

Eletroforese de proteínas plasmáticas em tartarugas ameaçadas de extinção: uma revisão de literatura

PLASMA PROTEIN ELECTROPHORESIS IN ENDANGERED TURTLES: A LITERATURE REVIEW

Adriano Silvio Neto¹

Dois métodos de eletroforese são amplamente utilizados: a eletroforese convencional e a eletroforese capilar. Na técnica convencional, as proteínas migram através dos poros presentes nos suportes de gel, formando zonas distintas no eletroforetograma. Na eletroforese capilar, as proteínas são separadas com base em seu tamanho e outras propriedades físico-químicas, através do fluxo em um tubo capilar. Na medicina veterinária, ambas as técnicas têm sido aplicadas em diferentes contextos, contribuindo para o diagnóstico e prognóstico de doenças. O objetivo desta revisão de literatura é compilar e analisar estudos existentes que utilizaram técnicas de eletroforese de proteínas plasmáticas em tartarugas classificadas como espécies ameaçadas de extinção. A busca para construção da revisão foi conduzida em bases como PubMed, Scopus e Web of Science, considerando estudos até 2025. A eletroforese capilar, devido à sua maior precisão, permite melhor resolução e identificação de um maior número de frações proteicas em comparação com a técnica convencional. Em animais silvestres, a aplicação desses métodos é recente e visa definir intervalos de referência, especialmente em espécies ameaçadas de extinção. Existem poucos estudos sobre o uso dessas técnicas em tartarugas, mas elas têm potencial para auxiliar no diagnóstico de doenças, na determinação de parâmetros de referência para proteínas plasmáticas e na geração de informações prognósticas relevantes. Apesar dos avanços, a padronização das frações proteicas e a expansão dos estudos em populações selvagens representam desafios a serem superados, destacando a importância de pesquisas futuras para aprimorar o conhecimento clínico dessas espécies.

Palavras-chave: Albumina. Eletroforetograma. Globulinas. Intervalos de referência. Animais selvagens.

Two electrophoresis methods are widely used: conventional electrophoresis and capillary electrophoresis. In the conventional technique, proteins migrate through pores in gel supports, forming distinct zones in the electrophoretogram. In capillary electrophoresis, proteins are separated based on their size and other physicochemical properties through flow in a capillary tube. In veterinary medicine, both techniques have been applied in different contexts, contributing to the diagnosis and prognosis of diseases. The objective of this literature review is to compile and analyze existing studies that used plasma protein electrophoresis techniques in turtles classified as endangered species. The search for the review was conducted in databases such as PubMed, Scopus, and Web of Science, considering studies up to 2025. Capillary electrophoresis, due to its greater precision, allows for better resolution and identification of a greater number of protein fractions compared to the conventional technique. In wild animals, the application of these methods is recent and aims to define reference intervals, especially in endangered species. There are few studies on the use of these techniques in turtles, but they have the potential to aid in disease diagnosis, the determination of reference parameters for plasma proteins, and the generation of relevant prognostic information. Despite advances, the standardization of protein fractions and the expansion of studies in wild populations represent challenges to be overcome, highlighting the importance of future research to improve clinical knowledge of these species.

Keywords: Albumin. Electrophoretogram. Globulins. Reference intervals. Wild animals.

Autor Correspondente:
Adriano Silvio Neto

E-mail: adriano.neto@ufv.br

Declaração de Interesses:
Os autores certificam que não possuem implicação comercial ou associativa que represente conflito de interesses em relação ao manuscrito.

¹ Universidade Federal de Viçosa

INTRODUÇÃO

A eletroforese de proteínas é uma técnica laboratorial relativamente simples em nível molecular que separa as proteínas plasmáticas com base em suas cargas elétricas e/ou peso molecular (Vavricka *et al.*, 2009). A técnica eletroforética emprega forças eletroforéticas e eletroendosmóticas, nas quais um polo positivo e um polo negativo geram um potencial elétrico que induz a migração das proteínas. Isso resulta na formação de bandas distintas nas análises de proteínas plasmáticas, representadas por picos de albumina e globulinas alfa, beta e gama (Sharmeen *et al.*, 2022).

Atualmente, são utilizados dois métodos de eletroforese para separação proteica: a eletroforese convencional (também conhecida como eletroforese em gel) e a eletroforese capilar (Naoum, 2012). Na eletroforese convencional, as proteínas migram através de poros em meios como acetato de celulose, gel de agarose ou poliacrilamida, levando à formação de zonas proteicas no eletroforetograma (Oliveira, 2015). Na eletroforese capilar, a separação das proteínas ocorre com base em propriedades físico-químicas, por meio do fluxo dentro de um capilar. Tanto na medicina humana quanto na veterinária, essas técnicas podem ser aplicadas em diversas áreas, contribuindo para a avaliação diagnóstica e prognóstica de uma ampla variedade de doenças (Spudeit *et al.*, 2012).

