

Técnicas moleculares forenses e biomarcadores na diferenciação entre lesões *ante e post-mortem*

T.F.C. Malta ^a, A. T. Silva ^{a,*}, L. N. Jorge ^{a,*}, M. J. Mendes ^a, F. O. David ^a, I.M.B. Pereira ^b

^a Graduandas do curso de Biomedicina da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Campus Lourdes, Belo Horizonte (MG), Brasil.

^b Academia de Polícia Civil do Estado de Minas Gerais, ACADEPOL-MG, Brasil.

*Endereço de e-mail para correspondência: arielleteixeira188@yahoo.com.br Tel.: +55 (31) 97145-4333 ou taynarafcm@gmail.com Tel: +55 (31) 99102-2456

Recebido em 16/09/2025; Revisado em 26/02/2026; Aceito em 13/03/2026

Resumo

A distinção entre lesões *ante-mortem* e *post-mortem* é essencial na Medicina Legal, pois apresenta implicações significativas em investigações criminais e na determinação da causa da morte. Tradicionalmente, essa diferenciação baseia-se em critérios morfológicos e histopatológicos, que, embora úteis, podem ser insuficientes em determinados contextos. Nesse cenário, as técnicas moleculares destacam-se como ferramentas complementares, pois permitem a detecção e quantificação de biomarcadores associados à vitalidade celular. Esta revisão narrativa foi realizada a partir de buscas nas plataformas Google Acadêmico, PubMed e SciELO, utilizando descritores controlados. Foram selecionados estudos originais publicados entre 2014 e 2025, nos idiomas português, inglês e espanhol. Os principais biomarcadores investigados incluem citocinas inflamatórias, interleucinas, enzimas e proteínas, cujos níveis de expressão variam conforme a presença ou ausência de reação vital nas lesões. As técnicas moleculares identificadas para essa análise foram Imunohistoquímica, ELISA, Western Blot, PCR e RT-qPCR. Os dados coletados foram organizados em tabelas comparativas, o que possibilitou a avaliação das vantagens e limitações de cada método. Observou-se que a aplicação dessas técnicas promove maior acurácia na diferenciação entre lesões *ante e post-mortem* e auxilia no esclarecimento de casos forenses. No entanto, ainda são necessários estudos adicionais voltados à padronização dos protocolos, à validação dos biomarcadores mais promissores e à análise da viabilidade dessas técnicas na rotina pericial. A integração da biologia molecular à prática médico-legal representa um avanço promissor para a investigação da vitalidade das lesões e para a consolidação de laudos mais precisos.

Palavras-Chave: Biomarcadores; Medicina Legal; Técnicas moleculares Forenses; Biologia Molecular

Abstract

The distinction between *ante-mortem* and *post-mortem* injuries is essential in Forensic Medicine, as it has significant implications for criminal investigations for determining the cause of death. Traditionally, this differentiation based on morphological and histopathological criteria, which, although useful, may be insufficient in certain contexts. In this scenario, molecular techniques stand out as complementary tools, as they enable the detection and quantification of biomarkers associated with cellular vitality. This narrative review was conducted based on searches in the Google Scholar, PubMed, and SciELO databases using controlled descriptors. Original studies published between 2014 and 2025 in Portuguese, English, and Spanish were selected. The main biomarkers investigated include inflammatory cytokines, interleukins, enzymes, and proteins, whose expression levels vary according to the presence or absence of vital reactions injuries. The molecular techniques identified for this analysis were Immunohistochemistry, ELISA, Western Blot, PCR, and RT-qPCR. The collected data were organized into comparative tables, which enabled the evaluation of each method. The application of these techniques was found to promote greater accuracy in distinguishing between *ante-mortem* and *post-mortem* injuries and to assist in the clarification of forensic cases. However, further studies are still required to standardize protocols, validate the most promising biomarkers, and assess the feasibility of these techniques in routine forensic practice. The integration of molecular biology into medico-legal practice represents a promising advance for investigating lesion vitality and for consolidating more accurate forensic reports.

Keywords: Biomarkers; Forensic Medicine; Molecular Biology Techniques; Molecular Biology

1. INTRODUÇÃO

A determinação da dinâmica dos eventos que levaram à morte é fundamental na Medicina Legal e na prática forense, pois pode esclarecer a causa do óbito, identificar sinais de violência e de tentativa de defesa, direcionar as investigações e definir implicações jurídicas. Para essa análise, é essencial diferenciar lesões *ante-mortem*, *post-mortem* e *peri-mortem*, distinção considerada uma das etapas mais relevantes nas ciências forenses [1].

As lesões *ante-mortem* são aquelas que ocorreram antes da morte do indivíduo, em um período em que ainda há circulação sanguínea e resposta vital do organismo, o que possibilita a observação de sinais de hemorragia, inflamação ou edema. Por outro lado, as lesões *post-mortem* correspondem a eventos ocorridos após o óbito, quando o organismo já não apresenta respostas vitais, caracterizando-se pela ausência de reação tecidual [2]. Segundo Kumara [1], a presença de infiltração de sangue nos tecidos constitui um dos principais indicadores utilizados para diferenciar fraturas *ante-* ou *post-mortem*.

