

SUBMETIDO 09/03/2022

APROVADO 01/06/2022

PUBLICADO ON-LINE 16/06/2022

PUBLICADO 10/01/2024

EDITOR ASSOCIADO

Vinicius Longo Ribeiro Vilela

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6723>

ARTIGO ORIGINAL

As implicações da senciência de peixes: qual é o impacto do bem-estar animal na piscicultura e na qualidade da carne?

 Laylla Nunes Fernandes ^[1]

 Letícia Maria de Melo ^[2]

 Marieli de Lima ^{[3]*}

[1] laylla.fernandes@ufu.br

[2] leticia.maria@ufu.br

[3] marieli@ufu.br

Faculdade de Engenharia Química (FEQU),
Universidade Federal de Uberlândia (UFU),
Campus Patos de Minas, Brasil

RESUMO: A senciência e o bem-estar na cadeia produtiva de peixes durante algum tempo foram negligenciados. Atualmente, estudos buscam entender a relação entre o estresse e as alterações provocadas nos peixes. O objetivo desta revisão de literatura foi reunir dados hematológicos, bioquímicos, neurofisiológicos e comportamentais de peixes frente ao estresse nessa cadeia produtiva. Para a busca de conteúdo utilizaram-se sete bases científicas e as seguintes palavras-chave: *animal welfare, stunning method, fish, stress, slaughter, humane slaughter, capturing stress, effect of quality e shelf-life*. Para a elaboração da revisão foram utilizadas 42 referências. Os dados revelaram que a criação, captura e transporte de peixes de maneira inadequada podem desencadear maiores níveis de cortisol plasmático, alimentação e crescimento prejudicados. Alternativas como renovação de água em tanques de criação ou estratégias alimentares (uso de óleos essenciais, cúrcuma e probióticos) podem reduzir o estresse e seus prejuízos, propiciando bem-estar na aquicultura. O abate é uma etapa crítica na obtenção de peixes, principalmente se realizado por métodos não humanitários. Pesquisas demonstraram que a insensibilização ou o abate por termonarcore (hipotermia) e o abate por corte branquial favorecem comportamentos aversivos, relativa demora em inconsciência, rápida depleção de ATP, prejuízo ao rigor mortis e na qualidade e rendimento da carne (coloração, textura, oxidação lipídica e desnaturação proteica). Eletrocussão, uso de gases, percussão e a combinação entre esses métodos demonstram ser mais humanitários, favorecendo a qualidade da carne. Porém, as operações de insensibilização e abate são variáveis, sendo necessários mais estudos que definam padrões humanitários para espécies na aquicultura.

Palavras-chave: abate; bem-estar animal; cortisol; insensibilização; peixes.

*Autor para correspondência.

The implications of fish sentience: what is the impact of animal welfare on fish farming and meat quality?

ABSTRACT: *Sentience and welfare in the fish supply chain have been neglected for some time. Currently, studies seek to understand the relationship between stress and the changes caused in fish. The objective of the literature review was to gather hematological, biochemical, neurophysiological, and behavioral data of fish facing with stress in this production chain. For the search of content, seven scientific bases and following keywords were used: animal welfare, stunning method, fish, stress, slaughter, humane slaughter, capturing stress, effect of quality e shelf-life. For the elaboration of the review, 42 references were used. The data revealed that inadequate rearing, capturing, and transportation of fish can trigger higher levels of plasma cortisol, impaired feeding, and growth. Alternatives such as water renewal in breeding tanks or feeding strategies (use of essential oils, turmeric and probiotics) can reduce stress and its losses, providing welfare in aquaculture. Slaughter is a critical step in obtaining fish, especially if it is carried out by non-human methods. Research has shown that stunning or slaughter by thermonarcosis and gill cutting favor aversive behaviors, relative delay in unconsciousness, rapid ATP depletion, impaired rigor mortis, and impaired meat quality and yield (color, texture, lipid oxidation, and protein denaturation). Electrocutation, use of gases, percussion, and the combination of these methods have been shown to be more humane, favoring meat quality. However, the stunning and slaughter operations proved to be variable, requiring further studies to define humane standards for species in aquaculture.*

Keywords: *animal welfare; cortisol; fish; slaughter; stunning.*

1 Introdução

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2020 foi registrada uma produção de 553.243,29 toneladas de peixes no Brasil (IBGE, 2020). Conforme o “Anuário da Piscicultura 2021”, publicado pela Associação Brasileira de Piscicultura, no ano de 2020 o Brasil avançou 5,93% nessa categoria, demonstrando que esse é um nicho de destaque na agropecuária brasileira (Mota, 2021). O relatório da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) de 2020 estima um crescimento na produção de peixes de 179 milhões de toneladas, registrada em 2018, para um total de 204 milhões de toneladas no ano de 2030 (FAO, 2020).

Por um longo período, acreditava-se que os peixes eram animais que não sentiam dor e desconforto. Entretanto, informações sobre a fisiologia animal, alterações sanguíneas, bioquímicas, neurais e comportamentais frente ao estresse, obtidas através de pesquisas com pescado, têm demonstrado que, na verdade, esses são seres sencientes, ou seja, sentem medos, angústias, demonstram ações de aprendizado e reconhecimento prévio de perigos e que, em resposta ao estresse sofrido, se tornam suscetíveis a doenças; tudo isso ocasiona prejuízos na qualidade da carne de pescado. Diante disso, os conceitos na criação de pescado são repensados, o que gera uma demanda por manejos eficazes

na prevenção e controle do estresse e do sofrimento desses animais (Alves *et al.*, 2022; Berlinghieri *et al.*, 2021; Bermejo-Poza *et al.*, 2021; Chinnadurai *et al.*, 2022; Rucinque; Watanabe; Molento, 2018; Sneddon; Wolfenden; Thomson, 2016; Wang *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2017, 2021).

O bem-estar pode ser caracterizado pela saúde, nível de estresse e capacidade cognitiva dos animais (Chandroo; Duncan; Moccia, 2004). A execução de etapas na cadeia produtiva prezando esse aspecto é uma demanda atual e as pesquisas nas áreas de criação, transporte e abate estão em ascensão (Alves *et al.*, 2022; Baldi *et al.*, 2018; Brijs *et al.*, 2021). Apesar de a criação intensiva de peixes ser expressiva, o conceito de bem-estar ainda é ignorado nas criações e, principalmente, nas operações de abate (Bermejo-Poza *et al.*, 2021; Brijs *et al.*, 2021; Chandroo; Duncan; Moccia, 2004; Zhang *et al.*, 2017).

A legislação brasileira foi recentemente atualizada quanto ao bem-estar animal; somente a partir da publicação da Portaria MAPA nº 365, de 16 de julho de 2021, os pescados foram incluídos em um regulamento técnico. A legislação aborda as instruções gerais sobre manejos pré-abate, abate humanitário e insensibilização, porém não traz parâmetros comportamentais específicos para a avaliação da eficácia nas diversas espécies existentes, uma vez que a própria portaria cita, no artigo 30, parágrafo 1º, que o período de jejum deverá ser estimado com base em literatura científica (Brasil, 2021).

Diante do exposto, o objetivo desta revisão foi reunir informações acerca das manifestações fisiológicas e comportamentais de peixes frente a manejos que perturbem o bem-estar, e assim obter embasamento científico para a premissa de serem sencientes. Objetivou-se também o levantamento de dados que relacionem o estresse à qualidade da carne de peixes.

