

Estratégias para conservação de recursos genéticos de peixes nativos de interesse econômico



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Pesca e Aquicultura
Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento***

DOCUMENTOS 40

Estratégias para conservação de recursos genéticos de peixes nativos de interesse econômico

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Pesca e Aquicultura

Avenida NS 10, Loteamento Água Fria,
Palmas, TO Caixa Postal nº 90,
CEP 77008-900, Palmas, TO
Fone: (63) 3229-7800
Fax: (63) 3229-7800

www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

**Comitê Local de Publicações da
Embrapa Pesca e Aquicultura**

Presidente

Eric Arthur Bastos Routledge

Secretário-Executivo

Diego Neves de Sousa

Membros

Adriana Lima

Alexandre Uhlmann

Hellen Kato

Jefferson Christofolletti

Lucas Simon Torati

Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida

Unidade responsável pela edição

Embrapa, Secretaria-Geral

Coordenação editorial

Alexandre de Oliveira Barcellos

Heloiza Dias da Silva

Nilda Maria da Cunha Sette

Supervisão editorial

Wyviane Carlos Lima Vidal

Revisão de texto

Everaldo Correia da Silva Filho

Normalização bibliográfica

Rejane Maria de Oliveira

Projeto gráfico e diagramação

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Foto da capa

Jefferson Christofolletti

1ª edição

Publicação digital (PDF) 2020

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Pesca e Aquicultura

Estratégias para conservação de recursos genéticos de peixes nativos de interesse
econômico / Luciana Cristine Vasques Villela ... [et al.]. — Palmas : Embrapa
Pesca e Aquicultura, 2020.

PDF (32 p.) – (Documentos / Embrapa Pesca e Aquicultura, ISSN 2318-1400, 40)

1. Aquicultura. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Diversidade genética.
4. Repovoamento. 5. Proteína animal. I. Kirschnik, Luciana Nakaghi Ganeco.
II. Alves, Anderson Luis. III. Varela, Eduardo Sousa. IV. Rezende, Fabrício Pereira.
V. Torati, Lucas Simon. VI. Belchior, Luciana Shiotsuki. VII. Freitas, Luiz Eduardo Lima de.
VIII. Mataveli, Marcela. IX. Schuch, Aline Cristina. V. Série.

CDD (21. ed.) 639

Rejane Maria de Oliveira (CRB-1/2913)

© Embrapa, 2020

Autores

Luciana Cristine Vasques Villela

Zootecnista, doutora em Ciência Animal, pesquisadora da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

Luciana Nakaghi Ganeco Kirschnik

Zootecnista, doutora em Aquicultura, pesquisadora da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

Anderson Luis Alves

Biólogo, doutor em Genética, pesquisador da Embrapa, Secretaria de Inovação e Negócios, Campinas, SP

Eduardo Sousa Varela

Biólogo, doutor em Genética e Biologia Molecular, pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

Fabício Pereira Rezende

Engenheiro-agrônomo, doutor em Zootecnia, pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

Lucas Simon Torati

Biólogo, doutor em Aquicultura, pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

Luciana Shiotsuki Belchior

Zootecnista, doutora em Genética e Melhoramento Animal, pesquisadora da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

Luiz Eduardo Lima de Freitas

Engenheiro de pesca, doutor em Aquicultura, pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

Marcela Mataveli

Zootecnista, doutora em Zootecnia, analista da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

Aline Cristina Schuch

Bióloga, mestre em Ecologia de Ecótonos, gerente de ações e projetos da Prefeitura Municipal de Porto Nacional, TO

Apresentação

A busca mundial por proteína animal de alta qualidade, alimentos seguros e saudáveis, diversificados e de procedência vem crescendo a cada ano. A aquicultura, fonte de alimentação, nutrição e renda para milhões de pessoas ao redor do mundo, é um ramo da agropecuária com plena capacidade para contribuir com essa crescente demanda. Porém, os recursos genéticos aquáticos precisam ser utilizados de maneira econômica, social e ambientalmente responsável e sustentável, de forma que continuem disponíveis para a população no futuro. Para tanto, uma eficaz gestão desses recursos genéticos é fundamental para que a aquicultura se torne uma importante provedora mundial de proteína animal de alta qualidade nas próximas décadas.

Entre os principais desafios para o estabelecimento de uma adequada gestão dos recursos genéticos de peixes nativos de água doce, destacam-se: a deficiência do processo de domesticação recente das espécies nativas brasileiras; o baixo número efetivo de matrizes em sistemas de produção; a redução das populações naturais nas bacias hidrográficas de origem; as ameaças à diversidade dos recursos genéticos em cativeiro, em razão da gestão pouco eficiente dos plantéis de reprodutores, da intensa utilização de cruzamentos endogâmicos nos sistemas de produção e do inadvertido escape de híbridos interespecíficos das pisciculturas para a natureza; e a introdução de espécies exóticas. Esses desafios afetam diretamente as populações naturais (repositórios de diversidade genética para a produção), podendo reduzir sua diversidade genética e contaminar tais populações com material genético de outras espécies.

A compreensão e superação desses desafios permitirá garantir a viabilidade dos recursos genéticos de peixes nativos no futuro, bem como sua efetiva aplicação em programas de conservação, de melhoramento genético, reposição genética de estoques cultivados e repovoamento de ambientes naturais impactados. Nesse sentido, a presente publicação visa oferecer uma visão geral sobre desafios, estratégias e importância da conservação, além das ações que a Embrapa vem realizando para conservar recursos genéticos de peixes nativos de água doce de interesse econômico e ameaçados de extinção.

Alexandre Aires de Freitas

Chefe-Geral da Embrapa Pesca e Aquicultura

Sumário

Introdução.....	9
Conservação de recursos genéticos de peixes.....	10
Importância	10
Principais desafios	12
Domesticação das espécies	12
Diversidade genética	13
Tamanho efetivo da população	13
Cruzamentos endogâmicos	13
Introdução de espécies exóticas	14
Hibridação interespecífica	15
Ameaça de extinção	15
Principais estratégias	17
Conservação de recursos genéticos in situ	18
Conservação de recursos genéticos ex situ	18
Caracterização fenotípica	21
Caracterização genética	23
Aplicações dos bancos de germoplasma de peixes.....	26
Programa de Conservação de Recursos Genéticos de Peixes da Embrapa	26
Repovoamento	28
Reposição de estoques cultivados	28
Apoio a programas de melhoramento genético	29
Considerações finais	29
Referências	30

Introdução

A aquicultura, cultivo de organismos aquáticos (peixes, crustáceos, moluscos, algas, répteis ou outra forma de vida aquática de interesse humano) geralmente realizado em ambiente confinado e controlado, tornou-se a principal responsável pelo aumento da oferta de peixes para consumo humano, uma vez que a produção de alimentos aquáticos baseada na captura de peixes selvagens encontra-se estagnada desde a década de 1980. Além de constituir proteína animal de fácil digestão, alta qualidade (contendo todos os aminoácidos essenciais) e de baixo custo, o peixe fornece ácidos graxos (ômega-3, por exemplo), vitaminas (A, B e D) e minerais (cálcio, iodo, zinco, ferro e selênio). Mesmo se consumido em pequenas quantidades, traz benefícios à saúde humana, contribuindo de forma positiva para a nutrição e segurança alimentar da população (Nuñez, 2012; In vivo..., 2013; The state..., 2018).

Nas últimas décadas, observa-se um expressivo crescimento da aquicultura. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, sigla do inglês Food and Agriculture Organization), em 2018, a produção aquícola mundial foi de aproximadamente 82 milhões de toneladas, sendo que a piscicultura (produção de peixes em cativeiro) respondeu por quase 70% dessa produção (Tabela 1). A China continua sendo a maior produtora mundial de peixes (45,5 milhões de toneladas), e o Brasil, apesar de não figurar entre os maiores produtores, vem apresentando produções crescentes a cada ano (The state..., 2020).

Tabela 1. Produção mundial de animais aquáticos provenientes da aquicultura no ano de 2018.

Produção aquícola	Milhões de toneladas
Peixes	54,3
Moluscos	17,6
Crustáceos	9,4
Outros animais aquáticos	0,9
Total	82,1

Nota: Produção não inclui plantas aquáticas. Valores totais podem não corresponder por causa de arredondamentos.

Fonte: Adaptado de The state... (2020).

Para que a aquicultura brasileira se torne uma importante provedora mundial de proteína animal de alta qualidade, os recursos genéticos aquáticos precisam ser geridos de maneira eficaz. Para isso, alguns desafios precisam ser superados (Wilcove et al., 1998; Agostinho et al., 2005; Bartley et al., 2007):

- a) Deficiência do processo de domesticação recente das espécies nativas brasileiras.
- b) Baixo número efetivo de matrizes em sistemas de produção.
- c) Redução das populações naturais (principal repositório de recursos genéticos para a produção) nas bacias hidrográficas de origem, com consequente redução da sua diversidade genética.
- d) Ameaças à diversidade dos recursos genéticos em cativeiro, em razão da gestão pouco eficiente dos plantéis de reprodutores, decorrente da intensa utilização de cruzamentos endogâmicos nos sistemas de produção e do escape de híbridos interespecíficos das pisciculturas para a natureza. Essas ações podem afetar as populações naturais, podendo reduzir sua diversidade genética e contaminar os estoques puros com material genético de outras espécies.

- e) Introdução de espécies exóticas.
- f) Espécies ameaçadas de extinção.

Para contornar os desafios aqui apresentados e assegurar a viabilidade dos recursos genéticos aquícolas no futuro (tanto de espécies ameaçadas de extinção como de espécies de interesse econômico), é estratégica a adoção de medidas mitigatórias, associadas a programas para conservação genética e recuperação de espécies nativas de peixes. Nesse sentido, esse documento objetiva apresentar um panorama atual sobre desafios, principais estratégias e importância da conservação, além da contribuição da Embrapa para a conservação dos recursos genéticos de peixes nativos de água doce no Brasil.

