

Tanatologia forense na investigação criminal: métodos, limitações e avanços na estimativa do intervalo pós-morte.

Forensic thanatology in criminal investigation: methods, limitations and advances in postmortem interval estimation.

Mayara Alves¹

Dunya Carolina Clemente Guerra Pereira

Rildo José do Nascimento

João Batista Lindolfo

RESUMO

A estimativa do intervalo pós-morte (IPM) permanece como uma das questões mais desafiadoras da Tanatologia Forense, em razão da natureza dinâmica, multifatorial e progressiva das alterações que ocorrem após a morte. Embora fenômenos clássicos, como resfriamento, rigidez e livores cadavéricos, continuem indispensáveis à avaliação médico-legal, sua capacidade de fornecer estimativas temporais precisas é limitada pela influência de fatores individuais, ambientais, circunstanciais e metodológicos. Este artigo teve como objetivo analisar, por meio de revisão narrativa da literatura, os principais métodos empregados na estimativa do intervalo pós-morte, suas limitações e os avanços científicos que vêm sendo propostos para ampliar a precisão e a confiabilidade da prática forense. Foram selecionados 25 artigos científicos indexados, com prioridade para estudos recuperáveis em bases bibliográficas internacionais e

¹ Posto de Atendimento da Polícia Técnico-Científica – Brasil. ORCID: 0009-0006-7623-9685.

publicações recentes, contemplando métodos físicos, tanatoquímicos, entomológicos, microbiológicos, moleculares, proteômicos, metabolômicos e abordagens baseadas em imagem térmica e tridimensional. A literatura indica que nenhum método isolado apresenta capacidade universal para determinar com precisão o momento da morte, especialmente nos intervalos tardios. Marcadores do humor vítreo, com destaque para potássio e hipoxantina, apresentam potencial importante, mas sofrem influência de temperatura, armazenamento, técnica analítica, causa da morte e características populacionais. Entomologia e microbiologia apresentam perspectivas promissoras para intervalos mais avançados, enquanto RNA, microRNA e abordagens ômicas ampliam o campo de investigação molecular. Métodos de imagem não invasivos também demonstram potencial para reduzir a dependência de procedimentos de contato e produzir registros individualizados. Conclui-se que a estimativa do IPM deve ser compreendida como processo probabilístico e multiparamétrico, no qual dados da cena, condições ambientais, exame do cadáver, necropsia e resultados laboratoriais devem ser integrados. A atuação articulada entre perito criminal, médico-legista e auxiliar de autópsia favorece a qualidade da cadeia de informações necessária à interpretação tanatológica.

Palavras-chave: Tanatologia forense; Intervalo pós-morte; Medicina Legal; Criminalística; Necropsia; Ciências da Saúde; Interdisciplinaridade.

ABSTRACT

The estimation of the postmortem interval (PMI) remains one of the most challenging questions in forensic thanatology because postmortem changes are dynamic, progressive, and influenced by multiple interacting factors. Although classical phenomena such as body cooling, rigor mortis, and livor mortis remain essential in medico-legal assessment, their ability to provide precise temporal estimates is limited by individual, environmental, circumstantial, and methodological variables. This study aimed to analyze, through a narrative literature review, the main methods used to estimate PMI, their limitations, and scientific advances proposed to improve forensic accuracy and reliability. Twenty-five indexed scientific articles were selected, prioritizing studies retrievable from major bibliographic databases and recent publications, covering

physical, thanatochemical, entomological, microbiological, molecular, proteomic, metabolomic, thermal, and three-dimensional imaging approaches. Current evidence indicates that no isolated method can universally determine the exact time of death, particularly during late postmortem intervals. Vitreous humor biomarkers, especially potassium and hypoxanthine, show important potential but are affected by temperature, storage, analytical procedures, cause of death, and population characteristics. Forensic entomology and microbiology offer promising approaches for longer intervals, whereas RNA, microRNA, and multi-omics strategies expand molecular investigation. Non-contact imaging methods also demonstrate potential for individualized assessment and improved documentation. PMI estimation should therefore be understood as a probabilistic and multiparametric process in which scene information, environmental conditions, external and internal examination, autopsy findings, and laboratory results are integrated. Coordinated work among crime scene experts, forensic pathologists, and autopsy assistants contributes to the quality of the information chain required for forensic thanatological interpretation.

Keywords: Forensic thanatology; Postmortem interval; Forensic Medicine; Criminalistics; Autopsy; Health Sciences; Interdisciplinarity.

1 INTRODUÇÃO

O estabelecimento do intervalo pós-morte constitui um dos objetivos mais relevantes da investigação médico-legal, sobretudo quando a cronologia dos acontecimentos pode auxiliar na reconstrução de uma morte suspeita ou violenta. Embora, em determinadas situações, seja possível delimitar aproximadamente o período em que ocorreu o óbito a partir de informações testemunhais, registros eletrônicos ou circunstâncias documentadas, muitos casos chegam à Polícia Científica sem um horário confiável de morte. Nesses cenários, o cadáver passa a representar uma fonte fundamental de informações sobre o tempo decorrido, e a Tanatologia Forense fornece os fundamentos para sua interpretação. A revisão de Singh et al. (2025) destaca que a estimativa do intervalo pós-morte continua essencial para investigações criminais e para outras avaliações médico-legais, ao mesmo tempo em que reúne métodos tradicionais e emergentes desenvolvidos nas últimas décadas.

A dificuldade decorre do caráter contínuo das alterações cadavéricas. A morte não produz uma mudança única e instantânea que possa ser associada de forma linear a um relógio. Após o óbito, processos físicos, químicos, celulares, microbiológicos e ecológicos ocorrem simultaneamente ou em sucessão, modificando temperatura, coloração, rigidez, composição de fluidos e tecidos e, posteriormente, a estrutura corporal. Esses processos recebem interferência de fatores intrínsecos, como idade, composição corporal, doenças e circunstâncias do óbito, e extrínsecos, como temperatura, umidade, vestimentas, cobertura corporal, água, solo e acesso de insetos. Madea (2016) já chamava atenção para a necessidade de incorporar quantitativamente essas variáveis ao raciocínio de estimativa do tempo desde a morte.

Historicamente, a avaliação foi fundamentada sobretudo em três fenômenos: algor mortis, rigor mortis e livor mortis. A temperatura corporal tende a sofrer alteração progressiva após a morte; a rigidez cadavérica decorre de mudanças bioquímicas e estruturais na musculatura; e a lividez resulta do deslocamento gravitacional do sangue após a interrupção da circulação. Esses parâmetros continuam tendo grande utilidade descritiva e podem contribuir para estabelecer uma faixa temporal, mas não devem ser convertidos em tabelas rígidas de minutos ou horas. A literatura mais recente sobre lividez mostra, inclusive, que existe elevada heterogeneidade entre estudos e condições de avaliação, o que limita o uso de cronologias fixas (GOKUL et al., 2026).