Esta revisão aborda, em seções subsequentes, dados sobre a fisiologia e comportamento dos peixes e como esses aspectos podem ser influenciados perante os diversos estímulos de ameaça e de dor em sua criação, habitat e abate, além das implicações desses estímulos no bem-estar animal. Ademais, foram abordados, mediante dados experimentais obtidos da literatura científica, os efeitos do estresse na cadeia produtiva da piscicultura, bem como as alterações comportamentais, neurais, hormonais e seu impacto na matriz cárnea, além de estratégias para mitigação dos efeitos prejudiciais na produção de peixes.

2 Método da pesquisa

Para a elaboração da revisão bibliográfica, foi definido um tema principal – “bem-estar em peixes” – e utilizaram-se para a pesquisa as seguintes bases científicas: Elsevier (Science Direct), Scielo, Willey Online Library, Springer Link, PLOS One, PubMed e The Royal Society Publishing. As palavras-chave utilizadas durante as pesquisas foram *animal welfare*, *stunning method*, *fish*, *stress*, *slaughter*, *humane slaughter*, *capturing stress*, *effect of quality* e *shelf-life*.

A pesquisa realizada nas bases acima citadas se concentrou em resultados de busca, ou seja, em artigos, publicados nos últimos dez anos, e focalizou trabalhos experimentais com peixes dos últimos seis anos. A partir dos títulos encontrados, os resumos dos artigos foram lidos para uma triagem de conteúdo e aqueles que abordavam parâmetros comportamentais, neurais, fisiológicos em peixes durante a criação, transporte e abate e os efeitos na qualidade da carne foram selecionados para leitura aprofundada e extração de dados para a elaboração desta revisão, que contempla 42 referências, incluindo artigos, dados estatísticos de produção e legislações.

3 Fisiologia e alterações comportamentais em peixes frente a situações de estresse e prejuízo ao bem-estar animal

O sistema nervoso dos peixes é constituído por um pequeno cérebro, glândula pituitária e rim cefálico – esse último órgão intermedeia a via neural, endócrina e imunológica, sendo responsável pela hematopoiese, além de ser composto por células interrenais que produzem cortisol e por células cromafins que produzem catecolaminas. É uma anatomia menos robusta e complexa quando comparada à de mamíferos, mas eficiente na interpretação de estímulos e direcionamento de respostas imunológicas frente a estressores (Nardocci *et al.*, 2014).

De acordo com Sneddon (2019), a teoria da senciência é confirmada em peixes através da percepção de estímulos danosos por método nociceptivo e de que aqueles alteram seu comportamento ao serem expostos a temperaturas extremas e a situações que lhes causam dor, que podem reduzir a maneira de agir ou mesmo paralisar o animal.

3.1 Efeitos do estresse causado pela criação e captura de peixes

Seja em tanques de cultivo, no alto mar ou em rios, os peixes se organizam em uma hierarquia, sendo que a relação de dominância ou subordinação pode ser estressante. Existe a hipótese de que os dominantes possuem nível de cortisol basal menor. Entretanto, à medida que cresce a quantidade de subordinados, a produção de cortisol pelo peixe dominante se eleva, uma vez que a situação passa a exigir maior agressividade e desencadeia estresse. O nível de cortisol também está associado ao aumento da taxa metabólica proveniente de alterações na temperatura da água, no número de indivíduos no grupo, no tamanho dos peixes, entre outras (Bessa *et al.*, 2021).

Quanto à aglomeração como fonte estressora, um estudo demonstrou em salmões que, quanto maior o tempo e quanto mais operações consecutivas de aglomeração fossem realizadas, maior o nível de cortisol, considerando que o valor controle era $314,4 \pm 59,5$ nmol/L⁻¹ e, após duas aglomerações seguidas, o valor de cortisol aumentou, atingindo $736,4 \pm 32,0$ nmol/L⁻¹, justificado pelo desconforto ao qual esses animais são expostos na etapa de agrupamento pré-abate (Erikson *et al.*, 2016).

Outro fator importante no bem-estar dos animais cultivados é a densidade de criação. Por meio de um estudo de meta-análise, Li *et al.* (2021) constataram que a densidade pode afetar o crescimento dos peixes. Em concordância, Wang *et al.* (2019) relataram que a alta densidade (superior a 60 peixes/m³) de dourada (*Megalobrama amblycephala*) prejudicou o crescimento individual, reduziu significativamente o ganho de peso, aumentou a microbiota intestinal patogênica e elevou os valores de cortisol, triglicérideo, alanina aminotransferase, aspartato transaminase, fosfatase alcalina e malondialdeído (MDA), resultados que denotam resposta ao estresse sofrido.

A qualidade da água é vital aos peixes, sendo que níveis inadequados de oxigenação, de concentração salina e de partículas poluentes na água são considerados como fontes geradoras de estresse. A presença de rejeitos industriais e de poluentes orgânicos persistentes exerce impacto negativo na vida de pescados e demais seres aquáticos. A exposição de tilápia (*Oreochromis mossambicus*) a fumaronitrila de forma experimental demonstrou que partículas poluentes podem prejudicar o bem-estar, alterar significativamente a fisiologia, comprometer o sistema imunológico e os tecidos musculares e gerar estresse oxidativo em peixes (Chinnadurai *et al.*, 2022).

Por outro lado, Fatima *et al.* (2021) realizaram um experimento no Paquistão com tilápias criadas sob alta densidade populacional e com circulação de água (220 m³ e 16.500 alevinos) e avaliaram os efeitos no crescimento, estresse, ácidos graxos, aminoácidos e cortisol. Os autores observaram que o nível de cortisol se elevou nos últimos meses da pesquisa, possivelmente devido ao desenvolvimento em tamanho dos animais, às condições de dominância-subordinação e a disputas. Entretanto, o desenvolvimento dos animais e a composição nutricional da carne não foram afetados; esse resultado positivo está possivelmente relacionado com a manutenção da oxigenação da água e com a remoção constante de sólidos.

Em outro estudo, tilápias do Nilo foram submetidas a tratamentos com águas contendo concentrações salinas de 10% e 20%, combinadas a hipóxia ou normóxia. Foi evidenciado que a diminuição do oxigênio (O₂) dissolvido na água em que habitam reduz a resistência da espécie a níveis moderados e altos de salinidade. Os animais em contato com alta concentração salina combinada a hipóxia diminuíram a conversão alimentar e o crescimento e apresentaram comprometimento da saúde e do bem-estar, baixa taxa de sobrevivência, notável intolerância a essa condição de habitat, efeitos deletérios na funcionalidade de tecidos e redução de produtividade e da qualidade da carne (Dawood; Noreldin; Sewilam, 2021).

Estratégias como densidade apropriada, oxigenação e qualidade da água, alimentação adequada e monitoramentos constantes são favoráveis ao bem-estar animal. A utilização de suplementações dietéticas em peixes com intuito de reduzir o estresse vem sendo objeto de pesquisa. Islam *et al.* (2021) avaliaram o resultado da suplementação com própolis, vitaminas C e E e ficocianina alimentar na redução de estresse por calor extremo (32 °C) em robalo europeu (*Dicentrarchus labrax*) e observaram que, com 18 dias de tratamento, os peixes apresentaram melhor capacidade imunológica e resistência a temperaturas extremas, o que favoreceu o crescimento e os parâmetros fisiológicos (redução de glicose e lactato sanguíneo).

O uso experimental de óleos essenciais na dieta de peixes, como os óleos de cravo, lavanda, tomilho e orégano, tem como objetivo proteger o intestino durante situações de estresse térmico agudo. Esses óleos demonstram melhorar o sistema imunológico, a microbiota intestinal e o desenvolvimento dos animais mediante um aumento no apetite e no consumo de ração, estimulado por genes relacionados à ingestão de alimentos, absorção e metabolização de nutrientes, devido à inclusão desses óleos na alimentação dos animais (Ahmadifar *et al.*, 2021; Mirghaed *et al.*, 2020; Yousefi *et al.*, 2020).