Conservação de recursos genéticos de peixes

O termo “conservação de recursos genéticos” remete ao uso adequado dos recursos genéticos. É uma atividade contínua, de longo prazo e que implica investimentos em tempo, em pessoal, em instalações, bem como recursos financeiros. Inclui, ainda, estratégias, planos, políticas e ações voltadas para a manutenção da diversidade genética e de outros valores (ecológico, cultural, etc.) desses recursos, de forma a contribuir para a produção e produtividade alimentar e agrícola, no presente e no futuro (The state..., 2007).

Segundo Bartley et al. (2007), em longo prazo, um programa de conservação visa garantir:

- a) Diversidade genética.
- b) Integridade da base genética.
- c) Uso sustentável dos recursos genéticos animais.

O principal objetivo de um programa de conservação é a manutenção da variabilidade genética (Frankham et al., 2001). Sendo assim, “conservar recursos genéticos” significa conservar a diversidade e a variabilidade das informações genéticas contidas nos genomas dos indivíduos representativos de uma espécie, conservando-os no seu ambiente de origem (conservação *in situ*) ou fora dele (conservação *ex situ*) (Costa et al., 2012).

Dessa forma, para o sucesso de um programa de conservação de recursos genéticos, é imprescindível a implementação de estratégias de manejo que minimizem a perda da variabilidade e aumentem o tamanho efetivo da população. Previamente, para o estabelecimento desses programas, é necessária a identificação de características de interesse desses recursos genéticos, sejam elas geográficas, morfofisiológicas, genéticas ou comportamentais (Toledo-Filho et al., 1999; In vivo..., 2013).

No box da página seguinte são apresentados conceitos de alguns termos utilizados frequentemente na área de conservação de recursos genéticos.

Importância

Os recursos genéticos de peixes compreendem todo material genético de peixes e invertebrados aquáticos com valor real ou potencial para a pesca e a aquicultura, incluindo: DNA, genes, gametas, organismos individuais, populações silvestres ou de cativeiro, além de espécies e organismos geneticamente alterados por seleção, hibridação, manipulação cromossômica e transferência de genes.

Conceitos importantes para a área de conservação de recursos genéticos

- **Acesso** – Amostra de germoplasma representativa de um indivíduo ou população diferenciada e identificada de maneira única. Pode ser definido de maneira geral como qualquer registro individual constante de uma coleção
- **Banco Ativo de Germoplasma (BAG)** – Conjunto de acessos de germoplasma conservado, de uso atual e potencial. Nos BAGs são realizadas atividades de documentação, introdução, intercâmbio, caracterização ou avaliação, multiplicação ou regeneração, conservação e atividades de apoio ao melhoramento genético
- **Banco Ativo de Germoplasma Animal** – Conjunto de acessos de germoplasma animal conservado in vivo, em Núcleos de Conservação (NC), ou de gametas e embriões conservados em botijões criogênicos
- **Banco Genético (BGen)** – Estrutura de conservação que mantém, em médio e longo prazos, coleções de base de germoplasma animal conservado na forma de amostras de gametas e embriões; amostras de DNA extraídas de germoplasma animal e amostras de tecido animal
- **Coleção de Germoplasma Animal (CGer)** – Conjunto de acessos de germoplasma animal conservados in vivo (em Núcleos de Conservação – NC), ou na forma de gametas e/ou embriões, em botijões criogênicos
- **Germoplasma** – Base física do material genético que reúne o conjunto de materiais hereditários de um táxon (espécie/gênero/família) com fins de utilização. Qualquer forma, parte ou estrutura biológica que contém a informação genética que será herdada
- **Recursos Genéticos** – Espécies de plantas, animais e microrganismos de valor socioeconômico e ecológico atual ou potencial, para uso em benefício da humanidade. Compreendem a diversidade do material genético contido nas variedades primitivas, obsoletas, tradicionais, modernas, parentes silvestres das espécies-alvo, espécies silvestres ou linhas primitivas, que podem ser usadas, agora ou no futuro, para a alimentação, agricultura e outros usos

Fonte: Adaptado de Embrapa (2018).

São valiosos por sua importância na aquicultura, pela necessidade de acelerar o aprimoramento genético das populações aquáticas criadas em cativeiro, bem como para garantir a sobrevivência de populações e espécies, uma vez que os estoques selvagens estão ameaçados, encontrando-se em declínio (Bartley et al., 2007).

Além disso, os recursos genéticos de peixes são estratégicos para satisfazer às crescentes demandas da população mundial, sendo esse um dos fatores que já torna sua conservação de fundamental importância (Guedes et al., 1998). Questões preocupantes para a aquicultura, como degradação ambiental e pesca de sobrevivência, as quais ocasionam redução dos estoques e, por consequência, sobrepesca (Costa et al., 2012) só vêm reforçar essa importância.

Apesar de encontrarem-se em fase de domesticação e de adaptação e pouco ainda se conhecer a respeito da sua biologia, muitas espécies nativas de peixes já correm risco de extinção. Sendo assim, sua conservação também é importante no intuito de: evitar a perda de um material genético ainda desconhecido, mas que pode ser valioso no futuro para a agropecuária; contribuir para a manutenção da vida selvagem nos ecossistemas aquáticos brasileiros, para o desenvolvimento sustentável da piscicultura no Brasil e segurança alimentar; e para auxiliar a erradicação da fome e da pobreza (Improving..., 2011).

Os programas de conservação de recursos genéticos de peixes têm seu foco na manutenção da variabilidade natural existente entre as populações, fundamental para a sobrevivência futura das espécies aquícolas (Costa et al., 2012).

Principais desafios

Domesticação das espécies

Para atender a um mercado consumidor que a cada dia mais busca proteína animal de alta qualidade, em especial de fontes aquáticas, é preciso intensificar a produção aquícola, utilizando, para isso, sistemas de produção mais eficientes. Simples mudanças no manejo, na nutrição, na sanidade, na qualidade de água, no melhoramento genético já refletem melhorias na produção. Desafios de produção mais específicos, como resistência às doenças, tolerância de manejo, conversão alimentar aprimorada, manipulação de desova, também podem ser alcançados, contribuindo para aumentar a produção. Todos esses desafios nada mais são do que áreas às quais as espécies selvagens têm que se adaptar para se tornarem domesticadas (Aquaculture..., 2001).

Ao serem transferidos para um ambiente de cativeiro, um novo conjunto de pressões seletivas tende a alterar a frequência dos genes e o desempenho dos peixes selvagens. Indivíduos mais adaptados ao ambiente da aquicultura começam a evoluir. Esse processo nada mais é do que a domesticação (Hiltsdorf; Orfão, 2011), processo pelo qual uma população de animais se adapta ao ambiente cativo e ao homem por meio de mudanças genéticas e eventos de desenvolvimento induzidos pelo meio ambiente que ocorrem ao longo de várias gerações (Price, 1984).

Os efeitos da domesticação podem ser observados nos indivíduos uma a duas gerações após sua remoção do ambiente natural (Hiltsdorf; Orfão, 2011). Mas, por ser um processo lento, um longo período de tempo é preciso para que os animais se adaptem, cada vez mais, ao ambiente de criação (Gjedrem; Baranski, 2009). De acordo com Teletchea e Fontaine (2014), um animal é considerado domesticado quando todo o seu ciclo de vida é realizado em cativeiro. A domesticação também pode levar à endogamia, promovendo alterações genéticas que darão origem a fenótipos menos produtivos (Hiltsdorf; Orfão, 2011).

A domesticação das espécies nativas de peixes é um evento bastante recente. Os avanços tecnológicos que viabilizaram a produção dessas espécies no Brasil tiveram início efetivo nos anos 1980, em quatro principais centros: Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS (Ceará), Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – Codevasf (eixo do Rio São Francisco), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Unesp (Jaboticabal, SP) e Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Peixes Continentais – Cepta (Pirassununga, SP). Desde então, a produção de peixes nativos no Brasil vem se fortalecendo por causa dos investimentos em pesquisas, da difusão de tecnologia, dos cultivos experimentais e comerciais por

parte de produtores individuais, empreendedores e instituições de pesquisa e fomento em todo o País (Kubitza et al., 2007).

Diversidade genética

Diversidade genética diz respeito à variedade de alelos e genótipos presentes em uma população, espécie ou grupo de espécies. Representa o material bruto sobre o qual a seleção natural atua para permitir a adaptação e a evolução dos organismos. A conservação dessa diversidade é fundamental para permitir que as populações se adaptem ao contínuo processo de mudanças ambientais (sejam elas naturais, sejam induzidas pelo homem) e continuem a evoluir e a se adaptar aos sistemas de produção (Frankham et al., 2002; The state..., 2020).

O nível de diversidade genética de uma população determina seu grau de risco e probabilidade de sobrevivência. Níveis elevados, frequentemente encontrados em populações grandes, permitem uma melhor adaptação às mudanças ambientais ou aos sistemas de produção, prevenindo o aumento da consanguinidade e suas consequências deletérias (In vivo..., 2013). Baixos níveis de diversidade, comuns em populações pequenas e/ou espécies ameaçadas de extinção, estão associados à endogamia, podendo ocasionar uma redução do potencial evolutivo, da sobrevivência (valor adaptativo) e do sucesso reprodutivo (Frankham et al., 2002).

Dada a diversidade e a dinâmica dos sistemas de bacias hidrográficas no Brasil, muitas espécies e populações de peixes nativos resguardam um complexo legado genético, com uma variedade de peixes localmente adaptados e geograficamente isolados, com diferentes capacidades reprodutivas, diversidade de formas e tamanhos. A preservação de níveis mais elevados de diversidade genética em populações naturais e em populações submetidas à domesticação tem garantido a manutenção e a exploração do potencial genético das espécies de peixes de importância comercial (Frankham et al., 2004).

Por sua vez, é preciso reconhecer que a exploração eficaz dessa biodiversidade só é possível com a manutenção da diversidade genética em sistemas produtivos (Situação..., 2010). O confinamento genético de animais ao longo de gerações leva inevitavelmente a uma perda da diversidade genética.