Essa infiltração ocorre principalmente nas fraturas produzidas em vida, quando ainda existe circulação sanguínea ativa e integridade parcial do sistema vascular, permitindo o extravasamento do sangue para as trabéculas e para a medula óssea. Nessas condições, observa-se maior impregnação hemática nas extremidades fraturadas.

Em contrapartida, fraturas *post-mortem* não apresentam infiltração significativa, uma vez que a interrupção da circulação impede o extravasamento ativo do sangue. Além disso, fraturas *ante-mortem* decorrentes de traumas extremamente violentos, associadas a ruptura imediata de grandes vasos e a perda sanguínea maciça, também podem apresentar ausência ou redução da infiltração, devido ao colapso circulatório rápido.

Dessa forma, a maior infiltração ocorre em fraturas *ante-mortem* com manutenção temporária da circulação, enquanto a menor ou inexistente infiltração ocorre em fraturas *post-mortem* ou em lesões *ante-mortem* fulminantes.

O período *peri-mortem* corresponde às lesões ocorridas no momento da morte e apresenta características específicas, como fraturas em ossos “secos”, cuja interpretação é mais complexa, sendo frequentemente associada a eventos traumáticos imediatos ao óbito [2].

A identificação do momento exato da lesão possui impactos significativos, tanto práticos quanto jurídicos, pois pode indicar, por exemplo, se a agressão ocorreu quando a vítima ainda estava viva, o que altera

substancialmente a interpretação de um crime. Essa diferenciação contribui para a reconstrução cronológica dos eventos, e é crucial em casos de homicídio, suicídio ou acidente, permitindo estabelecer com maior precisão a origem e a causa da morte [3].

Diante dessa relevância, torna-se necessário compreender os métodos utilizados para essa diferenciação. Nesse contexto, as técnicas moleculares destacam-se como ferramentas complementares aos métodos tradicionais, como a análise macroscópica e histológica. Essas técnicas possibilitam a identificação, com maior sensibilidade, de marcadores de vitalidade celular, respostas inflamatórias precoces e atividade gênica, como a expressão de mRNAs inflamatórios ou degradação específica de RNAs *post-mortem*, especialmente em casos nos quais os achados morfológicos são inconclusivos [4].

Diante disso, esse artigo teve como objetivo revisar os avanços e as aplicações das técnicas moleculares forenses na distinção entre lesões *ante-mortem* e *post-mortem*, destacando sua importância complementar à análise clássica e seu potencial para ampliar a precisão nas perícias legais.

2. METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, realizada por meio de levantamento bibliográfico sobre a aplicação de técnicas moleculares forenses na distinção entre lesões *ante-mortem* e *post-mortem*.

Essa revisão narrativa foi conduzida por meio de buscas nas bases Google Acadêmico, PubMed e SciELO, utilizando descritores controlados combinados pelos operadores booleanos “AND” e “OR”. Foram incluídos estudos publicados entre 2014 e 2025, nos idiomas português, inglês e espanhol, que abordassem diretamente o tema.

Foram excluídos artigos duplicados, artigos de opinião, artigos de revisão, relatos de caso e estudos fora do período ou dos idiomas estabelecidos. O processo de identificação, triagem e seleção dos estudos está apresentado no fluxograma da metodologia.

Após a seleção, os artigos foram analisados e os dados organizados em tabelas no Microsoft Excel para comparação das técnicas moleculares descritas nos estudos. Ao final, 25 artigos compuseram a base desta revisão (Figura 1).

