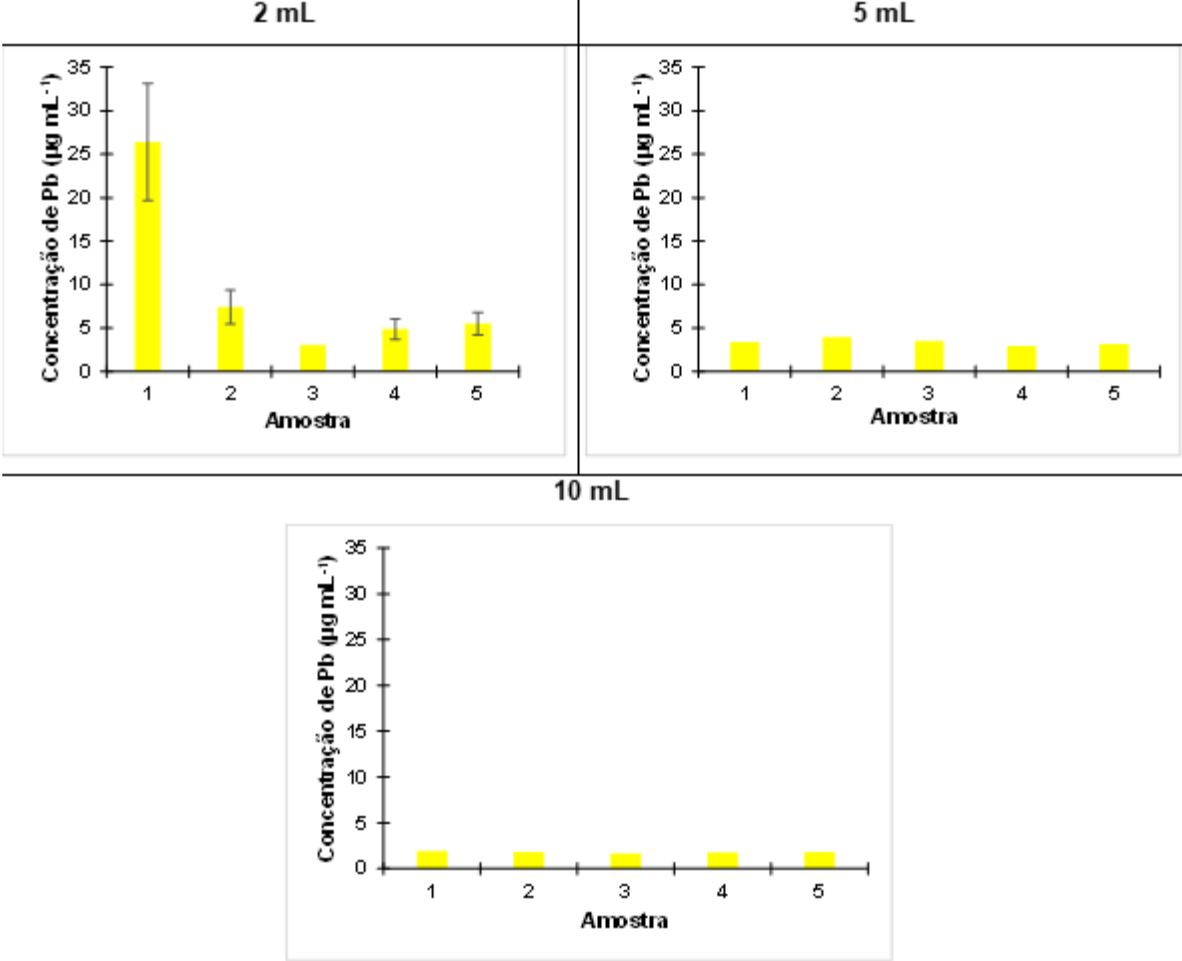
Figure 16 – Histogram of ANOVA residuals for Pb CMD values as a function of the urine method tested



Fonte: Adaptado de Ferreira (2025)
Source: Adapted from Ferreira (2025)

Realizou-se a comparação entre as concentrações obtidas em algumas amostras para os tratamentos de 2 mL, 5 mL e 10 mL, mesmo com as análises estatísticas feitas para a CMD. O tratamento com 2 mL apresentou quatro resultados determináveis, com apenas uma amostra situada abaixo da CMD. Todavia, ao analisar os métodos de 5 mL e 10 mL não revelou nenhum resultado determinável, sendo todos os dados obtidos para ambos os volumes de (5 mL e 10 mL) permaneceram abaixo da CMD. As concentrações obtidas para Pb ficaram acima quando comparadas aos valores de referência²² (Figura 17).