No campo tanatoquímico, a análise de fluidos corporais ganhou relevância pela possibilidade de mensurar alterações relacionadas à degradação celular e ao metabolismo pós-morte. O humor vítreo tornou-se uma das matrizes mais investigadas por ser relativamente protegido de contaminação e por apresentar mudanças químicas que podem acompanhar o período pós-morte. Potássio, sódio, cloretos, hipoxantina, ureia, creatinina, glicose e outros compostos foram estudados em diferentes populações e intervalos. Revisões recentes apontam resultados promissores, porém também mostram que diferentes equações, protocolos de coleta e condições de armazenamento produzem estimativas com amplitudes de erro distintas (CARDINALE et al., 2025; SHENOI et al., 2026).

As dificuldades aumentam nos intervalos tardios. Com a decomposição, o conjunto de alterações deixa de depender apenas de fenômenos internos do organismo

e passa a incluir relações com o ambiente e a ecologia da decomposição. A entomologia forense utiliza o desenvolvimento e a sucessão de insetos associados ao cadáver; a microbiologia examina mudanças na comunidade microbiana; e estudos moleculares procuram identificar padrões previsíveis de degradação de RNA, proteínas, lipídios e metabólitos. Franceschetti et al. (2023) ressalta que, especialmente em restos esqueletizados ou em decomposição avançada, ainda não existe um método universalmente preciso e seguro para determinar o tempo desde a morte.

Nos últimos anos, a pesquisa passou a privilegiar modelos multiparamétricos e tecnologias menos invasivas. A combinação entre variáveis físicas e bioquímicas procura reduzir a dependência de um único marcador; estudos de imagem térmica e tridimensional buscam registrar o comportamento térmico do corpo sem contato direto; e abordagens de biologia molecular e ômicas tentam identificar assinaturas relacionadas ao tempo de degradação. Wilk et al. (2021), por exemplo, demonstraram a viabilidade de uma abordagem individualizada, sem contato, baseada em fotogrametria visível e térmica, com modelagem térmica para estimar o intervalo pós-morte.

Apesar desses avanços, existe uma diferença importante entre demonstrar correlação em condições experimentais e produzir uma estimativa confiável em uma ocorrência real. Muitos estudos utilizam amostras pequenas, condições ambientais controladas, modelos animais ou intervalos temporais definidos artificialmente. A revisão de Weisensee e Atwell (2024) destaca que a aplicação forense continua limitada pela escassez de métodos com taxas de erro conhecidas e desempenho validado em situações reais. A discussão sobre confiabilidade, portanto, não é um detalhe metodológico, mas parte central do problema.

No contexto da Polícia Científica, a qualidade da estimativa do intervalo pós-morte depende também da qualidade da informação produzida antes da análise laboratorial. Temperatura ambiente, posição do corpo, vestimentas, condições de cobertura, ambiente de localização, histórico de armazenamento, tempo decorrido até a remoção e condições do transporte podem modificar os parâmetros observados posteriormente. Por isso, o dado tanatológico não deve ser separado do contexto criminalístico. A interpretação melhora quando a cena e o cadáver são tratados como partes de um mesmo processo investigativo.

Essa característica torna o tema diretamente interdisciplinar. O perito criminal documenta e interpreta as condições da cena e os elementos ambientais; o médico-legista realiza o exame médico-legal e integra os achados corporais e laboratoriais; e o auxiliar de autópsia participa do fluxo técnico-operacional da necropsia, contribuindo, conforme protocolos e atribuições institucionais, para o manejo, preparo, organização, identificação e preservação das condições do exame. A qualidade do resultado depende de que essas etapas não sejam executadas como compartimentos isolados.

A partir desse cenário, esta revisão busca analisar os principais métodos utilizados na estimativa do intervalo pós-morte, discutir suas limitações e examinar os avanços recentes que podem ampliar a precisão da Tanatologia Forense. Busca-se ainda discutir a relevância da integração entre Criminalística e Medicina Legal e a contribuição das diferentes funções envolvidas na rotina da investigação de mortes.

2 METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, de abordagem qualitativa e caráter descritivo-analítico. A escolha desse método decorreu do objetivo de integrar conhecimentos oriundos de diferentes subáreas das Ciências Forenses, uma vez que a estimativa do intervalo pós-morte envolve métodos físicos, químicos, biológicos, ecológicos, matemáticos e tecnológicos. A revisão narrativa permite discutir conjuntamente estudos experimentais, revisões, metanálises e trabalhos metodológicos, preservando a análise crítica das limitações de cada abordagem.

A busca bibliográfica foi realizada em setembro de 2026, a partir de registros bibliográficos disponíveis no PubMed/MEDLINE e de páginas oficiais dos periódicos, utilizando combinações dos termos “postmortem interval”, “time since death”, “forensic thanatology”, “postmortem changes”, “vitreous humor”, “forensic entomology”, “microbiome”, “RNA”, “microRNA”, “proteomics”, “metabolomics”, “imaging” e seus equivalentes em português. O levantamento foi direcionado a trabalhos diretamente relacionados à estimativa do intervalo pós-morte e às variáveis que interferem em sua interpretação.

Foram selecionados 25 artigos científicos publicados em periódicos indexados, contemplando revisões sistemáticas, revisões narrativas, estudos comparativos, estudos experimentais e trabalhos de validação. Procurou-se combinar referências clássicas, necessárias para contextualizar os métodos tradicionalmente empregados, com estudos recentes que discutem biomarcadores, microbiologia, entomologia, técnicas de imagem e abordagens ômicas. A seleção final privilegiou artigos com identificação bibliográfica verificável e pertinência direta ao problema estudado.

Foram excluídos textos sem identificação bibliográfica adequada, materiais exclusivamente opinativos, publicações sem relação direta com a estimativa do intervalo pós-morte e referências duplicadas. Também foi adotado cuidado para não tratar resultados de estudos realizados exclusivamente em modelos animais como se constituíssem validação direta para o cadáver humano; quando esses estudos aparecem na discussão, são apresentados como evidência de desenvolvimento metodológico ou geração de hipóteses, e não como técnica clínica consolidada.

A análise do material foi organizada em cinco eixos: fenômenos cadavéricos clássicos; tanatoquímica e fluidos corporais; decomposição, entomologia e microbiologia; biomarcadores moleculares e abordagens ômicas; e métodos tecnológicos e modelos multiparamétricos. A síntese também considerou fatores de confusão, validade externa, repetibilidade, aplicabilidade em campo e necessidade de integração entre informações da cena e da necropsia.

Como se trata de revisão narrativa, não foi realizada metanálise própria nem estabelecida estimativa quantitativa única para o desempenho dos métodos. Os valores numéricos apresentados no texto são aqueles relatados pelos estudos citados e servem para ilustrar o estado da evidência, não para serem utilizados como fórmulas clínicas ou tabelas universais. O artigo procura, assim, preservar uma distinção entre potencial científico, evidência experimental e aplicabilidade pericial.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Tanatologia Forense e intervalo pós-morte

Tanatologia Forense pode ser compreendida como o campo da Medicina Legal dedicado ao estudo da morte, dos fenômenos cadavéricos e das mudanças ocorridas

após o óbito, utilizando esses conhecimentos para responder questões médico-legais. Entre essas questões, a estimativa do intervalo pós-morte ocupa posição estratégica porque estabelece uma dimensão temporal para eventos que precisam ser reconstruídos a partir de evidências. Contudo, é importante distinguir “horário da morte” de “intervalo pós-morte”. O primeiro representa uma hora específica; o segundo corresponde ao período entre o óbito e o momento em que o corpo é examinado. Na prática, a ciência forense frequentemente trabalha com estimativas e intervalos de incerteza, e não com um instante exato.