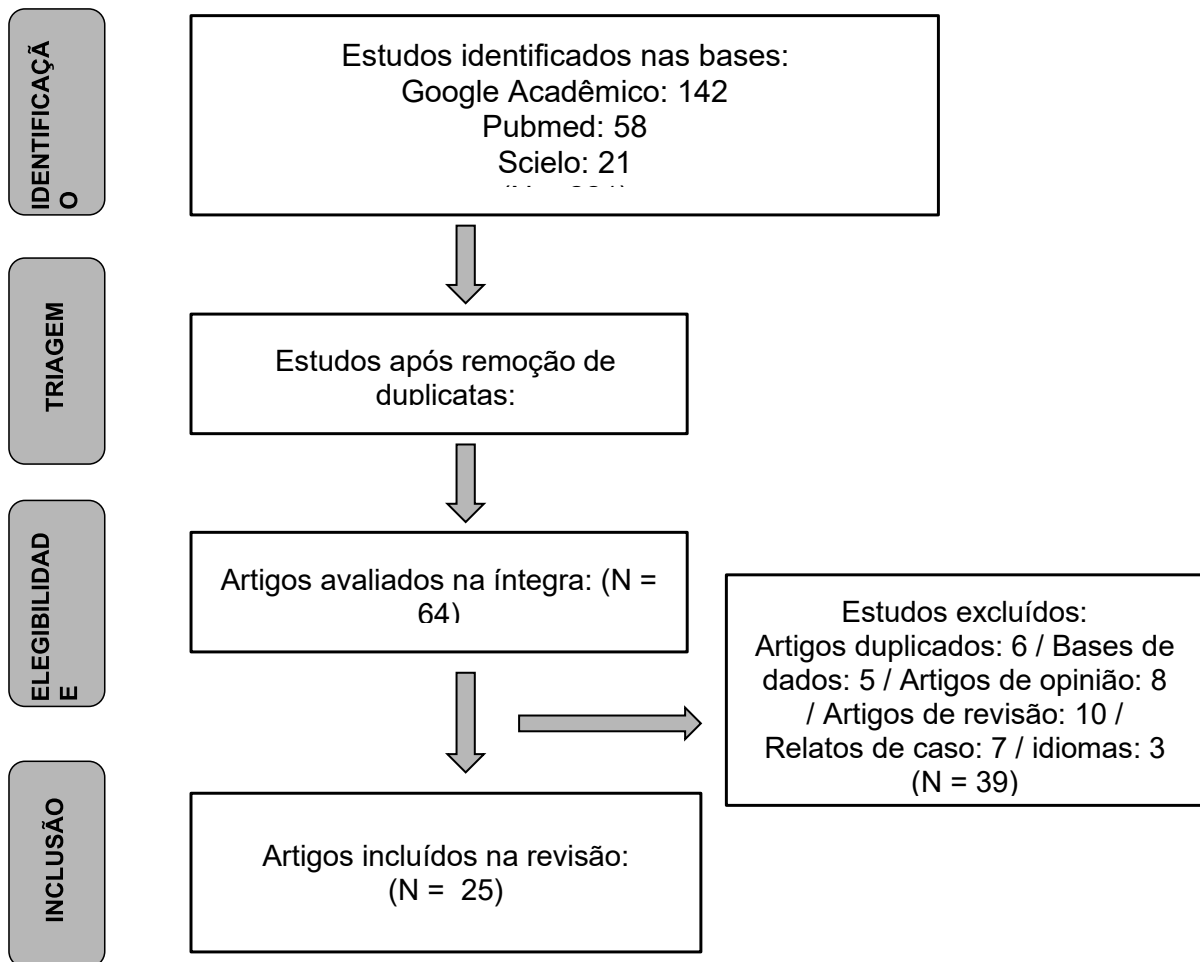


Figura 1: Desenho esquemático da metodologia de revisão narrativa de literatura

3. RESULTADOS

Foram identificados 20 biomarcadores moleculares descritos nos estudos incluídos, com potencial aplicação na diferenciação entre lesões *ante-mortem* e *post-mortem*. Esses marcadores foram agrupados em citocinas inflamatórias, marcadores celulares leucocitários, enzimas associadas à matriz extracelular, proteínas de membrana eritrocitária e biomarcadores neurais.

Entre as citocinas pró-inflamatórias mais frequentemente avaliadas destacam-se IL-1 β , IL-6, IL-8, TNF- α e IL-15. Também foram descritas citocinas reguladoras e anti-inflamatórias, como IFN- γ , IL-4, IL-10, IL-12p70 e IL-13. Marcadores celulares incluíram CD15 e CD45, associados à presença de infiltrado leucocitário. Enzimas como MMP-2, MMP-9 e triptase foram relatadas em estudos que investigaram remodelação tecidual e ativação mastocitária. A glicoforina A (GPA) foi descrita como marcador de hemorragia vital. Em lesões do sistema nervoso central, destacaram-se GFAP e UCH-L1 como biomarcadores neurais.

A Tabela 1 apresenta a síntese dos biomarcadores identificados, incluindo classificação molecular, padrão de expressão descrito em lesões *ante-mortem* e *post-mortem* e tecido de detecção reportado nos estudos analisados [6,7,8,9, 10].

Tabela 1. Biomarcadores moleculares aplicados à diferenciação de lesões *ante* e *post-mortem*.

