

Influência do estresse causado pelo transporte e método de abate sobre o *rigor mortis* do tambaqui (*Colossoma macropomum*)

Influence of transport stress and slaughter method on rigor mortis of tambaqui (Colossoma macropomum)

Autores | Authors

Joana Maia MENDES

Instituto Nacional de Pesquisas da
Amazônia (INPA)
Programa de Pós-Graduação em
Agricultura no Trópico Úmido (ATU)
Manaus/AM - Brasil
e-mail: joanameell@hotmail.com

Luis Antonio Kioshi Aoki INOUE

Embrapa Agropecuária Oeste
Dourados/MS - Brasil
e-mail: luis.inoue@embrapa.br

*Rogério Souza de JESUS

Instituto Nacional de Pesquisas da
Amazônia (INPA)
Coordenação de Tecnologia e Inovação
(COTI)
Av. André Araújo, 2936, Petrópolis,
CEP: 69083-000
Manaus/AM - Brasil
e-mail: djesus@inpa.gov.br

*Autor Correspondente | Corresponding Author

Recebido: Mar. 25, 2014

Aprovado: Ago. 05, 2015

Resumo

O presente trabalho avaliou a influência do estresse pré-abate e do método de abate sobre o *rigor mortis* do tambaqui durante armazenamento em gelo. Foram estudadas respostas fisiológicas do tambaqui ao estresse durante o pré-abate, que foi dividido em quatro etapas: despesca, transporte, recuperação por 24 h e por 48 h. Ao final de cada etapa, os peixes foram amostrados para caracterização do estresse pré-abate por meio de análises dos parâmetros plasmáticos de glicose, lactato e amônia e, em seguida, os peixes foram abatidos por hipotermia ou por asfixia com gás carbônico para o estudo do *rigor mortis*. Verificou-se que o estado fisiológico de estresse dos peixes foi mais agudo logo após o transporte, implicando numa entrada em *rigor mortis* mais rápida: 60 minutos para tambaquis abatidos por hipotermia e 120 minutos para tambaquis abatidos por asfixia com gás carbônico. Nos viveiros, os peixes abatidos logo após a despesca apresentaram estado de estresse intermediário, sem diferença no tempo de entrada em *rigor mortis* em relação ao método de abate (135 minutos). Os peixes que passaram por recuperação ao estresse causado pelo transporte em condições simuladas de indústria apresentaram entrada em *rigor mortis* mais tardia: 225 minutos (com 24 h de recuperação) e 255 minutos (com 48 h de recuperação), igualmente sem diferença em relação aos métodos de abate testados. A resolução do *rigor mortis* foi mais rápida nos peixes abatidos após o transporte, que foi de 12 dias. Nos peixes abatidos logo após a despesca, a resolução ocorreu com 16 dias e, nos peixes abatidos após recuperação, com 20 dias para 24 h de recuperação ao estresse pré-abate e 24 dias para 48 h de recuperação, sem influência do método de abate na resolução do *rigor mortis*. Assim, é desejável que o abate do tambaqui destinado à indústria seja feito após período de recuperação ao estresse, com vistas a aumentar sua passagem em *rigor mortis*.

Palavras-chave: *Colossoma macropomum*; Manejo; Metabolismo; Processamento.

Summary

The present work evaluated physiological stress responses of tambaqui to transport and their consequences to rigor mortis of fish slaughtered by hypothermia or by carbon dioxide asphyxia. Fishes were submitted to experimental transport to evaluate four fish stress stages before slaughter: post-harvest, after transport, after 24 h and 48 h recoveries. Fish stress after transport was the most acute, and fish slaughtered after that by hypothermia had the quickest rigor mortis onset: 60 min, while fish slaughtered by asphyxia had rigor mortis onset in 120 min. Fish slaughtered just after harvest had rigor mortis onset in 135 min for both slaughter methods (hypothermia or asphyxia). Fishes recovered from transport stress had slower rigor mortis onset: 225 min and 255 min after 24 h and 48 h recovery, respectively, for both slaughter method. No influence from slaughter method was observed on rigor mortis resolution in all the fish. Rigor mortis of fish slaughtered after transport ended in 12 days. Rigor mortis of fish slaughtered after harvest ended in 16 days. Fish recovered from transport stress had rigor mortis end at 20 days and 24 days after 24h and 48h recovery, respectively. Slaughter of tambaqui for industry is rather recommended after stress recovery, in order to extend the rigor mortis period.

Key words: *Colossoma macropomum*; Management; Metabolism; Processing.

Influência do estresse causado pelo transporte e método de abate sobre o *rigor mortis* do tambaqui (*Colossoma macropomum*)

MENDES, J. M. et al.

1 Introdução

O tambaqui é a espécie nativa mais produzida pela piscicultura brasileira. Atualmente, a produção nacional de tambaqui é de aproximadamente 110 mil toneladas por ano, ainda com perspectivas de crescimento (SCORVO-FILHO, 2013). Assim, o aumento da participação da indústria processadora de tambaqui de piscicultura está ocorrendo, especialmente, nos estados da região norte do país. O monitoramento da qualidade da matéria-prima é fundamental e está diretamente relacionada à maneira como os cultivos são conduzidos no âmbito geral do manejo sanitário e nutricional dos animais, bem como à qualidade ambiental da água e entorno das unidades de produção (FREITAS et al., 2014). No entanto, os peixes para indústria devem passar por práticas de manejo que, mesmo quando bem conduzidas, são fontes causadoras de estresse, influenciando no equilíbrio metabólico dos animais com o ambiente. Essas práticas desencadeiam respostas ao estresse, que podem influenciar a qualidade da matéria-prima para a indústria, pelo fato do pescado ser um produto altamente perecível e de qualidade dependente das condições em que o peixe foi produzido e abatido. O estresse em peixes pode ser avaliado no campo por meio de alterações de análises de sangue, coletado antes, durante e depois de situações estressantes (IWAMA et al., 2004).