O uso e as aplicações da eletroforese de proteínas na medicina humana estão bem estabelecidos, especialmente na detecção de gamopatias policlonais (produção de mais de uma classe de imunoglobulinas) e monoclonais (apenas um clone de células produtoras de anticorpos) (Santos *et al.*, 2022). Na medicina veterinária, particularmente em animais de companhia, a quantificação de proteínas de fase aguda tem sido o foco de vários estudos devido ao seu papel no monitoramento da magnitude da resposta inflamatória e como marcadores precoces de doença (Rubio; Schmidt, 2014; Fillipo *et al.*, 2018).

Em espécies não tradicionais, como répteis, aves, anfíbios, peixes, invertebrados, pequenos mamíferos exóticos e mamíferos não domesticados, a eletroforese de proteínas possui diversas aplicações. Estas incluem o auxílio diagnóstico em doenças linfoproliferativas, detecção de inflamação e gamopatias mono ou policlonais, quantificação de albumina, identificação de hiperglobulinemia e papel fundamental no prognóstico e monitoramento de doenças (Cray, 2021).

Nos últimos anos, grupos de pesquisa que trabalham com espécies não tradicionais têm se concentrado em ampliar seus conhecimentos por meio da implementação das técnicas de eletroforese em gel e eletroforese capilar em espécies silvestres, como tartarugas (Toonder *et al.*, 2020), golfinhos-nariz-de-garrafa (*Tursiops truncatus*) (Zayas, 2021) e camaleões (Laube *et al.*, 2018), com o objetivo de estabelecer intervalos de referência específicos por espécie e melhorar a precisão na detecção das frações de proteínas plasmáticas.

Atualmente, são reconhecidas mundialmente sete espécies de tartarugas marinhas. Como resultado da exploração excessiva passada e das pressões ambientais atuais, sejam elas naturais ou antrópicas, quase todas essas espécies são consideradas ameaçadas de extinção. Elas constam em listas de espécies ameaçadas de âmbito

nacional e internacional, incluindo o Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção, publicado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), a Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN, 2024) e o Apêndice I da Convenção sobre o Comércio Internacional das Espécies da Fauna e Flora Selvagens Ameaçadas de Extinção (CITES) (Reis; Goldberg, 2017).

Apesar da ampla utilização da eletroforese em mamíferos domésticos, há escassez de dados consolidados em répteis, especialmente espécies ameaçadas, dificultando interpretações clínicas e esforços conservacionistas.

A revisão de literatura tem como objetivo reunir e examinar pesquisas que aplicaram técnicas de eletroforese de proteínas plasmáticas em tartarugas reconhecidas como espécies ameaçadas de extinção.

METODOLOGIA

Esta revisão narrativa foi conduzida com o objetivo de compilar e analisar a literatura científica existente sobre o uso da eletroforese de proteínas plasmáticas em tartarugas classificadas como espécies ameaçadas de extinção.

A busca bibliográfica foi realizada entre março e abril de 2025 em bases de dados eletrônicas nacionais e internacionais, incluindo PubMed, Scopus, Web of Science, Scielo e Google Scholar. Foram consideradas publicações em inglês, português e espanhol, sem restrição de data inicial, incluindo artigos disponíveis até abril de 2025.

Foram incluídos estudos originais e revisões que abordassem a aplicação de técnicas de eletroforese (convencional ou capilar) na caracterização de proteínas plasmáticas em tartarugas ameaçadas. Excluíram-se resumos de congressos, relatórios técnicos e estudos sem relação direta com o tema.

A análise dos estudos selecionados foi conduzida de forma descritiva e crítica, considerando: (a) a espécie investigada e seu status de conservação; (b) o método de eletroforese utilizado; (c) o número e tipo de frações proteicas identificadas; (d) o contexto clínico ou de conservação; e (e) as limitações metodológicas relatadas pelos autores.

REVISÃO DE LITERATURA

APLICAÇÕES DA ELETROFORESE NA PROTEÔMICA: MÉTODOS DE SEPARAÇÃO E ANÁLISE DE PROTEÍNAS PLASMÁTICAS

A conotação original, e ainda clássica, da proteômica é a caracterização do conjunto completo de proteínas codificadas pelo genoma de um determinado organismo. Para separar proteínas pelo peso molecular, aplica-se a técnica de eletroforese em gel de poli-acrilamida unidimensional (1D-PAGE). As amostras são aplicadas em poços no gel de separação com auxílio de um gel de concentração, que permite o empacotamento de amostras de alto volume, resultando em melhor definição e resolução da separação das moléculas proteicas no gel que corre verticalmente (Veenstra; Yates, 2006).