Biomarcador	Tipo	Expressão em Ante mortem (descrito nos estudos)	Expressão em Post mortem (descrito nos estudos)	Tecido de Detecção
IL-1β	Citocina inflamatória pró-	Alta	Intermediário	Tecido lesionado (diversos tipos, geralmente tecido inflamado)
IL-6	Citocina inflamatória pró-	Alta	Alta	Tecido lesionado e sangue/soro
IL-8	Citocina inflamatória pró-	Intermediária a Alta	Intermediária	Tecido lesionado (especialmente pulmão), sangue/soro e líquido pericárdico
TNF-α	Citocina inflamatória pró-	Alta	Baixa	Tecido lesionado
IFN-γ	Citocina reguladora	Baixa	Baixa	Tecido lesionado
IL-4	Citocina pleiotrópica	Baixa	Muito baixa	Tecido lesionado
IL-12p70	Citocina reguladora	Baixa	Baixa	Tecido lesionado
IL-13	Citocina reguladora	Alta	Baixa	Tecido lesionado
IL-10	Citocina anti-inflamatória	Baixa	Muito baixa	Tecido lesionado
IL-2	Citocina de ativação	Intermediário	Intermediário	Tecido lesionado
CD15	Marcador de neutrófilos	Alta	Baixa	Tecido lesionado (infiltrado leucocitário)
CD45	Pan-leucocitário	Alta	Baixa	Tecido lesionado (infiltrado leucocitário)
MMP-9	Enzima	Alta	Baixa	Tecido lesionado (matriz extracelular)
Glycophorin A (GPA)	Proteína de membrana da hemácia	Alta	Baixa	Tecido (hemácias presentes em hemorragia)
IL-15	Citocina inflamatória	Alta	Baixa	Tecido lesionado
Triptase	Enzima de mastócitos	Alta	Baixa	Tecido lesionado (mastócitos)
MMP-2	Enzima	Alta	Baixa	Tecido lesionado
GFAP	Proteína glial	Alta	Ausente	Cérebro (tecido neural) e fluido cerebrospinal
UCH-L1	Indicador de dano neural	Alta	Ausente	Cérebro (tecido neural) e fluido cerebrospinal

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Foram identificadas três principais abordagens laboratoriais aplicadas na investigação da vitalidade de lesões: imuno-histoquímica, técnicas baseadas em amplificação de ácidos nucleicos (PCR convencional e RT-qPCR) e métodos de detecção proteica, como ELISA e Western blot. As técnicas diferiram quanto ao

alvo molecular analisado (proteínas ou mRNA), sensibilidade analítica e dependência das condições de preservação da amostra. A **Tabela 2** apresenta a síntese comparativa das principais vantagens e limitações descritas nos estudos incluídos [9,10,11,12,13,14,15,16].

Tabela 2: Comparação de técnicas moleculares forenses: Vantagens e Limitações.

Técnicas	Aplicação Principal	Vantagens	Limitações
Imuno-histoquímica	Deteção e localização tecidual de mediadores inflamatórios e infiltrado celular em lesões vitais.	Permite localização espacial do antígeno no tecido.	Sensibilidade reduzida em intervalos <i>post-mortem</i> prolongados e dependência de padronização técnica.
PCR convencional e RT-qPCR	Quantificação de mRNA de biomarcadores associados à resposta inflamatória vital.	Alta sensibilidade para detecção precoce, menos dependente da integridade proteica.	mRNA se degrada rapidamente <i>post-mortem</i> , exige controle rápido.
ELISA/Western blot	Quantificação de proteínas inflamatórias ou estruturais associadas à vitalidade da lesão.	Quantifica proteínas específicas com precisão.	Dependência da preservação proteica e condições de armazenamento da amostra.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Foram identificadas diferentes abordagens laboratoriais aplicadas à investigação da vitalidade de lesões conforme o tipo de trauma analisado. Os estudos incluídos descreveram a utilização de biomarcadores inflamatórios, marcadores celulares, proteínas estruturais e enzimas séricas, avaliados por técnicas como imuno-histoquímica, RT-qPCR, ELISA, Western blot e ensaios bioquímicos *post-mortem*. Observou-se variação na escolha dos biomarcadores de acordo com o mecanismo de lesão, com predomínio de proteínas

neurais em traumas contusos envolvendo sistema nervoso central, citocinas inflamatórias em lesões cortantes e queimaduras, e marcadores musculares ou miocárdicos em casos de eletrocussão e esmagamento. A **Tabela 3** apresenta a síntese das principais abordagens laboratoriais descritas, organizadas segundo o tipo de lesão, biomarcadores investigados, técnicas utilizadas e padrão relatado nos estudos analisados [13, 22, 23, 24, 25].

Tabela 3. Aplicação de abordagens laboratoriais na diferenciação *ante* e *post-mortem* segundo tipo de lesão.

Tipo de Lesão	Biomarcadores Investigados	Técnicas Moleculares Utilizadas	Padrão Relatado nos Estudos
Contusas	GFAP, UCH-L1	ELISA, Western blot, RT-qPCR, Imuno-histoquímica	Aumento em lesões vitais; expressão reduzida ou ausente em tecidos <i>post-mortem</i> sem resposta inflamatória.
Cortantes/Perfuro-contusas	IL-1 β , TNF- α , K ⁺ , Ca ²⁺	Imuno-histoquímica, RT-qPCR, ELISA	Presença de infiltrado inflamatório e aumento de citocinas em lesões vitais; expressão reduzida ou ausente em lesões <i>post-mortem</i> .
Queimaduras	IL-6, TNF- α , leptina, PCT, CRP, bFGF, TGF- α	ELISA, Imuno-histoquímica, RT-qPCR	Elevação de marcadores inflamatórios e fatores de crescimento em queimaduras vitais
Eletrocussão	CK-MB, Troponina I	ELISA, ensaios bioquímicos <i>post-mortem</i>	Aumento de marcadores de lesão miocárdica em contexto de vitalidade.
Esmagamento	Troponina I sérica (sTnI), Mioglobina	ELISA, Western blot	Elevação de marcadores musculares em lesões vitais.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

4. DISCUSSÃO

A compreensão da vitalidade tecidual por meio de evidências moleculares tem se mostrado um avanço significativo na Medicina Legal, especialmente na distinção entre lesões *ante-mortem* e *post-mortem*.