Logo, o estresse sofrido pelos peixes durante as práticas de manejo pré-abate e durante o abate reduz as suas reservas energéticas. Isso pode conseqüentemente diminuir o tempo de *rigor mortis*, caracterizado pelo progressivo enrijecimento do corpo devido à redução nos níveis de glicogênio e ATP (adenosina trifosfato) na musculatura. Num enfoque prático, quanto mais tarde ocorrer e maior for a duração do *rigor mortis*, menores serão as alterações nas características da carne e maior a longevidade do produto (ALMEIDA et al., 2006). O abate de peixes por hipotermia por imersão dos animais em banho de água e gelo é o mais utilizado na indústria pela facilidade de execução e preservação razoável dos atributos de qualidade do pescado (LAMBOOIJ et al., 2006; MATOS et al., 2010). Outras alternativas, no entanto, devem ser testadas para o tambaqui, principalmente do ponto de vista de emprego de métodos mais humanitários e que retardem o *rigor mortis* (PEDRAZZANI et al., 2007; VIEGAS et al., 2012).

O presente trabalho teve por objetivo caracterizar o estresse sofrido pelo tambaqui durante as práticas de manejo pré-abate, por análises de sangue, e assim verificar sua influência no *rigor mortis* em peixes abatidos por dois métodos, sendo a hipotermia o modelo mais utilizado na indústria, o que mantém a asfixia em gás carbônico como teste de alternativa.

2 Material e métodos

2.1 Produção do material biológico

Cento e cinquenta juvenis de tambaqui (236 ± 58 g e 24 ± 2 cm) foram estocados em viveiro escavado de aproximadamente 400m² em propriedade rural, localizada no Ramal da Água Branca, km 35 da Rodovia AM 10, na zona rural de Manaus, AM. Os peixes foram alimentados duas vezes ao dia, perto à saciedade aparente com ração comercial de 28% de proteína bruta por oito meses, até atingirem cerca de 1,1 kg. Dois dias antes da despesca, a alimentação foi suspensa.

2.2 Desenho experimental

O manejo pré-abate foi dividido em quatro etapas para estudo: despesca, transporte, recuperação por 24 h e por 48 h, sendo cada prática de manejo feita em sequência da outra. A despesca foi feita com rede de arrasto de malha 25 mm, com saco confeccionado na parte central. O transporte dos peixes vivos foi feito em caixa de transporte de 1000 L, montada na caçamba de um caminhão e equipada com pedras porosas e regulador de fluxo de oxigênio em cilindro. O transporte durou aproximadamente quatro horas até a estação de piscicultura do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA). Após o transporte, os peixes foram descarregados reduzindo-se o volume de água na caixa de transporte para captura dos animais com puçá e transferência dos peixes em baldes de 20 L até a caixa de recuperação. O volume desta era de 5000 L com abastecimento de água em circuito fechado e aeração constante. Os peixes foram deixados para recuperação por 24 h e 48 h.

Foram feitas amostragens de animais para caracterização do estado fisiológico de estresse pré-abate do tambaqui em cada uma das etapas do estudo: despesca, transporte, recuperação por 24 h e recuperação por 48 h. Foram amostrados oito peixes por etapa para coleta de sangue. Ainda em cada etapa do experimento (despesca, transporte, recuperação de 24 h e recuperação de 48 h), foram retirados mais 10 peixes (ou do viveiro, ou da caixa de transporte, ou do tanque de recuperação), sendo cinco peixes abatidos por hipotermia (banho de aproximadamente 0°C, obtido pela mistura de água e gelo em proporção 1:1) e cinco peixes por asfixia por gás carbônico, borbulhado do cilindro para saturação na água contida em uma caixa com aproximadamente 70 L. Os peixes foram observados durante o abate até a constatação da morte dos animais (ausência de batimentos operculares e qualquer movimentação muscular). Os peixes remanescentes (não utilizados para coleta de sangue nem para o abate) foram descartados, liberando-os em viveiro escavado da própria estação de piscicultura.

Influência do estresse causado pelo transporte e método de abate sobre o *rigor mortis* do tambaqui (*Colossoma macropomum*)

MENDES, J. M. et al.

2.3 Coleta de sangue e análises para estudo do estresse

Em cada amostragem de peixes (despesca, transporte e recuperação de 24h e 48h), o sangue foi retirado pela veia caudal por uso de seringas enxaguadas com EDTA 3%. O sangue foi centrifugado a 12.000 g por 3min para separação de plasma e estocagem em freezer para posteriores análises. Foram determinados no plasma: glicose (TRINDER, 1969), lactato (HARROWER; BROWN, 1972), proteína (LOWRY et al., 1951), amônia (GENTZKOW; MASEN, 1942), sódio e potássio (CARNEIRO; URBINATI, 2001) e cloreto (APHA, 1980).