Madea (2016) ressalta que a determinação do tempo desde a morte só pode ser considerada confiável quando o erro do método é conhecido por meio de estudos de campo. Essa observação tem implicação direta para a prática: uma técnica pode apresentar correlação estatística em determinado conjunto experimental e, ainda assim, não oferecer precisão suficiente quando aplicada em outro ambiente. Além disso, Madea (2016) acrescenta que a trajetória temporal de qualquer marcador depende do ponto de partida e da inclinação da curva, ambos modificados por condições internas e externas.

Em termos periciais, isso significa que a pergunta adequada raramente é “qual foi a hora exata da morte?”. Com maior rigor, busca-se responder qual faixa temporal é mais compatível com o conjunto de dados disponível, qual é a margem de incerteza e quais fatores podem deslocar essa estimativa. A literatura recente de Singh et al. (2025) mantém essa perspectiva ao apresentar o IPM como um problema multidisciplinar, no qual métodos clássicos e emergentes devem ser combinados para ampliar a confiabilidade.

3.2 Fenômenos cadavéricos clássicos

Os fenômenos cadavéricos clássicos constituem a base da avaliação tanatológica. O resfriamento, a rigidez e a lividez são observados desde os primeiros momentos após a morte e continuam sendo indispensáveis porque fornecem informações objetivas que podem ser registradas durante o exame. Entretanto, cada fenômeno possui cinética própria e sofre influência de variáveis que precisam ser consideradas. O erro surge quando um valor observado é transformado diretamente em uma idade cadavérica sem considerar o contexto.

A literatura recente reforça que os métodos tradicionais não devem ser abandonados, mas interpretados como componentes de um modelo maior (STRETE et al., 2025). Singh et al. (2025) recomendam a integração entre os sinais clássicos e métodos químicos, moleculares, microbiológicos e tecnológicos. Essa abordagem é coerente com a prática de investigação de morte porque os fenômenos cadavéricos também permitem identificar inconsistências entre a cena e o exame do corpo. A disposição dos livores, por exemplo, pode ajudar a discutir se o corpo permaneceu em determinada posição por tempo suficiente para produzir o padrão observado.

A utilização de parâmetros tradicionais também exige documentação cuidadosa. Temperatura ambiente, posição corporal, área de contato com superfícies, cobertura por roupas ou materiais, ventilação, presença de água e condições do local devem ser registradas. Essas informações não são acessórios: integram as variáveis necessárias para interpretar o fenômeno. Em uma investigação de morte, a observação médica e a observação criminalística devem ser conectadas para que os dados não percam significado quando separados.

3.3 Algor mortis e estimativa baseada na temperatura

O algor mortis corresponde às mudanças na temperatura corporal que ocorrem após a interrupção da produção e distribuição de calor. A velocidade de resfriamento não é constante durante todo o período pós-morte e depende da massa corporal, temperatura interna inicial, roupas, superfície de contato, circulação de ar, água e temperatura ambiental, entre outros fatores. Por essa razão, modelos matemáticos foram desenvolvidos para aproximar a trajetória térmica e reduzir o grau de subjetividade da estimativa.

Henssge e Madea (2004) e Madea (2016) descrevem o uso de modelos baseados no resfriamento corporal como importante referência para o período pós-morte inicial. O modelo de Henssge procura relacionar temperatura retal e condições corporais e ambientais, utilizando fatores de correção. A contribuição histórica desse método está em substituir uma simples regra linear por uma abordagem que incorpora características do corpo e do ambiente.

Estudos de múltiplas sondas também demonstraram que o comportamento térmico do cadáver pode ser mais complexo do que uma curva única. Al-Alousi et al.

(2001), analisando 117 casos forenses, monitoraram temperaturas cerebral, hepática, retal e ambiental e observaram que o resfriamento corporal foi adequadamente representado por equações triexponenciais. Esses dados reforçam a ideia de que a temperatura corporal não segue necessariamente uma queda uniforme e que o método de medição e o local da sonda podem modificar o resultado.

Um problema adicional é a medição propriamente dita. Krap et al. (2016) demonstraram que o uso de determinados dispositivos pode produzir aquecimento tardio do termopar e alterar a temperatura medida no reto. A implicação é importante: não basta possuir uma fórmula de cálculo; a qualidade da medida de entrada é fundamental. Em ambientes periciais, o instrumento, a profundidade e o local de medição, o momento da medição e o histórico térmico do corpo precisam ser registrados para que o resultado possa ser interpretado criticamente.

3.4 Rigor mortis e livor mortis

O rigor mortis representa o desenvolvimento progressivo de rigidez muscular após a morte. Embora seja um fenômeno reconhecível e útil para caracterização do estágio post mortem, sua cronologia não é suficientemente uniforme para funcionar como cronômetro isolado. Temperatura, esforço físico, convulsões, doenças, massa muscular, estado metabólico e condições do corpo podem modificar a velocidade e a intensidade do fenômeno. Por isso, sua observação deve ser descrita com precisão e utilizada em conjunto com outros achados.

A lividez cadavérica, por sua vez, resulta do acúmulo gravitacional de sangue em regiões dependentes depois da cessação da circulação. O padrão de hipóstase pode fornecer informações sobre posição corporal e mudanças de posição, além de integrar a avaliação do período pós-morte. Cohen, Moss e Prahlow (2025) descrevem que a lividez pode aparecer precocemente, tornar-se mais evidente ao longo das horas e sofrer alterações relacionadas à pressão e à posição do corpo.

Mais recentemente, Gokul et al. (2026) realizaram uma revisão sistemática e metanálise de estudos sobre a progressão da lividez e identificaram grande heterogeneidade entre os trabalhos. Embora tenham obtido estimativas agrupadas para aparecimento, formação e fixação, a heterogeneidade foi extremamente elevada, indicando que valores médios não devem ser transformados em cronologias rígidas.

Esse achado é relevante porque atualiza uma noção frequentemente transmitida em manuais: a sequência temporal pode ser geral, mas a sua precisão quantitativa em casos individuais é limitada.

Na prática integrada, o maior valor da lividez pode estar na relação entre o corpo e a cena. Se a distribuição da hipóstase não concordar com a posição em que o cadáver foi encontrado, abre-se uma hipótese sobre deslocamento posterior do corpo. Essa interpretação não determina, sozinha, quando ocorreu a morte, mas acrescenta informação sobre a história post mortem. A utilidade do sinal, portanto, cresce quando ele é correlacionado com a investigação criminalística e com os demais fenômenos cadavéricos.

3.5 Tanatoquímica e humor vítreo

A tanatoquímica busca explorar alterações químicas que ocorrem após a morte. Entre as matrizes disponíveis, o humor vítreo se tornou particularmente importante porque é relativamente isolado, apresenta menor interferência de fenômenos de decomposição nas fases iniciais e permite análise de eletrólitos e pequenos metabólitos. Pigaiani et al. (2020) descrevem o humor vítreo como uma matriz relevante tanto para avaliação de substâncias endógenas quanto para estudos relacionados ao intervalo pós-morte.