Magouz *et al.* (2022) pesquisaram a ação de alimentação de tilápias do Nilo com 0,25 g, 0,5 g e 1 g de óleo essencial de orégano/kg de peixe, por oito semanas, sobre a indução de estresse térmico (32 °C). As tilápias apresentaram melhora na estrutura das vilosidades intestinais, aumento da ação fagocitária e da atividade de lisozima, menor concentração de malondialdeído, associada a ação antioxidante, maior desempenho do crescimento e controle de estresse calórico.

No processo de captura de peixes em alto mar, é comum o uso de redes de cerco que retêm um cardume ou o bombeamento entre as embarcações, favorecendo a aglomeração e o estresse dos animais. Métodos de captura e a perda gradual da consciência durante a insensibilização e o abate são considerados aspectos críticos, pois desencadeiam medo, tentativas exaustivas de fuga, lesões, redução do aporte de O₂ por alta densidade, desgaste de tecido muscular e cardíaco, morte, além do comprometimento da qualidade da carne (Anders *et al.*, 2020; Bermejo-Poza *et al.*, 2021; Concollato *et al.*, 2014; Digre *et al.*, 2016; Roque *et al.*, 2021; Roth; Skåra, 2021; Secci *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2017).

Diante da perspectiva de prejuízo ao bem-estar pela captura, Roth e Skåra (2021) utilizaram redes para pescar arenques do Atlântico (*Clupea harengus*), levando até 30 minutos para recolhê-los do mar, e avaliaram a influência da alta densidade de animais na rede sobre o bem-estar pré-abate e a qualidade de filés. Constataram que a aglomeração propiciou um estado de hipóxia e estresse que desencadeou atividade muscular anaeróbia, mobilização de glicogênio e alto valor de lactato sanguíneo, detectado por pico de 6,3 mmol/L de lactato. Entretanto, o pH não reduziu abaixo de 6,9, ou seja, os peixes não atingiram a exaustão completa, mas as respostas ao estresse de captura foram suficientes para gerar carne de textura mais macia, acúmulo de sangue nos filés e abertura da estrutura da carne (*gaping*).

3.2 Efeitos do estresse causado pelo transporte de peixes

Entre as etapas de manejo, o transporte dos animais vivos é comum e necessário na aquicultura (Ren *et al.*, 2022). O transporte pode ser considerado crítico e estressante para os pescados, desencadeando respostas fisiológicas e desordens metabólicas (elevação de cortisol muscular, de receptores de glicocorticoides e de catecolaminas e inibição da proliferação de células de defesa e da produção de anticorpos). Os efeitos deletérios do transporte podem reduzir a imunidade e elevar a susceptibilidade a doenças e ainda refletir negativamente na qualidade final da carne (Nardocci *et al.*, 2014; Papo *et al.*, 2016; Ren *et al.*, 2022).

O estudo de Papo *et al.* (2016) demonstrou que, imediatamente após o carregamento de corvina-legítima (*Argyrosomus regius*), houve a elevação nos níveis de cortisol muscular e dos receptores de glicocorticoides, mas durante o transporte por 48 horas os parâmetros diminuíram, supostamente por condição de transporte favorável aos animais. Ou seja, mesmo uma etapa estressante como o transporte, se efetuada corretamente, pode minimizar esforços exaustivos dos animais, evitando oxidação e outras reações deteriorantes na carne.

Ren *et al.* (2022) abordaram as alterações no sistema fisiológico de trutas arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) expostas ao estresse e a sua capacidade imunológica em tolerar a hipóxia durante transporte por quatro horas. A concentração de amônia, a densidade aumentada e a agitação durante o transporte alteraram genes do sistema imunológico, indicando estresse nessa espécie. As enzimas antioxidantes foram inibidas e houve um aumento significativo de atividade do malondialdeído. Entretanto, o conjunto de sistemas enzimático e não enzimático de trutas arco-íris foi ativado, demonstrando o aumento da capacidade antioxidante total, colaborando para o índice de 94% de sobrevivência após o transporte.

Na tentativa de reduzir os danos causados pelo transporte, alguns estudos profiláticos vêm sendo feitos com base na alimentação de peixes. Hoseini *et al.* (2022) administraram cúrcuma em concentrações de 0%, 0,5%, 1% e 2% na alimentação de carpa comum (*Cyprinus carpio*) por duas semanas; em seguida, estas foram transportadas por três horas; ao final do transporte, foi efetuada coleta sanguínea. O uso de 0,5% e 1% de cúrcuma proporcionou estimulação significativa do sistema imunológico e efeito antioxidante e antiestresse perante desafios enfrentados durante o transporte. Os autores sugeriram que a concentração de 1% seja utilizada no transporte de carpa comum.

Sutthi e Doan (2020) utilizaram os probióticos *Saccharomyces* e *Bacillus* spp. por 120 dias como suplemento em cultivos de tilápia do Nilo (*O. niloticus*), na tentativa de reduzir os efeitos do estresse de transporte. Um total de 180 tilápias foram utilizadas no experimento e foram anestesiadas com óleo de cravo (100 mg L⁻¹) para a realização de uma coleta sanguínea menos estressante. O nível de cortisol dos grupos tratados com

probióticos foi menor; essa suplementação melhorou o perfil químico e imunológico dos animais e sua resistência ao estresse durante o transporte.

Santos, Rezende e Moron (2020) estudaram o transporte de tambaquis (*Colossoma macropomum*) por 15 e 36 horas e tiveram indicadores bioquímicos, hematológicos e histológicos analisados imediatamente ao fim do transporte e após 96 horas de recuperação. O estudo contemplou um grupo sedado com óleo essencial de cravo na concentração de 10,4 mg de óleo L⁻¹ e outro em água com 0,8% de sal. A água em que foram transportados sedados com óleo preservou o O₂) causou uma redução na excreção de ureia, pois diminui o metabolismo dos peixes. Além de preservar a qualidade da água, o uso fitoterápico se mostrou mais indicado que o uso de sal, pois minimizou as reações ao estresse e permitiu recuperação mais rápida após o transporte.

3.3 Efeitos do estresse durante a insensibilização e o abate e impacto na qualidade da carne de peixes

Em 2009, a European Food Safety Authority (EFSA) determinou que o atordoamento por imersão em gelo – ou atordoamento por hipotermia, conhecido também como termonarcore – com o animal ainda vivo e a exsanguinação sem insensibilização prévia demandam prolongado tempo até se atingir a inconsciência e ocasionam respostas de estresse; assim, recomendou-se o uso de alternativas elétricas ou percussivas para a insensibilização (EFSA, 2009). O uso de dióxido de carbono (CO₂) como técnica atordoante causa reações aversivas e de fuga dos peixes e, por esse motivo, é questionada pela EFSA (2009) e é proibida na Noruega (Baldi *et al.*, 2018). No Brasil, recentemente os pescados foram incluídos em métodos de abate humanitário, por meio da Portaria nº 365, de 16 de julho de 2021 (Brasil, 2021).

Pesquisas têm sido executadas em busca de parâmetros específicos sobre os métodos de atordoamento e suas influências no bem-estar, viabilidade de aplicação, além do reflexo sobre o estabelecimento do *rigor mortis* e sobre atributos microbiológicos, sensoriais e de qualidade dos produtos cárneos. Além disso, busca-se ainda novas informações individualizadas para cada espécie de peixe (Bermejo-Poza *et al.*, 2021; Brijs *et al.*, 2021; Rucinque; Watanabe; Molento, 2018; Zhang *et al.*, 2021).