2.4 Índice de *rigor mortis*

Após a confirmação da morte, os animais foram acondicionados em caixa de isopor com gelo e levados imediatamente ao Laboratório de Tecnologia do Pescado do INPA. Os exemplares de cada método de abate em cada etapa do experimento foram identificados com etiquetas de 1 a 10 (1 a 5 - hipotermia; 6 a 10 - asfixia por gás carbônico) e estocados em gelo em quatro caixas de isopor separadas por cada etapa do experimento. O índice de rigor foi determinado imediatamente após o abate e a cada 15 minutos até atingir o rigor máximo (100%). O propósito foi identificar o tempo de entrada em rigor e de estabelecimento do rigor total. Ao ser observado 100% de rigor, os peixes foram monitorados diariamente até a resolução do rigor total. As medidas de inclinação do corpo do peixe, para determinar o índice de rigor, foram feitas colocando-se cada peixe numa mesa com superfície plana, apoiado até altura da nadadeira pélvica, ficando a parte caudal do corpo livre. O comprimento de inclinação, que se formou com a superfície, foi medido com o auxílio de uma régua e um esquadro, segundo metodologia descrita por Bito et al. (1983).

2.5 Aspectos éticos e legais

O projeto foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais do INPA (CEUA/INPA - Processo 073/2012).

2.6 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância ANOVA e, quando significativos, foi aplicado o teste de Tukey para comparação de médias. O nível de significância foi de 5%, sendo utilizado o aplicativo estatístico SYSTAT 2013.

3 Resultados e discussão

Neste estudo, o aumento da glicose plasmática indicou estresse ao transporte. Os valores aumentaram de 27,0 mg dL⁻¹, na despesca, para 70,8 mg dL⁻¹, após o transporte. Retornaram depois de recuperação de 24 h

(31,1 mg dL⁻¹) e 48 h (28,1 mg dL⁻¹). O perfil de resposta da amônia plasmática foi semelhante ao observado na glicose. Houve também aumento da amônia no plasma após o transporte (11,8 μmol mL⁻¹), retornando a valores próximos aos observados na despesca (6,2 μmol mL⁻¹), depois de recuperação por 24 h e 48 h (8,1 μmol mL⁻¹ e 8,0 μmol mL⁻¹). Os valores de lactato plasmático foram elevados logo após a despesca e o transporte (49,7 mg dL⁻¹ e 50,6 mg dL⁻¹), quando comparados aos valores observados após recuperação de 24 h e 48 h (37,2 mg dL⁻¹ e 37,7 mg dL⁻¹) (Figura 1). Os valores de proteína, sódio, potássio e cloreto plasmáticos não apresentaram diferenças significativas.

As práticas de manejo pré-abate foram divididas para o estudo em despesca, transporte e recuperação por 24 h e 48 h. Assim, foi possível a verificação da condição fisiológica de estresse dos animais antes do abate por

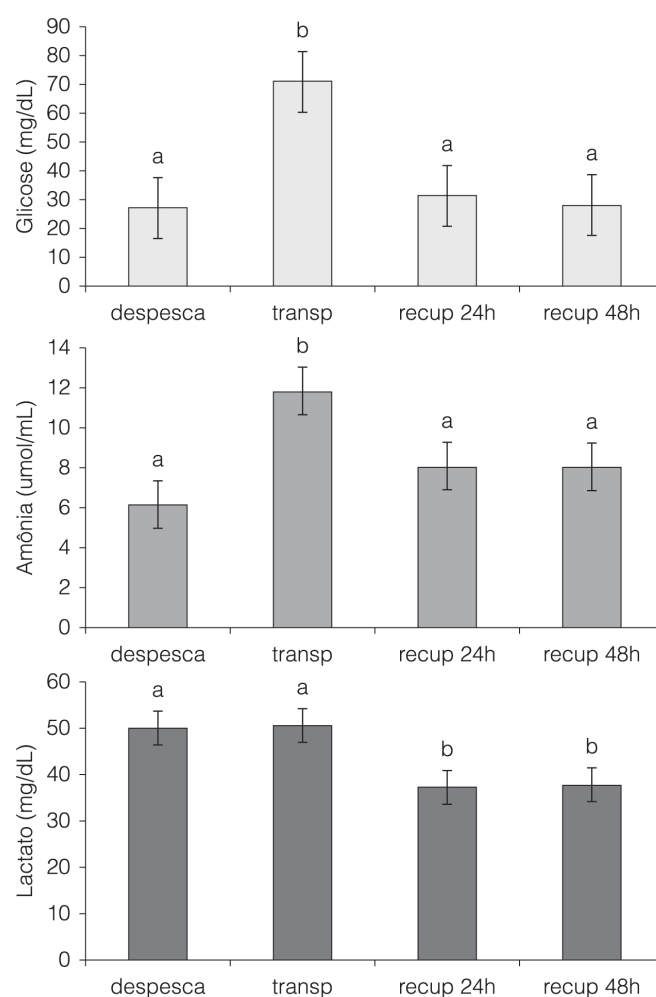


Figura 1. Valores plasmáticos de glicose, amônia e lactato em quatro estados de estresse pré-abate do tambaqui cultivado na região de Manaus, AM, Brasil. Letras diferentes representam diferença significativa ($p < 0,05$) entre os estados de estresse observados após despesca, transporte, recuperação de 24 h e recuperação de 48 h.