O potássio é o marcador mais estudado. Após a morte, alterações na permeabilidade das membranas e na estrutura celular favorecem a liberação intracelular de potássio, contribuindo para aumento de sua concentração no humor vítreo. Essa relação foi estudada desde as últimas décadas do século XX, inclusive em trabalhos de comparação de equações. Madea, Herrmann e Henssge (1990) já demonstravam que diferentes fórmulas aplicadas ao mesmo valor de potássio podiam produzir estimativas distintas. Ortmann, Markwerth e Madea (2016) demonstraram que diferentes fórmulas aplicadas ao mesmo valor de potássio podiam produzir estimativas distintas, evidenciando que a equação escolhida interfere diretamente na precisão.

Em uma amostra maior, Ortmann, Markwerth e Madea (2016) compararam cinco equações em 600 casos e observaram que as fórmulas com inclinações médias próximas a 0,17–0,19 mmol/L por hora produziram melhor desempenho do que modelos com inclinações mais afastadas. O achado reforça que não existe uma

equação “universal” que possa ser aplicada indiscriminadamente a qualquer laboratório, população ou conjunto de dados.

A evidência atual tornou-se mais sofisticada. Sheno et al. (2026), em revisão sistemática de 24 estudos elegíveis, relataram correlações fortes entre potássio vítreo e intervalo pós-morte, mas também destacaram variabilidade associada a condições ambientais, métodos analíticos e populações estudadas. O próprio estudo recomenda a combinação do potássio com outros marcadores e a utilização de modelos multiparamétricos em vez de depender de uma única variável.

Vieira et al. (2024), por meio de revisão sistemática e metanálise, encontraram associação entre potássio e intervalo pós-morte tanto no humor vítreo quanto no líquido sinovial, com sinal de maior potencial do líquido sinovial em determinadas análises. Esses resultados ampliam a discussão para além do humor vítreo e demonstram que o valor do marcador pode depender da matriz escolhida e da janela temporal investigada.

3.6 Hipoxantina e outros marcadores bioquímicos

A hipoxantina ganhou destaque por representar produto da degradação de nucleotídeos e por apresentar aumento progressivo em determinados contextos após a morte. Madea et al. (1994) já investigavam sua associação com o intervalo pós-morte no humor vítreo e no líquido cefalorraquidiano. A hipoxantina já vinha sendo investigada como possível marcador do intervalo pós-morte, e a revisão sistemática de Cardinale et al. (2025) reuniu a evidência contemporânea sobre seu uso na tanatoquímica. A revisão incluiu 24 trabalhos e demonstrou que o marcador pode ser analisado em diferentes fluidos, com predominância do humor vítreo.

Uma conclusão importante dessa literatura é que a hipoxantina não deve ser compreendida como marcador independente de contexto. Cardinale et al. (2025) observaram heterogeneidade relevante nas etapas pré-analíticas e analíticas, além de diferenças na maneira como a relação entre concentração e intervalo é modelada. A precisão tende a melhorar quando variáveis adicionais são incorporadas, como temperatura ambiente e retal, peso corporal, ureia e causa da morte. A utilidade da hipoxantina está, portanto, mais próxima de um componente de modelo integrado do que de uma fórmula simples.

Pigaiani et al. (2020) destacam que o humor vítreo contém carboidratos, proteínas, eletrólitos e pequenas moléculas cuja modificação ao longo do tempo pode ser explorada para investigação post mortem. Essa abordagem é promissora porque amplia o conjunto de dados disponíveis, porém exige métodos analíticos consistentes e validação em condições forenses reais. Um biomarcador que funciona sob condições experimentais controladas pode perder desempenho diante de diferenças de temperatura, decomposição, medicação prévia ou circunstâncias de morte.

3.7 Entomologia Forense e decomposição

Em intervalos superiores ao período em que os fenômenos cadavéricos iniciais apresentam maior utilidade, a entomologia forense ganha importância. Insetos necrófagos colonizam o cadáver segundo padrões influenciados pela espécie, temperatura, acesso ao corpo, estágio de decomposição e características do ambiente. A idade de larvas e pupas pode ser relacionada a curvas de desenvolvimento, enquanto a sucessão de espécies pode auxiliar em intervalos mais extensos.

Obafunwa, Roe e Higley (2025) destacam que a entomologia se torna particularmente útil quando o intervalo supera aproximadamente 24 horas e quando o cadáver já apresenta decomposição. Os autores ressaltam, entretanto, que temperatura ambiental e biologia dos insetos são fatores críticos. Um resultado entomológico confiável exige conhecer o microambiente do cadáver, a disponibilidade de recursos e o desenvolvimento das espécies presentes.

Iancu, Dean e Purcarea (2018) discutem a influência da temperatura sobre dípteros necrófagos e comunidades bacterianas, mostrando que a composição ecológica associada ao cadáver muda de acordo com condições ambientais. Essa relação é fundamental porque modelos baseados apenas em temperatura média podem não reproduzir microclimas reais. Sol, sombra, cobertura, solo e exposição à água podem produzir diferenças importantes mesmo em locais geograficamente próximos.

A aplicação da entomologia também depende da qualidade da coleta. O estágio de desenvolvimento dos insetos, o local em que foram encontrados, a temperatura da cena, a presença de ovos, larvas ou pupas e as condições de armazenamento devem ser registrados. O perito criminal participa da documentação do contexto ambiental,

enquanto outros profissionais podem atuar na coleta e no processamento das amostras. A análise do inseto só é tão útil quanto a informação ambiental que a acompanha.

3.8 Microbiologia, sucessão microbiana e relógio microbiano

A decomposição é acompanhada por alterações significativas nas comunidades microbianas do cadáver. A chamada “sucessão microbiana” corresponde a mudanças previsíveis na composição relativa de microrganismos à medida que o tecido se transforma. Essas mudanças despertaram interesse como possível relógio biológico, especialmente porque podem ocorrer em diferentes ambientes e estágios de decomposição.

Moitas, Caldas e Sampaio-Maia (2024) realizaram revisão sistemática sobre microbiologia e intervalo pós-morte. De 144 trabalhos identificados, apenas 14 preencheram os critérios finais, e os estudos selecionados indicaram potencial de utilização de comunidades microbianas como marcadores de etapas da decomposição. A revisão também enfatiza que a aplicação ainda exige maior padronização e validação.

Iancu et al. (2023) estudaram o microbioma cutâneo post mortem em oito cadáveres nas primeiras 12 horas após a chegada ao necrotério, analisando 162 amostras de pele facial e das mãos. Embora tenham observado diferenças de composição entre áreas corporais e mudanças específicas de abundância, não encontraram diferenças significativas globais entre os momentos estudados. O trabalho ilustra tanto a promessa quanto a complexidade do método: o microbioma pode refletir condições individuais, causa de morte e ambiente, mas a variabilidade é considerável.