Para a constatação da inconsciência do pescado, a avaliação comportamental é a estratégia mais utilizada na rotina de abate desses animais. Entretanto, existem estudos que também utilizam parâmetros neurais. Esses padrões podem ser interpretados mediante a redução de amplitude do sinal, a partir de ondas de frequências altas (8 Hz–32 Hz) para baixas (0,5 Hz–8 Hz), ou quando os peixes são estimulados e não ocorre geração de resposta neural, verificada por leitura de eletroencefalograma (EEG). Essa avaliação permite correlacionar a segurança do método de insensibilização empregado e sua capacidade em proporcionar bem-estar (Bowman; Hjelmstedt; Gräns, 2019; Brijs *et al.*, 2021; Daskalova *et al.*, 2016).

O uso de EEG como recurso para constatação do nível de inconsciência se faz importante mediante resultados de pesquisas mais recentes que comprovam que apenas a paralisação de animais, a depender do método de atordoamento pré-abate – por exemplo, exposição ao (CO₂) e termonarcore –, não significa necessariamente uma insensibilização eficaz. Entretanto, a termonarcore ainda consiste na forma de insensibilização mais utilizada nessa cadeia produtiva (Baldi *et al.*, 2018; Bermejo-Poza *et al.*, 2021; Bowman; Hjelmstedt; Gräns, 2019; Brijs *et al.*, 2021; Daskalova *et al.*, 2016; Peres; Santos; Oliva-Teles, 2013).

Diante dessa premissa, Brijs *et al.* (2021) trazem os efeitos de atordoamento na função cerebral de bagre-africano (*Clarias gariepinus*), na Suécia. Os resultados demonstraram que, ao serem imersos em gelo, os movimentos eram perdidos após 1,9 a 6,3 minutos, enquanto a ausência de respostas aos estímulos de luz no EEG foi registrada após 2,6 a 7,6 minutos, ou seja, em alguns animais, mesmo imóveis, existia a interpretação de estímulo no cérebro. E, durante a insensibilização, os animais se debatiam vigorosamente antes de ficarem imóveis, demonstrando comportamento aversivo à técnica.

Quadro 1 ▼

Impacto dos tipos de atordoamento pré-abate em peixes no estabelecimento e resolução do rigor mortis, sobre o pH post mortem e no comportamento e nível de consciência dos animais. *Fonte: dados da pesquisa*

Diante dessas constatações, fica evidente a percepção de sensações e estímulos pelos peixes, o que desencadeia buscas por métodos de insensibilização que causem menor sofrimento aos animais e que, por consequência, evitem perdas de qualidade da carne. O Quadro 1 relata alguns estudos que correlacionam os métodos de insensibilização em peixes e seus respectivos efeitos sobre o comportamento, a dinâmica do pH *post mortem* e o estabelecimento do *rigor mortis*. O atordoamento desencadeia diversas reações fisiológicas e exerce influência direta sobre a qualidade da carne, observadas e relatadas em diversos experimentos discutidos na sequência.

Espécie	Método de atordoamento e abate	Rigor mortis (tempo de início e resolução); pH	Comportamento e consciência	Referência
Truta arco-íris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) (n = 60)	Termonarcose	Rigor mortis precoce por termonarcose; pico em 6 horas <i>post mortem</i> em todos os tratamentos. pH (inicial): maior no atordoamento elétrico (200 mA) e menor em termonarcose	Aos 11 minutos = maior reflexo vestibulo-ocular, movimentos operculares, tentativa de endireitar e resposta a estímulo (pelo frio);	(Bermejo-Poza <i>et al.</i> , 2021)
	Elétrico (50 Hz por 1 s com 200 mA)		Após 21 minutos = respiração maior em peixes atordoados por termonarcose; Após 21 minutos, sem significância o método de atordoamento utilizado (termonarcose ou eletronarcose) em reflexo a dor ou reflexo vestibulo-ocular; Elétrico = inconsciência imediata	
Carpa prateada (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>) (n = 48)	Percussivo (n = 16)	Índice de <i>rigor mortis</i> aumentou nas primeiras 48 horas. pH (inicial): 7,29 e 7,24 respectivamente	Inconsciência imediata	(Zhang <i>et al.</i> , 2017)
	Termonarcose (n = 16)		Perda de motilidade do nado, reação de escape e leves movimentos operculares. Aos 50 minutos: inconsciência	
	Corte branquial (n = 16)	Início do <i>rigor mortis</i> mais lento. pH (inicial): 7,01	Ausência de natação e fuga; leves movimentos operculares. Aos 40 minutos: inconsciência	

Pacu (<i>Piaractus mesopotamicus</i>) (n = 70)	Elétrico (205 V, 50 Hz, ciclo de trabalho de 70% e 1,3 A por 45 s.)	Início da resolução do <i>rigor mortis</i> = 120 horas (205 V) e 168 horas (400 V).	Perda imediata de respostas comportamentais e reflexos; Inconsciência (205 V) por 61,7 ± 13,4 s;	(Rucinque; Watanabe; Molento, 2018)
	Elétrico (400 V, 30 Hz, ciclo de trabalho de 30% e 0,9 A por 30 s.)	<i>Rigor mortis</i> máximo 6 horas <i>post mortem</i>	Inconsciência (400 V) por 50,1 ± 9,6 s	
Tenca (<i>Tinca tinca</i>) (n = 60)	CO	<i>Rigor mortis</i> total em 15 horas (CO), em 9 horas (elétrico) e em 19 horas (percussivo); pH da carne (após 2 dias de armazenamento) = 6,44 (CO), 6,51 (elétrico) e 6,60 (percussivo)	Normal por 840 segundos. Após, problema com equilíbrio e natação reduzida, narcose leve, ausência de natação, equilíbrio e ventilação prejudicada e, por fim, ausência de ventilação de opérculo	(Secci <i>et al.</i> , 2018)
	Elétrico (22 V por 30 s)		Inconsciência imediata, porém, rápido retorno à consciência	
	Percussivo		Inconsciência imediata	
Salmão (<i>Salmo salar</i> L.) (n = 45)	Percussivo	<i>Rigor mortis</i> total em 24 horas	Inconsciência imediata	(Concollato <i>et al.</i> , 2014)
	Controle - percussão	<i>Rigor</i> total em 24 horas. pH (inicial) = 7,06; pH (64 horas) = 6,51	Inconsciência imediata	
	CO por 8 e 20 minutos	CO por 20 min = Início do <i>rigor mortis</i> precoce; <i>rigor</i> total em 10 horas, e resolução em 48 horas. pH (inicial) = 6,74; pH (64 horas) = 6,33	Aos 8 minutos, perda de fluatuabilidade, natação irregular na superfície e convulsões. Aos dez minutos, peixes no fundo com abdômen para cima, ventilação comprometida, inconscientes por alguns segundos e convulsão repentina. Após 20 minutos, ausência de natação e respiração	
Dourada (<i>Sparus aurata</i>) (n = 72)	40% CO ₂ + 30% O ₂ + 30% N ₂	pH inicial = 6,83; pH após 72 horas = 6,38	Após 1 a 3 minutos, perda de equilíbrio e abdômen para cima. Após 30 e 80 segundos, perda de equilíbrio, cabeça para baixo e nado forte, direcionamento da cabeça para superfície e ausência de reação ao agarrar a cauda	(Roque <i>et al.</i> , 2021)
	30% CO ₂ + 70% N ₂	pH inicial = 6,74; pH após 72 horas = 6,35		
	Termonarcose	Queda do pH de forma mais lenta e instauração de <i>rigor mortis tardia</i> . pH inicial = 7,21; pH após 72 horas = 6,41	Não avaliado	

Legenda: *n* representa o número amostral.