Tamanho efetivo da população

Um parâmetro crítico para a manutenção da diversidade genética é o tamanho efetivo da população, determinado pelo número de matrizes e reprodutores que contribuirão com progênie férteis (Gjedrem; Baranski, 2009; Situação..., 2010). A utilização prolongada de um número pequeno de reprodutores diminui exponencialmente, logo nas primeiras gerações, a diversidade genética. O ideal seria o estabelecimento de plantéis com um elevado número de reprodutores, tendo como inconveniente o aumento significativo dos custos de manutenção desses animais nos empreendimentos. Assim, o principal desafio é encontrar um número mínimo viável de animais, respeitando uma proporcionalidade de machos e fêmeas que possa assegurar a reprodução, sem causar danos ao tamanho efetivo e à diversidade genética do plantel (Frankham et al., 2004).

Cruzamentos endogâmicos

Endogamia ou consanguinidade é o resultado do acasalamento entre indivíduos aparentados. É um sistema de acasalamento muito frequente em plantéis de peixes criados em cativeiro,

plantéis normalmente pequenos e com um número baixo de animais fundadores. Consequentemente, é inevitável que animais aparentados acabem sendo selecionados, ao acaso, para a reprodução. Quando não há o controle dos acasalamentos e as progênes resultantes são utilizadas na reposição do plantel, e quando não existe permuta de estoque entre pisciculturas, a endogamia tende a se acentuar nas reproduções subseqüentes do plantel.

Os impactos da endogamia na população em cativeiro são perda da diversidade genética, redução do vigor reprodutivo, menor habilidade para evoluir em resposta às mudanças ambientais, aumento do risco de extinção e perdas em características zootécnicas relevantes para o setor produtivo, como redução da fecundidade; tamanho dos ovócitos; elevadas taxas de mortalidade; baixa eficiência de conversão alimentar e sobrevivência. Esse declínio no desempenho, também chamado de depressão endogâmica, pode ser visualizado logo nas primeiras gerações de acasalamento.

Uma ferramenta útil para realizar o controle da endogamia e a manutenção do tamanho efetivo de reprodutores é o pedigree ou genealogia (conjunto de informações de parentesco entre os indivíduos, em várias gerações). Entretanto, a principal dificuldade em utilizar essa ferramenta na piscicultura é que, em geral, essas informações históricas de reprodução são praticamente inexistentes ou inadequadas para se determinar o nível inicial de endogamia. Geralmente, os animais que compõem a população fundadora não têm reconhecimento de origem, procedência e relações de parentesco genético.

Para a manutenção da diversidade genética de peixes em sistemas produtivos, é extremamente importante minimizar os níveis de parentesco dos fundadores e das gerações subseqüentes. Isso pode ser feito por meio do acasalamento de indivíduos com menor vínculo familiar possível em relação à média da população.

Nesse contexto, os programas de conservação de recursos genéticos de peixes em produção (cativeiro) devem ser considerados como a fundação das populações-base ou plantéis de matrizes, a qual deve ter ampla base genética para evitar a produção de alevinos com alta endogamia e que, consequentemente, terão baixa produtividade na fase de recria e engorda.

Introdução de espécies exóticas

Por ainda se conhecer pouco a respeito da biologia da maioria das espécies de peixes nativos, o desenvolvimento de ações para sua conservação e/ou produção em cativeiro fica dificultado. Também é difícil estabelecer linhagens de peixes nativos puros com maior produtividade sem conhecer seu potencial produtivo e características como rusticidade, resistência às doenças, parasitas e alterações climáticas, entre outras. Esses fatores, entre outros, acabaram incentivando a introdução de espécies exóticas de peixes no Brasil. São espécies tecnologicamente avançadas, que já possuem uma cadeia produtiva estruturada (resultando em menores custos de produção e oferta de peixes com qualidade e preços mais baixos), o que as torna mais atrativas, competitivas e com ampla aceitação no mercado.

As espécies exóticas exercem forte influência na produção aquícola brasileira. Das 758 mil toneladas produzidas em 2019, 62% foram provenientes das espécies exóticas, como tilápias, carpas, trutas e panga (PeixeBR, 2020). No entanto, cuidados precisam ser tomados, pois riscos ambientais, como extinção local dos estoques naturais e perda da biodiversidade em ambientes aquáticos, podem decorrer da introdução dessas espécies exóticas, em razão, principalmente, da competição por espaço e alimento (Alves et al., 2014).

São consideradas exóticas as espécies que ocorrem fora da sua área de distribuição natural (do ponto de vista ambiental, híbridos interespecíficos também são considerados exóticos).

Hibridação interespecífica

O termo hibridação diz respeito ao cruzamento de indivíduos ou grupos geneticamente diferentes, podendo envolver o cruzamento entre linhagens dentro de uma mesma espécie (híbridos intraespecíficos) ou entre indivíduos de espécies diferentes (híbridos interespecíficos) (Bartley et al., 2000).

A hibridação artificial na aquicultura vem despertando grande preocupação (Bartley et al., 2000). Parte da produção de peixes nativos no Brasil é baseada na produção de híbridos interespecíficos. Embora apresente vantagens produtivas em relação às espécies puras (vigor híbrido ou heterose), os impactos ambientais ocasionados pela produção dos híbridos não podem ser ignorados, a saber:

- Contaminação genética dos estoques de reprodutores puros nas pisciculturas em decorrência da semelhança morfológica dos peixes puros e híbridos até a fase juvenil, fase em que normalmente são comercializados. Muitas vezes, por engano, o piscicultor utiliza um peixe híbrido como reprodutor, acreditando se tratar de um puro.
- Risco de extinção de espécies puras em decorrência da fertilidade dos híbridos. Como as pisciculturas não adotam medidas rigorosas para controlar o escape dos híbridos, sendo férteis, eles podem cruzar com os puros no ambiente natural, levando à contaminação genética (incorporação de genes de uma espécie em outra, também conhecida como introgressão genética) dos estoques selvagens.
- Competição por espaço, alimento, e reprodução entre híbridos provenientes de escapes e puros no ambiente natural.

Levando-se em consideração os impactos mencionados, além do risco de perda de um recurso genético, torna-se um desafio para a piscicultura aliar “desenvolvimento econômico” e “preservação da biodiversidade”, uma vez que o estabelecimento de programas de melhoramento genético e a geração de tecnologias para a produção de espécies nativas que possuam características zootécnicas de interesse, como as encontradas nos híbridos obtidos pelos cruzamentos interespecíficos, podem se tornar inviáveis (Alves et al., 2014).

Não existe legislação federal que regule a produção de híbridos no Brasil (Alves et al., 2014). No entanto, além da conscientização dos produtores em relação aos riscos ambientais e genéticos da produção de híbridos, medidas preventivas são necessárias para evitar a contaminação das populações selvagens por híbridos. A conservação das espécies puras é uma dessas medidas.

Ameaça de extinção

A ameaça de extinção é um importante fator que determina a conservação de uma espécie. Considerado o país com a maior biodiversidade aquática do mundo, o Brasil possui cerca de 4.506 espécies de peixes descritas na literatura, das quais 3.148 são continentais. Esse número certamente é maior, uma vez que a ictiofauna brasileira ainda não é totalmente conhecida. O *Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção* relaciona 410 espécies de peixes ameaçadas de extinção. Dessas, 312 referem-se a peixes nativos de água doce (Livro..., 2018b).

Essa ameaça é decorrente, principalmente, de fatores como: industrialização; expansão urbana; construção de barragens e represas; poluição ambiental; alterações climáticas; desmatamento; sobrepesca; aquicultura; construção de portos e abalroamento por grandes embarcações; introdução de espécies exóticas; geração artificial de híbridos interespecíficos sem controle de escape para os ambientes naturais, entre outras (Agostinho et al., 2005).

A partir de informações sobre distribuição geográfica, dados populacionais, características da espécie que interferem em sua resposta às alterações ambientais, ameaças que a afetam e medidas de conservação já existentes, a União Internacional para Conservação da Natureza (UICN) estabeleceu categorias de risco de extinção para avaliar o status de conservação das espécies, as quais são apresentadas no box abaixo. De acordo com a Portaria MMA nº 43/2014, são consideradas ameaçadas as espécies categorizadas como vulnerável, em perigo, criticamente em perigo e extintas na natureza (Machado et al., 2008; Livro..., 2018a).

Categorias utilizadas para definição do grau de risco de extinção de uma espécie

- **Não Avaliado (NE)** – Táxon ainda não avaliado por meio dos critérios UICN
- **Não Aplicável (NA)** – Táxon considerado inelegível para ser avaliado em nível regional
- **Dados Insuficientes (DD)** – Táxon com ausência de informações suficientes para a realização de uma avaliação direta ou indireta do seu risco de extinção, com base na sua distribuição e/ou estado populacional, indicando que informações adicionais são necessárias, que existe a possibilidade de ameaça e que pesquisas futuras poderão indicar uma categoria de ameaça
- **Menos Preocupante (LC)** – Táxon que não se qualifica como Criticamente em Perigo, Em Perigo, Vulnerável ou Quase Ameaçado
- **Quase Ameaçado (NT)** – Táxon que não se qualifica atualmente como Criticamente em Perigo, Em Perigo ou Vulnerável, mas está perto da qualificação ou é provável que venha a se enquadrar em uma categoria de ameaça num futuro próximo
- **Vulnerável (VU)** – Evidências indicam que se cumpre qualquer um dos critérios para Vulnerável. Considera-se, portanto, que o táxon está enfrentando um risco alto de extinção na natureza
- **Em Perigo (EN)** – Evidências indicam que se cumpre qualquer um dos critérios para Em Perigo. Considera-se, portanto, que o táxon está enfrentando um risco muito alto de extinção na natureza
- **Criticamente em Perigo (CR)** – Evidências indicam que se cumpre qualquer um dos critérios para Criticamente em Perigo. Considera-se, portanto, que o táxon está enfrentando um risco extremamente alto de extinção na natureza
- **Extinto na Natureza (EW)** – Táxon cuja sobrevivência é conhecida apenas em cultivo, cativeiro ou como população naturalizada fora da sua área de distribuição natural
- **Regionalmente Extinto (RE)** – Equivale a extinto no Brasil. Táxon cujo último indivíduo potencialmente capaz de se reproduzir na região morreu ou desapareceu da natureza
- **Extinta (EX)** – Táxon cujo último indivíduo morreu

Fonte: Adaptado de Livro... (2018a).