O fracionamento eletroforético possibilita o movimento das moléculas de proteína por meio da aplicação de um campo elétrico. Esse movimento permite a separação das proteínas em subgrupos com base em sua carga e tamanho molecular (Scott; Stockham, 2011). Dependendo do propósito, diferentes meios de suporte podem ser utilizados na eletroforese. Acetato de celulose ou géis de agarose permitem a separação das proteínas em albumina, $\alpha 1$ -, $\alpha 2$ -, $\beta 1$ -, $\beta 2$ -, $\gamma 1$ - e $\gamma 2$ -globulinas. Na eletroforese em gel de poliacrilamida (PAGE), a separação é baseada na massa das proteínas sob a influência de uma corrente elétrica. Esse método agrupa as proteínas de acordo com seu peso molecular relativo, e não pela família de globulinas, e as bandas resultantes podem ser identificadas por densitometria computadorizada (Eckersall, 2008).

Diversos métodos de coloração de gel podem ser empregados para visualizar as proteínas separadas. Após a fase inicial de fixação, geralmente utilizando uma mistura de etanol e ácido acético, as proteínas são coradas. As técnicas mais comuns incluem a coloração com azul de Coomassie, coloração por prata e coloração fluorescente. A coloração com azul de Coomassie possui uma faixa de sensibilidade de 30 a 100 ng de proteína. Embora menos sensível que outros métodos, tem a vantagem de ser fácil de usar e compatível com espectrometria de massas (Naoum, 2012).

A eletroforese capilar distingue-se por ser a única capaz de separar macromoléculas carregadas utilizando múltiplos modos de separação, como a eletroforese capilar em zona. Além da análise de proteínas plasmáticas, este método permite a identificação de várias outras substâncias, incluindo vitaminas, hidrocarbonetos, ácidos orgânicos e fármacos (Micke, 2004).

Entre os vários métodos utilizados na eletroforese capilar para separação de proteínas, a eletroforese capilar em zona é a mais amplamente empregada devido à sua simplicidade e rapidez. O fracionamento se baseia nas diferenças nas velocidades de migração dos íons sob um campo elétrico aplicado dentro do tubo capilar, que está imerso em uma solução tampão. Quando a amostra é introduzida na extremidade positiva do tubo, uma diferença de potencial é gerada, promovendo a migração dos íons ao longo do capilar, em diferentes velocidades e direções. A análise qualitativa se baseia na comparação dos tempos de migração das substâncias da amostra com os da solução padrão. A análise quantitativa é representada por gráficos que exibem os picos correspondentes a cada fração separada (Spudeit *et al.*, 2012).

Embora o uso da eletroforese capilar ainda seja limitado devido ao alto custo dos equipamentos, esta técnica representa uma excelente alternativa para o fracionamento proteico, pois oferece alta resolução, eficiência analítica, rapidez (tempo de análise de aproximadamente quatro minutos) e requer apenas um volume mínimo de amostra. Quando totalmente automatizada, a técnica aumenta significativamente a produtividade, reduzindo o consumo de reagentes e, conseqüentemente, os custos analíticos (Crivellente *et al.*, 2008).

Os avanços nos métodos analíticos se tornaram ferramentas importantes para definir os limites entre saúde e doença em espécies silvestres, sendo um dos principais

métodos aplicados a determinação de proteínas plasmáticas por meio de técnicas proteômicas, como a eletroforese em gel de poliacrilamida e a eletroforese capilar em zona (Cray, 2021).

AMEAÇAS À SOBREVIVÊNCIA: OS DESAFIOS ENFRENTADOS PELAS TARTARUGAS AMEAÇADAS

O status internacional de conservação das espécies em nível global é publicado na Lista Vermelha da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), que classifica as espécies em diferentes categorias de acordo com o risco de extinção. Essa classificação se baseia em critérios científicos rigorosos, incluindo tamanho populacional, distribuição geográfica, tendências populacionais e ameaças enfrentadas (IUCN, 2025).

