



# ruep

Revista UNILUS Ensino e Pesquisa  
v. 16, n. 42, jan./mar. 2019  
ISSN 2318-2083 (eletrônico)

LUCAS DE MENDONÇA RHORMENS

*Centro Universitário Lusíada, UNILUS,  
Santos, SP, Brasil.*

BIANCA AGAMENON MONFARDINI

*Centro Universitário Lusíada, UNILUS,  
Santos, SP, Brasil.*

LARISSA CÉZAR SANTIAGO

*Centro Universitário Lusíada, UNILUS,  
Santos, SP, Brasil.*

CLEI DE BARBERI DE SOUZA

*Centro Universitário Lusíada, UNILUS,  
Santos, SP, Brasil.*

*Recebido em março de 2019.  
Aprovado em maio de 2019.*

## APRIMORAMENTO GENÉTICO EM ORGANISMOS AQUÁTICOS PARA MELHOR APLICABILIDADE NA SOCIEDADE

### RESUMO

A biotecnologia se dá pela aplicação das tecnologias que utilizam organismos vivos com o fim de criar ou modificar produtos para fins específicos. Embora o ser humano utilize-a há milhares de anos, os conhecimentos em diversas áreas científicas como bioquímica e biologia molecular e, em especial, os relacionados à molécula de DNA, revolucionaram as estratégias de manipulação dos ácidos nucleicos dos organismos, possibilitando sua modificação genética. Atualmente tem-se como praticável a modificação no DNA de várias espécies, desde microorganismos, plantas e até mesmo animais. O presente trabalho propõe analisar um apanhado de utilizações de organismos aquáticos geneticamente modificados, alertando também sobre os riscos envolvidos na transgenia e formas de contê-los.

Palavras-Chave: biotecnologia; organismos aquáticos.

## GENETIC ENHANCEMENT IN AQUATIC ORGANISMS FOR BEST APPLICABILITY IN SOCIETY

### ABSTRACT

Biotechnology is the application of technologies that use living organisms to create or change products for specific purposes. Although the human being used it for thousands of years, the knowledge in many scientific areas like biochemistry and molecular biology, and especially those related to the DNA molecule, revolutionized the strategies of manipulation of the organisms' nucleic acids, allowing their genetic modification. Currently, it is possible to change the DNA of several species, from microorganisms, to plants and even animals. The present work proposes to analyze a collection of uses of genetically modified aquatic organisms, also warning about the risks involved in the transgeny and ways of containing them.

Keywords: biotechnology; organisms; fish.

Revista UNILUS Ensino e Pesquisa  
Rua Dr. Armando de Salles Oliveira, 150  
Boqueirão - Santos - São Paulo  
11050-071  
<http://revista.unilus.br/index.php/ruep>  
[revista.unilus@unilus.br](mailto:revista.unilus@unilus.br)  
Fone: +55 (13) 3202-4100

## INTRODUÇÃO

Incríveis avanços na biotecnologia foram demonstrados nos últimos anos e, graças a estes, foi possível dominar o processo de alteração genética em células animais, ou seja, é possível alterar o material genético responsável por características hereditárias de seres vivos criando em laboratório organismos geneticamente modificados que expressam genes selecionados, estes podendo ser da mesma espécie (OGM/GM - Organismos Geneticamente Modificados) ou de outras (transgênicos). À medida que adquirimos conhecimento, as técnicas evoluíram rapidamente, possibilitando o uso de inúmeros organismos, inclusive de diversas espécies de peixes (PINKERT, 2014).

O intuito de gerar organismos geneticamente modificados é para que eles possam trazer algum tipo de benefício para os seres humanos, como o aumento da gama de conhecimento em torno da biologia humana e animal proveniente das pesquisas com estes organismos. Esses conhecimentos, por sua vez, podem se traduzir diretamente em melhorias de qualidade de vida humana através de sua aplicação, como o uso de uma proteína com o interesse de melhorar a qualidade do filé de peixe; utilização de embriões como modelo de pesquisa para o tratamento de diversas doenças; a manutenção de ambientes aquáticos; entre outros (DUNHAM; WINN, 2014).

Ainda não há leis e regulamentações claras a fim de fornecer o controle e prevenir possíveis riscos quanto ao uso dos peixes transgênicos, porém isto seria um grande aliado para o avanço da biotecnologia no meio aquícola. A tendência mundial é que a utilização dos peixes transgênicos continue crescendo ao longo dos anos, principalmente na indústria alimentícia onde algumas espécies já estão liberadas para consumo (VAN EENENNAAM; MUIR, 2011).

O presente estudo foi realizado com o intuito de levantar e agrupar dados referentes aos avanços que a biotecnologia proporciona por meio da utilização de organismos aquáticos, bem como os impactos científicos gerados pela aplicabilidade desses conhecimentos em pesquisas biomoleculares e os riscos que a produção de peixes geneticamente modificados oferece.

## OBJETIVO

Levantamento de dados pré-existentes relacionados a pesquisas utilizando organismos aquáticos geneticamente modificados e algumas das aplicabilidades destes peixes na modalidade científica.

## METODOLOGIA

O estudo foi realizado a partir de artigos científicos, periódicos e livros, disponíveis nas plataformas online como Google Acadêmico, Scielo e PubMed. Foram pesquisadas informações referentes às técnicas de modificação genética, prática da aquicultura, peixes mais comumente utilizados e suas aplicações.

## ASPECTOS GERAIS SOBRE A AQUICULTURA E A BIOTECNOLOGIA

A aquicultura, também conhecida como aquacultura, é um termo que se refere à atividade de cultivar animais aquáticos. É dividida em vários ramos, como: piscicultura, a criação de peixes; malacocultura, a criação de moluscos; raniicultura, a criação de rãs; carcinicultura, a criação de camarões; maricultura, tendo um enfoque em espécies exclusivamente marinhas, entre outras (TAVARES-DIAS; MARIANO, 2015).