Com base nessa classificação, podem ser estabelecidas estratégias e prioridades de ação que visem à conservação e consequente recuperação de espécies ameaçadas. Por exemplo, quando uma população é considerada “criticamente em perigo”, deve-se focar na manutenção ou no aumento da sua variabilidade genética. Já para populações classificadas como “vulnerável”, o estabelecimento de um programa de melhoramento genético é mais factível.

A compreensão do estado de conservação da biodiversidade é um importante passo para o estabelecimento de medidas de redução do risco de extinção das espécies e para garantir sua sobrevivência. Adicionalmente, a avaliação do risco de extinção das espécies ajuda a definir as prioridades nas políticas públicas de conservação (Livro..., 2018a).

Principais estratégias

Diferentes estratégias podem ser adotadas em um programa de conservação de recursos genéticos. Na Figura 1 são apresentadas as principais. Os animais podem ser conservados dentro (in situ) ou fora (ex situ) do seu habitat. A conservação in situ corresponde à manutenção da espécie in vivo no seu ambiente de origem ou de distribuição natural. A conservação ex situ diz respeito à conservação dos recursos genéticos fora do seu ambiente natural, por meio da manutenção de organismos vivos (in vivo) ou de amostras biológicas (sêmen, ovócitos, embriões, DNA, tecidos, etc.) congeladas (in vitro) (Costa et al., 2012).

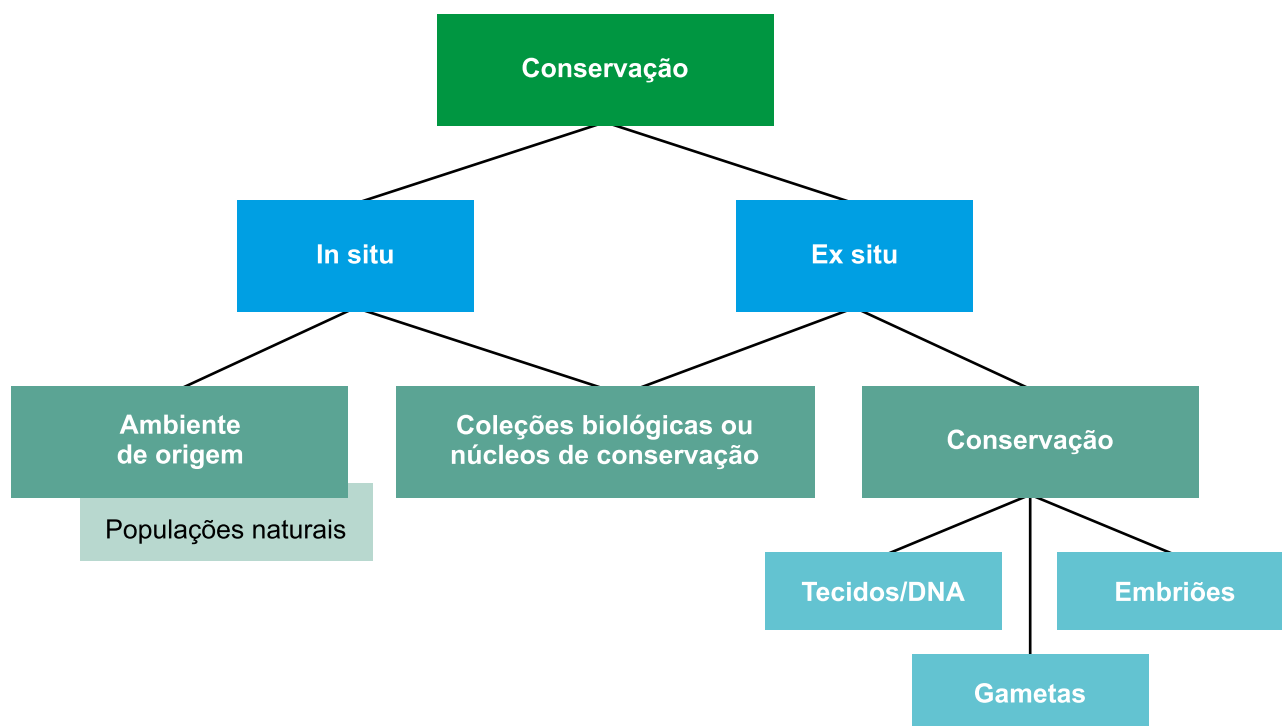


Figura 1. Principais estratégias para conservação de recursos genéticos animais.

Conservação in situ e ex situ são importantes, porém, podem ser complexas e onerosas. A definição por um ou outro tipo deve levar em consideração questões geográficas, disponibilidade de infraestrutura, recurso financeiro, tempo e mão de obra qualificada, entre outras. As duas estratégias de conservação podem ser usadas de forma isolada, ou conjuntamente, uma vez que são complementares (Bartley et al., 2007; Costa et al., 2012).

Conservação de recursos genéticos *in situ*

A expressão latina “*in situ*” significa “no lugar”. Sendo assim, na conservação *in situ*, os recursos genéticos (populações naturais) são conservados *in vivo*, no seu próprio local ou habitat de origem e/ou de distribuição geográfica. Os recursos genéticos animais também podem ser mantidos *in vivo* em núcleos de conservação (NCs) ou em coleções biológicas, os quais podem ser implantados em propriedades particulares, instituições de pesquisa públicas ou privadas, universidades, etc., localizadas no seu habitat de origem e/ou de distribuição geográfica (Castro; Egito, 2012; *In vivo...*, 2013).

A conservação *in situ* apresenta vantagens como a manutenção e o manejo adaptativo dos recursos genéticos, possibilitando sua contínua evolução em diferentes ambientes, evitando, assim, sua estagnação. Por sua vez, a endogamia é um fator preocupante, uma vez que a conservação *in situ* normalmente envolve pequenas populações (pequeno número efetivo de reprodutores). Nesse caso, os acasalamentos devem ser direcionados com cuidado, uma vez que o risco de ocorrência de cruzamento entre indivíduos aparentados é grande, o que pode levar a um aumento da homozigose, com conseqüente diminuição da variabilidade. Dessa forma, genes que poderiam ser importantes no futuro correm o risco de serem perdidos (*In vivo...*, 2013).

A indicação de qual população natural da espécie deve ser priorizada para o estabelecimento de estratégias de conservação *in situ* é outro fator importante. Para isso, critérios como distribuição geográfica da diversidade genética e o tamanho populacional (relacionados com a capacidade das populações naturais de manterem a diversidade e a disseminarem via fluxo gênico) devem ser levados em consideração. Outras dificuldades da conservação *in situ* incluem os elevados custos envolvidos na manutenção do espaço físico, da infraestrutura ou dos próprios animais (*In vivo...*, 2013).

Apesar de desafiadora, a conservação *in vivo* ainda é necessária, mesmo tendo a conservação *ex situ* como uma alternativa.

Conservação de recursos genéticos *ex situ*

Na conservação *ex situ*, o recurso genético é preservado fora do seu habitat de origem ou de ocorrência natural, ou seja, sua manutenção é realizada em condições artificiais em bancos de germoplasma animal. Da mesma forma que na conservação *in situ*, animais vivos podem ser mantidos em núcleos de conservação (NCs) ou coleções biológicas (conservação *ex situ in vivo*), porém, fora do seu ambiente de origem; ou pode-se conservar material genético coletado dos animais (sêmen, embriões, ovócitos, células somáticas, tecidos, DNA, etc.) em bancos de germoplasma ou bancos genéticos (conservação *ex situ in vitro*) (Toledo-Filho et al., 1999; Castro; Egito, 2012; *In vivo...*, 2013).

A conservação *ex situ* constitui uma importante estratégia de conservação de recursos genéticos, por resgatar, conservar e disponibilizar o germoplasma em longo prazo. Constitui ainda uma alternativa na tentativa de diminuir as perdas de recursos genéticos por pressões de seleção (naturais e/ou artificiais) (Paiva et al., 2019).

No banco genético ou banco de germoplasma *ex situ (in vitro)*, podem ser conservadas as coleções de germoplasma animal por um período prolongado de tempo (Tsai; Lin, 2012). Células vivas, como gametas e embriões, além de tecidos estruturalmente intactos, podem ser conservados, em longo prazo, em botijões criogênicos, sob baixas temperaturas (nitrogênio líquido a -196 °C ou em sua fase de vapor a -150 °C) (Kartha, 1985). A criopreservação é uma maneira de conservar e preservar

o genoma de uma espécie, possibilitando a manutenção da diversidade genética de um grande número de animais (grandes plantéis) por meio de tecidos vivos (embriões, sêmen, ovócitos), além de permitir a produção de indivíduos a partir do material biológico ativo criopreservado. Em médio prazo, as coleções de DNA e tecidos (entre outros) podem ser congeladas a -80°C em ultrafreezers ou em freezer comum, a -20°C . Fica assegurada, dessa forma, a utilização do germoplasma/material biológico conservado no futuro (Figura 2).



Figura 2. Infraestrutura para preservação e manutenção do material genético congelado na Embrapa: Banco Genético da Embrapa, localizado em Brasília, DF (A) e (B); botijão de nitrogênio líquido para criopreservação (-196°C) de gametas e embriões (C), (D), (E) e (F); ultrafreezer para congelamento (-80°C) de DNA e tecidos (G).

A conservação ex situ in vitro é um método que não exige muito espaço e mão de obra. No entanto, a infraestrutura deve ser adequada e a mão de obra, especializada, para a correta manutenção dos botijões criogênicos e ultrafreezers.