As principais categorias da Lista Vermelha da IUCN, dispostas do maior ao menor risco de extinção, incluem: Extinta (EX), quando não há indivíduos vivos conhecidos em nenhuma parte do mundo; Extinta na Natureza (EW), quando a espécie sobrevive apenas em cativeiro ou fora de seu habitat natural original; Criticamente Ameaçada (CR), indicando risco extremamente alto de extinção iminente na natureza; Ameaçada (EN), refletindo alto risco de extinção na natureza em futuro próximo; Vulnerável (VU), denotando alto risco de extinção em médio prazo; Quase Ameaçada (NT), descrevendo espécies que podem tornar-se ameaçadas em breve, mas que ainda não atendem aos critérios das categorias anteriores; Pouco Preocupante (LC), aplicável a espécies amplamente distribuídas e abundantes, sem risco significativo atual; Dados Insuficientes (DD), usada quando há informações insuficientes para avaliar o risco de extinção da espécie; e Não Avaliada (NE), para espécies que ainda não foram analisadas pela IUCN (Reis, 2017).

A Tabela 1 apresenta o status global de ameaça, de acordo com a União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), das espécies de tartarugas cujas proteínas plasmáticas foram analisadas por eletroforese.

Tabela 1. Status global de ameaça, de acordo com a União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), das espécies de tartarugas cujas proteínas plasmáticas foram analisadas por eletroforese. Onde: VU = Vulnerável, NT = Quase Ameaçada, EN = Ameaçada.

<i>Espécie</i>	<i>Nome popular</i>	<i>Status de ameaça</i>
<i>Chelonia mydas</i>	Tartaruga verde	EN (IUCN, 2024)
<i>Testudo hermanni</i>	Tartaruga-de-Hermann	NT (IUCN, 2024)
<i>Testudo graeca</i>	Tartaruga-grega	VU (IUCN, 2024)
<i>Clemmys guttata</i>	Tartaruga-pintada	EN (IUCN, 2024)
<i>Emydoidea blandingii</i>	Tartaruga-de-Blanding	EN (IUCN, 2024)
<i>Caretta caretta</i>	Tartaruga-cabeçuda	VU (IUCN, 2024)

Fonte: Rgez-Baron (2024)

As tartarugas, outrora abundantes nos mares tropicais e temperados até o século XIX, têm sido globalmente submetidas a diversas pressões ambientais (Anderson *et al.*, 2021), principalmente de origem antrópica, que contribuíram para o atual status de ameaça de suas populações e até mesmo para a extinção de algumas espécies (Limpus, 2003). Por essa razão, quase todas as espécies são classificadas como ameaçadas na *Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas* da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN, 2024).

Historicamente, esses animais foram amplamente explorados tanto para o consumo de ovos quanto para a captura de fêmeas destinadas ao consumo e à comercialização de sua carne e derivados, o que resultou em um declínio acentuado da maioria das populações em todo o mundo (Lutcavage, 1997). Nas últimas décadas, o aumento da ocupação humana e da especulação imobiliária tem causado degradação dos ambientes marinhos e costeiros, agravando a ameaça a essas espécies por meio da destruição da vegetação nativa, aumento do tráfego de veículos e embarcações, iluminação artificial, poluição das praias e contaminação dos mares (Milton; Lutz, 2010).

Além disso, o surgimento de doenças (Manire *et al.*, 2008) e os efeitos das mudanças climáticas, como a perda de áreas de desova devido à elevação do nível do mar, alterações drásticas nas proporções sexuais de algumas populações, variações na disponibilidade de alimento e mudanças nos padrões migratórios (Witt *et al.*, 2010), também têm impactado negativamente suas populações. Mais recentemente, atividades relacionadas à exploração e produção de petróleo e gás natural têm imposto riscos ambientais adicionais, incluindo vazamentos e derramamentos de substâncias derivadas de hidrocarbonetos, altamente prejudiciais à saúde dos ecossistemas marinhos (Silva *et al.*, 2008). Além dos impactos gerados durante a produção desses compostos, existem riscos associados aos levantamentos sísmicos marinhos, etapa crítica da exploração petrolífera. Segundo a literatura, essa atividade pode causar estresse agudo, alterações fisiológicas e comportamentais nas tartarugas, bem como perda auditiva temporária nesses animais (Nelms, 2016).

A ingestão de resíduos sólidos de origem antrópica representa uma ameaça significativa às tartarugas e tem sido amplamente documentada nas últimas décadas, inclusive em toda a região do Atlântico Sudoeste (Schuyler *et al.*, 2013). Atualmente, também têm sido registradas e discutidas as interações entre tartarugas e microplásticos. A origem desse tipo de material é atribuída a duas fontes principais: (a) introdução direta por escoamento de micro e nanopartículas manufaturadas presentes em produtos de consumo, como cosméticos e abrasivos; e (b) degradação por intemperismo de detritos plásticos maiores, principalmente aqueles encontrados nas praias. Microplásticos provenientes dessa segunda fonte têm sido transportados e acumulados nos oceanos há pelo menos quatro décadas. As consequências da ingestão de microplásticos ainda estão sendo investigadas, mas hipóteses como bioacumulação ao longo da cadeia trófica e toxicidade dessas partículas já são consideradas (Andrady, 2011).