É uma prática antiga, encontrada em registros históricos, inicialmente realizada de forma primitiva, na qual os peixes eram confinados, porém sem a adição de recursos externos. Entretanto, com o desenvolvimento de novas tecnologias, a aquicultura

atualmente conta com o manejo do ambiente no qual os organismos são cultivados, presando o aumento da produção (OLIVEIRA, 2009).

O Brasil tem, em teoria, um excelente potencial aquícola, porém a prática ainda não é muito recorrente em território nacional. Afim de explorar este potencial, foi criado um programa chamado Aquabrazil, que tem como uma de suas propostas o melhoramento da qualidade dos alvínos - filhotes de peixes - por meio de modificações genéticas (RESENDE, 2009).

Este é um exemplo claro de como o desenvolvimento de novas tecnologias surgem ao longo do tempo como tentativa de potencializar o desenvolvimento social, e não seria diferente no setor aquícola. Com a manipulação humana de recursos naturais, é possibilitado um novo passo à frente, adequando os produtos às necessidades gerais e abrindo as portas para uma era de avanços tecnológicos proporcionados através da biotecnologia (BOSTOCK et al., 2010).

Há avanços disponibilizados pelas aplicações de técnicas biotecnológicas diretamente na aquicultura, com o objetivo de aumentar a produção de peixes para o consumo humano, mas, além disto, técnicas de modificação genética também podem ser aplicadas em organismos aquáticos com o objetivo de gerar impactos positivos na área da saúde.

Alguns pontos muito vantajosos em utilizar peixes para estudos científicos, o que varia de acordo com a espécie, mas algumas vantagens gerais são sua alta taxa de fecundidade e a produção de ovos em períodos relativamente curtos de tempo (HWANG; CHOU, 2013).

#### PEIXES GENETICAMENTE MODIFICADOS

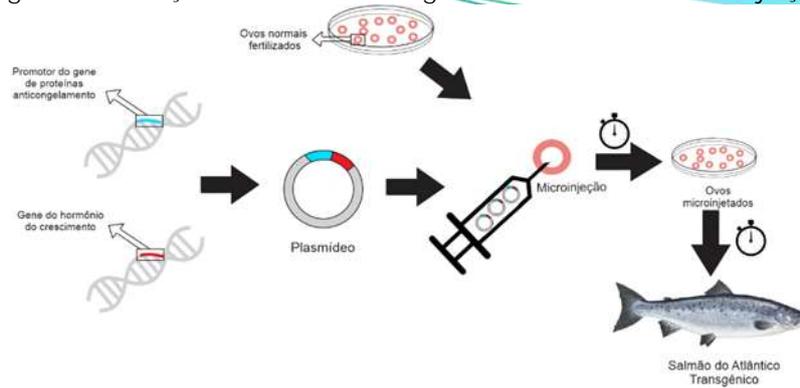
Um organismo transgênico ou OGM pode ser definido como todo e qualquer organismo que teve seu DNA modificado, essa alteração é realizada através de diversas técnicas da engenharia genética, como a microinjeção que é uma das técnicas mais utilizadas na produção de peixes geneticamente modificados (TONELLI; ARAÚJO; REZENDE, 2013).

A figura 1 mostra a metodologia da microinjeção, onde a região promotora de proteínas anti-congelamento, juntamente com o gene do GH são inseridos em um plasmídeo que será injetado nas ovas de salmão. A partir da microinjeção, foi possível a criação de peixes para o consumo humano, mas à medida que as pesquisas avançaram inúmeras espécies começaram a ser estudadas para possivelmente contribuírem para inúmeros setores produtivos da humanidade. Atualmente os peixes de interesse comercial são aqueles que expressam genes que produzem um nível elevado do produto desejado como os peixes que receberam o gene do hormônio do crescimento (KURDIANTO et al., 2016).

O salmão transgênico é um desses exemplos onde além da técnica de transgenia, técnicas de clonagem também são aplicadas para maximizar a eficiência da produção, pois peixes geneticamente modificados possuem uma taxa de reprodução reduzida (KURDIANTO et al., 2016).

Essa clonagem de peixes transgênicos possui alta eficiência, já que a partir de um peixe GM é possível realizar a clonagem desse peixe sem a necessidade de realizar o procedimento de transgenia novamente, os peixes clonados nascem modificados então a partir de um único peixe modificado é possível gerar vários peixes GM tornando o procedimento um negócio rentável (DUNHAM; WINN, 2014).

Figura 1: Geração de salmão transgênico através da microinjeção.



Fonte: Adaptado de Tonelli; Araújo; Rezende, 2013.

A maioria das objeções contra a venda de peixes transgênicos tem base apenas de teorias ou mal-entendidos, mas algumas dessas objeções devem ser levadas a sério, os fatores decisivos não são de fato as objeções, mas sim a falta de pesquisas para esclarecer as dúvidas sobre os possíveis malefícios à saúde que poderiam ser causados (MACLEAN; LAIGHT, 2000).

Apesar disso os Estados Unidos também já aprovaram através da FDA (Food and Drug Administration, órgão equivalente a ANVISA) a venda desse salmão produzido pela empresa AquaBounty Technologies, uma empresa canadense proprietária da patente desse peixe, de acordo com a revista Nature, é a primeira vez que um animal geneticamente modificado está a ser vendido como alimento no mercado (WALTZ, 2016).

#### SALMONÍDEOS PARA MODIFICAÇÃO GENÉTICA

Diversos peixes vêm sendo utilizados como material de pesquisa genética, sendo que cada espécie tem sua melhor utilização no campo da pesquisa. Em especial, os componentes da família Salmonidae (salmonídeos) recebem modificações visando a melhoria das qualidades do pescado para a comercialização e consumo humano, através da intensificação de seu crescimento. A família dos salmonídeos engloba peixes como *Oncorhynchus kisutch*, conhecido como salmão prateado, salmão salar, salmão do atlântico, *Oncorhynchus mykiss*, truta arco-íris, *Oncorhynchus tshawytscha*, salmão-rei, entre outros. Métodos de transgenia são realizados em algumas espécies de salmonídeos como a microinjeção, onde várias cópias de um plasmídeo são inseridos em núcleos de ovos fertilizados do salmão, este plasmídeo contém a região promotora de proteínas anti congelamento proveniente de uma enguia juntamente com o hormônio do crescimento, os peixes podem chegar a atingir o dobro de seu tamanho normal em metade do tempo de crescimento (CASTRO, 2016).