Esses bancos contribuem para a conservação, manutenção e propagação das populações naturais. São dinâmicos, incorporam diferentes materiais biológicos, são representativos da variabilidade genética da espécie, facilitando o uso da diversidade genética. As coleções (germoplasma/tecido) mantidas nos bancos de germoplasma ex situ podem ser utilizadas para: formação de um novo grupamento genético; reposições no ambiente ou nos sistemas de produção; reconstituição de uma raça/espécie/população em risco de extinção; suporte para programas de conservação in vivo; fornecimento de material genético para programas de melhoramento; aumento da variabilidade genética de populações in situ; pesquisas de genética molecular/reprodução (Albuquerque; lanella, 2016; Paiva et al., 2016).

Preservação de genes por longo período de tempo, possibilidade de manter em um só local material genético de diferentes procedências e melhoramento da proteção da diversidade intraespecífica, especialmente para espécies com ampla distribuição geográfica, são algumas das vantagens dos bancos de germoplasma que proporcionam, portanto, a segurança contra a perda dos recursos genéticos vivos em cativeiro. Ademais, a vulnerabilidade das coleções conservadas nesses bancos é bastante alta, uma vez que estão concentradas em um só local grandes quantidades de material genético. Além disso, a conservação ex situ impossibilita a seleção natural, impedindo a continuidade dos processos evolutivos das espécies. Por isso que, quando possível, recomenda-se o uso conjunto das estratégias de conservação in situ e ex situ (In vivo..., 2013; Paiva et al., 2019).

A conservação ex situ de recursos genéticos animais na Embrapa contempla o Banco de Germoplasma Animal (BGA) – onde são mantidos sêmen e embriões de diferentes espécies animais – e o Banco de DNA/Tecidos, além da conservação ex situ in vivo (Albuquerque; lanella, 2016).

– Conservação de tecidos e DNA

Apesar de não ser considerado germoplasma (pois não é possível recuperar um organismo multicelular a partir do DNA), o DNA é um material biológico importante, utilizado para orientar as estratégias de conservação e de melhoramento genético. Por isso, DNA e tecidos são considerados como parte da conservação ex situ (Paiva et al., 2019).

As coleções mantidas nos bancos de DNA e tecidos são estratégicas para o estudo da biodiversidade. Subsídios valiosos para os programas de conservação e melhoramento, como os parâmetros genéticos, podem ser fornecidos por meio da caracterização molecular dessas coleções (Albuquerque; lanella, 2016).

– Conservação de gametas e embriões

Para conservação de gametas e embriões, há a possibilidade de resfriamento desse germoplasma, ampliando seu período de vida por algumas horas ou dias, e de congelamento (criopreservação), que permite ampliar a viabilidade por vários anos (Billard et al., 2004).

Na piscicultura, a técnica mais utilizada é a criopreservação de sêmen, para a qual existem alguns protocolos estabelecidos para algumas espécies de peixes. Suas principais aplicações práticas são: a) utilização de número adequado de machos na produção de alevinos com o propósito de se evitar ou reduzir endogamia; b) eliminação do problema da assincronia reprodutiva entre machos e fêmeas; c) redução de custos relativos à manutenção do plantel de reprodutores; d) maior segurança sanitária do plantel; e) oportunidade de transporte de gametas sem perda da viabilidade; f) auxílio

na implantação de população-base para programas de melhoramento genético. Considerando os riscos potenciais de redução da diversidade genética por degradação ambiental e sobrepesca, a criopreservação de sêmen de peixes possibilita ainda a conservação da sua diversidade genética (Costa et al., 2012).

Além dessas vantagens, a técnica possibilita: economia de sêmen; disponibilidade de gametas para fertilização durante toda a estação reprodutiva; e simplificação do manejo de reprodutores pela possibilidade de indução hormonal apenas das fêmeas (Cabrita et al., 2010). Entretanto, o emprego do sêmen criopreservado de peixes em laboratórios de reprodução e pisciculturas comerciais brasileiras ainda não é realidade. Mais estudos são necessários visando à padronização das etapas e aplicação de protocolo específico para a espécie em uso (Costa et al., 2012). Também é necessário investimento em equipamentos específicos e em mão de obra qualificada.

A criopreservação apenas do gameta masculino não é suficiente para a preservação da diversidade genética, que também depende do genoma de origem materna (Zhang et al., 2007). A criopreservação de ovócitos oferece algumas vantagens frente aos embriões, por causa da ausência de um córion completamente formado, menor tamanho e maior permeabilidade de membrana, aumentando as chances de sucesso dessa técnica (Tsai et al., 2009; Streit Júnior et al., 2014).

A criopreservação de embriões de peixes ainda é bastante incipiente, em virtude de fatores como: a) toxicidade dos crioprotetores sobre os embriões (relacionada à espécie); b) uso de diferentes protocolos em função da quantidade de vitelo, do tamanho dos ovos, do córion, dos tempos de resfriamento e de exposição, das temperaturas de resfriamento e de reaquecimento; e c) formação de gelo intracelular (Zaniboni Filho; Nuñez, 2004). Estudos para criopreservação de embriões de peixes têm sido realizados, porém nenhum protocolo apresentou sucesso na conservação em longo prazo (Zhang et al., 1993; Cabrita et al., 2010). Alguns estudos mais recentes testaram a técnica de vitrificação (método de criopreservação ultrarrápido, livre de gelo, usando-se altas concentrações de crioprotetores), mas sem desenvolvimento de protocolo de sucesso para peixes nativos (Silva-Costa et al., 2018).

Caracterização fenotípica

A caracterização fenotípica dos recursos genéticos é uma ferramenta importante para a conservação *in situ*, uma vez que permite conhecer melhor a espécie que está sendo conservada, desde aspectos que se referem ao próprio animal até características relacionadas ao meio no qual esse animal está inserido. Permite compreender as várias formas de desenvolvimento e de criação das espécies, as características que as diferenciam umas das outras e sua importância cultural, econômica e social. Com o domínio desse conhecimento, torna-se possível alcançar o máximo de qualidade nas atividades relacionadas não apenas à conservação, mas também ao melhoramento genético da espécie.

Os descritores são definidos como o conjunto de informações básicas que identificam um animal e podem ser divididos em fenotípicos, genotípicos e/ou moleculares. A coleta e a documentação dessas informações em bases de dados digitais, associadas às informações sobre o material biológico coletado e sua genealogia, são imprescindíveis para o estabelecimento de um programa de conservação de recursos genéticos.

De maneira geral, nos programas de conservação *in situ* de recursos genéticos, os marcadores fenotípicos são definidos e coletados, periodicamente, para cada grupo taxonômico. Os descritores

fenotípicos normalmente coletados nas biometrias realizadas nos plantéis são: comprimento total, comprimento padrão, peso e estágio de maturação gonadal (gônada madura ou imatura). Na Figura 3 mostram-se as diferentes etapas da coleta de descritores de peixes.

Fotos: Jefferson Christofoletti



Figura 3. Coleta de descritores fenotípicos durante biometria. Chipagem (A); leitura de chip (B); pesagem (C); anotação dos dados em planilha (D); mensuração de comprimento total do peixe (E e F).

Abaixo é apresentada lista mínima dos descritores fenotípicos que precisam ser coletados para o Programa de Conservação de Recursos Genéticos de Peixes da Embrapa, no momento da entrada do animal no NC ou durante as biometrias realizadas de forma periódica.

Lista mínima dos descritores fenotípicos coletados para o Programa de Conservação de Recursos Genéticos de Peixes da Embrapa

- Nome científico e nome popular da espécie
- Coordenadas geográficas do local da coleta
- Local de coleta (coordenada geográfica, nome do rio, piscicultura, município, etc.)
- Procedência (em caso de material de piscicultura): bacia hidrográfica, data de captura, coordenadas, etc.
- Espécie nativa ou exótica do local de coleta?
- Comprimento total
- Comprimento padrão
- Peso
- Temperatura da água
- pH da água
- Estágio de maturação gonadal (matura ou imatura)
- Número do microchip (tag)

As informações dos descritores fenotípicos são essenciais para a gestão dos NCs, seja para a manutenção da diversidade genética, seja para o direcionamento de cruzamentos desejáveis, ambas objetivando a qualificação do germoplasma das populações naturais e/ou linhagens conservadas.

Caracterização genética

Para o sucesso de um programa de conservação de recursos genéticos animais, suas estratégias devem ser delineadas com base em dados fenotípicos, combinados com dados genéticos. Sendo assim, a caracterização genética dos doadores do germoplasma que está sendo conservado é uma ferramenta valiosa e constitui um complemento fundamental para o programa de conservação (Guedes et al., 1998).

A caracterização genética e molecular das espécies de peixes nativos permite, principalmente: a) compreender a distribuição da variabilidade genética entre e dentro de populações; b) monitorar geneticamente os estoques; c) manter a máxima variabilidade genética dentro dos NCs e BGA; d) controlar a endogamia nas populações; e) buscar e validar marcadores moleculares para características de importância econômica nessas populações; f) selecionar reprodutores represen-

tativos da variabilidade existente dentro das populações para a criopreservação de germoplasma; g) auxiliar nas decisões de quais espécies/populações devem ser conservadas (Guedes et al., 1998; Egito et al., 2002).

Para a realização das análises genéticas/moleculares, amostras biológicas dos animais conservados precisam ser coletadas, identificadas e catalogadas em bancos de dados. A forma de armazenamento pode variar de acordo com o tipo de amostra: tecidos/sangue podem ser armazenados a -20°C ; DNA, a -80°C (Figuras 4, 5 e 6) (Egito et al., 2002).