O principal desafio é separar o sinal temporal de outros sinais. Temperatura, localização do corpo, uso de antibióticos, estado de saúde, doenças, condições ambientais e características do solo podem modificar a microbiota. Por isso, um modelo microbiológico precisa de grande base de dados e validação externa para evitar confundir uma assinatura ambiental ou individual com uma assinatura temporal.

3.9 RNA, degradação molecular e microRNA

Após a morte, a degradação de RNA ocorre de maneira progressiva e diferencial entre tecidos e moléculas. Essa característica levou pesquisadores a investigar perfis de estabilidade e degradação como possíveis marcadores do intervalo pós-morte. A vantagem potencial reside na multiplicidade de alvos: em vez de um único composto, diferentes transcritos podem apresentar curvas de degradação que funcionam como assinatura temporal.

Sampaio-Silva et al. (2013) demonstraram a possibilidade de relacionar perfis de degradação de RNA ao intervalo pós-morte em diferentes tecidos. O estudo ajudou a consolidar a ideia de que a informação molecular persiste por período suficiente para ser utilizada como dado temporal, embora a estabilidade dependa do tecido, temperatura e condições do cadáver.

Thakral et al. (2023), em revisão sistemática especificamente dedicada à estabilidade e degradação do RNA, observaram que grande parte dos estudos foi realizada em modelos não humanos e que apenas uma fração envolveu cadáveres humanos. Essa limitação tem importância prática porque a transposição de resultados experimentais para a rotina médico-legal exige validação específica em humanos e condições reais.

Outra linha é a utilização de microRNAs, pequenas moléculas de RNA relativamente estáveis. Pasaribu et al. (2023) revisaram o potencial do microRNA como marcador biomolecular do intervalo pós-morte e demonstraram que diferentes tecidos e conjuntos de microRNAs têm sido avaliados. Apesar do interesse crescente, a heterogeneidade dos estudos ainda impede a adoção de um painel universal.

3.10 Proteômica, metabolômica e ForensOMICS

A proteômica amplia a investigação para mudanças sistemáticas no conjunto de proteínas presentes em tecidos após a morte. Choi et al. (2019) estudaram alterações do proteoma do músculo esquelético e identificaram proteínas com degradação consistente em diferentes intervalos. Embora parte do trabalho tenha sido realizada em modelos animais, a validação em casos humanos de autópsia mostrou a possibilidade de utilizar determinados marcadores como indicadores temporais.

A metabolômica trabalha de maneira semelhante, porém observando pequenas moléculas e metabólitos. Pesko et al. (2020) investigaram alterações post mortem por metabolômica não direcionada e identificaram compostos que apresentaram evolução temporal previsível em tecidos musculares. A vantagem dessa estratégia é que ela pode revelar diversos marcadores de uma vez, permitindo construir modelos mais ricos do que uma única dosagem.

Bonicelli et al. (2022) avançaram para uma abordagem denominada “ForensOMICS”, combinando metabolômica, lipidômica e proteômica em ossos humanos para explorar o intervalo pós-morte em restos esqueletizados. O estudo utilizou diferentes blocos de dados e integração multivariada, evidenciando que conjuntos de marcadores podem conter informação temporal que não aparece quando cada classe molecular é analisada isoladamente.

Essas tecnologias, contudo, ainda enfrentam desafios consideráveis. Estudos ômicos geram grande número de variáveis, o que aumenta o risco de modelos superajustados quando o número de amostras é pequeno. Para que um marcador seja útil em rotina forense, é necessário demonstrar estabilidade, reprodutibilidade, desempenho em populações independentes e comportamento diante de causas de morte e ambientes distintos. A revisão de Singh et al. (2025) sugere que a tendência é justamente integrar dados de múltiplas origens para superar as limitações de cada técnica.

3.11 Métodos de imagem térmica e tridimensional

A utilização de imagem para estimar o intervalo pós-morte procura explorar a física do resfriamento e outras características do corpo sem a necessidade de procedimentos invasivos ou contato direto. Essa possibilidade é especialmente interessante para melhorar a documentação e preservar o estado do cadáver durante os primeiros exames.

Wilk et al. (2021) combinaram fotogrametria e modelagem termodinâmica para desenvolver uma abordagem individualizada e sem contato. Em validações de laboratório e de cenas de crime, o método apresentou reconstrução do intervalo pós-morte com precisão relevante para a faixa estudada, de aproximadamente 2 a 35 horas. Embora os resultados sejam promissores, o estudo foi realizado em condições

específicas e os autores próprios ressaltam que os resultados devem ser compreendidos dentro do contexto experimental.

A fotografia térmica também pode acrescentar uma dimensão espacial à informação. Em vez de uma única temperatura retal, a câmera permite observar a distribuição térmica do corpo. Isso cria possibilidade de detectar áreas de contato, regiões expostas e diferenças de resfriamento que podem contribuir para modelagens individualizadas.

Na prática, esses métodos podem diminuir interferências causadas pela movimentação ou manipulação precoce do cadáver. Entretanto, continuam dependentes de fatores ambientais e de modelos matemáticos adequados. Ventilação, umidade, superfície de contato, cobertura e postura alteram a troca de calor e precisam estar representadas no algoritmo ou documentadas para posterior correção.

3.12 Intervalo pós-morte tardio e restos esqueletizados

Quando a decomposição avança, muitos marcadores tradicionalmente usados perdem estabilidade ou já não estão disponíveis. Nessa fase, o problema passa a envolver tafonomia, ecologia e antropologia forense, além de métodos moleculares. O intervalo pós-morte tardio é considerado uma das áreas de maior incerteza da Medicina Legal, justamente porque a relação entre tempo e alteração biológica se torna mais dependente do ambiente.

Franceschetti et al. (2023), em revisão da literatura sobre intervalo pós-morte tardio, observaram que não existe atualmente um método preciso e seguro que possa ser aplicado universalmente a restos em decomposição avançada. A revisão enfatiza a necessidade de abordagens multidisciplinares e de novos estudos com maior padronização.

Weisensee e Atwell (2024), ao analisarem três décadas de literatura sobre decomposição humana e tempo desde a morte, chegaram a conclusão semelhante: apesar da grande produção científica, métodos com taxas de erro conhecidas e capazes de atender ao trabalho médico-legal de rotina continuam escassos. Essa constatação é relevante para a atuação pericial porque impede que a existência de muitos estudos seja confundida com a existência de uma técnica consolidada.

Em restos esqueléticos, a combinação de antropologia, tafonomia, química, microbiologia e ômicas oferece caminhos promissores. Bonicelli et al. (2022) demonstraram que os ossos podem preservar alterações moleculares mensuráveis mesmo em intervalos muito superiores aos considerados na tanatologia clássica. Entretanto, a variabilidade ambiental e a necessidade de grandes bases de validação continuam sendo barreiras para uso rotineiro.

3.13 Fatores ambientais e individuais que interferem na estimativa

A maioria das fontes convergem ao apontar que fatores ambientais e individuais representam uma das principais causas de erro na estimativa do intervalo pós-morte. Temperatura é o exemplo mais evidente, mas não é o único. Umidade, chuva, exposição solar, circulação de ar, contato com água, solo, roupas, cobertores, posição corporal e condições de armazenamento influenciam a velocidade das alterações.