Há, inclusive, um banco de dados criado especificamente para disponibilizar publicamente informações referentes ao genoma do salmão do atlântico e da truta arco-íris, sendo estes dois peixes de extrema importância para a aquicultura e altamente estudados em pesquisas direcionadas à sua estrutura genética. Estas informações estão publicadas gratuitamente no site SalmonDB, onde o banco de dados apresenta também a sequência do genoma de peixes como *Danio rerio*, *Gasterosteus aculeatus*, *Tetraodon lineolus*, *Oryzias latipes* e *Takifugu rubripes* (GENOVA et al., 2011).

#### ALTERAÇÕES GENÉTICAS E FISIOLÓGICAS NOS SALMONÍDEOS

Uma modificação comumente feita em salmonídeos é a adição de hormônios de crescimento (GH - growth hormones), com o objetivo de produzir peixes que apresentem um tamanho maior. Diferente das práticas antigas, como o uso de genes promotores de hormônios de crescimento humano nos animais, a abordagem mais comum para a transgenia

nos salmões tem sido a adição de genes de peixes pertencentes a espécies diferentes (WONG, 2018).

Um dos primeiros registros é a publicação realizada pela revista Nature quanto à produção de GH que poderia ser utilizado em várias espécies de peixes diferentes, a qual se referiu como “all fish” chimeric growth hormone (hormônio quimérico de crescimento de “todos os peixes”). Este hormônio foi produzido por meio de um gene de uma proteína anti congelante (AFP - anti freeze protein) encontrada no *Zoarces americanus*, peixe carneiro americano, ligado ao hormônio de crescimento retirado de um clone de um *Oncorhynchus tshawytscha*, salmão-rei. Este GH quimérico foi adicionado a diversos indivíduos da espécie *Salmo salar*, salmão do atlântico, e a maioria dos peixes modificados, em seu primeiro ano de idade, demonstraram pelo menos o dobro do tamanho de peixes não modificados da mesma espécie, além disso o maior peixe transgênico chegou a demonstrar seu tamanho como sendo 13 vezes maior do que o de um salmão não transgênico, semelhante ao demonstrado na figura 2. Este estudo pioneiro comprova que salmões do atlântico com esta modificação genética podem ter sua taxa de crescimento consideravelmente aumentada especialmente em seu primeiro ano de vida, dada a velocidade muito maior com a qual crescem (DU et al., 1992).

Figura 2: salmão transgênico ao lado de seu parente selvagem.



Fonte: (POLLACK, 2015)

O recebimento do GH pelos peixes está intimamente ligado com a relação destes com o aumento de sua taxa de ingestão alimentar, assim como sua avançada absorção de nutrientes dado seu aumento de área intestinal (FRIESEN; HIGGS; DEVLIN, 2015).

Há dados confirmando que, devido a uma super expressão de GH, diferente dos peixes selvagens, os peixes transgênicos não demonstram uma diferença sazonal em seu consumo alimentar. Isto indica que, independente do clima, os peixes transgênicos continuam tendo o mesmo nível de ingestão, consequentemente não há períodos nos quais seu crescimento é prejudicado pelas condições climáticas (WHITE; VOLKOFF; DEVLIN, 2016).

Pesquisas indicam que inserir GH nos salmões influencia sua metabolização glicídica, sendo que, quando comparados com seus parentes não transgênicos, salmões prateados que receberam modificação genética demonstravam ter a enzima glicocinase em maior quantidade no seu metabolismo, tornando o mesmo mais acelerado e possibilitando que este peixe receba maiores números de alimentos ricos em carboidratos. Esta mudança em sua dieta possibilitou manter elevados os níveis de crescimento, pois, sendo enfatizada a degradação de carboidratos há um aumento considerável na produção de energia e síntese de lipídeos e proteínas (PANSERAT et al., 2014).

Com a maior possibilidade de alimentar os peixes transgênicos com substratos ricos em carboidratos, muitos criadores os alimentam com óleos vegetais. Os óleos vegetais são significativamente mais baratos do que substratos compostos de ingredientes marinhos, sendo mais rentáveis, além de serem componentes da base da cadeia alimentar.

Quando um peixe criado em cativeiro se alimenta diretamente destes óleos vegetais, ele consome uma maior quantidade dos ácidos poli-insaturados que, em ambientes selvagens, seria convertido em outros produtos dentro do organismo de suas presas. Alimentando os salmônidos criados em aquicultura diretamente com óleos vegetais, concentrados em ácidos graxos monoinsaturados, este animal passa a ter uma maior quantidade de ômega 6 e 3 em sua carne, agregando valor nutricional (FRIESEN; HIGGS; DEVLIN, 2015).

Além de todas as modificações biológicas citadas, também há uma mudança comportamental nos peixes com níveis elevados de GH. Essas mudanças comportamentais fazem com que os peixes transgênicos demonstrem uma taxa extremamente inferior de cautela, não negando alimentação mesmo em situações de risco, diferente dos peixes selvagens que controlam seus impulsos alimentares, ou seja isso faz com que aumentem ainda mais de tamanho já que não param de se alimentar e aumentam as chances de morte caso acabem sendo introduzidos em ambiente selvagem (WHITE; VOLKOFF; DEVLIN, 2016). Conclui-se que a presença exacerbada de GH tem uma relação direta com a motivação alimentar não só a níveis fisiológicos, mas também comportamentais, que resultam em mais uma variável favorável ao crescimento destes animais.