APLICAÇÃO DA ELETROFORESE DE PROTEÍNAS PLASMÁTICAS EM TARTARUGAS EM RISCO DE EXTINÇÃO

A eletroforese é uma técnica capaz de fornecer informações sobre as proteínas séricas ou plasmáticas, incluindo albumina e globulinas, que podem ser amplamente classificadas com base em seus padrões de migração. As frações de globulinas podem indicar processos inflamatórios, bem como gamopatias policlonais e monoclonais. Além disso, essa técnica pode ser utilizada como auxílio no diagnóstico de doenças linfoproliferativas, embora seu principal uso esteja na detecção de inflamações e gamopatias policlonais (Garcia *et al.*, 2018).

A quantificação precisa da albumina, uma proteína de fase aguda negativa, por meio da eletroforese capilar tem se mostrado mais exata e confiável em comparação a outros métodos, como a técnica de ligação ao corante verde de bromocresol. Quanto ao valor prognóstico, a quantificação de proteínas de fase aguda pode desempenhar papel essencial na avaliação do prognóstico e no monitoramento de diversas doenças (Kumar; Banerjee, 2017).

Alguns estudos já demonstraram respostas significativas das globulinas em espécies não tradicionais. Em certas análises, a albumina mostrou-se um indicador prognóstico relevante em tartarugas marinhas cabeçudas cronicamente debilitadas, com níveis acima de 0,4 g/dL sendo mais preditivos de sobrevivência durante a reabilitação (Stacy *et al.*, 2018). Quatro estudos publicados recentemente realizaram eletroforese de proteínas plasmáticas em tartarugas saudáveis com o objetivo de determinar previamente valores de referência para as frações proteicas de cada espécie, bem como avaliar a utilidade clínica dessas informações em tartarugas doentes.

Nesse contexto de pesquisas ainda preliminares, a eletroforese de proteínas, especialmente a eletroforese capilar, pode fornecer informações relevantes tanto para a pesquisa básica quanto para a investigação e o diagnóstico clínico. Persistem desafios, principalmente relacionados à variabilidade na definição das frações proteicas e na composição dessas frações em espécies não mamíferas. Embora sejam necessários avanços adicionais para melhor compreender as diversas aplicações clínicas da eletroforese, o acesso a metodologias mais modernas e de maior resolução, aliado a dados provenientes de estudos específicos, tende a ampliar significativamente o conhecimento em torno dessa importante ferramenta auxiliar (Cray, 2021).

LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS DOS ESTUDOS REVISADOS

Os estudos revisados apresentam limitações significativas que comprometem a extrapolação dos dados e a padronização da aplicação clínica da eletroforese em espécies de tartarugas ameaçadas. Um dos principais desafios metodológicos observados é o pequeno tamanho amostral, frequentemente restrito a animais cativos ou em reabilitação. Esse viés afeta a validade externa dos intervalos de referência propostos, dada a provável influência de fatores extrínsecos, como dieta controlada, ausência de predação e confinamento.

Além disso, observa-se notável heterogeneidade nos protocolos laboratoriais empregados, especialmente quanto à variabilidade nos métodos de separação (eletroforese em gel versus eletroforese capilar). Essa inconsistência dificulta comparações entre estudos e pode gerar artefatos interpretativos na identificação e quantificação das frações proteicas. A maioria dos trabalhos limita-se à descrição das frações em animais saudáveis, sem validação frente a casos clínicos específicos, como condições inflamatórias ou neoplásicas. Isso restringe a consolidação da eletroforese como ferramenta de triagem diagnóstica ou prognóstica confiável nas espécies avaliadas.

Portanto, é essencial o desenvolvimento de estudos multicêntricos com rigorosa padronização metodológica, amostragem representativa de populações naturais e abordagem integrativa que combine dados clínicos, hematológicos e moleculares, a fim de estabelecer a eletroforese como ferramenta diagnóstica e de conservação em répteis, especialmente em tartarugas ameaçadas.

A eletroforese de proteínas plasmáticas tem se consolidado como uma ferramenta importante na avaliação da saúde de répteis, incluindo tartarugas ameaçadas de extinção. Entretanto, os estudos disponíveis variam quanto às metodologias utilizadas, às espécies avaliadas e às condições fisiológicas dos indivíduos. Uma síntese crítica da literatura mostra que a principal diferença técnica reside entre a eletroforese convencional em gel e a eletroforese capilar, o que influencia diretamente a resolução das frações proteicas identificadas (Toonder *et al.*, 2020; Zayas *et al.*, 2021; Buscaglia *et al.*, 2021).