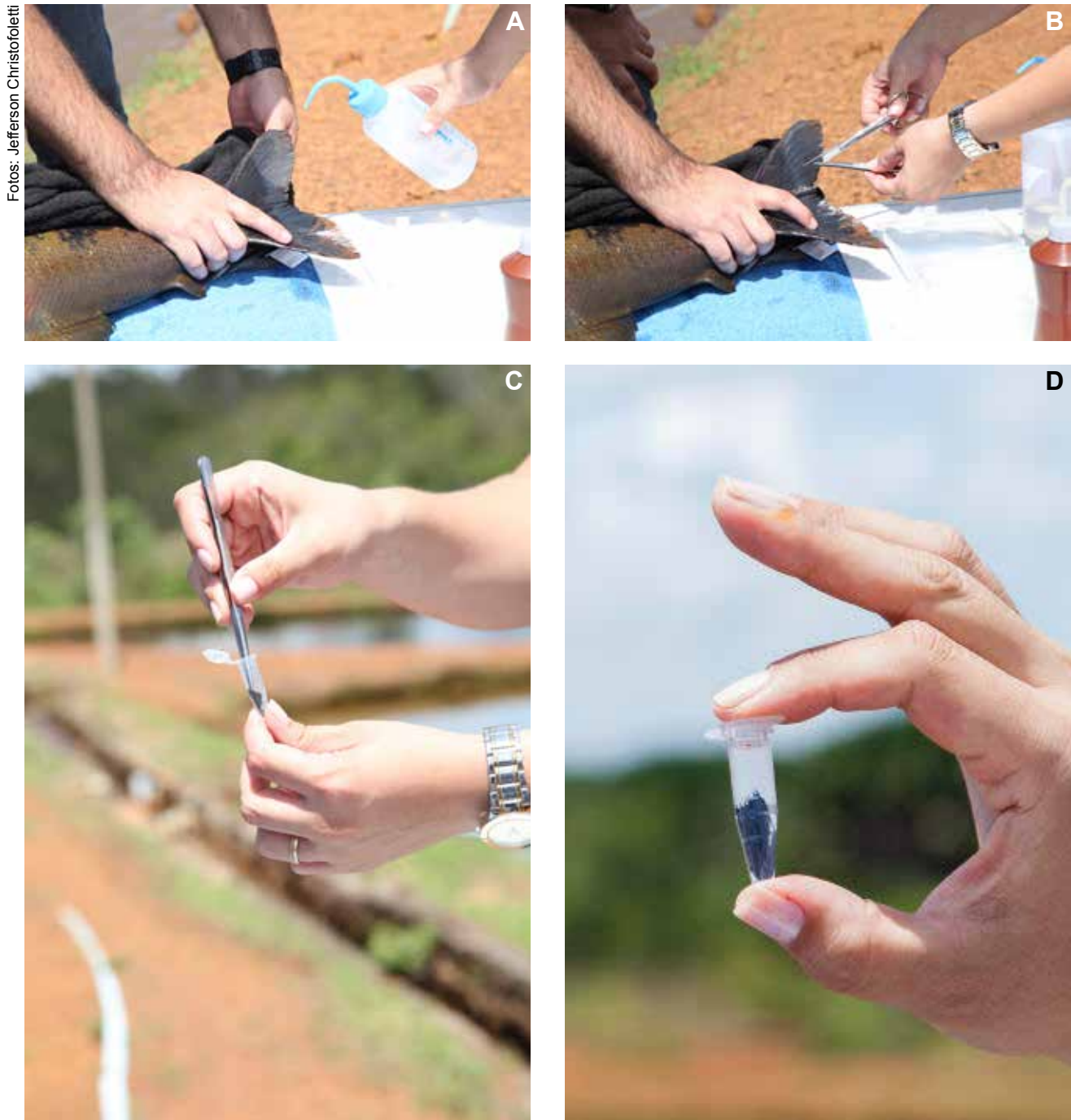
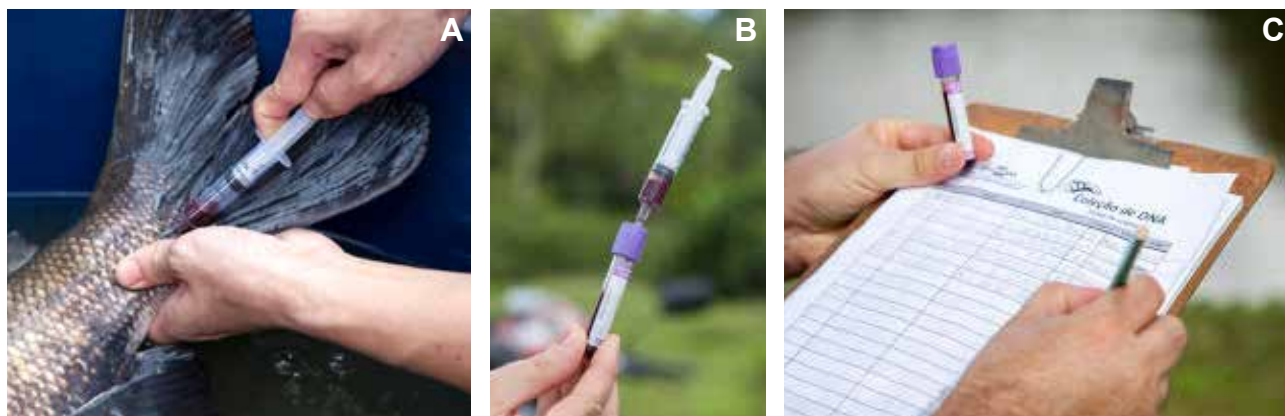
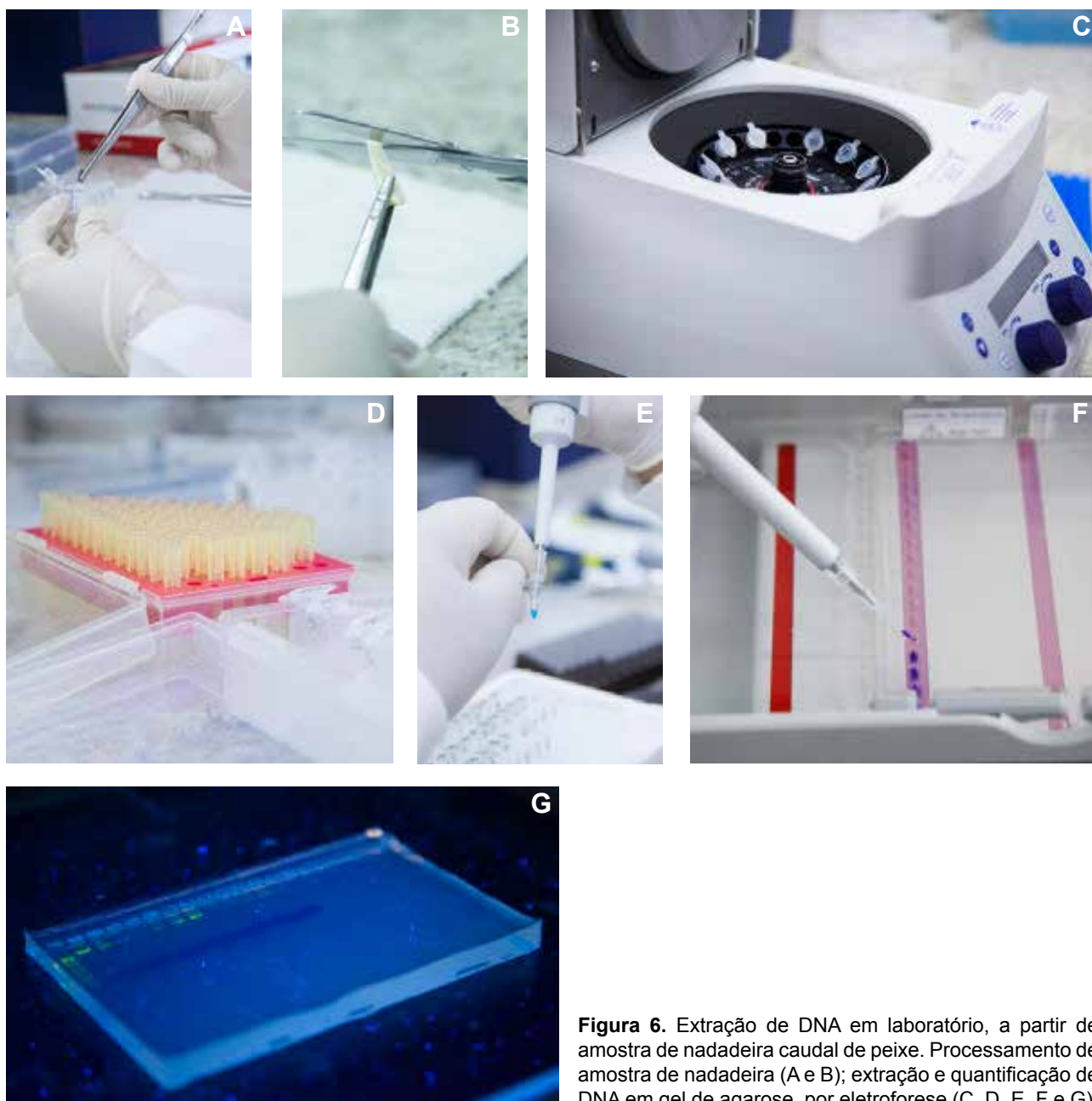


Figura 4. Coleta de material genético (tecidos) para criopreservação: limpeza e desinfecção da nadadeira caudal com álcool 70% (A); corte de uma pequena amostra de tecido da nadadeira caudal, utilizando-se tesoura e pinça limpas (B); acondicionamento da amostra em tubo plástico pequeno devidamente identificado, contendo álcool comum de farmácia (92,8°) (C e D).



Fotos: Jefferson Christofolotti

Figura 5. Coleta de material genético (sangue) para criopreservação: punção do vaso caudal para colheita de sangue (A); acondicionamento do sangue colhido em tubo contendo anticoagulante (B); preenchimento de planilha com informações do animal amostrado (C).



Fotos: Jefferson Christofolotti

Figura 6. Extração de DNA em laboratório, a partir de amostra de nadadeira caudal de peixe. Processamento de amostra de nadadeira (A e B); extração e quantificação de DNA em gel de agarose, por eletroforese (C, D, E, F e G).

Aplicações dos bancos de germoplasma de peixes

A necessidade de conservar recursos genéticos de peixes já é reconhecida pelos cientistas/pesquisadores da área de pesca e aquicultura há algum tempo, tanto que programas de conservação genética para essas espécies já estão estabelecidos em diversas regiões do mundo (Improving..., 2011; Eidt, 2013).