Figura 17 – Concentração de Pb nos diferentes volumes testados 2 mL, 5 mL e 10 mL de urina em $\mu\text{g mL}^{-1}$
Figure 17 – Pb concentration in different tested volumes 2 mL, 5 mL and 10 mL of urine in $\mu\text{g mL}^{-1}$



Barras de erro tratam-se da incerteza analítica em nível de 95% de confiança e a falta de barras de erro refere-se aos valores referentes à concentração mínima determinável

Fonte: Adaptado de Ferreira (2025)
Source: Adapted from Ferreira (2025)

3.5 Vanádio (V)

O elemento químico V desempenha funções positivas no organismo, como auxilia no controle glicêmico, mas quando presente em elevadas concentrações, pode apresentar efeitos tóxicos ao organismo¹⁴. Assim, a quantificação desse elemento químico no organismo é importante para o conhecimento da sua assimilação no corpo humano. Na Tabela 5, a média da CMD para o volume de 2 mL foi 0,0070 $\mu\text{g/mL}^{-1}$. Já para o volume de 5 mL, o valor obtido foi 0,0069 $\mu\text{g/mL}^{-1}$, enquanto, para o método de 10 mL, a CMD foi 0,0032 $\mu\text{g/mL}^{-1}$. Mesmo não tendo resultados analíticos nessa etapa, as CMD foram comparadas com o estudo de Iyengar²², sendo importante destacar que os valores do estudo de urina de 24 horas foram convertidos para a urina média do dia que variou de 0,00013 a 0,00066 $\mu\text{g/mL}^{-1}$. As médias das CMD estão acima aos valores de referência²², indicando a necessidade da elaboração do desenvolvimento de mais estudo acerca do volume adequado para o tratamento das soluções de amostras de urina.

Tabela 5 – Concentração mínima determinável de V em ($\mu\text{g mL}^{-1}$)
Table 5 – Minimum determinable concentration of V in ($\mu\text{g mL}^{-1}$)

Volume	Concentração mínima determinável – V ($\mu\text{g/mL}^{-1}$)			
	Média	Desvio-padrão	IC 95%	
2 mL	0,0070	0,00076	0,00024	0,0065
5 mL	0,0069	0,00059	0,00019	0,0065
10 mL	0,0032	0,00049	0,00016	0,0029
Valor de referência²²	0,00013 – 0,00066 $\mu\text{g/mL}^{-1}$			

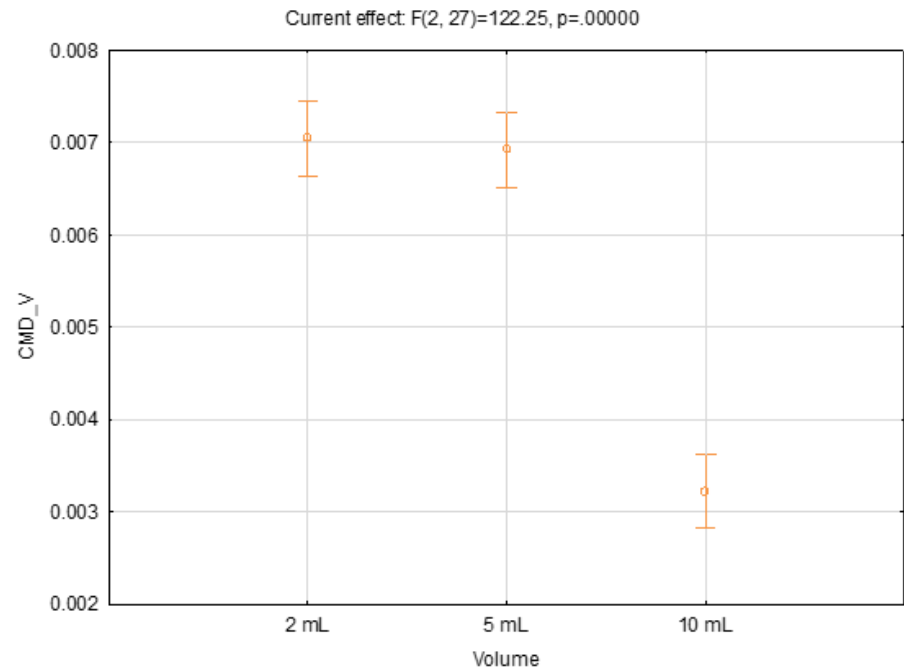
Fonte: Adaptado de Ferreira (2025)