De modo geral, a eletroforese capilar apresenta maior poder de separação das proteínas plasmáticas, permitindo a detecção de frações adicionais, especialmente dentro do conjunto das globulinas, quando comparada à técnica convencional (Zayas *et al.*, 2021; Buscaglia *et al.*, 2021). Essa distinção é clinicamente relevante porque frações globulínicas mais refinadas podem estar associadas à intensidade e ao tipo de resposta inflamatória ou imunológica. Assim, a capilar pode oferecer sensibilidade aumentada para a identificação de processos inflamatórios crônicos, infecções parasitárias e estímulos antigênicos que podem não ser claramente discriminados pela eletroforese convencional (Leineweber *et al.*, 2019; Leineweber *et al.*, 2021).

Entretanto, a interpretação dos perfis eletroforéticos exige atenção a fatores fisiológicos e ambientais. Estudos demonstraram que o padrão proteico pode variar de acordo com idade, sexo, status reprodutivo, estação do ano e condição corporal, indicando que essas variáveis devem ser consideradas para evitar interpretações equivocadas (Musilova *et al.*, 2015; Andersson *et al.*, 2021). Por exemplo, fêmeas em período reprodutivo tendem a apresentar níveis aumentados de proteínas plasmáticas, enquanto indivíduos juvenis geralmente apresentam concentrações menores (Andersson *et al.*, 2021). Da mesma forma, padrões sazonais relacionados à temperatura ambiental e comportamento reprodutivo podem influenciar a concentração de albumina e globulinas (Musilova *et al.*, 2015).

O estabelecimento de intervalos de referência representa outro desafio relevante. Embora existam dados preliminares para algumas espécies, como *Testudo graeca* e *Testudo hermanni* (Leineweber *et al.*, 2019; Leineweber *et al.*, 2021), além de iguanas e

lagartos como *Pogona vitticeps* (Musilova *et al.*, 2015; Jaensch; Howard, 2022), esses intervalos ainda carecem de validação ampla. Da mesma forma, estudos com tartarugas marinhas, como *Chelonia mydas* e *Caretta caretta*, destacam a importância da eletroforese para auxiliar no diagnóstico

clínico e no monitoramento de processos infecciosos, incluindo parasitoses circulatórias por Spirorchidae (Gicking *et al.*, 2004; Toonder *et al.*, 2020). Contudo, a escassez de amostras de indivíduos comprovadamente saudáveis limita a robustez dos valores de referência para uso clínico rotineiro.

Além de sua aplicação para avaliação individual, a eletroforese de proteínas plasmáticas tem potencial estratégico na conservação, podendo ser empregada como ferramenta de vigilância em populações naturais e em centros de reabilitação. Perfis eletroforéticos alterados podem indicar estresse ambiental, inflamações subclínicas, doenças emergentes ou impactos decorrentes de manejo inadequado de habitats (Andersson *et al.*, 2021; Buscaglia *et al.*, 2021). Assim, a técnica não se restringe ao diagnóstico clínico, mas também atua como indicador de saúde populacional, o que é particularmente relevante para espécies ameaçadas, cuja avaliação clínica é desafiada pela ausência de sinais específicos e pela necessidade de métodos pouco invasivos.

De forma integrada, a literatura indica que a eletroforese capilar tende a oferecer maior precisão e reprodutibilidade, sendo recomendada como método preferencial quando disponível (Zayas *et al.*, 2021). Entretanto, a eletroforese convencional permanece útil em centros de campo e reabilitação, por ser mais acessível e exigir menor infraestrutura (Gicking *et al.*, 2004; Jaensch; Howard, 2022). O avanço na compreensão das frações proteicas e o estabelecimento de intervalos de referência específicos por espécie e contexto ambiental são passos essenciais para consolidar a eletroforese como ferramenta indispensável na medicina de conservação de quelônios.