As características individuais também importam. Massa corporal, composição de gordura e músculo, idade, doenças, febre, atividade física antes da morte, medicamentos e causa do óbito podem modificar o comportamento de marcadores físicos e bioquímicos. Madea (2016) insiste que não faz sentido estudar qualquer analito ou curva temporal sem considerar os fatores que alteram essa relação.

Em um caso real, esses fatores precisam ser capturados no momento mais próximo possível da localização do corpo. Para o perito criminal, isso implica documentar as características do ambiente. Para a equipe do serviço médico-legal, significa registrar condições do corpo, horários de recebimento e armazenamento e outras informações que possam afetar a análise. O auxiliar de autópsia participa dessa cadeia operacional ao lidar diretamente com o cadáver e com as condições da sala, sempre conforme os protocolos do serviço.

3.14 Modelos multiparamétricos e inteligência analítica

A principal tendência atual é abandonar a busca por um marcador único e avançar para modelos que combinam múltiplas variáveis. O raciocínio é simples: cada fenômeno carrega uma parte da informação temporal e também uma parcela de ruído. Ao integrar temperatura, potássio, hipoxantina, condição ambiental, rigor, lividez ou

marcadores moleculares, o modelo pode capturar padrões que um indicador isolado não consegue representar.

Shenoi et al. (2026) recomendam modelos multiparamétricos para lidar com a variabilidade observada no potássio vítreo. Cardinale et al. (2025) também demonstram que a precisão da hipoxantina aumenta quando fatores adicionais são considerados. Singh et al. (2025) descrevem a interdisciplinaridade e a integração de diferentes famílias de métodos como uma das tendências centrais do campo.

A modelagem estatística, entretanto, precisa ser acompanhada de validação. Um modelo pode apresentar excelente ajuste e, ainda assim, pouca utilidade fora da população em que foi construído. A escolha das variáveis, a independência entre observações, a representatividade da amostra e a avaliação de erro são fundamentais. Em Ciências Forenses, a interpretação deve dar preferência a modelos transparentes e, quando possível, capazes de apresentar intervalos de confiança e distribuição de incerteza.

Inteligência artificial e aprendizado de máquina podem ampliar essa capacidade, especialmente quando existem conjuntos de dados grandes e heterogêneos. Contudo, o ganho computacional não elimina os problemas de origem. Se os dados de treinamento forem enviesados, incompletos ou pouco representativos, o algoritmo reproduzirá essas limitações. O uso responsável da tecnologia exige validação externa, documentação da arquitetura e compreensão das variáveis relevantes.

3.15 Limitações científicas e incerteza pericial

Uma das conclusões mais consistentes da literatura é que a estimativa do intervalo pós-morte deve ser apresentada com incerteza. Isso não significa que os métodos sejam inúteis; significa que a ciência forense precisa distinguir associação temporal de determinação exata. Madea (2016) afirma que a confiabilidade depende da avaliação empírica dos erros, enquanto Weisensee e Atwell (2024) mostram que a escassez de métodos com taxas de erro conhecidas continua sendo um problema importante.

A heterogeneidade dos estudos é outra limitação. Diferenças entre populações, temperatura, método de coleta, técnica laboratorial, equipamento e fórmula de regressão dificultam a comparação direta de resultados. Cardinale et al. (2025) e

Shenoi et al. (2026) identificam precisamente esse problema em revisões recentes sobre tanatoquímica.

O viés de seleção também merece atenção. Estudos podem favorecer cadáveres com informações de horário de morte conhecido, condições ambientais bem documentadas ou armazenamento controlado. Os casos reais, entretanto, são mais complexos. Corpos encontrados dias depois em ambientes desconhecidos, expostos à chuva ou calor, não se comportam como amostras laboratoriais.

A linguagem pericial deve refletir essas limitações. É preferível comunicar uma faixa temporal sustentada pelo método e pelos dados do caso do que produzir um horário aparentemente exato sem suporte suficiente. A expressão da incerteza também permite que a autoridade responsável compreenda o alcance real da evidência, evitando que a perícia seja interpretada além de sua capacidade científica.

3.16 Integração entre cena, necropsia e contexto investigativo

A estimativa do intervalo pós-morte não deve ser produzida exclusivamente dentro da sala de necropsia. Parte das variáveis fundamentais está na cena. Temperatura, exposição, cobertura do corpo, posição, umidade, presença de água, atividade de insetos, condições do solo e histórico de acesso são informações que precisam acompanhar o cadáver. A qualidade dessa informação pode alterar de maneira significativa a interpretação posterior.

O perito criminal exerce papel relevante na documentação e preservação desse contexto. O registro de temperatura ambiental, as características do local, a posição original do corpo, as condições de vestimenta e a documentação fotográfica fornecem dados que podem ser utilizados pelo médico-legista e por especialistas laboratoriais. A cena também pode revelar alterações de posição e eventos ocorridos após a morte.

O médico-legista, por sua vez, integra as informações da cena com fenômenos observados no corpo e com os resultados de exames complementares. A necropsia pode confirmar, refutar ou modificar hipóteses construídas a partir do local. Em determinados casos, um achado inesperado pode justificar exames adicionais ou nova coleta de materiais.

O auxiliar de autópsia atua no fluxo técnico-operacional que permite que a necropsia ocorra com organização, segurança e continuidade. Dentro das atribuições

definidas pela instituição, sua participação na preparação da sala, manejo do cadáver, organização de recipientes e materiais, identificação e encaminhamento conforme os protocolos pode contribuir para preservar as condições necessárias ao exame. Essa atuação não substitui a interpretação médico-legal, mas ajuda a assegurar que ela possa ser realizada com qualidade.

3.17 Cadeia de custódia, registros e qualidade da informação

A estimativa tanatológica também depende de rastreabilidade. Amostras de humor vítreo, sangue, tecidos ou outros materiais podem sofrer alterações durante transporte e armazenamento. O horário da coleta, condições de refrigeração, identificação, método utilizado e tempo até o processamento são informações importantes para interpretação. Uma concentração laboratorial sem histórico pré-analítico completo pode perder parte de seu valor.

No cotidiano da Polícia Científica, o controle desses dados envolve diferentes setores e profissionais. A cadeia de custódia não é apenas uma exigência documental; ela também preserva o contexto científico do material. Se uma amostra ficou sob refrigeração durante determinado período ou foi analisada após atraso significativo, essa informação deve estar disponível para que o perito ou o médico-legista considere eventual influência sobre o resultado.

Procedimentos operacionais padronizados podem reduzir a variabilidade. Formulários e sistemas digitais podem registrar horário de localização, remoção, recebimento e coleta, além de condições ambientais. Essas informações podem alimentar bancos de dados destinados a desenvolver e validar modelos locais de intervalo pós-morte.

3.18 Perspectiva prática para a Polícia Científica

Para a Polícia Científica, a principal contribuição da Tanatologia Forense não está na existência de um teste isolado capaz de indicar a hora da morte, mas na possibilidade de construir uma estimativa baseada em múltiplas linhas de evidência. Isso exige uma cadeia operacional que começa no local, continua no transporte e no recebimento do cadáver, passa pela necropsia e alcança os laboratórios especializados.