Além de terem uma maior ingestão alimentar por seu maior tamanho e por suas mudanças comportamentais, maior produção de energia e síntese lipoproteica dado seu metabolismo acelerado, maior absorção de nutrientes por sua maior área intestinal, eles também apresentam sinais de que não entram em períodos de dormência. São estes os principais fatores que, combinados e disponibilizados através da engenharia genética, fazem com que um peixe modificado geneticamente tendo recebido o GH cresça tão a mais do que seus parentes selvagens, tendo também seu valor nutricional enriquecido. Além da importância destes peixes para a indústria alimentícia os peixes geneticamente modificados também podem ser usados para manutenção de ambientes aquáticos (carpa do limo) ou servir de modelo para estudo de doenças.

#### CARPA DO LIMO SELVAGEM PARA CONTROLE DE VEGETAÇÃO

O modelo ideal para a realização do controle de plantas aquáticas seria um meio que ofereça um baixo custo, efetividade de controle em um alto nível de seletividade, e que tenha efeitos negativos não relevantes ou não possua efeitos negativos (ŠETLÍKOVA, 2006).

A carpa do limo comum pode ser utilizada para controle de vegetação em áreas extensas como lagos grandes, oceanos e mares no caso de plantas altamente invasivas que ameaçam o equilíbrio desses locais, mas sua utilização é feita principalmente em lagos de pequeno e médio porte onde seu controle e contenção tornam-se mais fáceis, o controle da vegetação desses lagos é necessário para seu funcionamento (HOFSTRA; ROWE; CLAYTON, 2014).

A maioria das espécies de peixe é mais seletiva em relação às espécies de plantas consumidas, a carpa do limo se destaca dentre outras espécies de peixe, pois é a única espécie de peixe que se alimenta de todas as espécies de plantas que os outros peixes se alimentam e, além disso, consomem grandes quantidades de plantas macrófitas. A carpa do limo possui uma alta capacidade de adaptação em diversos ambientes, isso a torna uma opção mais viável que as demais espécies, em condições normais podem consumir mais que seu próprio peso em plantas marinhas diariamente, mas a carpa do limo não é uma espécie exclusivamente herbívora, podendo desencadear um desequilíbrio do habitat em que a carpa do limo sem alteração genética foi introduzida (ŠETLÍKOVA, 2006).

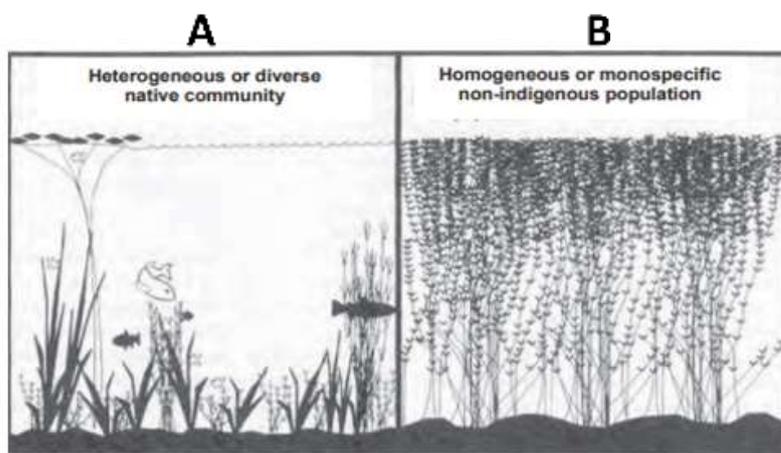
Apesar das vantagens apresentadas a carpa do limo tradicional pode causar mudança nas espécies de plantas presentes, eutrofização e aumento na concentração de fitoplâncton caso ocorra uma superpopulação das mesmas, este não é um evento muito raro devido a sua alta adaptabilidade, gerando aumento da mortalidade da fauna aquática e causando problemas sociais pois algumas populações dependem dessas espécies de peixes

para sua sobrevivência, e por isso as carpas do limo geneticamente modificadas foram desenvolvidas (HOFSTRA; ROWE; CLAYTON, 2014).

### CARPA DO LIMO GENETICAMENTE MODIFICADA

Uma das tentativas de solucionar os problemas causados pela carpa do limo convencional foi a utilização do hormônio do crescimento para criar carpas transgênicas em um processo muito semelhante ao salmão transgênico, a iniciativa partiu do pensamento que sugeria que um peixe de maior extensão corporal consumiria uma maior quantidade de algas diatómeas, diminuindo assim a quantidade inicial de carpas que seriam introduzidas no local, afinal o objetivo nunca é remover completamente aquela vegetação e sim controlá-la, como é mostrado na figura 3-A, caso a vegetação seja completamente removida uma planta invasora pode se estabelecer no local disponível como mostrado na figura 3-B (LIAN et al., 2013).

Figura 3: comparação entre comunidades de plantas controladas (A) e não controladas (B).



Fonte: (GETTYS; HALLER; BELLAUD, 2009).

Foi demonstrado que a baixa população destas carpas depois de introduzidas em um ambiente selvagem não se dava pela baixa capacidade reprodutiva como era pensado, o motivo era na verdade a alta taxa de mortalidade juvenil da população, essas carpas transgênicas mostraram uma incapacidade de se adaptar ao meio selvagem não conseguindo perpetuar sua população e subseqüentemente todas morreram, mostrando a inviabilidade da técnica em locais fora do controle de pesquisadores (DUAN et al., 2010).