Influência do estresse causado pelo transporte e método de abate sobre o *rigor mortis* do tambaqui (*Colossoma macropomum*)

MENDES, J. M. et al.

hipotermia ou asfixia em gás carbônico. De acordo com o perfil dos valores de glicose, lactato e amônia, os peixes abatidos logo após o transporte foram os mais estressados. Estresse intermediário foi observado nos peixes abatidos após a despesca. Estado fisiológico de recuperação do tambaqui ao estresse experimental pôde ser observado a partir de 24 h após o transporte.

Estresse é o conjunto das reações fisiológicas que acontecem no organismo e em uma população tão logo o sistema nervoso dos animais capta um ou mais estímulos adversos ao seu equilíbrio com o ambiente; neste processo, dois eixos fisiológicos são ativados: CPI (cérebro-pituitaria-interrenais) e CSC (cérebro, células simpáticas de cromafina). Cortisol e catecolaminas são liberadas na corrente sanguínea, iniciando os processos metabólicos para a produção de energia extra, para o peixe fugir ou se adaptar às novas condições impostas pelo piscicultor (IWAMA et al., 2004). A mediação do metabolismo dos peixes em condição de estresse é feita predominantemente pelo cortisol, conforme descrito na literatura (MOMMSEN et al., 1999). Entretanto, a análise do cortisol plasmático nem sempre é possível, dadas as condições dessa pesquisa. Mas mesmo assim, de acordo com as alterações dos valores plasmáticos observados para glicose, lactato e amônia neste trabalho, as condições fisiológicas por eles caracterizadas no desenho experimental foram suficientes para ilustrar o estresse pré-abate em cada etapa experimental.

Os aumentos plasmáticos observados neste estudo ocorreram de forma que a glicose indicou estresse com aumento de metabolismo energético, sendo este parâmetro bastante utilizado em estudos de estresse em peixes em condições de campo (HATTINGH, 1976; GOMES et al., 2003). Concomitantemente, houve aumento de catabolismo proteico e metabolismo anaeróbico, ilustrados pela amônia e lactato (CARNEIRO; URBINATI, 2001). Muito provavelmente alguma dificuldade de excreção nitrogenada também ocorreu durante o transporte, quando os peixes estiveram adensados na caixa em condições de baixa qualidade de água (CARNEIRO; URBINATI, 2001). Dessa forma, cada condição de estresse pré-abate observada em cada etapa experimental (despesca, transporte, recuperação por 24 h e recuperação por 48 h) foi determinante sobre o *rigor mortis* do tambaqui abatido por hipotermia ou asfixia em gás carbônico.

O tempo decorrido para morte dos peixes foi de aproximadamente 10 minutos para hipotermia e 20-30 minutos por asfixia em gás carbônico, sem influência dos diferentes estados de estresse impostos ao tambaqui no pré-abate. Os peixes abatidos logo após o transporte apresentaram rigor mais drástico, quando comparados com os peixes submetidos à recuperação. Nas amostras coletadas logo após o transporte, os

peixes abatidos por hipotermia apresentaram rigor total após 60 minutos de sua morte, e os abatidos com gás carbônico obtiveram 100% de rigor com 120 minutos (Figura 2). Os dois métodos de abate utilizados neste trabalho apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) somente nos peixes abatidos após o transporte.

Os peixes abatidos imediatamente após a despesca também apresentaram rápido início de rigor, porém não houve diferenças entre os métodos de abate, apresentando 100% de rigor após 135 min da morte dos animais. Quando os animais foram submetidos a uma recuperação ao estresse de transporte e despesca, apresentaram retardamento na entrada em rigor. Os peixes recuperados por 24h e 48h apresentaram 100% de rigor com 225 e 255 min, em ambos os métodos de abate testados. Essa diferença do tempo de entrada em *rigor mortis*, observada após a recuperação por 24 h e 48 h, ocorreu devido ao estado fisiológico de estresse recuperado, conforme observado no perfil dos valores plasmáticos neste trabalho. Os dois métodos de abate utilizados neste trabalho não afetaram a resolução do *rigor mortis* do tambaqui, tanto na despesca como na recuperação de 24 h e 48 h após o transporte. Somente o grupo de peixes submetidos ao transporte apresentou influência do método de abate no tempo de entrada em rigor. Os peixes abatidos por hipotermia entraram em rigor uma hora antes do que os peixes abatidos por asfixia com gás carbônico.

Como já esperado, devido à entrada mais drástica em *rigor mortis*, os peixes abatidos logo após o transporte apresentaram resolução do rigor mais rápida, apresentando 92% de rigor após 12 dias em gelo, mostrando decréscimo a cada dia. Os peixes abatidos logo após a despesca apresentaram rigor de 95% após 16 dias. Os peixes abatidos após recuperação ao estresse por 24 h e 48 h apresentaram saída de rigor a partir do 20º e 24º dia, respectivamente, de armazenamento em gelo. Esse retardamento na saída do *rigor mortis* está relacionado com o estado fisiológico de recuperação ao estresse. Ou seja, os peixes abatidos após recuperação ao transporte estavam com suas reservas energéticas restabelecidas, conforme indicado pelos valores plasmáticos. Desse modo, o pescado que passou por período de recuperação demorou mais a entrar e sair do *rigor mortis*, preservando melhor suas características organolépticas e com maior tempo de vida útil.