Uma prática institucional consistente deve priorizar o registro precoce das variáveis ambientais e circunstanciais. Quanto mais tempo passa, maior a chance de o ambiente e o cadáver serem modificados. A documentação deve permitir que o médico-legista saiba como e onde o corpo foi encontrado e que o perito criminal compreenda quais informações adicionais surgiram no exame post mortem.

Outra oportunidade é fortalecer a coleta padronizada para formação de bancos de dados locais. Modelos desenvolvidos em outros países podem apresentar desempenho diferente em regiões com clima, características corporais, hábitos de armazenamento e fauna distintos. Dados brasileiros, especialmente de regiões com condições climáticas específicas, podem contribuir para modelos mais representativos.

A capacitação deve envolver as diferentes funções. Peritos criminais precisam reconhecer quais variáveis são importantes para o IPM; médicos-legistas precisam compreender as limitações dos métodos laboratoriais; auxiliares de autópsia precisam conhecer o fluxo de materiais e informações que preservem a qualidade do exame. O treinamento conjunto também favorece a comunicação e a linguagem técnica comum.

3.19 Síntese crítica e perspectivas futuras

Quadro 1 – Principais grupos de métodos para estimativa do intervalo pós-morte

Grupo de métodos	Principal informação	Principais limitações
Fenômenos cadavéricos	Temperatura, rigidez e lividez	Alta dependência de ambiente e características individuais
Tanatoquímica	Alterações em humor vítreo e outros fluidos	Variação entre equações, amostras e condições de armazenamento
Entomologia e microbiologia	Sucessão de insetos e microrganismos	Dependência de ambiente, temperatura e contexto de decomposição
Biologia molecular e ômicas	Padrões de RNA, proteínas e metabólitos	Necessidade de validação, padronização e modelos robustos
Imagem e métodos não invasivos	Temperatura, superfície e alterações estruturais	Equipamentos, validação externa e interpretação especializada

Fonte: Elaborado pela autora com base na literatura revisada.

O conjunto da literatura permite observar uma mudança de paradigma. A Tanatologia Forense começou com a interpretação macroscópica de fenômenos cadavéricos e avançou para medições físicas, análises químicas e, mais recentemente, investigação molecular, microbiológica e computacional. Essa evolução não torna os métodos anteriores obsoletos. Ao contrário, os sinais clássicos continuam oferecendo informações importantes, sobretudo quando associados a métodos complementares. O que mudou foi a compreensão de que nenhum sinal isolado deve assumir a responsabilidade por uma conclusão temporal precisa.

A literatura mais recente também é mais cautelosa quanto às limitações. A revisão de Singh et al. (2025), a revisão sistemática de hipoxantina de Cardinale et al. (2025), a revisão de potássio vítreo de Shenoj et al. (2026) e a metanálise de lividez de Gokul et al. (2026) convergem, de formas diferentes, para a importância de controlar heterogeneidade, padronizar métodos e incorporar múltiplos fatores. Essa convergência é relevante porque desloca o debate de “qual é o melhor marcador?” para “qual conjunto de dados produz a estimativa mais confiável para este caso e com qual incerteza?”.

Um ponto que merece atenção é a validação dos métodos em condições próximas da prática. Estudos experimentais são indispensáveis para compreender mecanismos, mas precisam ser seguidos por validação externa, amostras humanas representativas e avaliação de desempenho em cenas reais. A aplicação forense exige previsibilidade diante da diversidade de ambientes, causas de morte e condições de armazenamento. Sem essa etapa, a utilização de um marcador pode gerar uma falsa impressão de precisão. (STRETE et al., 2025).

4 CONCLUSÃO

A estimativa do intervalo pós-morte continua sendo um dos desafios centrais da Tanatologia Forense. A revisão da literatura demonstra que os fenômenos clássicos, como algor mortis, rigor mortis e livor mortis, permanecem fundamentais, mas apresentam variabilidade suficiente para impedir que sejam utilizados como cronômetros isolados. A interpretação adequada depende de documentação do

ambiente, características do cadáver e consideração dos fatores que podem acelerar ou retardar os processos post mortem.

Entre os métodos complementares, a tanatoquímica e a análise do humor vítreo apresentam ampla base científica, especialmente para potássio e hipoxantina. Contudo, os estudos recentes mostram que diferenças de equações, métodos analíticos, armazenamento, temperatura e características populacionais comprometem a universalização dos resultados. Nesse cenário, a combinação de marcadores e o uso de modelos multiparamétricos parecem mais adequados do que a dependência de um único analito.

Para intervalos mais avançados, entomologia e microbiologia apresentam potencial crescente, enquanto RNA, microRNA, proteômica, metabolômica e ForensOMICS ampliam a possibilidade de explorar assinaturas moleculares da decomposição. Métodos de imagem térmica e tridimensional acrescentam uma alternativa não invasiva para documentação e modelagem individualizada. Esses avanços são relevantes, mas ainda requerem validação externa, padronização e estudos em condições reais antes de serem tratados como ferramentas universais.

No contexto da Polícia Científica, a principal conclusão é que o intervalo pós-morte deve ser estimado a partir da integração de informações. A cena fornece variáveis ambientais e contextuais; a necropsia fornece dados médicos e anatômicos; os exames laboratoriais acrescentam marcadores químicos e moleculares. O perito criminal, o médico-legista e o auxiliar de autópsia, dentro de suas respectivas competências e protocolos, integram uma cadeia de trabalho na qual a qualidade de cada etapa influencia a qualidade da estimativa final.

REFERÊNCIAS

AL-ALOUSHI, L. M.; ANDERSON, R. A.; WORSTER, D. M.; LAND, D. V. Multiple-probe thermography for estimating the postmortem interval: I. Continuous monitoring and data analysis of brain, liver, rectal and environmental temperatures in 117 forensic cases. *Journal of Forensic Sciences*, v. 46, n. 2, p. 317-322, 2001. DOI: 10.1520/JFS14964J.

BONICELLI, A.; MICKLEBURGH, H. L.; CHIGHINE, A.; LOCCI, E.; WESCOTT, D. J.; PROCOPIO, N. The “ForensOMICS” approach for postmortem interval estimation from human bone by integrating metabolomics, lipidomics, and proteomics. *eLife*, v. 11, e83658, 2022. DOI: 10.7554/eLife.83658.

CARDINALE, A. N.; DI LORENZO, A.; BELLINO, M.; STRISCIULLO, G.; MUSSI, V.; SABLONE, S. Thanatochemistry and the role of hypoxanthine in the post-mortem interval estimation: a systematic literature review. *International Journal of Legal Medicine*, v. 139, n. 4, p. 1743-1780, 2025. DOI: 10.1007/s00414-024-03378-x.

CHOI, K.-M.; ZISSLER, A.; KIM, E.; EHRENFELLNER, B.; CHO, E.; LEE, S.-I.; STEINBACHER, P.; YUN, K. N.; SHIN, J. H.; KIM, J. Y.; STOIBER, W.; CHUNG, H.; MONTICELLI, F. C.; KIM, J.-Y.; PITTNER, S. Postmortem proteomics to discover biomarkers for forensic PMI estimation. *International Journal of Legal Medicine*, v. 133, n. 3, p. 899-908, 2019. DOI: 10.1007/s00414-019-02011-6.