A técnica mais utilizada até hoje é a transformação de carpas diploides em carpas triploides, os ovos são expostos a altas ou baixas temperaturas, quando o óvulo é fertilizado, a célula germinativa do ovo se divide em dois corpos polares haploides, o espermatozoide que também é haploide combina com um dos conjuntos femininos de cromossomos para formar a primeira célula diploide que contém os cromossomos masculinos e femininos. O choque causado pela alta e baixa temperatura afasta o segundo corpo polar da união com o espermatozoide para reter os cromossomos, este processo permite que todos os três conjuntos combinem, formando a primeira célula que gera um peixe triploide, o material genético extra não pode ser compensado através de regulação gênica, e efeitos deletérios podem ser expressos nos gametas (tornando-os não funcionais) ou no zigoto (por ser letal, estéril ou de baixa adaptação). Como resultado, as carpas são funcionalmente estéreis, aperfeiçoando o processo do controle de plantas aquáticas, mais de 80% das carpas do limo comercializadas atualmente são triploides, além disso as

capas do limo triploides são baratas em comparação com a maioria dos outros métodos de controle da vegetação aquática (ZAJICEK; GOODWIN; WEIER, 2011).

#### GÊNERO *Danio* COMO MODELO DE ESTUDOS

Os peixes pertencentes ao gênero *Danio*, também conhecido por Zebrafish, ou mesmo Paulistinha, são pertencentes a águas tropicais, originários do continente Asiático, principalmente Índia e países fronteiriços, sendo encontrado sobretudo em rios, córregos e piscinas naturais, porém por ser um peixe de tamanho diminuto, aparência agradável e que não demanda muitos cuidados, é bastante encontrado em aquários expositivos e residenciais. Todas as espécies pertencentes ao gênero são de pequeno porte, possuem alimentação onívora, vivem em média de 3 a 5 anos e têm sua maturação sexual completa muito rapidamente, por volta dos 3 a 6 meses de vida (ENGESZER et al., 2007).

Com o avanço das pesquisas científicas nas áreas relacionadas a organismos transgênicos, o *Danio rerio* apresentou-se como uma das principais alternativas para a realização de experimentos, principalmente os desenvolvidos na área da saúde, devido a um fator determinante de sublimar relevância: é um organismo com elevado grau de homologia genética a seres humanos, o que significa que grande parte de seu genoma, cerca de 70%, é semelhante ao dos humanos, o que justifica sua crescente aplicabilidade no meio médico-científico, já que é muito mais prático, econômico e coerente usar organismos com genomas similares, devido ao fato de que os resultados obtidos nessas pesquisas, na maioria das vezes, tendem a ser muito aproximados às respostas obtidas caso as pesquisas houvessem sido desenvolvidas com seres humanos (GHENO et al., 2015).

#### ESTUDOS SOBRE SARCOMA DE EWING UTILIZANDO O GÊNERO *Danio*

O Sarcoma de Ewing é uma neoplasia óssea, tendo como maior grupo de risco crianças e adolescentes, tem maior prevalência de aparecimento nos ossos longos ou planos, e é mais comumente identificado na segunda década de vida, predominantemente no gênero masculino, sendo comprovadamente causada por translocação entre os cromossomos 22 e 11. A neoplasia é formada a partir da rarefação óssea na cavidade medular, o que, por sua vez, permite que as células tumorais possam se multiplicar indiscriminadamente, formando uma massa óssea ao redor do local de lesão (VILLALTA, 2015).

Alguns estudos têm sido realizados para melhor compreender os sintomas e consequências do Sarcoma de Ewing e quais as razões para que ocorra a translocação cromossômica, e para isso, estão sendo utilizados os peixes do gênero *Danio* como modelo vertebrado para estudo, pois já se comprova a possibilidade da presença de tumores semelhantes ao Sarcoma de Ewing nesses organismos, sendo assim, estão sendo desenvolvidos organismos transgênicos com translocação entre os cromossomos 22 e 11 com o objetivo de abrir as possibilidades para obtenção de melhores condições de tratamento e diagnóstico precoce (LEACOCK et al., 2012).

#### *DANIO RERIO* PARA AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE GLICOCORTICÓIDES NO AMBIENTE

Os glicocorticóides são hormônios esteróides, que podem ser utilizados como fármacos, com função semelhante aos corticóides, ou seja, podem influenciar de diversos processos fisiológicos homeostáticos de regulação de funções cardiovasculares, metabólicas e, principalmente, imunológicas, a partir da atuação em processos inflamatórios (ANTI; GIORGI; CHAHADE, 2008). É importante ressaltar que todos os animais vertebrados possuem receptores compatíveis a glicocorticóides, e por ser um fármaco excretado a partir da urina, sua dissipação pelo meio ambiente a partir de rios pode acarretar em consequências para outras espécies, especialmente espécies aquáticas (CHEN et al., 2017).

Devido a esse crescente problema do aumento de gliocorticoides nos ambientes aquáticos, estão sendo realizadas pesquisas utilizando as larvas do peixe transgênico *Danio rerio* para que seja possível avaliar a atual concentração desses hormônios presentes nas águas, especialmente em locais com zonas pesqueiras. A presença dos fármacos nos ecossistemas aquáticos está acarretando em uma série de alterações nos peixes e outros organismos vertebrados que absorvem grandes quantidades desses hormônios, como deficiências no metabolismo celular, no tecido conectivo e nervoso, e o grande objetivo das pesquisas seria avaliar os efeitos da presença de gliocorticoides nos peixes e as consequências para o meio ambiente, e também para prevenir que os peixes consumidos tenham altos níveis hormonais, que podem ser prejudiciais ao ser humano. (CHEN et al., 2017).

## GÊNERO *DANIO* COMO MODELO DE ESTUDO PARA ACIDENTE VASCULAR ENCEFÁLICO

O Acidente Vascular Encefálico (AVE) é caracterizado pela obstrução ou ruptura de vasos sanguíneos localizados no encéfalo, levando o tecido irrigado pelo vaso em questão a hipóxia e, posteriormente ao infarto. Pode ter diversas causas e fatores de risco, como hipertensão arterial, diabetes e tabagismo, causando, na maioria das vezes comprometimento funcional neurológico. Uma das subcategorias mais graves de AVE é a Hemorragia Intracerebral, que é extremamente intensa e devastadora, causando, na maioria das vezes, o óbito do paciente, e no atual cenário, não existem muitas possibilidades de tratamento, que são majoritariamente ineficazes (CHAVES, 2000).