Diversos estudos vêm identificando biomarcadores específicos associados à resposta inflamatória e ao dano celular, bem como técnicas laboratoriais capazes de detectar essas alterações com precisão. A seguir, são apresentados os principais biomarcadores utilizados nesse contexto, as técnicas moleculares empregadas na

sua identificação e a aplicação dessas abordagens em diferentes tipos de lesões forenses.

4.1. Biomarcadores Moleculares na Diferenciação de Lesões

Biomarcadores moleculares correspondem a entidades químicas de origem biológica, como genes, transcritos, proteínas ou metabólitos, capazes de indicar processos fisiológicos, patológicos ou respostas imunes a perturbações no organismo [5]. Eles possuem grande importância na diferenciação de lesões *ante* e *post-mortem*, pois possibilitam estimar o tempo da lesão e se a lesão foi gerada antes ou após o óbito da vítima.

No estudo conduzido por Boschi [6], observou-se que IL-6 e IL-8 apresentaram concentrações detectáveis mesmo após o óbito, com níveis médios superiores em comparação a outras citocinas analisadas. Esse achado é consistente com a síntese apresentada na Tabela 1, na qual ambas as interleucinas demonstraram padrão de expressão detectável em contexto *post-mortem*. A relativa estabilidade dessas moléculas pode estar relacionada à sua maior persistência tecidual ou à dinâmica inflamatória prévia ao óbito, o que sugere cautela na interpretação isolada desses marcadores para fins de determinação da vitalidade da lesão. Assim, embora IL-6 e IL-8 apresentem relevância analítica, sua utilização deve ser considerada em associação com outros biomarcadores e achados periciais.

Em um outro estudo, conduzido por Bertozzi [7], foram testados os biomarcadores Triptase, GPA, IL15, CD 15, CD 45 e MMP9, com a técnica de Imuno-histoquímica, que em seus resultados, mostrou que os biomarcadores testados estavam superexpressos em tecidos de lesões geradas *ante-mortem* permanecendo presentes nos tecidos *post-mortem* (Tabela 1). O tempo de expressão desses biomarcadores em tecidos putrefatos foi de 15 dias, mostrando que o tempo ainda é um desafio enfrentado para a conclusão de feridas.

Em lesões internas, como traumas cranianos, há aumento significativo de biomarcadores como a proteína ácida fibrilar glial (GFAP) e a hidrolase C-terminal da ubiquitina L1 (UCH-L1) no soro, principalmente nas primeiras 24 horas, indicando dano neuronal e glial (Tabela 1). Estudo feito por Papa [8] com 584 pacientes e 1831 amostras, demonstraram que GFAP e UCH-L1, medidos por ELISA no soro, apresentam forte acurácia ($AUC > 0,80$) na identificação de lesões intracranianas em tomografia computadorizada. A detecção desses marcadores logo após o trauma reforça a utilidade na distinção entre lesões ocorridas em vida e aquelas sem resposta inflamatória, compatíveis com o período *post-mortem*.

Nos três estudos [6-8], foi possível perceber que os biomarcadores apresentados são de extrema importância no trabalho pericial para uma melhor análise. Eles obtiveram bons resultados na identificação das feridas *ante* e *post-mortem*, mas apesar dos bons resultados nos estudos, foi possível observar que ainda existem limitações em relação ao tempo da presença das moléculas nas feridas, o que dificulta a identificação e a constatação se a ferida foi realizada *ante* ou *post-mortem*.

4.2. Técnicas Moleculares Aplicadas na Identificação da Vitalidade das Lesões

4.2.1 Imuno-histoquímica (IH)

A imuno-histoquímica (IH) é uma técnica amplamente utilizada na identificação da vitalidade das lesões, por permitir a visualização de antígenos específicos diretamente nos tecidos, preservando sua arquitetura. Essa metodologia se baseia na ligação entre anticorpos marcados e antígenos-alvo presentes nas células lesionadas, revelando proteínas envolvidas em processos inflamatórios e reparativos, como interleucinas (IL-1 β , IL-6), TNF- α , ICAM-1, e moléculas associadas à apoptose e necrose celular [9]. Estudos mostram que esses marcadores permanecem detectáveis mesmo em tecidos putrefeitos, como a pele, por até 15 dias [10].