Vargas et al. (2013), que testaram métodos de abate em matrinxã, observaram que peixes abatidos por hipotermia morreram em 8 min e os abatidos por asfixia com gás carbônico morreram após 30 min. Vários autores afirmam que existe estreita relação entre o manejo pré-morte dos peixes e o método de abate sobre a qualidade do produto final (GATICA et al., 2010; MERKIN et al., 2010; ERIKSON, 2011; DIGRE et al., 2011;

Influência do estresse causado pelo transporte e método de abate sobre o *rigor mortis* do tambaqui (*Colossoma macropomum*)

MENDES, J. M. et al.

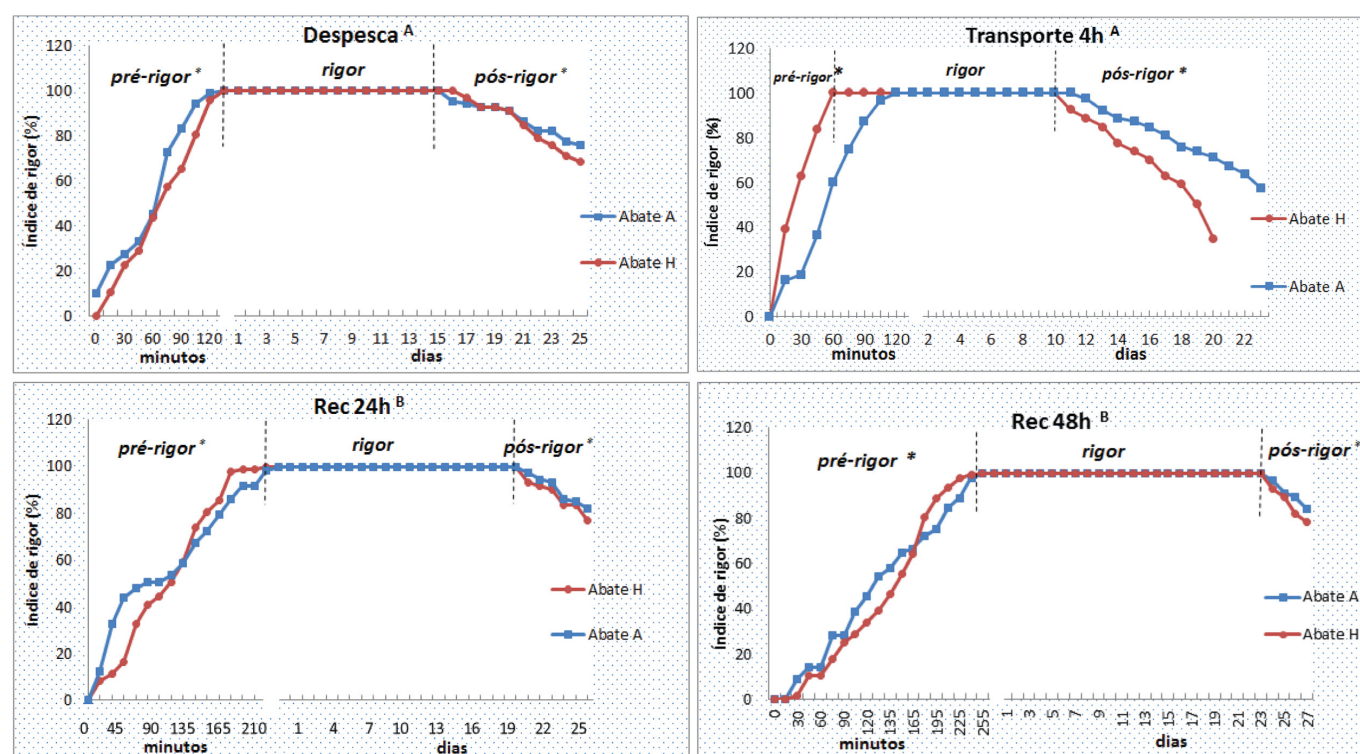


Figura 2. Influência do estresse pré-abate no índice de *rigor mortis* do tambaqui cultivado na região de Manaus (AM), abatido por hipotermia (H) ou asfixia em gás carbônico (A). O estado do estresse pré-abate foi determinado por análises plasmáticas e classificados em ordem decrescente de intensidade: transporte, despesca, recuperação de 24 h e recuperação de 48 h. Letras maiúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p < 0,05$) entre os estados de estresse pré-abate e letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p < 0,05$) entre os métodos de abate.

ERIKSON et al., 2012). O *rigor mortis* é um índice essencial para o monitoramento da qualidade do pescado, já que esse índice pode determinar o tempo de vida útil da matéria-prima. Quanto mais demorada a entrada do peixe em rigor, melhor será a qualidade e tempo de vida útil de sua carne, pois este fenômeno retarda a proliferação de bactérias que deterioram o pescado (ALMEIDA et al., 2006). O início do rigor ocorre quando o conteúdo de ATP no músculo diminui drasticamente. É quando a actina e a miosina se associam formando o complexo actomiosina, promovendo a contração muscular irreversível, dando início ao estado de *rigor mortis* (KNOWLES et al., 2008). Dessa forma, o estresse pré-abate pode influenciar no tempo da entrada em rigor. No presente estudo, a entrada do pescado em *rigor mortis* foi diferente, de acordo com cada estado de estresse imposto ao tambaqui nas quatro etapas do experimento: despesca, transporte, recuperação por 24 h e recuperação por 48 h.