Recentes pesquisas estão sendo desenvolvidas para identificar possíveis fatores de risco, ou seja, circunstâncias que levem a propensão de ocorrência de um AVE, e para isso, estão sendo utilizados os peixes transgênicos do gênero *Danio*, pois são semelhantes anatômica e fisiologicamente a complexidade de um sistema circulatório fechado, podendo auxiliar nos estudos sobre novos tipos de tratamento e causas de AVE, além disso, com o auxílio do uso de peixes transgênicos foi possível identificar que algumas mutações gênicas não-fenotípicas que estão ocorrendo nos seres humanos podem estar afetando o desenvolvimento da regulação de estabilização neurovascular, ou seja, que essas mutações podem ser fatores de risco para o desenvolvimento de AVE por Hemorragia Intracerebral (EISA-BEYGI; REZAEI, 2016).

## CONTENÇÃO DE ESPÉCIES TRANSGÊNICAS

Um fator de extrema importância relacionado a transgenia em peixes, são os métodos de contenção, já que esses peixes modificados geneticamente, em sua maioria das vezes, têm de permanecer confinados em tanques ou aquários, de forma a impedir possíveis danos ambientais como a extinção de espécies selvagens ou a diminuição da fauna local por intermédio da presença inadequada de organismos transgênicos nesses sistemas, que antes eram naturais (ZHANG et al., 2015).

Mesmo com o uso de barreiras físicas como método de contenção, ainda assim alguns espécimes conseguem escapar dos seus tanques, e por isso, em alguns casos, usa-se como medida preventiva a infertilidade desses organismos, para que não seja possível sua reprodução e, conseqüentemente, sua proliferação em ambientes aquáticos, o que poderia levar a um desequilíbrio ambiental devido às características de predação e competição de cada espécie (DEVLIN et al., 2007).

## DISCUSSÃO

Foi determinado no estudo de Hwang e Chou (2013) que os organismos aquáticos, em específico o *Danio rerio* são excelentes alternativas de modelos experimentais, sendo organismos com a utilização mais vantajosa do que mamíferos, pois são de fácil aplicabilidade de técnicas moleculares, simplicidade de observação celular in vivo,

rápido desenvolvimento embrionário, tornando-se um modelo emergente para o estudo da fisiologia humana.

Uma das maiores preocupações da atualidade, a carência de alimentos disponíveis somado ao crescente aumento populacional, uma das soluções apresentadas é a modificação genética de salmões, de forma que os mesmos apresentem características que alterem seu tamanho, que pode chegar ao dobro de um peixe da mesma espécie, porém sem qualquer alteração (WONG, 2018). Todavia, serão necessários estudos mais aprofundados em relação as consequências para aqueles que vierem a se alimentar desses organismos, já que não há qualquer informe sobre o assunto e que a comercialização já foi legalizada em alguns países.

Uma solução criativa e segura encontrada com o uso da modificação genética em carpas do limo foi a de diminuição da quantidade de algas que sobrepõe a superfície de rios, impedindo assim a passagem de luz solar e troca gasosa na água, fazendo com que caiam drasticamente os níveis de oxigênio dissolvido na água e afetando significativamente a qualidade do ambiente, ocasionando, por fim, na morte de grande parte dos organismos presentes naquele ambiente aquático. Dessa forma, de acordo com o trabalho de Zajicek, Goodwin e Weiner (2011), com a introdução do OGM é possível manter estáveis ambientes que possuem proliferação de algas, ou mesmo recuperar ecossistemas inteiros que outrora foram afetados por esse problema.

As atuais e mais interessantes pesquisas científicas utilizando modificação genética em peixes, tem como principal objetivo descobrir a cura ou tratamento de doenças raras ou neoplasias, de forma que para isso, utilizam o *Danio rerio*, que possui extensa semelhança genética aos seres humanos, apresentando diversas dessas doenças em sua espécie ou sendo possível a indução a elas. Além disso, em decorrência de seu tamanho e intrínscada vascularização, pode ser utilizado para a realização de simulações de cirurgias de alta precisão, como realizadas no cérebro (GHENO et al., 2015).

De acordo com Friesen, Higgs e Devlin (2015) o uso do GH em salmões aumenta sua atratividade para comercialização devido ao tamanho muito superior, além de possuir um maior valor nutricional, porém Zhang (2015) reforça que esses peixes devem ser criados respeitando medidas de contenção para que não haja risco de fuga, o que poderia causar extinções de espécies devido a relações de competição intra e interespecífica, ou seja o peixe transgênico por seu maior tamanho e apetite teria mais sucesso na natureza que outras espécies, causando sua extinção no local.

## CONCLUSÃO

É possível perceber, a partir da análise das informações contidas na literatura, que é crescente o uso da biotecnologia na área de aquicultura, devido aos ótimos resultados em diferentes setores da sociedade como a preservação ambiental, o departamento de alimentos e também para a realização de pesquisas científicas, principalmente voltadas para a esfera da saúde. É importante ressaltar que a grande maioria dos peixes utilizados nos experimentos são acessíveis, ou seja, seu valor de mercado é mais baixo quando comparado com o peixe tradicional, tornando o peixe geneticamente modificado mais atrativo para a população, esse preço mais barato é alcançado devido a facilidade de sua cultura, promovendo um retorno financeiro substancialmente superior, ao avançando a economia do país, esse aumento da economia seria de muita ajuda para países subdesenvolvidos caso a comercialização desses peixes se torne popular mundialmente.