Source: Adapted from Ferreira (2025)

Para determinar o volume ideal da amostra, diferenças estatísticas entre as médias das CMD para os volumes testados de 2 mL, 5 mL e 10 mL foi encontrada a partir da análise da ANOVA, valor de $p = 0,0000$. Não apresentam diferenças estatísticas as CMD de 2 mL e 5 mL. Contudo, ao analisar a CMD do volume de 10 mL demonstrou diferenças estatísticas significativa. Contudo, as médias das CMD foram acima do valor de referência²², Figura 18.

.Figura 18 - Análise de variância (ANOVA) entre as médias da CMD de V para os volumes de 2 mL, 5 mL e 10 mL.

Figure 18 – Analysis of variance (ANOVA) between the means of the CMD of V for volumes of 2 mL, 5 mL and 10 mL.

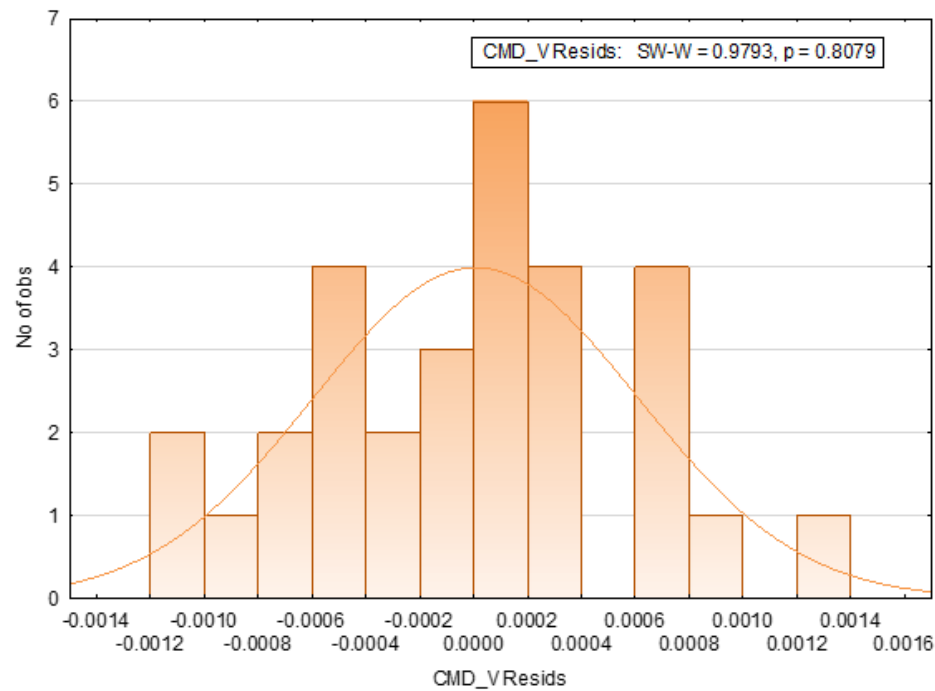


Fonte: Adaptado de Ferreira (2025)
Source: Adapted from Ferreira (2025)

O histograma ilustrado na Figura 19 apresenta a distribuição normal para os resíduos dos dados da ANOVA, valor de $p = 0,8079$, indicando a ausência de evidências estatísticas para a rejeição da hipótese nula que os resíduos não são normalmente distribuídos.