CONCLUSÃO

A eletroforese, particularmente a eletroforese capilar, consolidou-se como uma ferramenta valiosa na análise de proteínas plasmáticas, com aplicações crescentes na medicina veterinária de espécies não tradicionais, como as tartarugas. Diante do alto risco de extinção que ameaça a maioria dessas espécies e da necessidade crescente de métodos diagnósticos precisos, a técnica destaca-se por sua precisão na resolução de um maior número de frações proteicas e pela capacidade de fornecer informações prognósticas relevantes. Apesar dos avanços recentes, a padronização das frações proteicas e a ampliação dos estudos em populações selvagens permanecem como desafios a serem superados, ressaltando a importância de pesquisas futuras para aprimorar o conhecimento clínico e conservacionista sobre essas espécies.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, K. E.; ADAMOVICZ, L.; MUMM, L. E.; BRADLEY, S. E.; WINTER, J. M.; GLOWAKI, G.; CRAY, C.; ALLENDER, M. C. Plasma electrophoresis profiles of Blanding's

turtles (*Emydoidea blandingii*) and influences of month, age, sex, health status, and location. **PLoS One**, v. 16, n. 10, p. 258-267, 2021.

ANDRADY, A. L. Microplastics in the marine environment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, n. 8, p. 1596–1605, 2011.

BUSCAGLIA, N. A.; INMANN, D. N.; CHEN, S.; ARHEART, K. L.; CRAY, C. Partial hematology, biochemistry, and protein electrophoresis reference intervals for captive spotted turtles (*Clemmys guttata*). **Journal of Zoo and Wildlife Medicine**, v. 52, n. 2, p. 704–709, 2021.

CRAY, C. Protein electrophoresis of non-traditional species: A review. **Veterinary Clinical Pathology**, v. 50, p. 478–494, 2021.

CRIVELLENTI, F.; BONATO, M.; CRISTOFORI, P. Analysis of mouse, rat, dog, marmoset, and human serum proteins by capillary electrophoresis. **Veterinary Clinical Pathology**, v. 37, p. 73–78, 2008.

ECKERSALL, P. D. Proteins, proteomics and the dysproteinemias. In: KANEKO, J. J.; HARVEY, J. W.; BRUSS, M. L. (Eds.). **Clinical Biochemistry of Domestic Animals**. Burlington: Academic Press, 2008. p. 117–155.

FILLIPO, P. A. D.; LANNES, S. T.; MEIRELES, M. A. D.; NOGUEIRA, A. F. S.; RIBEIRO, L. M. F.; GRAÇA, F. A. S.; GLÓRIA, L. S. Acute phase proteins in serum and cerebrospinal fluid in healthy cattle. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 38, n. 4, p. 779–784, 2018.

GARCIA, M. A. V.; VAKTANVOGA, N. B.; GAGO, M. D. M.; GONZALEZ, B. L.; ALONSO, S. G.; RODRIGUEZ, L. F. Overestimation of albumin measured by bromocresol green vs bromocresol purple. **Laboratory Medicine**, v. 49, p. 355–361, 2018.

GICKING, J. C.; FOLLEY, A. M.; HARR, K. E.; RASKIN, R. E. Plasma protein electrophoresis of the Atlantic loggerhead sea turtle. **Journal of Herpetological Medicine and Surgery**, v. 14, n. 3, 2004.

IUCN. **The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.1**. Disponível em: <http://www.iucnredlist.org>. Acesso em: 12 abr. 2025.

IUCN. **Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN. Versão 2025-1**. Disponível em: <https://www.iucn-mts.org/regional-reports>. Acesso em: 2 abr. 2025.

JAENSCH, S.; HOWARD, J. G. Establishment of reference intervals for plasma protein electrophoresis in *Pogona vitticeps*. **Australian Veterinary Journal**, v. 100, n. 9, p. 446–450, 2022.

KUMAR, D.; BANERJEE, D. Methods of albumin estimation in clinical biochemistry. **Clinica Chimica Acta**, v. 469, p. 150–160, 2017.

LAUBE, A.; ALTHERR, B.; CLAUSS, M.; HATT, J. M. Reference intervals for bile acids and protein electrophoresis in *Furcifer pardalis*. **Journal of Herpetological Medicine and Surgery**, v. 28, n. 3–4, p. 99–106, 2018.

LEINEWEBER, C.; STOHR, A.; OFNER, S.; MATHES, K.; MARSCHANG, R. E. Plasma capillary zone electrophoresis and plasma chemistry analytes in tortoises and turtles in fall. **Journal of Zoo and Wildlife Medicine**, v. 51, n. 4, p. 915–925, 2021.

LEINEWEBER, C.; STOHR, A.; OFNER, S.; MATHES, K.; MARSCHANG, R. E. Reference intervals for plasma capillary zone electrophoresis in Hermann's tortoises. **Journal of Zoo and Wildlife Medicine**, v. 50, n. 3, p. 611–618, 2019.

LIMPUS, C. J. The loggerhead turtle in the Pacific. In: BOLTEN, A. B.; WITHERINGTON, B. E. (Eds.). **Loggerhead Sea Turtles**. Washington, DC: Smithsonian Institution Press, 2003. p. 199–209.