Vários autores afirmam que o estresse sofrido antes do abate acelera a entrada do *rigor mortis* (SIGHOLT et al., 1997; THOMAS et al., 1999; KRISTOFFERSEN et al., 2006; PEDRAZANI et al., 2007; RIBAS et al., 2007; DIGRE et al., 2011; ERIKSON et al., 2012). Os peixes que são submetidos ao estresse pré-abate gastam suas reservas energéticas durante determinado estímulo

ambiental adverso ao equilíbrio fisiológico dos animais. Assim suas reservas energéticas se exaurem e não são suficientes para sustentar os processos bioquímicos do pescado. Quando os peixes morrem, o fornecimento de oxigênio no sangue é interrompido e o pescado passa a usar as vias anaeróbicas, metabolizando o glicogênio a ácido lático. Quando essas reservas de glicogênio são escassas, não há produção suficiente de ácido lático, o que faz a entrada em rigor ocorrer mais rapidamente. Ocorre que o estresse pré-abate exaure as reservas de glicogênio do músculo e do fígado, acelerando ainda mais o estabelecimento do *rigor mortis*, como observado no tambaqui.

Erikson et al. (2012), estudando o efeito do estresse do pré-abate em bacalhau sobre a resolução do *rigor mortis*, observaram que os peixes que foram submetidos ao estresse entraram e saíram de rigor mais rapidamente, de maneira semelhante ao observado neste trabalho. Resultados semelhantes também foram encontrados para "salmão do Atlântico" que, quando submetidos ao estresse pré-abate, mostraram aceleração na entrada do *rigor mortis* (ERIKSON, 2011). Matos et al. (2010) encontraram rigor mais drástico em "sea bream" quando estes foram submetidos ao estresse da despesca e apresentaram rigor com 2 h após a morte, enquanto que

Influência do estresse causado pelo transporte e método de abate sobre o *rigor mortis* do tambaqui (*Colossoma macropomum*)

MENDES, J. M. et al.

os peixes não estressados apresentaram rigor após 20 h da sua morte. Esses trabalhos confirmam que o estresse pré-abate acelera o tempo da entrada em *rigor mortis* como observado para o tambaqui neste estudo.

Resultados similares ao presente estudo foram também encontrados por Gatica et al. (2008), quando estudaram a influência do estresse pré-abate do salmão. Os autores verificaram rigor mais tardio quando os peixes foram submetidos a um período de recuperação de 24 h. As demais etapas do manejo para indústria do salmão, como transporte durante 8 h e bombeamento dos peixes até a planta de processamento, foram considerados altamente estressantes, conduzindo a um rigor mais rápido. Esses autores também observaram que, em termos de estresse, um período de recuperação de 24 h após práticas estressantes pode ser benéfico ao animal, principalmente após o transporte. No presente trabalho foi confirmado que a recuperação de 24 h e 48 h após o transporte retardou o início do *rigor mortis* para o tambaqui, proporcionando melhores condições do pescado durante armazenamento com preservação da qualidade. Acerete et al. (2009) igualmente observaram que o início do rigor em robalos abatidos por hipotermia começou antes do que no grupo abatido por asfixia com gás carbônico.

Os peixes abatidos por hipotermia logo após o transporte provavelmente se estressaram mais do que os abatidos por asfixia com gás carbônico, onde foi observada entrada mais rápida em rigor. Isso pode ter ocorrido, pelo fato dos peixes já estarem com suas reservas energéticas esgotadas, devido ao estresse a que foram submetidos na despesca e no transporte. Por outro lado, a água do tanque de transporte apresentou elevação de temperatura, em relação à água do viveiro de origem. Assim, o abate por hipotermia constituiu condição mais estressante para os peixes abatidos logo após o transporte, já que apresentou entrada mais precoce em *rigor mortis*. No entanto, essa diferença entre os dois métodos de abate, quais sejam, hipotermia ou asfixia com gás carbônico, não foi observada nas demais etapas do trabalho: despesca e recuperação por 24 h e 48 h.

Mesmo com essa diferença no tempo de entrada em rigor entre os métodos de abate estudados, verificou-se que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) na saída do rigor, onde nos dois métodos testados os peixes começaram a sair de rigor no mesmo período: aos 12 dias para todos os peixes abatidos logo após transporte. Santos (2013), estudando a resolução do *rigor mortis* em tilápias abatidas por três métodos, observou diferença no tempo de entrada do rigor, de acordo com os métodos de abate testados, no entanto, a saída do rigor instalou-se de forma semelhante para os três métodos estudados. Vargas et al. (2013) estudando o *rigor mortis* do matrinxã abatido por diferentes métodos, não encontraram

diferenças na entrada nem na saída de rigor, onde em todos os métodos de abate o rigor estabeleceu-se em 1,5 h após a morte dos animais.

A saída do *rigor mortis* foi monitorada neste trabalho, pois é conhecido que a partir desse momento a proliferação microbiana no pescado aumenta demasiadamente, alterando sua qualidade física, química e sensorial. A saída do rigor está relacionada com a degradação de enzimas endógenas proteolíticas como a catepsina, causando a perda da integridade da estrutura do músculo (ACERETE et al., 2009; MATOS et al., 2010). Foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) sobre o tempo de saída do *rigor mortis* do tambaqui, de acordo com os estados de estresse pré-abate a que os peixes foram submetidos na despesca, transporte e recuperação de 24 h e 48 h. Assim, a entrada e a saída do *rigor mortis* parece depender da intensidade e duração do estresse pré-abate.