De forma geral, os estudos relatados no Quadro 1 demonstram que uma mesma espécie foi submetida a diferentes métodos de insensibilização. No entanto, nenhum dos estudos contemplou diferentes espécies com um mesmo padrão de atordoamento de forma comparativa.

O início do *rigor mortis* e a sua resolução dependerão de reservas energéticas, como glicogênio e lipídeos, sendo que, em situações de estresse pré-abate, haverá a depleção desses compostos antecipadamente, combinada ao catabolismo anaeróbico devido à supressão de O₂. Assim, se ocorrerem situações estressantes ao animal imediatamente antes do abate, haverá aumento do nível de ácido láctico e queda do pH, que influenciarão no estabelecimento precoce do *rigor mortis*, favorecendo a desnaturação proteica e, por consequência, a geração de carne com qualidade inferior, por reduzir a capacidade de retenção de água na carne e por perda por gotejamento (Bermejo-Poza *et al.*, 2021; Damodaran; Parkin; Fennema, 2010; Secci *et al.*, 2018).

Dessa forma, garantir operações menos estressantes e conseqüentemente um período maior entre o início do *rigor mortis*, sua resolução e o beneficiamento poderá favorecer o rendimento, a filetagem, a textura e a vida útil do produto (Rucinke; Watanabe; Molento, 2018).

Em um estudo com trutas, a redução de pH e a instauração de *rigor mortis* ocorreram mais rápido quando aquelas foram submetidas a termonarçose, devido à inconsciência tardia. O grupo submetido a eletrocussão (400 mA) apresentou menores valores de cortisol plasmático e creatina fosfoquinase ($5,2 \pm 0,67$ mg/mL e $104 \pm 0,62$ U/l, respectivamente), além de maior nível de glicogênio muscular, mediante inconsciência imediata, o que mostra que esse é um método menos estressante e mais humanitário (Bermejo-Poza *et al.*, 2021).

Os padrões de descarga elétrica no atordoamento devem ser estabelecidos de forma rigorosa para cada espécie, uma vez que, em situações que excedam o limite adequado, poderá haver uma estimulação da carcaça e, com isso, uma depleção mais rápida de adenosina trifosfato (ATP) e reservas musculares, o que levará ao início precoce do *rigor mortis* (Bermejo-Poza *et al.*, 2021). Essa teoria foi evidenciada em trutas arco-íris (*O. mykiss*) submetidas a 400 mA, em pacus (*Piaractus mesopotamicus*) quando receberam descarga elétrica por maior tempo (400 V/45 s) e em tencas (*Tinca tinca*) que atingiram *rigor mortis* total em 9 horas, enquanto, por método percussivo, levou-se 19 horas *post mortem* (Bermejo-Poza *et al.*, 2021; Rucinke; Watanabe; Molento, 2018; Secci *et al.*, 2018). Observa-se no Quadro 1 que, mesmo em estudos com espécies diferentes, o estabelecimento do *rigor mortis* ocorreu em menor tempo quando se utilizou descarga elétrica com voltagens superiores e por maior tempo de exposição.

Outro problema da eletrocussão são os defeitos tecnológicos e sensoriais que aquela poderá ocasionar nas carnes, como a alteração de cor das brânquias de trutas submetidas a 400 mA, queimaduras na pele e hemorragias nos filés (Bermejo-Poza *et al.*, 2021; Rucinke; Watanabe; Molento, 2018).

A aplicação da corrente elétrica deverá ser conduzida de forma adequada, a fim de evitar sofrimento, lesões e retorno à consciência antes do abate propriamente dito. Rucinke, Watanabe e Molento (2018) avaliaram padrões diferentes de corrente elétrica no atordoamento de pacu e observaram que não houve fraturas ou hemorragias na carcaça ou filés. Ademais, ocorreu aumento no tempo de inconsciência dos peixes submetidos a 205 V por 45 segundos em comparação aos que foram submetidos a 400 V por 20 segundos. O método não interferiu no pH *post mortem* como seria esperado dos métodos tradicionais no Brasil (imersão em gelo ou asfixia), demonstrando ser um

método humanitário. Além disso, o estudo sugere que o método retardou a instauração e a resolução do *rigor mortis* nessa espécie (Quadro 1).

Zhang *et al.* (2017) avaliaram carpas prateadas submetidas a imersão em gelo (termonarcose), percussão e corte branquial. Observou-se um retardo na resolução do *rigor mortis* em 12 horas quando utilizado o corte branquial, o que foi prejudicial, devido ao rápido consumo de ATP diante do estado agonizante promovido pelo método, além da ocorrência de deterioração acelerada por instabilidade oxidativa, carbonilação proteica facilitada, perda de cozimento, menor escore sensorial em virtude de amolecimento e sabor rançoso. No atordoamento por termonarcose, a textura não foi afetada consideravelmente; o método demonstrou o menor índice de perda de cozimento entre os tratamentos e frescor adequado. Através da percussão, notou-se maior nível de glicogênio muscular inicial após o abate, manutenção da qualidade da carne e do frescor e menor perda por cozimento, se comparada ao corte branquial, tendo o método de percussão apresentado, após 2 horas de armazenamento da carne, os maiores valores de dureza, coesividade e mastigabilidade no experimento.

O atordoamento com gás CO ou CO₂ desencadeia hipóxia em virtude da interferência desses gases na disponibilidade do O₂ em se ligar às proteínas sanguíneas, impedindo a oxigenação de tecidos e gerando uma acidose metabólica, agonia e morte propriamente dita. Ademais, a rápida acidificação poderá levar a desnaturação proteica e *gaping* (Concollato *et al.*, 2014).

Uma pesquisa com dourada evidenciou que a mistura de gases pode causar menos sofrimento que o atordoamento por gelo, sendo que os parâmetros bioquímicos plasmáticos (glicose, cortisol, lactato, proteína e magnésio) foram menores em tratamentos com 40% CO₂ + 30% N₂ + 30% O₂ e 30% CO₂ + 70% N₂, e a inconsciência foi atingida mais rapidamente. Entretanto, na termonarcose (Quadro 1), a redução do pH e o início do *rigor mortis* foram retardados, possivelmente pela hipotermia, o que gera redução no metabolismo e consequentemente inconsciência não imediata (Roque *et al.*, 2021).

As tencas submetidas a eletrocussão, percussão e CO apresentaram níveis de cortisol branquial respectivamente de: 0,453, 0,445 e 0,408 ng/mg de proteína. A resolução do *rigor mortis* daqueles submetidos a eletrocussão a seco ocorreu em menor tempo (9 horas) em comparação à percussão (19 horas), possivelmente por estimulação elétrica da carcaça. A percussão foi caracterizada como um método humanitário, propiciando maior pH *post mortem* (6,60), maior tempo de resolução do *rigor mortis* e qualidade da carne, sendo que as avaliações indicaram que, entre os tratamentos, o atordoamento com monóxido de carbono apresentou o menor valor de cortisol branquial, relacionado a menor estresse pré-abate (Secci *et al.*, 2018).

O uso de CO evidenciou-se como um método de atordoamento adequado a partir do comportamento (Quadro 1) e valor de cortisol relacionados a baixo nível de estresse, além de menores valores de pH, de vermelhidão (a*), de amarelamento (b*) e menor oxidação lipídica da carne durante o armazenamento (1,33 mg de MDA/100 g de músculo comparado aos valores de 1,60 mg de MDA/100 g de músculo e 1,55 mg de MDA/100 g de músculo para eletrocussão e percussão, respectivamente). A aversão ao CO foi tardia, o que pode ser justificado pelo possível efeito calmante e sedativo do gás e pela capacidade de tencas em se adaptarem a ambientes hostis, com escassez de O₂ (Secci *et al.*, 2018).