Além disso, a IH é considerada atualmente como “padrão-ouro” para distinguir entre lesões *ante* e *post-mortem* em tecidos como pele e músculo [11].

4.2.2 PCR e RT-qPCR

Os níveis de mRNA de citocinas inflamatórias e fatores de cicatrização de feridas são medidos usando a PCR em tempo real para determinar a idade da ferida. Como a PCR quantitativa (-qPCR) é uma técnica altamente sensível para detectar até mesmo pequenas mudanças na expressão gênica, é importante ter cuidado em todas as etapas, incluindo a análise de dados [12].

Por exemplo, Ye [13] confirmou a elevação sustentada de IL-6 e IL-20 mRNA em pele humana lesionada até 72 horas após a morte. Esses dados reforçam que a detecção de mRNA por RT-qPCR é uma ferramenta sensível para distinguir lesões *ante-mortem* de *post-mortem*, especialmente quando aplicada em tecidos com intervalo *post-mortem* reduzido [13-14].

4.2.3 ELISA e Western blot

O ensaio imunoenzimático (ELISA) e o Western blot são metodologias complementares com aplicação na detecção de proteínas específicas associadas à resposta inflamatória e ao dano celular. O ELISA apresenta a vantagem de quantificar com alta sensibilidade a concentração de proteínas solúveis, como citocinas e quimiocinas, em amostras teciduais ou líquidas [15]. O Western blot, por sua vez, fornece informações sobre o peso molecular das proteínas expressas, contribuindo para a confirmação da identidade proteica e avaliação de modificações pós-traducionais. Embora ambos sejam menos aplicáveis em amostras altamente autolisadas, ainda representam métodos eficazes para confirmar a vitalidade das lesões em contextos forenses específicos [16].

4.2.4 Comparação entre técnicas: vantagens e limitações

A tabela 2 resume as principais técnicas moleculares, destacando suas vantagens e limitações. Essa comparação auxilia na escolha do método mais adequado conforme o tipo de amostra e as condições do caso forense. A combinação de técnicas (IH + PCR) pode compensar limitações individuais, como tempo de *post-mortem* e degradação biomolecular, aumentando a confiabilidade diagnóstica [10].

O luminol é um método sensível para a detecção da presença de sangue, baseado na reação de quimiluminescência catalisada pelo íon Fe^{2+} da hemoglobina. Contudo, trata-se de um teste presuntivo, não seletivo, uma vez que não diferencia sangue de origem humana de sangue animal.

4.2.5 Outras técnicas complementares

Além dos métodos moleculares clássicos, existem técnicas mais específicas e avançadas que vêm sendo exploradas para distinguir a vitalidade de lesões com maior precisão. A análise ROC (*Receiver Operating Characteristic*) aplicada a biomarcadores permite avaliar a sensibilidade e especificidade de cada marcador, otimizando sua validação clínica [17].

A espectrometria MALDI-TOF, tradicional na identificação microbiana, tem sido adaptada para a análise proteômica de tecidos lesados, detectando perfis proteicos relacionados à inflamação tecidual [17].

A quimioluminescência, como no uso do Luminol e Bluestar Forensics, revela vestígios de sangue invisíveis a olho nu com alta sensibilidade, mesmo em cenários lavados ou antigos. Além disso, pode quantificar proteínas inflamatórias e citocinas em fluidos biológicos com baixa interferência [18].

Técnicas de imagem avançada, como T2-MRI, detectam mudanças teciduais pós-morte, ajudando a estimar intervalo *post-mortem* [19]. Finalmente, a espectrometria de massa clássica tem detecção direta e ágil de biomoléculas em fluidos forenses, como sêmen, facilitando análises rápidas e precisas. [20].

A combinação dessas abordagens pode oferecer uma triagem eficiente e robusta, especialmente em casos complexos ou com degradação acentuada do tecido lesado.

4.2.6 Aplicação prática e contexto profissional

Na rotina forense, a escolha técnica depende do estado do corpo, tipo de lesão e infraestrutura disponível. Lesões aparentes permitem IH em tecidos fixados; já traumas sutis exigem detecção molecular via RT-qPCR ou análises proteômicas. Estudos recentes demonstram elevada expressão de miRNAs como miR-711 e miR-183-3p em queimaduras vitais, sugerindo aplicabilidade clínica mesmo em tecidos pós-morte até 48 horas após o trauma. [21].

Contudo, a escassez de protocolos validados e a variabilidade entre laboratórios limitam o uso como prova pericial. Avanços na padronização, validação multicêntrica e inclusão de tecnologias emergentes poderão consolidar essas metodologias no cotidiano técnico-forense.

4.3 Aplicação das Técnicas em Lesões Corporais

Tendo em vista o que foi abordado anteriormente sobre os biomarcadores e técnicas de biologia molecular, a aplicação dessas técnicas em diferentes tipos de lesões será abordada a seguir. As lesões traumáticas podem ser classificadas em contusas, cortantes e perfuro-contusas, cuja avaliação demanda abordagens específicas para a investigação da vitalidade.