4 Conclusão

O estresse do tambaqui às práticas de manejo pré-abate teve implicações no *rigor mortis*. O abate por hipotermia antecipou a entrada em *rigor mortis* somente dos animais mais estressados, mas o método de abate não influenciou a resolução do *rigor mortis*. As práticas de manejo pré-abate e, conseqüentemente, o estresse que elas causam são inevitáveis durante a operacionalização da piscicultura. Assim, o abate do tambaqui tanto por hipotermia como por asfixia em gás carbônico deve ocorrer preferencialmente após recuperação ao estresse em instalações industriais apropriadas. No entanto, maiores discussões devem ocorrer sobre a viabilidade desta recomendação para aumento das perspectivas da industrialização do tambaqui no Brasil.

Agradecimentos

Ao CNPq (Processo 483007/11-0), EMBRAPA (Processo 02.13.09.001.00.06.003), FINEP (Projeto DARPA/SEPA/SEPROR), FAPEAM (Bolsa de Mestrado), Estação de Piscicultura do INPA e Dr. Marcos Garcia (EMBRAPA Amazônia Ocidental) pela doação dos peixes e assistência durante o cultivo.

Referências

- ACERETE, L.; REIG, L.; ALVAREZ, D.; FLOS, R.; TORT, L. Comparison of two stunning/slaughtering methods on stress response and quality indicators of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 287, n. 1-2, p. 139-144, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.10.012>.
- ALMEIDA, N. M.; BATISTA, G. M.; KODAIRA, M.; LESSI, E. Alterações pós-morte em tambaqui (*Colossoma macropomum*) conservados em gelo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36,

Influência do estresse causado pelo transporte e método de abate sobre o rigor mortis do tambaqui (*Colossoma macropomum*)

MENDES, J. M. et al.

n. 4, p. 1288-1293, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000400038>.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for determinations of water and wastes**. 12. ed. Washington: Joint Editorial Board, 1980. 683 p.

BITO, M.; YAMADA, K.; MIKUNO, Y.; AMANO, K. Studies on rigor mortis of fish: I. Difference in the mode of rigor mortis among some varieties of fish by modified Cutting's method. **Bulletin of Tokai Regional Fisheries Research Laboratory**, Tokyo, v. 109, p. 89-96, 1983.

CARNEIRO, P. C. F.; URBINATI, E. C. Salt as a stress response mitigator of matrinxã *Brycon cephalus* during transport. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 32, n. 4, p. 297-304, 2001. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2109.2001.00558.x>.

DIGRE, H.; ERIKSON, U.; SKARET, J.; LEA, P.; GALLART JORNET, L.; MISIMI, E. Biochemical, physical and sensory quality of ice-stored Atlantic cod (*Gadus morhua*) as affected by pre-slaughter stress, percussion stunning and AQUI-STM anaesthesia. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 233, n. 3, p. 447-456, 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-011-1531-8>.

ERIKSON, U. Assessment of different stunning methods and recovery of farmed Atlantic salmon: isoeugenol, nitrogen, and three levels of carbon dioxide. **Animal Welfare**, South Mimms, v. 20, p. 365-375, 2011.

ERIKSON, U.; LAMBOOIJ, B.; DIGRE, H.; REIMERT, H. G. M.; BONDØ, M.; VAN DERVIS, H. Conditions for instant electrical stunning of farmed Atlantic cod after dewatering, maintenance of unconsciousness, effects of stress, and fillet quality — a comparison with AQUI-STM. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 324-325, p. 135-144, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.10.011>.

FREITAS, R. S.; BOIJINK, C.; MUNIZ, A. W.; DAIRIKI, J.; INOUE, L. A. K. A. Qualidade da água e perspectivas para o gerenciamento ambiental dos cultivos de tambaqui no município de Rio Preto da Eva, AM. **Scientia Amazonia**, Manaus, v. 3, p. 116-126, 2014.

GATICA, M. C. G.; MONTI, G.; GALLO, C.; KNOWLES, T. G.; WARRISS, P. D. Effects of well-boat transportation on the muscle pH and onset of rigor mortis in Atlantic salmon. **The Veterinary Record**, London, v. 163, n. 4, p. 111-116, 2008. <http://dx.doi.org/10.1136/vr.163.4.111>. PMID:18660520.

GATICA, M. C.; MONTI, G.; KNOWLES, T. G.; GALLO, C. B. Effects of crowding on blood constituents and flesh quality variables in Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Archivos de Medicina Veterinaria**, Valdivia, v. 42, n. 3, p. 187-193, 2010. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2010000300010>.

GENTZKOW, C. J.; MASEN, J. M. An accurate method for the determination of blood urea nitrogen by direct nesslerization.

The Journal of Biological Chemistry, Bethesda, v. 143, p. 531-544, 1942.

GOMES, L. C.; ROUBACH, R.; ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M.; CHIPARRI-GOMES, A. R.; LOPES, N. P.; URBINATI, E. C. Effect of fish density during transportation on stress and mortality of juvenile tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Journal of Aquaculture Society**, Baton Rouge, v. 34, n. 1, p. 76-84, 2003. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.2003.tb00041.x>.

