

Estabilidade analítica do humor vítreo na toxicologia forense: uma alternativa às matrizes biológicas degradadas

Micheli Yui Mannari, Biomedicina, Centro Universitário Integrado, Brasil, mi_mannari@outlook.com

Laís de Souza Braga, Biomedicina, Centro Universitário Integrado Brasil, lais.souza@grupointegrado.br

INTRODUÇÃO

A investigação de mortes suspeitas no contexto da medicina legal representa um desafio significativo, especialmente em situações nas quais o avançado estado de decomposição compromete a confiabilidade das matrizes biológicas convencionais, como sangue e urina. Processos como autólise e putrefação promovem alterações físico-químicas que dificultam análises toxicológicas e bioquímicas, limitando a precisão na determinação da causa da morte e do intervalo post-mortem (Carapito; Rodrigues; Coelho, 2021). Nesse cenário, o humor vítreo tem se destacado como uma matriz biológica alternativa de elevada relevância pericial. Sua localização anatômica privilegiada, protegida por barreiras hemato-oculares, associada à sua composição relativamente estável e baixa suscetibilidade à contaminação bacteriana, confere mais estabilidade aos resultados analíticos mesmo em estágios avançados de decomposição (Zilg et al., 2019). Além disso, estudos indicam que essa estabilidade permite não apenas a identificação de substâncias exógenas, mas também a análise de parâmetros bioquímicos importantes para a estimativa do intervalo post-mortem (Zilg et al., 2019; Barbosa; Ferreira; Paz, 2024).

Entretanto, apesar de suas vantagens, a utilização do humor vítreo ainda apresenta limitações importantes, como variabilidade dos resultados em diferentes condições ambientais e a ausência de padronização universal dos métodos analíticos empregados (Zilg et al., 2019). Essas lacunas evidenciam a necessidade de uma análise crítica sobre sua aplicabilidade na prática forense contemporânea. Dessa forma, este estudo justifica-se pela importância de compreender, à luz da literatura científica recente, o papel do humor vítreo como ferramenta auxiliar na elucidação de mortes suspeitas. O objetivo deste trabalho é analisar a relevância dessa matriz biológica em investigações forenses, com ênfase em sua estabilidade, aplicabilidade em análises toxicológicas e contribuição para a estimativa post-mortem.

MÉTODO

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, conduzida nas bases de dados: PubMed, Google Acadêmico, realizada em março de 2026. Para a busca de artigos foram utilizados os seguintes descritores: vitreous humor, forensic toxicology, post-mortem interval. Os descritores foram combinados com os operadores booleanos: AND (para o cruzamento entre o fluido biológico e a área de estudo) e OR (para a variação de termos correlatos).

Como critérios de inclusão foram selecionados artigos científicos originais e revisões de literatura, publicados no período de 2016 a 2026, nos idiomas português e inglês. Foram excluídos trabalhos duplicados nas bases de dados, artigos que não representavam relação direta com o objetivo de estudo e publicações de acesso restrito.

O processo de seleção ocorreu em três etapas: primeiramente, realizou-se a busca sistemática dos artigos nas bases selecionadas utilizando os descritores definidos; em seguida, procedeu-se à seleção inicial por meio da leitura dos títulos e resumos; por fim, efetuou-se a leitura integral dos artigos potencialmente elegíveis para seleção final.

REVISÃO DE LITERATURA

A determinação da causa da morte e da estimativa do intervalo post-mortem (IPM) constitui um dos principais desafios da toxicologia e da medicina legal, especialmente em corpos em avançado estado de decomposição. Nesses casos, a análise em perícias forenses é frequentemente dificultada pela instabilidade das matrizes biológicas convencionais, como o sangue e a urina, que se tornam progressivamente inadequadas, devido à ação da autólise, à atividade microbiana e à redistribuição post-mortem de substâncias, comprometendo a confiabilidade dos resultados analíticos (Carapito; Rodrigues; Coelho, 2021).

Diante dessas limitações, a literatura científica tem apontado o humor vítreo (HV) como uma matriz alternativa de elevada estabilidade e confiabilidade. Segundo Zilg et al. (2019), o HV é caracterizado como um hidrogel transparente, acelular e protegido por barreiras hemato-oculares, o que reduz significativamente a influência de processos putrefativos e da contaminação bacteriana. Essa característica favorece a preservação de analitos por períodos mais prolongados em comparação com outras matrizes, tornando-o particularmente útil em análises post-mortem tardias. No contexto da cronotanatognose, destaca-se a utilização da concentração de potássio (K^+) no humor vítreo como um dos marcadores mais estudados para estimativa do IPM. Após a morte, a falência das bombas iônicas celulares promove o extravasamento progressivo de potássio das células da retina para o corpo vítreo, resultando em um aumento relativamente linear de sua concentração ao longo do tempo, com uma taxa de incremento estimada entre 0,14 e 0,19 mEq/L por hora (Zilg et al., 2019). Essa relação permite que a medição do potássio, que apresenta níveis fisiológicos entre 3,5 e 5,0 mEq/L em vida, atua como um marcador preciso, visto que seus valores podem ultrapassar 15 mEq/L em intervalos post-mortem mais prolongados. Tais dados são fundamentais para alimentar modelos matemáticos preditivos, contribuindo significativamente para a estimativa do tempo de morte.