Figura 19 – Histograma de resíduos da ANOVA para os valores de CMD de V em função do método de urina testado

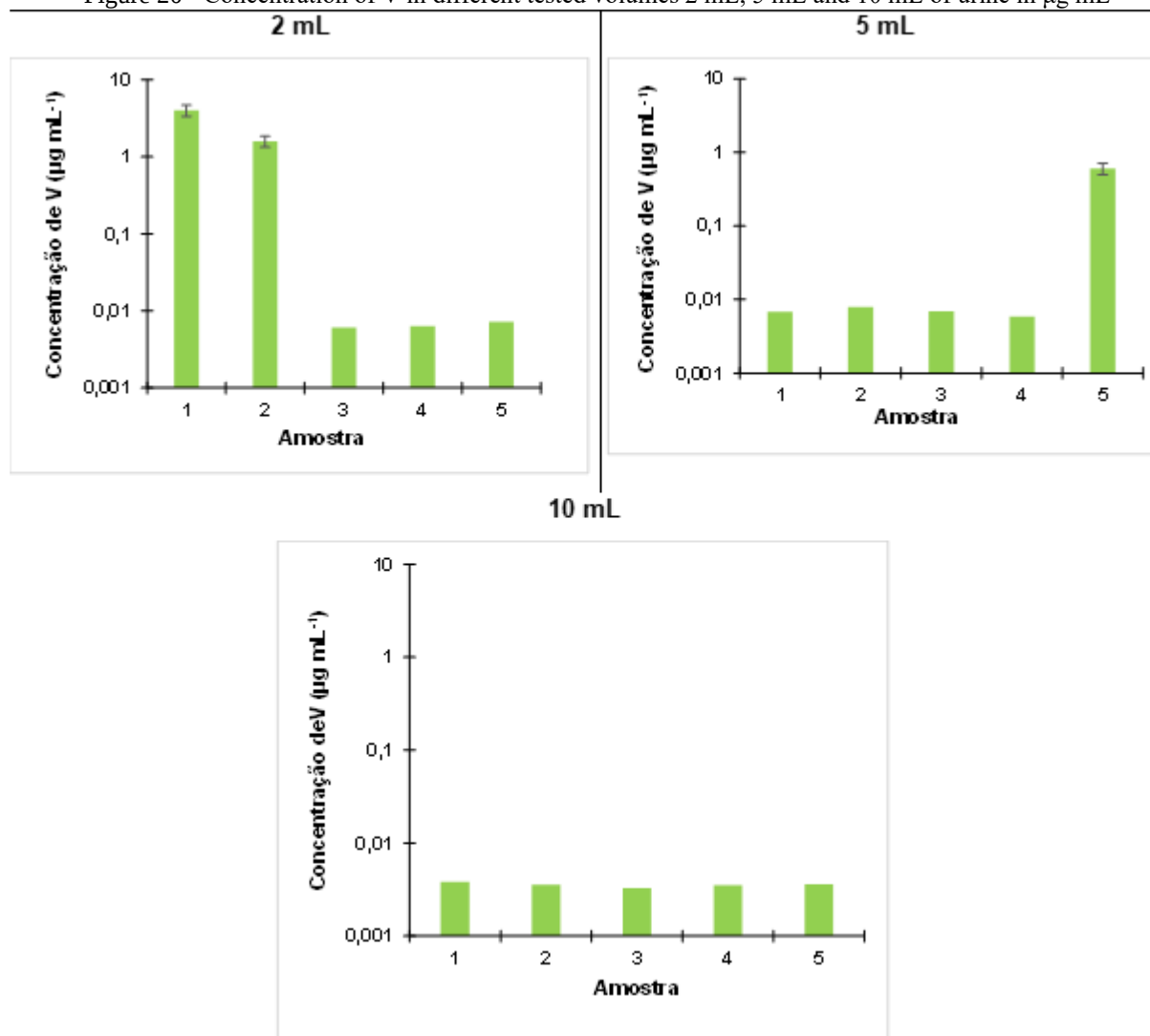
Figure 19 – Histogram of ANOVA residuals for V CMD values as a function of the urine method tested