HARROWER, J. R.; BROWN, C. H. Blood lactic acid: a micromethod adapted to field collection of microliter samples. **Journal of Applied Physiology**, Washington, v. 32, n. 5, p. 709-711, 1972. PMID:5038862.

HATTINGH, J. Blood sugar as an indicator of stress in the freshwater *Labeo capensis*. **Journal of Fish Biology**, Londres, v. 10, n. 2, p. 191-195, 1976. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8649.1977.tb04053.x>.

IWAMA, G. K.; AFONSO, L. O.; TODGHAM, A.; ACKERMAN, P.; NAKANO, K. Are hsps suitable for indicating stressed states in fish? **The Journal of Experimental Biology**, Cambridge, v. 207, n. Pt 1, p. 15-19, 2004. <http://dx.doi.org/10.1242/jeb.00707>. PMID:14638828.

KNOWLES, T. G.; BROWN, S. N.; WARRISS, P. D.; LINES, J.; TINARWO, A.; SENDON, M. Effect of electrical stunning at slaughter on the quality of farmed turbot (*Psetta maxima*). **Aquaculture Research**, Oxford, v. 39, n. 16, p. 1731-1738, 2008. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02049.x>.

KRISTOFFERSEN, S.; TOBIASSEN, T.; STEINSUND, V.; OLSEN, R. L. Slaughter stress, post mortem muscle pH and rigor development in farmed Atlantic cod (*Gadus morhua*). **International Journal of Food Science & Technology**, Oxford, v. 41, n. 7, p. 861-864, 2006. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01149.x>.

LAMBOOIJ, E.; KLOOSTERBOER, R. J.; GERRITZEN, M. A.; VAN DE VIS, J. W. Assessment of electrical stunning in fresh water of African Catfish (*Clarias gariepinus*) and chilling in ice water for loss of consciousness and sensibility. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 254, n. 1-4, p. 388-395, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.10.027>.

LOWRY, O. H.; ROSEBROUGH, N. J.; FARR, A. L.; RANDALL, R. J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. **The Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 193, n. 1, p. 265-275, 1951. PMID:14907713.

MATOS, E.; GONÇALVES, A.; NUNES, M. L.; DINIS, M. T.; DIAS, J. Effect of harvesting stress and slaughter conditions on selected flesh quality criteria of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 305, n. 1-4, p. 66-72, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.04.020>.

MERKIN, G. V.; ROTH, B.; GJERSTAD, C.; DAHL-PAULSEN, E.; NORTVEDT, R. Effect of pre-slaughter procedures on stress responses and quality of sea-farmed Rainbow trout

Influência do estresse causado pelo transporte e método de abate sobre o rigor mortis do tambaqui (*Colossoma macropomum*)

MENDES, J. M. et al.

(*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 309, n. 1-4, p. 231-235, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.08.025>.

MOMMSEN, T. P.; VIJAYAN, M. M.; MOON, T. W. Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, London, v. 9, n. 3, p. 211-268, 1999. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1008924418720>.

PEDRAZZANI, A. S.; FERNANDES-DE-CASTILHO, M.; CARNEIRO, P. C. F.; MOLENTO, C. F. M. Bem-estar de peixes e a questão da senciência. **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, v. 12, p. 60-70, 2007.

RIBAS, L.; FLOS, R.; REIG, L.; MACKENZIE, S.; BARTON, B. A.; TORT, L. Comparison of methods for anaesthetizing Senegal sole (*Solea senegalensis*) before slaughter: stress responses and final product quality. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 269, n. 1-4, p. 250-258, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.05.036>.

SANTOS, E. C. B. **Métodos de abate e qualidade da Tilápia**. 2013. 100 f. Tese (Doutorado em Aquicultura)-Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

SCORVO-FILHO, J. Previsões para a aquicultura em 2014. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 139, p. 28-39, 2013.

SIGHOLT, T.; ERIKSON, U.; RUSTAD, T.; JOHANSEN, T. S.; NORDTVEDT, T. S.; SELAND, A. Handling stress and storage temperature affect meat quality of farm-raised Atlantic salmon. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 62, n. 4, p. 989-905, 1997. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb15482.x>.

THOMAS, P. M.; PANKHURST, N. W.; BREMNER, H. A. The effect of stress and exercise on post mortem biochemistry of Atlantic salmon and rainbow trout. **Journal of Fish Biology**, Londres, v. 54, n. 6, p. 1177-1196, 1999. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8649.1999.tb02047.x>.

TRINDER, P. Determination of glucose in blood using glucose oxidase with an alternative oxygen acceptor. **Analytical Clinical Biochemistry**, Canterbury, v. 6, n. 1, p. 24-27, 1969. <http://dx.doi.org/10.1177/000456326900600108>.

VARGAS, S. C.; OLIVEIRA FILHO, P. R. C.; NATORI, M. M.; LIMA, C. G.; VIEGAS, E. M. Evaluation of different stunning methods on aspects of animal welfare meat quality of matrinxá. **Italian Journal of Food Science**, Pinerolo, v. 6, p. 255-262, 2013.

VIEGAS, E. M. M.; PIMENTA, F. A.; PREVIERO, T. C.; GONÇALVES, L. U.; DURÃES, J. P.; RIBEIRO, M. A. R.; OLIVEIRA FILHO, P. R. C. Métodos de abate e qualidade da carne de peixe. **Archivos de Zootecnia**, Cordoba, v. 61, p. 41-50, 2012.