A criação de bancos de germoplasma, que abrigam coleções para a conservação de uma ampla variabilidade genética animal, é uma alternativa viável para a manutenção de espécies em perigo de extinção, podendo ser utilizados para aplicações tradicionais (conservação); preservação da integridade genética de uma espécie; subsídio para programas de repovoamento em ambientes naturais; reposição de estoques cultivados; e apoio para o estabelecimento de programas de melhoramento genético.

Programa de Conservação de Recursos Genéticos de Peixes da Embrapa

No Brasil, ações para a conservação de recursos genéticos de peixes são recentes. Na Embrapa Pesca e Aquicultura (Palmas, TO), essas ações tiveram início em 2011, com a inclusão de três espécies de peixes nativos de água doce no Programa de Conservação de Recursos Genéticos Animais da Embrapa, projeto pertencente ao Portfólio de Recursos Genéticos para a Alimentação, a Agricultura e a Bioindústria da Empresa. A implantação do programa de conservação de recursos genéticos de peixes nativos foi a ação inicial desse projeto, que ainda inclui, até os dias atuais: a) manutenção (sanitária, nutricional e reprodutiva) dos estoques de reprodutores e matrizes nos NCs in vivo de peixes; b) enriquecimento desses núcleos, por meio de coletas e/ou intercâmbio de amostras/indivíduos; c) coleta de descritores fenotípicos nos núcleos e organização desses dados; d) documentação em um sistema de informações (Alelo) da Embrapa dos dados/informações coletados nos núcleos; e) transferência/intercâmbio de germoplasma entre instituições de pesquisa e setor produtivo; e f) caracterização genética dos indivíduos que constituem os NCs in vivo.

Atualmente, está sendo implementado na Embrapa Pesca e Aquicultura um banco ativo de germoplasma (BAG) (Figuras 7 e 8), cujo objetivo será a conservação in situ de material genético de uso imediato ou com potencial de uso futuro nos programas de melhoramento genético. A construção dos viveiros que abrigam os reprodutores e matrizes do BAG foi viabilizada pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), com recursos provenientes do Fundo Setorial do Agronegócio (CT-Agro).

O BAG da Embrapa é constituído por NCs de três espécies de peixes nativos, elencadas como estratégicas e prioritárias para o País: tambaqui (*Colossoma macropomum*), caranha/pirapitinga (*Piaractus brachypomus*) e pirarucu (*Arapaima gigas*). São peixes da Bacia Amazônica de interesse comercial, com produção em diversas regiões do Brasil. Essas espécies apresentam alto potencial produtivo, riscos de perda de diversidade genética por hibridação (no caso dos redondos: tambaqui e caranha) e de extinção local por causa da pesca predatória (no caso de pirarucu).

O foco das ações da Embrapa relacionadas à conservação de recursos genéticos aquáticos tem sido, portanto, a caracterização genética e fenotípica, a gestão da diversidade genética, a manutenção e enriquecimento de coleções biológicas na condição in situ (NCs/coleções biológicas in vivo) e ex situ (banco de germoplasma animal e banco de DNA e de tecidos).

Iniciativas como essas são fundamentais para que a conservação (em curto, médio e longo prazos) e a utilização sustentável dos recursos genéticos de peixes nativos sejam alcançadas.

**A**

Fotos: Jefferson Christofoletti

**B****C****D****E**

Figura 7. Formação do BAG de peixes nativos da Embrapa: coleta no ambiente natural (A); formação do plantel de matrizes (B e C); coleta de tecido para coleção de DNA (D); coleta de sêmen para criopreservação (E).



Figura 8. BAG de peixes nativos da Embrapa Pesca e Aquicultura.

Repovoamento

O repovoamento de peixes em ambientes naturais é uma prática comum em rios e lagos no Brasil e tem como objetivo aumentar a pesca e recompor populações de peixes em ambientes afetados. No entanto, essa prática é realizada sem critérios técnicos, em geral com espécies exóticas ou mesmo com peixes nativos da bacia, no entanto, empregando alevinos de pisciculturas sem controle genético, induzindo a introdução de animais endogâmicos ou híbridos interespecíficos, reduzindo, assim, o sucesso do repovoamento.

Alguns critérios fundamentais são sugeridos para minimizar a chance de insucesso dos repovoamentos: a) controle da origem das matrizes para promover repovoamento sem riscos de introdução de exóticos; b) realização de análises genéticas dos plantéis de matrizes para garantir cruzamentos não endogâmicos; e c) grau de degradação do ambiente/região/bacia a ser povoado.

Dessa forma, com um controle maior do que está sendo introduzido no ambiente natural, as chances de sucesso do repovoamento passam a ser maiores. Para avaliar a efetividade, faz-se o monitoramento da ictiofauna antes e depois do repovoamento por meio de métodos de avaliação populacional dos animais introduzidos.

Reposição de estoques cultivados

Outra aplicação importante dos programas de conservação de recursos genéticos é a reposição de estoques cultivados em: a) pisciculturas com plantel de matrizes endogâmico, com o intuito de aumentar sua variabilidade genética; e b) pisciculturas que utilizam matrizes contaminadas por

híbridos interespecíficos, em decorrência da falta de um controle genético eficiente do plantel. Como exemplo nesse caso, podem ser citados os plantéis teoricamente puros de tambaqui, com matrizes híbridas entre tambaqui e pacu (*Piaractus mesopotamicus*) de segunda ou terceira geração.

Essas situações apontadas reduzem a produtividade das matrizes, aumentam as chances de suscetibilidade a doenças e de mortalidade de alevinos e juvenis, assim como diminuem o desempenho produtivo na engorda. A reposição da variabilidade genética é recomendada nesses casos, uma vez que a busca de animais no ambiente natural não é adequada, pois os animais não são adaptados ao ambiente de cultivo. O ideal, portanto, é a reposição a partir de animais já domesticados para a produção.

Apoio a programas de melhoramento genético

As coleções in situ e ex situ conservadas nos NCs/coleções biológicas e bancos de germoplasma possuem ampla variabilidade genética animal, podendo ser utilizadas como população-base de apoio para os programas de melhoramento genético, cujo objetivo básico é impulsionar as bases de uma produção aquícola sustentável (Gjedrem; Baranski, 2009). Uma população-base com ampla variabilidade genética é imprescindível no intuito de se tentar evitar problemas com consanguinidade, possibilitando o aumento na probabilidade de respostas genéticas em longo prazo (Gjedrem; Baranski, 2009; Streit Júnior et al., 2012).

A aplicação dos recursos genéticos de peixes em programas de melhoramento genético foi amplamente abordada em uma publicação da Embrapa Pesca e Aquicultura (Silva et al., 2018).

Considerações finais

A conservação de recursos genéticos de peixes nativos no Brasil necessita de maior apoio para seu desenvolvimento, como o estabelecimento de um programa de conservação de peixes nativos de água doce de interesse comercial. Espera-se que as espécies envolvidas (tambaqui, caranha e pirarucu), além de terem preservadas suas características genéticas, possam ser utilizadas no futuro como fonte de genes para programas de melhoramento genético, além de outras aplicações com enfoque na sustentabilidade. Os bancos de germoplasma têm papel fundamental nesse processo, sendo fonte de recursos genéticos para qualificação e prospecção de características de interesse produtiva, como: crescimento e ganho de peso, prolificidade reprodutiva, adaptação à determinada condição ambiental, resistência a doenças e parasitas, entre outras.

Nos NCs ou coleções biológicas, são mantidos os animais vivos, possibilitando a pesquisa e a difusão das espécies envolvidas para utilização futura. Nos bancos de germoplasma ex situ in vitro, são conservados sêmen, tecidos e DNA, material genético que pode fornecer a variabilidade necessária, possibilitando a regeneração de uma população/espécie.

Os programas de conservação de recursos genéticos de peixes têm importante missão, conservando de forma in situ e/ou ex situ o material genético nativo do País, garantindo competitividade, autossuficiência na produção de alimentos e preservação ambiental. Os recursos genéticos de peixes também podem ser aplicados aos sistemas de produção, como quando são utilizados para apoio a programas de melhoramento genético. A conservação e o uso dos recursos genéticos precisam caminhar juntos.