## REFERÊNCIAS

- ANTI, S. M. A; GIORGIO, R. D. N; CHAHADE, W. H. Antiinflamatórios hormonais: Glucocorticóides. *Enfermagem em São Paulo*, v. 6, n. 1, p. 159-165, jan. 2008. Disponível em: <<http://www.medicinacomplementar.com.br/biblioteca/pdfs/Biomoleculares/mb-0919.pdf>>. Acesso em: 31 maio 2018.
- BOSTOCK, J. et al. Aquaculture: global status and trends. *Philosophical Transactions Of The Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 365, n. 1554, p. 2897-2912, 27 set. 2010. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2010.0170>.
- CASTRO, C. A. J. Desenvolvimento de métodos moleculares para identificação de peixes transgênicos. 2016. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/101179/2/176572.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2018.
- CHAVES, M. L. F. Acidente vascular encefálico: conceituação e fatores de risco. *Revista Brasileira de Hipertensão*, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 372-382, dez. 2000. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Marcia\\_Chaves2/publication/251848908\\_Acidente\\_vascular\\_encefalico\\_conceituacao\\_e\\_fatores\\_de\\_risco/links/555ded2608ae6f4dcc8dc5dd/Acidente-vascular-encefalico-conceituacao-e-fatores-de-risco.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marcia_Chaves2/publication/251848908_Acidente_vascular_encefalico_conceituacao_e_fatores_de_risco/links/555ded2608ae6f4dcc8dc5dd/Acidente-vascular-encefalico-conceituacao-e-fatores-de-risco.pdf)>. Acesso em: 31 maio 2018.
- CHEN, Q. et al. Common deregulated gene expression profiles and morphological changes in developing zebrafish larvae exposed to environmental-relevant high to low concentrations of glucocorticoids. *Chemosphere*, Singapore, v. 172, n. 1, p. 429-439, abr. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653517300383?via=ihub#!>>. Acesso em: 30 maio 2018.
- DEVLIN, R. H. et al. Assessing Ecological Effects of Transgenic Fish Prior to Entry into Nature. *Environmental Risk Assessment Of Genetically Modified Organisms*, Cambridge, Ma, v. 3, n. 1, p. 151-187, jan. 2007. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Jeffrey\\_Hard/publication/257920442\\_Risk\\_management\\_Postapproval\\_monitoring\\_and\\_remediation/links/57323b7608ae9ace84047cc5.pdf#page=17](https://www.researchgate.net/profile/Jeffrey_Hard/publication/257920442_Risk_management_Postapproval_monitoring_and_remediation/links/57323b7608ae9ace84047cc5.pdf#page=17)>. Acesso em: 03 maio 2018.
- DU, S. J. et al. Growth Enhancement in Transgenic Atlantic Salmon by the Use of an "All Fish" Chimeric Growth Hormone Gene Construct. *Nature Biotechnology*, [s.l.], v. 10, n. 2, p. 176-181, fev. 1992. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/nbt0292-176>>. Acesso em: 19 maio 2018.
- DUAN, M. et al. Increased mortality of growth-enhanced transgenic common carp (*Cyprinus carpio* L.) under short-term predation risk. *Journal Of Applied Ichthyology*, [s.l.], v. 26, n. 6, p. 908-912, 11 nov. 2010. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0426.2010.01479.x>.
- DUNHAM, R. A.; WINN, R. N. Production of Transgenic Fish. *Transgenic Animal Technology*, [s.l.], p. 305-334, 2014. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-410490-7.00011-6>.
- EISA-BEYGI, S.; REZAEI, M. Etiology of intracerebral hemorrhage (ICH): novel insights from Zebrafish embryos. *The International Journal Of Developmental Biology*, Teerã, v. 60, n. 4, p. 119-126, 2016. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27251071>>. Acesso em: 30 maio 2018.
- ENGESZER, R. E. et al. Zebrafish in the Wild: A Review of Natural History and New Notes from the Field. *Zebrafish*, Seattle, v. 4, n. 1, p. 21-40, mar. 2007. Disponível em: <<https://www.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/zeb.2006.9997>>. Acesso em: 20 maio 2018.

FRIESEN, E. N.; HIGGS, D. A.; DEVLIN, R.H. Flesh nutritional content of growth hormone transgenic and non-transgenic coho salmon compared to various species of farmed and wild salmon. *Aquaculture*, [s.l.], v. 437, p. 318-326, 1 fev. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004484861400619X>>. Acesso em: 07 maio 2018.

GENOVA, A. D. et al. SalmonDB: a bioinformatics resource for *Salmo salar* and *Oncorhynchus mykiss*. *Database*, [s.l.], v. 2011, p. 1-9, 25 nov. 2011. Disponível em: <<https://academic.oup.com/database/article/doi/10.1093/database/bar050/469235>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

GETTY, L. A.; HALLER, W. T.; BELLAUD, M. *BIOLOGY AND CONTROL OF AQUATIC PLANTS: A Best Management Practices Handbook*. Marietta, Georgia: Aquatic Ecosystem Restoration Foundation, 2009. 213 p. Disponível em: <[http://www.upperlonglake.com/attachments/File/Biology\\_and\\_control\\_of\\_Aquatic\\_Plants\\_A\\_Best\\_Management\\_Practices\\_Handbook.pdf](http://www.upperlonglake.com/attachments/File/Biology_and_control_of_Aquatic_Plants_A_Best_Management_Practices_Handbook.pdf)>. Acesso em: 1 maio 2018.

GHENO, E. D. et al. Produção e impacto científico da utilização do Zebrafish como um modelo alternativo de pesquisa no Brasil. *Avaliação e Educação em Ciências - X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - X Enpec*, Águas de Lindóia, v. 10, n. 1, p. 1-8, nov. 2015. Disponível em: <<http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R0713-1.PDF>>. Acesso em: 20 maio 2018.

HOFSTRA, D. E.; ROWE, D. K.; CLAYTON, J. S. Assessment of grass carp use for aquatic weed control: Environmental impacts, management constraints and biosecurity risks in New Zealand waters. *National Institute Of Water & Atmospheric Research Ltd*, New Zealand, v. 1, p. 1-160, jun. 2014. Disponível em: <<https://www.doc.govt.nz/Documents/about-doc/concessions-and-permits/freshwater/assessment-of-grass-carp-use.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

HWANG, P.; CHOU, M. Zebrafish as an animal model to study ion homeostasis. *Pflügers Archiv - European Journal Of Physiology*, [s.l.], v. 465, n. 9, p. 1233-1247, 9 abr. 2013. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s00424-013-1269-1>.