Além do cortisol, o estresse induz a produção e liberação sanguínea de catecolaminas, como noradrenalina (ND) e adrenalina (AD), que atuam no funcionamento dos sistemas cardíaco, vascular e respiratório para maior mobilização de O₂ e consumo de glicogênio, a fim de suprir a demanda de energia durante situações estressantes (Chandross; Duncan; Moccia, 2004; Concollato *et al.*, 2014). Concollato *et al.* (2014) demonstraram que

salmões apresentaram valores maiores de ND (8,1 ng/mL) e AD (4,8 ng/ml) e instauração precoce do *rigor mortis* (Quadro 1) quando expostos a CO por 20 minutos, comparados a grupos insensibilizados por percussão (5,4 ng/mL e 3,1 ng/mL) e expostos ao CO por 8 minutos (6,4 ng/mL e 3,08 ng/mL), condizente com as reações aversivas iniciadas após 8 a 10 minutos de exposição, indicando uma percepção demorada do gás, assim como relatado por Secci *et al.* (2018). Entretanto, os salmões possuem maior sensibilidade à hipóxia do que tencas e, por isso, reagem com fuga e maior estresse, o que reflete em perda por gotejamento em filés após 14 dias refrigerados.

Foram encontrados somente dois estudos sobre as reações fisiológicas e comportamentais na cadeia produtiva de peixes brasileiros, tendo sido estudados o pacu (Rucinke; Watanabe; Molento, 2018) e o tambaqui (Santos; Rezende; Moron, 2020). A maioria dos experimentos se concentrou em espécies que são atípicas no Brasil. Isso dificulta a execução da legislação vigente em relação ao abate humanitário.

A partir da análise das informações do Quadro 1, houve a comprovação de percepção dolorosa dos peixes diante de métodos de insensibilização não padronizados; comprovou-se, ainda, que diferentes espécies podem manifestar reações variadas quando submetidas a diferentes tipos de atordoamentos; e, por fim, observou-se que o *rigor mortis* e o pH em alguns estudos foram divergentes do esperado, pois a presença de sofrimento não interferiu negativamente na qualidade da carne.

A influência do estresse sobre a qualidade da carne ainda é contraditória na literatura, conforme trazido por Baldi *et al.* (2018), que avaliaram cobias (*Rachycentron canadum*) atordoadas por eletronarcose, hipotermia e por CO₂ e a influência desses métodos sobre parâmetros físico-químicos da carne durante o armazenamento (180 dias). Porém, mesmo com movimentos vigorosos, tentativa de respirar na superfície da água e demorada perda de consciência (aos 17,5 minutos na hipotermia e aos 48 minutos no uso de gás), os valores de bases voláteis nitrogenadas totais e de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico, a textura e a coloração não diferiram significativamente, demonstrando que o tipo de método utilizado não influenciou na qualidade. O que diferiu foi apenas menor capacidade de retenção de água (7,47%) quando aplicado CO₂ e maior perda no cozimento quando aplicada eletronarcose. O pH após a morte foi menor (6,29) utilizando hipotermia quando comparado ao pH nos outros métodos e também após 180 dias de armazenamento (6,25). O método elétrico foi definido como o melhor por permitir insensibilização rápida e sem sofrimento.

A utilização de gases na insensibilização causa controvérsias, por estes serem reconhecidos como anestésicos de peixes, mas também por causarem reações aversivas (movimentos rápidos e tentativas bruscas de fuga) nos animais, e tem sido repensada como técnica de atordoamento para abate, em relação ao bem-estar (Baldi *et al.*, 2018; EFSA, 2009). Todavia, o uso desses gases pode causar alterações mínimas em atributos de qualidade e estabilidade de carnes se comparado a outras técnicas de insensibilização tardia; além disso, a saturação rápida pode acelerar a difusão do gás e, assim, evitar o estresse (Concollato *et al.*, 2014; Secci *et al.*, 2018).

O método elétrico poderá ser executado em diversas configurações de corrente elétrica, a depender da espécie, podendo ser utilizado em tanque com água ou a seco, e não necessariamente deve ser aplicado somente na região da cabeça do animal (Brijs *et al.*, 2021; Daskalova *et al.*, 2016). Daskalova *et al.* (2016) utilizaram descarga elétrica na cauda de peixes linguado (*Solea solea*) e pregado (*Cophthalmus maximus*) e obtiveram sucesso na insensibilização.

Em peixes linguado (*S. solea*) e pregado (*C. maximus*), foi avaliada também a influência da orientação do animal durante a descarga elétrica. Os tratamentos foram

definidos a partir de atordoamento com corrente elétrica de 100 Hz por 1 segundo (curto) e 20 segundos (longo). Observou-se que o atordoamento longo pela cauda ou cabeça foi eficaz, mas, se for aplicado na cauda, deve-se usar corrente mais alta e complementar com imersão em gelo ou ainda com exsanguinação, a fim de se obter uma morte rápida e sem retorno à consciência (Daskalova *et al.*, 2016).

Bagres (*C. gariepinus*) dispostos em tanques de água foram submetidos a insensibilização com corrente elétrica por 2 e 10 segundos. Os expostos por 2 segundos tiveram rápido retorno à consciência (após 10 segundos) e aqueles submetidos por 10 segundos permaneceram insensibilizados entre 1,7 e 4,9 minutos. A combinação do atordoamento elétrico com sangria imediata e uso de gelo foi eficaz em manter a inconsciência durante o estudo (Brijs *et al.*, 2021).

Entre os métodos de abate, a partir da premissa de que os peixes reagem a sensações de sofrimento, considera-se que a técnica de corte branquial em peixes sem a prévia insensibilização proporciona grave prejuízo ao animal, como a hipóxia, gerando reações de angústia e comprometimento da carne obtida pelo maior nível de oxidação lipídica (Zhang *et al.*, 2017, 2021). Todavia, se o corte de guelras/brânquias for realizado em conjunto com técnicas atordoantes, caracteriza-se como uma ótima forma de abate, evitando o retorno da sensibilidade e atendendo aos preceitos de bem-estar. Reforça-se a necessidade de se estabelecer um protocolo de abate, como existem para animais de açougue (aves, suínos, bovinos), com padrões de atordoamento bem definidos de acordo com a espécie, podendo haver variações nos procedimentos (Baldi *et al.*, 2018; Brijs *et al.*, 2021).

Através da percussão, a insensibilização é obtida instantaneamente, sem recuperação da consciência. Essa técnica é utilizada principalmente em pescados maiores, sendo que, no estudo de Brijs *et al.* (2021), 64% dos bagres africanos com dentes afiados (*Clarias gariepinus*) atordoados por golpe de clava de madeira se tornaram insensíveis imediatamente. No entanto, 36% se recuperaram devido a falhas manuais e a força inadequada durante o golpe, visto que a anatomia do crânio desses peixes específicos torna-os resistentes ao método.

Assim sendo, os estudos sugeriram a combinação de percussão ou atordoamento elétrico (imediate insensibilização), seguido por sangria e imersão em água com gelo e ainda, opcionalmente, o uso de sedação com isoeugenol antes do atordoamento, como procedimento humanitário para evitar a recuperação de consciência (Brijs *et al.*, 2021; Roth; Skåra, 2021).