LUTCAVAGE, M. E. Human impacts on sea turtle survival. In: LUTZ, P. L.; MUSICK, J. A. (Eds.). **The Biology of Sea Turtles**. Florida: CRC Press, 1997. p. 387–409.

MANIRE, C. A.; STACY, B. A.; KINSEL, M. J.; DANIEL, H. T.; ANDERSON, E. T.; JÚNIOR, J. F. X. W. Proliferative dermatitis in sea turtles. **Veterinary Microbiology**, v. 130, n. 3–4, p. 227–237, 2008.

MILTON, S.; LUTZ, P. Natural and human impacts on turtles. In: SHIGENAKA, G. (Ed.). **Oil and Sea Turtles**. NOAA, 2010. p. 27–34.

MUSILOVA, A.; KNOTKOVA, Z.; PINTEROVA, K.; KNOTEK, Z. Variations of plasma protein electrophoresis in green iguanas. **Veterinary Clinical Pathology**, v. 44, n. 2, p. 243–248, 2015.

NAOUM, P. C. **Eletroforese: Hemoglobinopatias, Proteínas Séricas, Lipoproteínas e DNA**. São Paulo: Santos, 2012.

OLIVEIRA, E. Eletroforese: conceitos e aplicações. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, p. 1129, 2015.

REIS, E. C.; GOLDBERG, D. W. **Biologia, ecologia e conservação de tartarugas marinhas**. 2017. Disponível em: <http://www.projetotamar.org.br>. Acesso em: 2 mai. 2025.

RGEZ-BARON, J. M. **Sea turtles in the Eastern Pacific region**. 2024. Disponível em: <https://www.iucn-mtsg.org/regional-reports>. Acesso em: 2 abr. 2025.

RUBIO, C. P.; SCHMIDT, E. M. S. Proteínas de fase aguda em cães. **Veterinária e Zootecnia**, v. 21, n. 4, p. 492–502, 2014.

SANTOS, G. M.; VIEIRA, A. T. P.; ZENERO, P. L.; DIAS, C. B.; CAVALCANTE, L. B.; SEGURO, F. S.; MARTINEZ, G. A. Doença de depósito de cadeia pesada. **Hematology, Transfusion and Cell Therapy**, v. 44, Supl. 2, p. S1–S689, 2022.

SCHUYLER, Q.; HARDESTY, B. D.; WILCOX, C.; TOWNSEND, K. Global analysis of anthropogenic debris ingestion by sea turtles. **Conservation Biology**, v. 28, n. 1, p. 129–139, 2013.

SHARMEEN, S.; KYEI, I.; HATCH, A.; HAGE, D. S. Analysis of drug interactions with serum proteins by ACE. **Electrophoresis**, v. 43, 2022.

SILVA, R.; LOPES, A. F.; FARIA, R. M. D. Eletroforese de proteínas séricas. **Revista Médica de Minas Gerais**, v. 18, n. 2, p. 116–122, 2008.

SPUDEIT, D. A.; DOLZAN, M. D.; MICKE, G. A. Conceitos básicos em eletroforese capilar. **Scientia Chromatographica**, v. 4, n. 4, p. 287–329, 2012.

STACY, N. I.; LYNCH, J. M.; ARENDT, M. D.; AVENS, L.; MCNEILL, J. B.; CRAY, C.; DAY, R. D.; HARMS, C. A.; LEE, A. M.; ADAMS, M. M. P.; THORVALSON, K.; SEGARS, A. L.; NORTON, T. M. Chronic debilitation in stranded loggerheads. **PLoS One**, v. 13, n. 7, p. e0200355, 2018.

TOONDER, M.; PERRAULT, J. R.; CRAY, C. Comparison of agarose gel and capillary zone electrophoresis. **Journal of Zoo and Wildlife Medicine**, v. 51, n. 1, p. 123–130, 2020.

VAVRICKA, S. R.; BURRI, E.; BEGLINGER, C.; DEGEN, L.; MANZ, M. Serum protein electrophoresis. **Digestion**, v. 79, p. 203–210, 2009.

VEENSTRA, D. T.; YATES, R. J. Proteomics for Biological Discovery. USA: John Wiley & Sons, 2006.

WITT, M. J.; GODFREY, M.; HAWKES, L. A.; GODLEY, B. J.; BRODERICK, A. C. Predicting the impacts of climate change on the loggerhead turtle. **Journal of Experimental Biology**, v. 213, p. 901–911, 2010.

Recebido: 07 de novembro de 2025

Versão Final: 15 de dezembro de 2025

Aprovado: 27 de janeiro de 2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.