KURDIANTO et al. Growth, Survival, and Body Composition of Transgenic Common Carp *Cyprinus carpio* 3rd Generation Expressing Tilapia Growth Hormone cDNA. *Hayati Journal Of Biosciences*, Indonesia, v. 23, n. 3, p. 150-154, 01 jul. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S197830191630482X?via=ihub>>. Acesso em: 21 abr. 2018.

LEACOCK, S. W. et al. A zebrafish transgenic model of Ewing's sarcoma reveals conserved mediators of EWS-FLI1 tumorigenesis. *Disease Models & Mechanisms*, USA, v. 5, n. 3, p. 95-106, jan. 2012. Disponível em: <<http://dmm.biol.org/content/5/1/95.short>>. Acesso em: 30 maio 2018.

LIAN, H. et al. Transgenic Common Carp Do Not Have the Ability to Expand Populations. *PLoS One*, [s.l.], v. 8, n. 6, p. 1-6, 7 jun. 2013. Disponível em: <<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0065506>>. Acesso em: 21 abr. 2018.

MACLEAN, N.; LAIGHT, R. J. Transgenic fish: an evaluation of benefits and risks. *Fish And Fisheries*, Southampton, v. 1, n. 2, p. 146-172, jun. 2000. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1046/j.1467-2979.2000.00014.x>>. Acesso em: 21 abr. 2018.

OLIVEIRA, R. C. *O PANORAMA DA AQUICULTURA NO BRASIL: A PRÁTICA COM FOCO NA SUSTENTABILIDADE*. 2009. Disponível em: <<http://www.revistarevinter.com.br/autores/index.php/toxicologia/articulo/view/18/229>>. Acesso em: 12 set. 2018.

PANSEERAT, S. et al. Glucose metabolic gene expression in growth hormone transgenic coho salmon. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, [s.l.], v. 170, p. 38-45, abr. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1095643314000166?via=ihub>>. Acesso em: 03 maio 2018.

PINKERT, C. A. *Introduction to Transgenic Animal Technology*. *Transgenic Animal Technology*, [s.l.], p. 3-13, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-410490-7.00001-3>.

RESENDE, E. K. Pesquisa em rede em aquicultura: bases tecnológicas para o desenvolvimento sustentável da aquicultura no Brasil. *Aquabrasil, Viçosa*, v. 38, p. 52-57, jul. 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-35982009001300006&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982009001300006&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 20 abr. 2018.

ŠETLÍKOVÁ, I. A Review of Grass Carp Use for Aquatic Weed Control and its Impact on Water Bodies. *Journal Of Aquatic Plant Management, South Bohemia*, v. 44, p. 1-12, 23 jan. 2006. Disponível em: <<https://www.apms.org/wp/wp-content/uploads/2012/10/v44p01.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2018.

TAVARES-DIAS, M.; MARIANO, W. S. *Aquicultura no Brasil: Novas Perspectivas*. Tocantins: Pedro & João Editores, 2015. 429 p. Disponível em: <[https://vet.ufmg.br/ARQUIVOS/FCK/fil/ELIVRO%20PRONTO\\_VOLUME%20%20%20aquicultura%20no%20Brasil.pdf](https://vet.ufmg.br/ARQUIVOS/FCK/fil/ELIVRO%20PRONTO_VOLUME%20%20%20aquicultura%20no%20Brasil.pdf)>. Acesso em: 18 abr. 2018.

TONELLI, F. P. et al. Transgênia de peixes: a microinjeção em foco. *Nanocell News*, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 1-3, 7 out. 2013. Disponível em: <<http://www.nanocell.org.br/transgenia-de-peixes-a-microinjecao-em-foco/>>. Acesso em: 10 maio 2018.

VAN EENENNAAM, A. L.; MUIR, W. M. Transgenic salmon: a final leap to the grocery shelf?. *Nature Biotechnology*, [s.l.], v. 29, n. 8, p. 706-710, ago. 2011. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1038/nbt.1938>.

VILLALTA, F. J. C. Sarcoma de Ewing. *Revista Médica da Costa Rica e da América Central, Costa Rica*, v. 72, n. 617, p. 695-704, jan. 2015. Disponível em: <<http://www.mediagraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=67156>>. Acesso em: 31 maio 2018.

WALTZ, E. GM salmon declared fit for dinner plates. *Nature Biotechnology*, [s.l.], v. 34, n. 1, p. 7-8, jan. 2016. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/nbt0116-7a>>. Acesso em: 10 maio 2018.

WHITE, S. L.; VOLKOFF, H.; DEVLIN, R. H. Regulation of feeding behavior and food intake by appetite-regulating peptides in wild-type and growth hormone-transgenic coho salmon. *Hormones and Behavior*, [s.l.], v. 84, p. 18-28, ago. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0018506X16301696?via=ihub>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

WONG, D. W. S. Growth Enhancement in Transgenic Fish. *The ABCs Of Gene Cloning*, [s.l.], p. 157-159, 2018. Springer International Publishing. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-77982-9\\_16](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-77982-9_16).

ZAJICEK, P.; GOODWIN, A. E.; WEIER, T. Triploid Grass Carp: Triploid Induction, Sterility, Reversion, and Certification. *North American Journal Of Fisheries Management*, [s.l.], v. 31, n. 4, p. 614-618, ago. 2011. Wiley. Acesso em: 25 jul. 2018.

ZHANG, Y. et al. A controllable on-off strategy for the reproductive containment of fish. *Scientific Reports*, [s.l.], v. 5, n. 1, p. 1-2, 5 jan. 2015. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1038/srep07614>.