No entanto, apesar da ampla utilização desse marcador, estudos apontam que a cinética do potássio vítreo pode sofrer influência de fatores como temperatura ambiente, causa da morte e condições individuais, o que pode introduzir variabilidade nos resultados e limitar sua precisão absoluta (Zilg et al., 2019; Carapito; Rodrigues; Coelho, 2021). Dessa forma, a interpretação dos dados deve ser realizada com cautela, considerando o contexto pericial.

Além da análise de eletrólitos, o humor vítreo também apresenta relevância significativa na toxicologia analítica. De acordo com Cervoni et al. (2025), a complexidade das matrizes post-mortem exige o uso de técnicas altamente sensíveis e seletivas, sendo a Cromatografia Líquida acoplada à Espectrometria de Massas em Tandem (LC-MS/MS) considerada o padrão-ouro para detecção de xenobióticos. Essa técnica permite a identificação precisa de compostos e seus metabólitos, mesmo em concentrações traço, minimizando interferências decorrentes do efeito matriz. A integração entre a utilização do humor vítreo e técnicas avançadas como o LC-MS/MS potencializa significativamente a capacidade diagnóstica nas investigações forenses. A viabilidade técnica do humor vítreo é reforçada pela padronização do seu procedimento de coleta, que geralmente ocorre por meio da perfuração lateral do globo ocular. A técnica preconiza a retirada de uma amostra de aproximadamente 0,25 mL do centro do compartimento vítreo, utilizando agulhas de calibre 16, o que permite a visualização da ponta da agulha através da pupila para maior precisão. Segundo Sebag et al. (1999), o fluido apresenta alta viscosidade, observou-se que ele se torna mais liquefeito com o avançar da idade, permitindo a coleta integral do volume para análise ou processamento em tubos de ensaio. Essa facilidade de obtenção, aliada à proteção anatômica da matriz, consolida o humor vítreo como uma alternativa prática e eficiente em perícias de corpos degradados. Conforme descrito por Cervoni et al. (2025), essa abordagem possibilita não apenas a detecção de substâncias, mas também a diferenciação entre exposição aguda e crônica, ampliando a compreensão das circunstâncias do óbito.

Entretanto, apesar das vantagens amplamente reconhecidas, a literatura evidencia que o uso do humor vítreo não é isento de limitações. A ausência de padronização nos métodos de coleta, armazenamento e análise, bem como a influência de variáveis ambientais e biológicas, pode impactar a reprodutibilidade dos resultados (Barbosa; Ferreira; Paz, 2024; Zilg et al., 2019). Além disso, a interpretação dos achados deve ser realizada de forma integrada com outros dados periciais, uma vez que o uso isolado dessa matriz pode não fornecer conclusões definitivas.

Dessa forma, observa-se que o humor vítreo representa uma ferramenta valiosa na toxicologia forense contemporânea, especialmente em cenários onde outras matrizes se mostram inviáveis. Contudo, sua aplicação deve ser pautada em critérios técnicos rigorosos e associada a uma análise multidisciplinar, a fim de garantir maior precisão e confiabilidade nos laudos periciais (Zilg et al.; 2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na análise da literatura, evidencia-se que o humor vítreo se configura como uma matriz biológica de grande relevância na toxicologia forense,

especialmente em contextos de decomposição avançada, nos quais as amostras convencionais apresentam limitações significativas. Sua maior estabilidade físico-química e menor suscetibilidade à contaminação bacteriana o tornam uma alternativa confiável para análises bioquímicas e toxicológicas, contribuindo de forma consistente para a estimativa do intervalo post-mortem e para a elucidação da causa da morte.

Entretanto, apesar de suas vantagens, o uso do humor vítreo ainda apresenta desafios importantes, como a variabilidade dos resultados em função de fatores ambientais e biológicos, além da ausência de padronização universal dos métodos analíticos. Tais limitações reforçam a necessidade de cautela na interpretação dos achados, bem como a importância da associação com outros elementos periciais para a construção de conclusões mais precisas e seguras.

Dessa forma, conclui-se que o humor vítreo representa uma ferramenta promissora e amplamente aplicável na prática médico-legal contemporânea, porém seu uso deve ser fundamentado em critérios técnicos rigorosos e integrado a uma abordagem multidisciplinar. Ademais, destaca-se a necessidade de novos estudos que visem à padronização de protocolos e à redução das variabilidades observadas, a fim de ampliar a confiabilidade e a aplicabilidade dessa matriz nas investigações forenses.

PALAVRAS-CHAVE: Humor vítreo. Intervalo post-mortem. Toxicologia forense. Matriz biológica.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, A. J.; FERREIRA, L. M.; PAZ, R. S. **Humor vítreo como alternativa de matriz biológica na toxicologia forense.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MEDICINA LEGAL E PERÍCIAS MÉDICAS, 7., 2024, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: ABMLPM, 2024.

CARAPITO, A.; RODRIGUES, M.; COELHO, L. A importância do humor vítreo em análises post-mortem. **Revista Higeia**, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 45-58, 2021.

CERVONI, J. P. et al. Screening for drugs and chemicals in post-mortem biological matrices using LC-MS/MS: A comprehensive study. *Forensic Science International*, [s. l.], v. 368, p. 112184, jan. 2025.

ZILG, B. et al. Vitreous humor as an alternative matrix in forensic toxicology: a review. *Postmortem Chemistry*, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 1-12, abr. 2019.

SEBAG, J.; ANSARI, R. R.; DUNKER, S.; SUH, K. I. **Dispersão dinâmica da luz da vítreopatia diabética.** Diabetes Technol. Ther. 1999; 1:169-176.