4 Considerações finais

A partir dos parâmetros fisiológicos referentes a análises bioquímicas, hematológicas, neurofisiológicas (EEG) e comportamentais, é perceptível a capacidade sensitiva de peixes e o quanto a negligência sobre as práticas estressoras pode afetar o seu bem-estar e conseqüentemente a qualidade da carne.

A fim de mitigar os problemas oriundos do estresse nas etapas de criação e transporte, os estudos indicam manejos alternativos, como estratégias alimentares, renovação da água, sedação no transporte e descanso pré-abate.

As operações de insensibilização demonstraram-se variáveis e com padrões diferentes para cada espécie estudada, sendo a eletroanestesia menos prejudicial ao bem-estar. Entretanto, pode haver retorno rápido à consciência, o que reforça a importância da avaliação multifatorial sobre a eficácia e a validação dos métodos de atordoamento. Para a

condução de um abate humanitário ideal, seria necessária a combinação entre os métodos (sedação, atordoamento elétrico ou percussivo, exsanguinação e imersão em gelo).

Por fim, diante das informações obtidas dos estudos científicos referenciados nesta revisão, é notável que existe uma necessidade e uma demanda importante para mais estudos com espécies nativas do Brasil, com o objetivo de consolidar padrões de bem-estar a serem seguidos, principalmente nos métodos de insensibilização e abate de peixes, para que se cumpra de forma efetiva as legislações no país. Observou-se também a falta de dados comparativos entre diferentes espécies de peixes expostas ao mesmo método de atordoamento. Logo, fica evidente a necessidade de investimentos em pesquisas com foco na piscicultura a nível mundial, a fim de agregar dados e consolidar padrões e manejos na criação, transporte e abate que minimizem os prejuízos no bem-estar animal.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo financiamento do estudo, por meio da concessão de bolsa de mestrado.

Financiamento

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) – concessão de bolsa de mestrado a um dos autores.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

AHMADIFAR, E.; FALLAH, H. P.; YOUSEFI, M.; DAWOOD, M. A. O.; HOSEINIFAR, S. H.; ADINEH, H.; YILMAZ, S.; PAOLUCCI, M.; DOAN, H. V. The gene regulatory roles of herbal extracts on the growth, immune system, and reproduction of fish. **Animals**, v. 11, n. 8, 2167, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11082167>.

ALVES, A. X.; BRABO, M. F.; CAMPELO, D. A. V.; SILVA, J. A.; PAULINO, R. R.; COSTA, F. A. A.; REIS, G. P. A.; SANTOS, N. N.; VERAS, G. C. Stunning bullfrogs by electronarcosis and thermonarcosis: hematological and plasma biochemical responses. **Aquaculture**, v. 548, part. 1, 737545, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737545>.

ANDERS, N.; EIDE, I.; LERFALL, J.; ROTH, B.; BREEN, M. Physiological and flesh quality consequences of pre-mortem crowding stress in Atlantic mackerel (*Scorpaenopsis scorpaenoides*). **PLOS ONE**, v. 15, n. 2, e0228454, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228454>.

BALDI, S. C. V.; PARISI, G.; BONELLI, A.; BALIEIRO, J. C. C.; GUIMARÃES, J. L.; VIEGAS, E. M. M. Effects of different stunning/slaughter methods on frozen fillets

quality of cobia (*Rachycentron canadum*). **Aquaculture**, v. 486, p. 107-113, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.12.003>.

BERLINGHIERI, F.; PANIZZON, P.; PENRY-WILLIAMS, I. L.; BROWN, C. Laterality and fish welfare: a review. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 236, 105239, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105239>.

BERMEJO-POZA, R.; FERNÁNDEZ-MUELA, M.; DE LA FUENTE, J.; PÉREZ, C.; CHAVARRI, E. G.; DÍAZ, M. T.; TORRENT, F.; VILLARROEL, M. Effect of ice stunning versus electronarcosis on stress and flesh quality of rainbow trout. **Aquaculture**, v. 538, 736586, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736586>.

BESSA, E.; SADOUL, B.; MCKENZIE, D. J.; GEFFROY, B. Group size, temperature and body size modulate the effects of social hierarchy on basal cortisol levels in fishes. **Hormones and Behavior**, v. 136, 105077, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2021.105077>.

BOWMAN, J.; HJELMSTEDT, P.; GRÄNS, A. Non-invasive recording of brain function in rainbow trout: evaluations of the effects of MS-222 anaesthesia induction. **Aquaculture Research**, v. 50, n. 11, p. 3420-3428, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/are.14300>.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Portaria nº 365, de 16 de julho de 2021. Aprova o regulamento técnico de manejo pré-abate e abate humanitário e os métodos de insensibilização autorizados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Diário Oficial da União**: seção 1 – Extra A, Brasília, DF, ano 159, n. 138-A, p. 1-4, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-365-de-16-de-julho-de-2021-334038845>. Acesso em: 2 dez. 2021.

BRIJS, J.; SUNDELL, E.; HJELMSTEDT, P.; BERG, C.; SENČIĆ, I.; SANDBLOM, E.; AXELSSON, M.; LINES, J.; BOUWSEMA, J.; ELLIS, M.; SAXER, A.; GRÄNS, A. Humane slaughter of African sharp-tooth catfish (*Clarias gariepinus*): effects of various stunning methods on brain function. **Aquaculture**, v. 531, 735887, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735887>.

CHANDROO, K. P.; DUNCAN, I. J. H.; MOCCIA, R. D. Can fish suffer?: perspectives on sentience, pain, fear and stress. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 86, n. 3-4, p. 225-250, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.02.004>.

CHINNADURAI, K.; PREMA, P.; VEERAMANIKANDAN, V.; KUMAR, K. R.; NGUYEN, V.-H.; MARRAIKI, N.; ZAGHLOUL, N. S. S.; BALAJI, P. Toxicity evaluation and oxidative stress response of fumaronitrile, a persistent organic pollutant (POP) of industrial waste water on tilapia fish (*Oreochromis mossambicus*). **Environmental Research**, v. 204, part A, 112030, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112030>.

CONCOLLATO, A.; PARISI, G.; OLSEN, R. E.; KVAMME, B. O.; SLINDE, E.; ZOTTE, A. D. Effect of carbon monoxide for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) slaughtering on stress response and fillet shelf life. **Aquaculture**, v. 433, p. 13-18, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.05.040>.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DASKALOVA, A. H.; BRACKE, M. B. M.; VAN DE VIS, J. W.; ROTH, B.; REIMERT, H. G. M.; BURGGRAAF, D.; LAMBOOIJ, E. Effectiveness of tail-first dry electrical stunning, followed by immersion in ice water as a slaughter (killing) procedure for turbot (*Scophthalmus maximus*) and common sole (*Solea solea*). **Aquaculture**, v. 455, p. 22-31, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.12.023>.

DAWOOD, M. A. O.; NORELDIN, A. E.; SEWILAM, H. Long term salinity disrupts the hepatic function, intestinal health, and gills antioxidative status in Nile tilapia stressed with hypoxia. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 220, 112412, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112412>.

DIGRE, H.; TVEIT, G. M.; SOLVANG-GARTEN, T.; EILERTSEN, A.; AURSAND, I. G. Pumping of mackerel (*Scomber scombrus*) onboard purse seiners, the effect on mortality, catch damage and fillet quality. **Fisheries Research**, v. 176, p. 65-75, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2015.12.011>.

ERIKSON, U.; GANSEL, L.; FRANK, K.; SVENDSEN, E.; DIGRE, H. Crowding of Atlantic salmon in net-pen before slaughter. **Aquaculture**, v. 465, p. 395-400, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.09.018>.