Nas lesões contusas os principais biomarcadores séricos são a GFAP (proteína ácida fibrilar glial) e a UCH-L1 (hidrolase C-terminal da ubiquitina-L1) (biomarcadores sanguíneos cerebrais), que são combinados com técnicas de imagem como a tomografia computadorizada (TC) e a ressonância magnética (RM). As técnicas moleculares utilizadas para este tipo de lesão são a ELISA, Western blot, PCR, ROC [22].

Nas lesões causadas por Queimaduras os principais biomarcadores são IL-6, TNF- α (citocinas pró-inflamatórias) leptina (hormônio envolvido na homeostasia corporal), PCT (biomarcador de inflamação), CRP (produzida pelo fígado em resposta à inflamação), bFGF, TGF- α (fatores de crescimento). As

técnicas moleculares envolvem principalmente ELISA e quimioluminescência [23].

Nas lesões causadas por Eletrocussão os principais biomarcadores são CK-MB e a Troponina I (marcadores bioquímicos que indicam lesão no músculo cardíaco). As técnicas moleculares envolvem testes de bioquímica realizados *post-mortem* [24].

Nas lesões causadas por Esmagamento os principais biomarcadores são sTnI (troponina I específica do músculo esquelético, indica dano direto ao músculo esquelético) e mioglobina (proteína transportadora de oxigênio, indica lesão muscular e risco de dano renal). As técnicas moleculares utilizadas são T2-MRI (imagens obtidas através de uma técnica específica de RM chamada Imagem Ponderada em T2 - T2WI), ELISA e histologia. [25].

Considerando o exposto, é possível compreender que as lesões mais internas como as contusas, e as oriundas de esmagamento e eletrocussão possuem um foco em biomarcadores séricos ou de órgãos profundos (troponina, GFAP, mioglobina). Já lesões de pele como as cortantes e as queimaduras possuem um foco em marcadores inflamatórios e na resposta cicatricial local. A **Tabela 3** resume os principais biomarcadores associados a cada tipo de lesão, bem como as técnicas moleculares empregadas para sua identificação

5. CONCLUSÕES

Portanto, conclui-se que as técnicas moleculares forenses representam um avanço relevante na diferenciação entre lesões *ante* e *post-mortem*, além de proporcionarem maior precisão e confiabilidade às análises periciais.

Por meio da identificação de biomarcadores e uso de testes específicos como ELISA, PCR e imunohistoquímica, permitem a análise da vitalidade dos tecidos, principalmente onde os testes morfológicos não foram conclusivos, essas metodologias complementam os métodos tradicionais e contribuem para evidenciar circunstâncias da morte com maior rigor científico.

Apesar dos avanços na medicina forense, ainda existem desafios relacionados à padronização, à conservação das amostras e à aplicação na prática em diferentes contextos. Nesse cenário, o uso integrado de múltiplas abordagens moleculares mostra-se promissor para fortalecer as conclusões periciais e apoiar decisões judiciais mais fundamentadas.

AGRADECIMENTOS

As acadêmicas de biomedicina da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais gostariam de

agradecer à professora de Perícia e Toxicologia Forense - Ikare Marielle Braga Pereira e a instituição de ensino, pelo apoio e incentivo às nossas pesquisas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] V. Kumar; K. K.; R. Kaushik. Dilemma of antemortem and post-mortem fracture: a brief research. J. Indian Acad. Forensic Med. 46(1): 103-105 (2024).
- [2] N. Schwab; I. Galtés; M. Winter-Buchwalder; M. Ortega-Sánchez; X. Jordana. Osteonal microcracking pattern: a potential vitality marker in human bone trauma. Biology 12(3): 399 (2023).
- [3] F. Scianò; B. Bramanti; V.S. Manzon; E. Gualdi-Russo. An investigative strategy for assessment of injuries in forensic anthropology. Leg. Med. 42: 101632 (2020).
- [4] L. Scott; S.J. Finley; C. Watson; G.T. Javan. Life and death: a systematic comparison of antemortem and postmortem gene expression. Gene 731: 144349 (2020).
- [5] H.R. Zamora-Obando; A.T. Godoy; A.G. Amaral; A.S. Mesquita; B.E.S. Simões; H.O. Reis; et al. Biomarcadores moleculares de doenças humanas: conceitos fundamentais, modelos de estudo e aplicações clínicas. Quím. Nova 45(9): 1098-1113 (2022).
- [6] I. Boschi; M. Gualco; C. Tettamanti; M. Gherardi; M. Laurenti; C. Vignali; et al. Cytokines as new biomarkers of skin wound vitality. Int. J. Legal Med. 135(5): 1881-1892 (2021).
- [7] G. Bertozzi; F. Sessa; L. Cipolloni; B. Baldari; S. Cantatore; R. Testi; et al. Immunohistochemical panel to assess vitality of human skin wounds: a pilot study on decomposed bodies. Front. Med. 8: 802841 (2021).
- [8] L. Papa; G.M. Brophy; R.D. Welch; et al. Time course and diagnostic accuracy of glial and neuronal blood biomarkers GFAP and UCH-L1 in a large cohort of trauma patients with and without mild traumatic brain injury. JAMA Neurol. 73(5): 551-560 (2016).
- [9] K. Jellinghaus; E. Doberentz; B. Madea. Molecular biomarkers in forensic wound age estimation: focus on cytokines. Int. J. Legal Med. 135(4): 1401-1412 (2021).
- [10] G. Bertozzi; M. Ferrara; R. La Russa; G. Pollice; G. Gurgoglione; P. Frisoni; et al. Wound vitality in