Fonte: Adaptado de Ferreira (2025)
Source: Adapted from Ferreira (2025)

As análises estatísticas realizadas nas CMD foram comparadas concentrações obtidas em algumas amostras. O volume de 2 mL resultou em dois resultados determináveis, enquanto três resultados permaneceram abaixo da CMD. Já o volume de 5 mL gerou apenas um resultado determinável, com os demais quatro valores mantendo-se abaixo da CMD. Por fim, na análise do tratamento de 10 mL, todos os dados permaneceram abaixo da CMD, não obtendo nenhum resultado determinável. Os valores das concentrações de V ficaram acima dos valores de referência²² (Figura 20).

Figura 20 - Concentração de V nos diferentes volumes testados 2 mL, 5 mL e 10 mL de urina em $\mu\text{g mL}^{-1}$
 Figure 20 - Concentration of V in different tested volumes 2 mL, 5 mL and 10 mL of urine in $\mu\text{g mL}^{-1}$



Barras de erro tratam-se da incerteza analítica em nível de 95% de confiança e a falta de barras de erro se refere aos valores referentes à concentração mínima determinável

Fonte: Adaptado de Ferreira (2025)
 Source: Adapted from Ferreira (2025)

3. Conclusões

O método foi implementado com sucesso para o elemento químico As, para o volume de 10 mL, com a média da CMD dentro do esperado quando comparados com os valores de referências. Por outro lado, os elementos químicos Cd, Co, Pb e V apresentaram médias da CMD superiores aos valores de referência, indicando uma complexidade na análise química da urina. Dessa forma, sugere-se a realização de novos estudos científicos para a quantificação de elementos químicos na urina, visto que essa matriz representa uma via de eliminação de substâncias e metais, utilizando a urina coletada por 24 horas, em um volume de 10 mL de amostra, uma vez que esse volume apresentou CMD menores.

4. Referências

1. Jomova K, Makova M, Alomar SY, et al. Essential metals in health and disease. *Chem Biol Interact.* 2022; 367(1): 1-28. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2022.110173>
2. Balali-Mood M, Naseri K, Tahergorabi Z, et al. Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. *Front pharmacol.* 2021; 13(12): 1-19. Doi: <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972>.
3. Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, et al. Heavy metal toxicity and the environment. *Exp suppl.* 2012; 101(1): 1-30. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6
4. Prasad S, Tyagi AK, Aggarwal BB. Detection of inflammatory biomarkers in saliva and urine: Potential in diagnosis, prevention, and treatment for chronic diseases. *Exp Biol Med.* 2016; 241(8): 783–799. Doi: <https://doi.org/10.1177/1535370216638770>
5. Portugal WM. *Biomonitorização de oligoelementos e elementos traços em sangue de pacientes infectados por COVID-19 internados em unidade de terapia intensiva* [Internet]. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Brasil, Br. 2022 [Acessado em 15 de maio de 2025]. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/46398>
6. Ratnaike RN. Acute and chronic arsenic toxicity. *Postgrad med J.* 2003; 79(933): 391–396. Doi: <https://doi.org/10.1136/pmj.79.933.391>
7. Hall AH. Chronic arsenic poisoning. *Toxicol Lett.* 2002; 128(1-3): 69–72. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-4274\(01\)00534-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4274(01)00534-3)
8. Marchi G, Guilherme LRG, Silva CA, et al. *Elementos-traço e sua relação com qualidade e inocuidade de fertilizantes, corretivos agrícolas e resíduos orgânicos no Brasil*. 1ª ed. Brasil, BR: Embrapa Cerrados, Folhetos; 2009 [Acessado em 15 de fevereiro de 2025]. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/697558/1/doc252.pdf>
9. Campos ÉA, Silva IF, Warden CF. Exposição a metais em população adulta residente em áreas industriais: revisão sistemática da literatura. *Ciênc saúde coletiva.* 2021; 26(6): 2253–70. Doi: <https://doi.org/10.1590/1413-81232021266.07612019>
10. Czarnek K, Terpiłowska S, Siwicki AK. Selected aspects of the action of cobalt ions in the human body. *Cent-Eur J Immunol.* 2015; 40(2): 236–242. Doi: <https://doi.org/10.5114/ceji.2015.52837>
11. Moraes MJC, Murussi SS, Rezende PAF. Vitamina B12: análise da relação entre sinais e sintomas de vegetarianos e não vegetarianos [Internet]. Brasília: UniCEUB; 2021 [Acessado em 12 de março de 2025]. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/prefix/15342>
12. Takeuchi H, Taki Y, Nouchi R, Yokoyama R, et al. Lead exposure is associated with functional and microstructural changes in the healthy human brain. *Commun Biol.* 2021; 4(1): 1-14. Doi: <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02435-0>.
13. Klotz K, Göen T. Human Biomonitoring of Lead Exposure. *Met ions life scien.* 2017; 17(1): 99-122, Doi: <https://doi.org/10.1515/9783110434330-006>