EFSA – EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. General approach to fish welfare and to the concept of sentience in fish. **EFSA Journal**, v. 7, n. 2, p. 1-27, 2009. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.954>.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA) 2020**. Sustainability in action. Rome: FAO, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4060/ca9229en>.

FATIMA, S.; KOMAL, W.; MANZOOR, F.; LATIF, A. A.; LIAQAT, R.; AMEEN, S.; JANJUA, R. S. Analysis of the growth performance, stress, profile of fatty acids and amino acids and cortisol in Tilapia (*Oreochromis niloticus*), cultured at high stocking density using in-pond raceway system. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 12, p. 7422-7431, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.048>.

HOSEINI, S. M.; GUPTA, S. K.; YOUSEFI, M.; KULIKOV, E. V.; DRUKOVSKY, S. G.; PETROV, A. K.; MIRGHAED, A. T.; HOSEINIFAR, S. H.; DOAN, H. V. Mitigation of transportation stress in common carp, *Cyprinus carpio*, by dietary administration of turmeric. **Aquaculture**, v. 546, 737380, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737380>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da pecuária municipal 2020**. [Rio de Janeiro]: IBGE, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/18/16459>. Acesso em: 19 jan. 2022.

ISLAM, M. J.; KUNZMANN, A.; HENJES, J.; SLATER, M. J. Can dietary manipulation mitigate extreme warm stress in fish? The case of European seabass, *Dicentrarchus labrax*. **Aquaculture**, v. 545, 737153, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737153>.

LI, L.; SHEN, Y.; YANG, W.; XU, X.; LI, J. Effect of different stocking densities on fish growth performance: a meta-analysis. **Aquaculture**, v. 544, 737152, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737152>.

MAGOUZ, F. I.; AMER, A. A.; FAISAL, A.; SEWILAM, H.; ABOELENIN, S. M.; DAWOOD, M. A. O. The effects of dietary oregano essential oil on the growth performance, intestinal health, immune, and antioxidative responses of Nile tilapia under acute heat stress. **Aquaculture**, v. 548, Part 1, 737632, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737632>.

MIRGHAED, A. T.; HOSEINI, S. M.; HOSEINIFAR, S. H.; DOAN, H. V. Effects of dietary thyme (*Zataria multiflora*) extract on antioxidant and immunological responses and immune-related gene expression of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 106, p. 502-509, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.08.002>.

MOTA, A. Peixe BR lança Anuário 2021 da Piscicultura Nacional. **Fish TV**, 1 mar. 2021. Disponível em: <https://www.fishtv.com/noticias/aquicultura/peixe-br-lanca-anuario-2021-da-piscicultura-nacional>. Acesso em: 18 nov. 2021.

NARDOCCI, G.; NAVARRO, C.; CORTÉS, P. P.; IMARAI, M.; MONTOYA, M.; VALENZUELA, B.; JARA, P.; ACUÑA-CASTILLO, C.; FERNÁNDEZ, R. Neuroendocrine mechanisms for immune system regulation during stress in fish. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 40, n. 2, p. 531-538, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fsi.2014.08.001>.

PAPO, M. B.; BERTOTTO, D.; NEGRATO, E.; MACCATROZZO, L.; POLTRONIERI, C.; CABERLOTTO, S.; RADAELLI, G. Plasma cortisol levels and expression of glucocorticoid receptors and oxidative stress markers in the fish *Ombrina boccadoro* exposed to transportation. **Annals of Anatomy – Anatomischer Anzeiger**, v. 207, p. 118-126, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aanat.2016.04.004>.

PERES, H.; SANTOS, S.; OLIVA-TELES, A. Selected plasma biochemistry parameters in gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 29, n. 3, p. 630-636, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2012.02049.x>.

REN, Y.; MEN, X.; YU, Y.; LI, B.; ZHOU, Y.; ZHAO, C. Effects of transportation stress on antioxidation, immunity capacity and hypoxia tolerance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture Reports**, v. 22, 100940, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100940>.

ROQUE, A.; GRAS, N.; REY-PLANELLAS, S.; FATSINI, E.; PALLISERA, J.; DUNCAN, N.; MUÑOZ, I.; VELARDE, A.; HERNANDEZ, M. D. The feasibility of using gas mixture to stun seabream (*Sparus aurata*) before slaughtering in aquaculture production. **Aquaculture**, v. 545, 737168, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737168>.

ROTH, B.; SKÅRA, T. Pre mortem capturing stress of Atlantic herring (*Clupea harengus*) in purse seine and subsequent effect on welfare and flesh quality. **Fisheries Research**, v. 244, 106124, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2021.106124>.

RUCINQUE, D. S.; WATANABE, A. L.; MOLENTO, C. F. M. Electrical stunning in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) using direct current waveform. **Aquaculture**, v. 497, p. 42-48, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.07.035>.

SANTOS, E. L. R.; REZENDE, F. P.; MORON, S. E. Stress-related physiological and histological responses of tambaqui (*Colossoma macropomum*) to transportation in water with tea tree and clove essential oil anesthetics. **Aquaculture**, v. 523, 735164, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735164>.

SECCI, G.; PARISI, G.; MENEGUZ, M.; IACONISI, V.; CORNALE, P.; MACCHI, E.; GASCO, L.; GAI, F. Effects of a carbon monoxide stunning method on rigor mortis development, fillet quality and oxidative stability of tench (*Tinca tinca*). **Aquaculture**, v. 493, p. 233-239, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.05.002>.

SNEDDON, L. U. Evolution of nociception and pain: evidence from fish models. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 374, n. 1785, p. 1-8, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2019.0290>.

SNEDDON, L. U.; WOLFENDEN, D. C. C.; THOMSON, J. S. Stress management and welfare. In: SCHRECK, C. B.; TORT, L.; FARRELL, A. P.; BRAUNER, C. J. (ed.). **Biology of stress in fish: fish physiology**. Chicago: Elsevier, 2016. Cap. 12, p. 463-539. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-802728-8.00012-6>.

SUTTHI, N.; DOAN, H. V. *Saccharomyces crevices* and *Bacillus* spp. effectively enhance health tolerance of Nile tilapia under transportation stress. **Aquaculture**, v. 528, 735527, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735527>.

WANG, Y.-W.; ZHU, J.; GE, X.-P.; SUN, S.-M.; SU, Y.-L.; LI, B.; HOU, Y.-R.; REN, M.-C. Effects of stocking density on the growth performance, digestive enzyme activities, antioxidant resistance, and intestinal microflora of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) juveniles. **Aquaculture Research**, v. 50, n. 1, p. 236-246, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/are.13889>.

YOUSEFI, M.; SHABUNIN, S. V.; VATNIKOV, Y. A.; KULIKOV, E. V.; ADINEH, H.; HAMIDI, M. K.; HOSEINI, S. M. Effects of lavender (*Lavandula angustifolia*) extract inclusion in diet on growth performance, innate immunity, immune-related gene expression, and stress response of common carp, *Cyprinus carpio*. **Aquaculture**, v. 515, 734588, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734588>.

ZHANG, L.; LI, Q.; HONG, H.; LUO, Y. Tracking structural modifications and oxidative status of myofibrillar proteins from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillets treated by different stunning methods and *in vitro* oxidizing conditions. **Food Chemistry**, v. 365, 130510, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130510>.

ZHANG, L.; LI, Q.; LYU, J.; KONG, C.; SONG, S.; LUO, Y. The impact of stunning methods on stress conditions and quality of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) fillets stored at 4 °C during 72 h postmortem. **Food Chemistry**, v. 216, p. 130-137, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.004>.