decomposed bodies: new frontiers through immunohistochemistry. *Front. Med.* 8: 802841 (2021).

[11] I. Lesnikova; M.N. Schreckenbach; M. Pihlmann Kristensen; L.L. Papanikolaou; S. Hamilton-Dutoit. Usability of immunohistochemistry in forensic samples with varying decomposition. *Am. J. Forensic Med. Pathol.* 39(3): 185-191 (2018).

[12] J.R. Chapman; J. Waldenström. With reference to reference genes: a systematic review of endogenous controls in gene expression studies. *PLoS One* 10(11): e0141853 (2015).

[13] M.Y. Ye; D. Xu; J.C. Liu; H.P. Lyu; Y. Xue; J.T. He; et al. IL-6 and IL-20 as potential markers for vitality of skin contusion. *J. Forensic Leg. Med.* 59: 8-12 (2018).

[14] A. Maiese; A.C. Manetti; N. Iacoponi; E. Mezzetti; E. Turillazzi; M. Di Paolo; et al. State-of-the-art on wound vitality evaluation: a systematic review. *Int. J. Mol. Sci.* 23(13): 6881 (2022).

[15] Thermo Fisher Scientific. ELISA vs Western Blot: when to use each immunoassay technique. *Thermo Fisher Scientific Blog* (2024).

[16] G. Piegari; V. De Pasquale; I. d'Aquino; D. De Biase; J. Caccia; C.P. Campobasso; et al. Evaluation of muscle proteins for estimating the post-mortem interval in veterinary forensic pathology. *Animals* 13(4): 563 (2023).

[17] J. Kriegsmann; M. Kriegsmann; R. Casadonte. MALDI TOF imaging mass spectrometry in clinical pathology: a valuable tool for cancer diagnostics. *Int. J. Oncol.* 46(3): 893-906 (2015).

[18] O.J.C. Soares; G.A. Silva; R.M. Macêdo; D.E.L. Lhama; V. Vescovi; R.J.A. Nascimento; et al. Study on chemiluminescence techniques used in the identification of blood traces in crime scenes. *Res. Soc. Dev.* 11(17): e126111738997 (2022).

[19] D. Sapienza; A. Asmundo; S. Silipigni; U. Barbaro; A. Cinquegrani; F. Granata; et al. Quantitative MRI molecular imaging in the evaluation of early post mortem changes in muscles: a feasibility study on a pig phantom. *arXiv* 1903.02346 (2019).

[20] Y. Jiang; J. Sun; X. Huang; H. Shi; C. Xiong; Z. Nie. Direct identification of forensic body fluids by MALDI-MS. *Analyst* 144(23): 7017-7023 (2019).

[21] G. Pennisi; M. Torrisi; G. Cocimano; et al. Vitality markers in forensic investigations: a literature review. *Forensic Sci. Med. Pathol.* 19: 103-116 (2023).

[22] J.J. Bazarian; R.D. Welch; K. Caudell; D.A. Pokorny; J.L. Welch; J.A. Tyndall; et al. Diagnostic performance of GFAP, UCH-L1, and MAP-2 within 30 and 60 minutes of traumatic brain injury. *JAMA Netw. Open* 7(4): e246181 (2024).

[23] A. Montanari; A. Puggina; F. Muratori; S. Torretta; M. Gallucci; S. Cortese; et al. Increased serum levels of proNGF, mature NGF and interleukins in burn-injured children. *Sci. Rep.* 14(1): 11570 (2024).

[24] G. Gentile; S. Andreola; P. Bailo; M. Boracchi; P. Fociani; A. Piccinini; et al. A pilot study on the diagnosis of fatal electrocution by the detection of myocardial microhemorrhages. *J. Forensic Sci.* 65(3): 840-845 (2020).

[25] Y. Gao; Z. Lu; X. Lyu; Q. Liu; S. Pan. A longitudinal study of T2 mapping combined with diffusion tensor imaging to quantitatively evaluate tissue repair of rat skeletal muscle after frostbite. *Front. Physiol.* 11: 597638 (2021).