14. Hanus-Fajerska E, Wiszniewska A, Kamińska, I. A Dual Role of Vanadium in Environmental Systems-Beneficial and Detrimental Effects on Terrestrial Plants and Humans. *Plants (Basel)*. 2021; 10(6): 1-14. Doi: <https://doi.org/10.3390/plants10061110>.
15. Pessanha NVS, Gonçalves DPM. Potencial terapêutico do vanádio no tratamento do diabetes mellitus. *Rev transf*. 2022; 16(2): 1-22. Disponível em: <http://www.fsj.edu.br/transformar/index.php/transformar/article/view/912>
16. Gueutin V, Deray G, Isnard-Bagnis C. Physiologie rénale [Renal physiology]. *Bull câncer*. 2012; 99(3): 237–249. Doi: <https://doi.org/10.1684/bdc.2011.1482>
17. Długaszek M, Kaszczuk M, Mularczyk-Oliwa M. Magnesium, Calcium, and Trace Elements Excretion in 24-h urine. *Biol Trace Elem Res*. 2011; 142(1):1-10. Doi: 10.1007/s12011-010-8745-7
17. Długaszek M, Kaszczuk M, Mularczyk-Oliwa M. Magnesium, Calcium, and Trace Elements Excretion in 24-h urine. *Biol Trace Elem Res*. 2011; 142(1): 1-10. Doi: 10.1007/s12011-010-8745-7
18. Li F, Groessler W, Irgolic KJ. Optimization of microwave digestion for determination of selenium in human urine by flow injection-hydride absorption generation-atomic spectrometry. *Anal. Commun*. 1998; 35(11): 361-364. Doi: <https://doi.org/10.1039/A806342G>
19. Benkhedda K, Epov V, Evans RD. Flow-injection technique for determination of uranium and thorium isotopes in urine by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Anal bioanal chem*. 2005; 381(5): 1596-603. Doi: 10.1007/s00216-005-3147-y
20. Lira MBD de. *Aplicabilidade da vegetação e solos de praças e parques para a monitoração de qualidade ambiental: elementos químicos tóxicos e radionuclídeos*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Brasil, Br. 2020 [Acessado em 01 de junho de 2025]. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/40131/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Marcelo%20Belmiro%20Gomes%20de%20Lira.pdf>
21. Ellison SLR, Williams A. *Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement*. 3ª ed. Reino Unido: Eurachem/CITAC Guide number 4, 2012 [Acessado em 01 de junho de 2025]. Disponível em: https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/QUAM2012_P1.pdf
22. Iyengar GV. Reevaluation of the trace element content in Reference Man. *Radiat Phys Chem*. 1997; 51(4-6): 545-560. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0969-806X\(97\)00202-8](https://doi.org/10.1016/S0969-806X(97)00202-8)