Referências

- AGOSTINHO, A. A.; THOMAZ, S. M.; GOMES, L. C. Conservação da biodiversidade em águas continentais do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 70-78, jul. 2005.
- ALBUQUERQUE, M. do S. M.; IANELLA, P. (ed.). **Inventário de recursos genéticos animais da Embrapa**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. 108 p.
- ALVES, A. L.; VARELA, E. S. MORO, G. V.; GANECO-KIRSCHNIK, L. N. **Riscos genéticos da produção de híbridos de peixes nativos**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2014. 58 p. (Embrapa Pesca e Aquicultura. Documentos, 3).
- AQUACULTURE in the third millennium. Rome: FAO, 2001.
- BARTLEY, D. M.; HARVEY, B. J.; PULLIN, R. S. V. (ed.). **Workshop on status and trends in aquatic genetic resources: a basis for international policy**. Rome: FAO, 2007. 179 p. (FAO fisheries proceedings, n. 5).
- BARTLEY, D. M.; RANA, K.; IMMINK, A. J. The use of inter-specific hybrids in aquaculture and fisheries. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 10, p. 325-337, 2000. DOI [10.1023/A:1016691725361](https://doi.org/10.1023/A:1016691725361).
- BILLARD, R.; COSSON, J.; NOVEIRI, S. B.; POURKAZEMI, M. Cryopreservation and short-term storage of sturgeon sperm, a review. **Aquaculture**, v. 236, n. 1-4, p. 1-9, June 2004. DOI [10.1016/j.aquaculture.2003.10.029](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.10.029).
- CABRITA, E.; SARASQUETE, C.; MARTÍNEZ-PÁRAMO, S.; ROBLES, V.; BEIRÃO, J.; PÉREZ-CEREZALES, S.; HERRÁEZ, M. P. Criopreservation of fish sperm: applications and perspectives. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 26, n. 5, p. 623-635, Sept. 2010. DOI [10.1111/j.1439-0426.2010.01556.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2010.01556.x).
- CASTRO, S. T. R.; EGITO, A. A. do. **Manual de curadores de germoplasma – animal: glossário de recursos genéticos animais**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2012. 16 p. (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. Documentos, 341).
- COSTA, A. M.; SPEHAR, C. R.; SERENO, J. R. B. (ed.). **Conservação de recursos genéticos no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 628 p.
- EGITO, A. A. do; MARIANTE, A. da S.; ALBUQUERQUE, M. do S. M. Programa brasileiro de conservação de recursos genéticos. **Archivos de Zootecnia**, v. 51, p. 39-52, 2002.
- EIDT, A. A. **Formação de bancos de germoplasma e sua contribuição para a conservação de espécies e aquicultura**. 2013. 48 p. TCC (Graduação) – Faculdade de Veterinária, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/81214>. Acesso em: 26 dez. 2016.
- EMBRAPA. Manual de normas da Embrapa: organização e funcionamento do Sistema de Curadorias de Germoplasma. **Boletim de Comunicações Administrativas**, n. 2, 2 jan. 2018.
- FRANKHAM, R.; BALLOU, J. D.; BRISCOE, D.; MCINNES, K. Genetic diversity. In: FRANKHAM, R.; BALLOU, J. D.; BRISCOE, D.; MCINNES, K. (ed.). **Introduction to conservation genetics**. Cambridge University Press, 2002. p. 45-71. DOI [10.1017/CBO9780511808999](https://doi.org/10.1017/CBO9780511808999).
- FRANKHAM, R.; BALLOU, J. D.; BRISCOE, D. A. **A primer of conservation genetics**. Cambridge University Press, 2004. DOI [10.1017/CBO9780511817359](https://doi.org/10.1017/CBO9780511817359).
- FRANKHAM, R.; GILLIGAN, D. M.; MORRIS, D.; BRISCOE, D. A. Inbreeding and extinction: effects of purging. **Conservation Genetics**, v. 2, p. 279-284, Sept. 2001. DOI [10.1023/A:1012299230482](https://doi.org/10.1023/A:1012299230482).
- GJEDREM, T.; BARANSKI, M. **Selective breeding in aquaculture: an introduction**. Dordrecht: Springer, 2009. (Reviews: methods and technologies in fish biology and fisheries book series, v. 10). DOI [10.1007/978-90-481-2773-3](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2773-3).
- GUEDES, A. A.; GOEDERT, C. O.; BUSTAMANTE, P. A. **Convenção sobre diversidade biológica: artigo “9” - conservação ex situ**. Brasília, DF, 1998. 37 p.
- HILSDORF, A. W. S.; ORFÃO, L. H. Aspectos gerais do melhoramento genético em peixes no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 317-324, 2011. Suplemento especial.
- IMPROVING collection and sharing of information on aquatic genetic resources (AqGR) for food and agriculture. Rome: FAO, 2011. Disponível em: <http://www.fao.org/3/am647e/am647e.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2016.
- IN VIVO conservation of animal genetic resources. Rome: FAO, 2013. (FAO animal production and health guidelines, n. 14). 242 p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i3327e.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2016.

KARTHA, K. K. Meristem culture and germplasm preservation. In: KARTHA, K. K. (ed.). **Cryopreservation of plant cells and organs**. Boca Raton: CRC Press, 1985. p. 115-134.

KUBITZA, F.; ONO, E. A.; CAMPOS, J. L. Os caminhos da produção de peixes nativos no Brasil: uma análise da produção e obstáculos da piscicultura. **Panorama da Aquicultura**, p. 14-23, jul./ago. 2007.

LIVRO vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção. Brasília, DF: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018a. 4162.

LIVRO vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção: volume VI - peixes. Brasília, DF: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018b.

MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. (ed.). **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente; Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2008. 2 v. (Biodiversidade, 19).

NUÑEZ, J. **Cultured aquatic species information programme: *Arapaima gigas*** (Schinz, 1822). Rome: FAO Fisheries Division, 2012. Disponível em: http://www.FAO.org/fishery/culturedspecies/Arapaima_gigas/en. Acesso em: 26 dez. 2016.

PAIVA, S. R.; ALBUQUERQUE, M. do S. M.; SALOMÃO, A. N.; JOSÉ, S. C. B. R.; MOREIRA, J. R. de A. (ed.). **Recursos genéticos: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 298 p. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

PAIVA, S. R.; MCMANUS, C. M.; BLACKBURN, H. Conservation of animal genetic resources: a new tact. **Livestock Science**, v. 193, p. 32-38, Nov. 2016. DOI [10.1016/j.livsci.2016.09.010](https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.09.010).

PEIXEBR. **Anuário 2020**: peixe BR da piscicultura. São Paulo, 2020. 135 p. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2020>. Acesso em: 10 dez. 2020.

PRICE, E. O. Behavioral aspects of animal domestication. **The Quarterly Review of Biology**, v. 59, n. 1, p. 1-32, 1984. DOI [10.1086/413673](https://doi.org/10.1086/413673).

SILVA-COSTA, R. da; CAPUZZO, C. de S.; RIBEIRO, C. da S.; VERÍSSIMO-SILVEIRA, R.; SIQUEIRA-SILVA, D. H. de; SENHORINI, J. A.; NINHAUS-SILVEIRA, A. Morphological evaluation of *prochilodus lineatus* embryos after vitrification-thawing in high-osmolarity cryoprotectant solution. **Reproduction in Domestic Animals**, v. 53, n. 6, p. 1353-1358, 2018. DOI [10.1111/rda.13249](https://doi.org/10.1111/rda.13249).

SILVA, G. F. da; SHIOTSUKI, L.; TEIXEIRA, R. de A.; DIAS, L. T.; VILLELA, L. C. V.; FREITAS, L. E. L. de; GANECO-KIRSCHNIK, L. N.; VARELA, E. S. **Programas de melhoramento genético na piscicultura**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2018. 58 p. (Embrapa Pesca e Aquicultura. Documentos, 37).

SITUAÇÃO mundial dos recursos genéticos animais para a agricultura e alimentação-versão resumida. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2010. 39 p.

STREIT JÚNIOR, D. P.; GODOY, L. C. de; RIBEIRO, R. P.; FORNARI, D. C.; DIGMAYER, M.; ZHANG, T. Cryopreservation of embryos and oocytes of South American fish species. In: YAMASHIRO, H. (ed.). **Recent advances in cryopreservation**. InTech, 2014. p. 45-58. DOI [10.5772/58703](https://doi.org/10.5772/58703).

STREIT JÚNIOR, D. P.; POVH, J. A.; FORNARI, D. C.; GALO, J. M.; GUERREIRO, L. R. J.; OLIVEIRA, D. de; DIGMAYER, M.; GODOY, L. C. de. **Recomendações técnicas para a reprodução do tambaqui**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2012. 30 p. (Embrapa Meio Norte. Documentos, 212).

TELETCHÉA, F.; FONTAINE, P. Levels of domestication in fish: implications for the sustainable future of aquaculture. **Fish and Fisheries**, v. 15, n. 2, p. 181-195, 2014. DOI [10.1111/faf.12006](https://doi.org/10.1111/faf.12006).

THE STATE of the world's animal genetic resources for food and agriculture. Rome: FAO, 2007. 511 p.

THE STATE of world fisheries and aquaculture 2018: meeting the sustainable development goals. Rome: FAO, 2018. 227 p. Disponível em: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/19540EN>. Acesso em: 26 dez. 2016.

THE STATE of world fisheries and aquaculture 2020: sustainability in action. Rome: FAO, 2020. 244 p. Sustainability in action. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca9229en/ca9229en.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2016.

TOLEDO-FILHO, S. A.; FORESTI, F.; ALMEIDA-TOLEDO, L. F. **Projeto de bancos genéticos na piscicultura brasileira**. São Paulo: Ed. USP, 1999. 53 p.

TSAI, S.; LIN, C. Advantages and applications of cryopreservation in fisheries science. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 55, n. 3, p. 425-433, May/June 2012. DOI [10.1590/S1516-89132012000300014](https://doi.org/10.1590/S1516-89132012000300014).

TSAI, S.; RAWSON, D. M.; ZHANG, T. Development of cryopreservation protocols for early stage zebrafish (*Danio rerio*) ovarian follicle using controlled slow cooling. **Theriogenology**, v. 71, n. 8, p. 1226-1233, May 2009. DOI [10.1016/j.theriogenology.2009.01.014](https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2009.01.014).

WILCOVE, D. S.; ROTHSTEIN, D.; DUBOW, J.; PHILLIPS, A.; LOSOS, E. Quantifying threats to imperiled species in the United States: assessing the relative importance of habitat destruction, alien species, pollution, overexploitation, and disease. **BioScience**, v. 48, n. 8, p. 607-615, Aug. 1998. DOI [10.2307/1313420](https://doi.org/10.2307/1313420).

ZANIBONI FILHO, E.; NUÑER, A. P. O. Fisiologia da reprodução e propagação artificial dos peixes. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALLOSSI, D. M.; CASTAGNOLI, N. (ed.). **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo: TecArt, 2004. p. 45-73.

ZHANG, T.; RAWSON, D. M.; MORRIS, G. J. Cryopreservation of pre-hatch embryos of zebrafish, *Brachydanio rerio*. **Aquatic Living Resources**, v. 6, n. 2, p. 145-153, Apr./June 1993. DOI [10.1051/alr:1993014](https://doi.org/10.1051/alr:1993014).

ZHANG, T.; RAWSON, D. M.; PEKARSKY, I.; BLAIS, I.; LUBZENS, E. Low-temperature preservation of fish gonad cells and oocytes. In: BABIN, P. J.; CERDÀ, J.; LUBZENS, E. (ed.). **The fish oocyte**. Dordrecht: Springer, 2007. p. 411-436. DOI [10.1007/978-1-4020-6235-314](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6235-314).