COHEN, P. R.; MOSS JR., R. J.; PRAHLOW, J. A. Livor Mortis and Forensic Dermatology: A Review of Death-Related Gravity-Dependent Lividity and Postmortem Hypostasis. *Cureus*, v. 17, n. 8, e90760, 2025. DOI: 10.7759/cureus.90760.

FRANCESCHETTI, L.; AMADASI, A.; BUGELLI, V.; BOLSI, G.; TSOKOS, M. Estimation of Late Postmortem Interval: Where Do We Stand? A Literature Review. *Biology*, v. 12, n. 6, 783, 2023. DOI: 10.3390/biology12060783.

GOKUL, G.; MATHUR, A.; TYAGI, S.; ABILASH, S.; YADAV, A.; GUPTA, S. K. Temporal progression of postmortem lividity: a systematic review and meta-analysis. *Forensic Science, Medicine and Pathology*, 2026. Online ahead of print. DOI: 10.1007/s12024-026-01311-9.

HENSSGE, C.; MADEA, B. Estimation of the time since death in the early post-mortem period. *Forensic Science International*, v. 144, n. 2-3, p. 167-175, 2004. DOI: 10.1016/j.forsciint.2004.04.051.

IANCU, L.; DEAN, D. E.; PURCAREA, C. Temperature Influence on Prevailing Necrophagous Diptera and Bacterial Taxa With Forensic Implications for Postmortem Interval Estimation: A Review. *Journal of Medical Entomology*, v. 55, n. 6, p. 1369-1379, 2018. DOI: 10.1093/jme/tjy136.

IANCU, L.; MUSLIM, A.; AAZMI, S.; JITARU, V. Postmortem skin microbiome signatures associated with human cadavers within the first 12 h at the morgue. *Frontiers in Microbiology*, v. 14, 1234254, 2023. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1234254.

STRETE, G.; SĂLCUDEAN, A.; COZMA, A.-A.; RADU, C.-C. Current Understanding and Future Research Direction for Estimating the Postmortem Interval: A Systematic Review. *Diagnostics*, v. 15, n. 15, 1954, 2025. DOI: 10.3390/diagnostics15151954.

MADEA, B. Methods for determining time of death. *Forensic Science, Medicine and Pathology*, v. 12, n. 4, p. 451-485, 2016. DOI: 10.1007/s12024-016-9776-y.

MOITAS, B.; CALDAS, I. M.; SAMPAIO-MAIA, B. Microbiology and postmortem interval: a systematic review. *Forensic Science, Medicine and Pathology*, v. 20, n. 2, p. 696-715, 2024. DOI: 10.1007/s12024-023-00733-z.

OBAFUNWA, J. O.; ROE, A.; HIGLEY, L. A review of the estimation of postmortem interval using forensic entomology. *Medicine, Science and the Law*, v. 65, n. 1, p. 52-64, 2025. DOI: 10.1177/00258024241275893.

ORTMANN, J.; MARKWERTH, P.; MADEA, B. Precision of estimating the time since death by vitreous potassium—comparison of 5 different equations. *Forensic Science International*, v. 269, p. 1-7, 2016. DOI: 10.1016/j.forsciint.2016.10.005.

PASARIBU, R. S.; AUERKARI, E. I.; SUHARTONO, A. W.; AUERKARI, P. A small RNA, microRNA as a potential biomolecular marker to estimate post mortem interval in forensic science: a systematic review. *International Journal of Legal Medicine*, v. 137, n. 5, p. 1313-1325, 2023. DOI: 10.1007/s00414-023-03015-z.

PESKO, B. K.; WEIDT, S.; MCLAUGHLIN, M.; WESCOTT, D. J.; TORRANCE, H.; BURGESS, K.; BURCHMORE, R. Postmortomics: The Potential of Untargeted Metabolomics to Highlight Markers for Time Since Death. *OMICS: A Journal of Integrative Biology*, v. 24, n. 11, p. 649-659, 2020. DOI: 10.1089/omi.2020.0084.

PIGAIANI, N.; BERTASO, A.; DE PALO, E. F.; BORTOLOTTI, F.; TAGLIARO, F. Vitreous humor endogenous compounds analysis for post-mortem forensic investigation. *Forensic Science International*, v. 310, 110235, 2020. DOI: 10.1016/j.forsciint.2020.110235.

SAMPAIO-SILVA, F.; MAGALHÃES, T.; CARVALHO, F.; DINIS-OLIVEIRA, R. J.; SILVESTRE, R. Profiling of RNA degradation for estimation of post mortem [corrected] interval. *PLoS ONE*, v. 8, n. 2, e56507, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0056507.

SHENOI, R. S.; SASIDHARAN, A.; BALACHANDRAN, A. Forensic Utility of Vitreous Potassium Concentration in Estimating Postmortem Interval: A Systematic Review. *Cureus*, v. 18, n. 5, e108128, 2026. DOI: 10.7759/cureus.108128.

SINGH, J.; KUMAR, A.; TRIVEDI, S.; PANDEY, S. K. Advancements in estimating post-mortem interval in medico-legal practice: A comprehensive review. *Legal Medicine*, v. 75, 102627, 2025. DOI: 10.1016/j.legalmed.2025.102627.

THAKRAL, S.; PUROHIT, P.; MISHRA, R.; GUPTA, V.; SETIA, P. The impact of RNA stability and degradation in different tissues to the determination of post-mortem interval: A systematic review. *Forensic Science International*, v. 349, 111772, 2023. DOI: 10.1016/j.forsciint.2023.111772.

VIEIRA, R. B.; VICENTIN-JUNIOR, C. A.; DAMASCENA, N. P.; CALMON SILVA, M.; ARAUJO, A. P. D.; TRINDADE, R. Q.; MORAIS VIEIRA, M. G. D.; CUNHA, E.; DEITOS, A. R.; SANTIAGO, B. M.; MARTINS-FILHO, P. R.; PALHARES-MACHADO, C. E. Biochemical analysis of vitreous humor and synovial fluid in the estimation of early postmortem interval: A meta-analytical approach. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, v. 108, 102782, 2024. DOI: 10.1016/j.jflm.2024.102782.

WEISENSEE, K. E.; ATWELL, M. M. Human Decomposition and Time Since Death: Persistent Challenges and Future Directions of Postmortem Interval Estimation in Forensic Anthropology. *American Journal of Biological Anthropology*, v. 186, Suppl. 78, e70011, 2024. DOI: 10.1002/ajpa.70011.

WILK, L. S.; EDELMAN, G. J.; ROOS, M.; CLERKX, M.; DIJKMAN, I.; VERA MELGAR, J.; OOSTRA, R.-J.; AALDERS, M. C. G. A. Individualised and non-contact post-mortem interval determination of human bodies using visible and thermal 3D imaging. *Nature Communications*, v. 12, 5997, 2021. DOI: 10.1038/s41467-021-26318-4.