



Isótopos estáveis em estudos ecológicos com peixes na Amazônia Brasileira

Jamerson Aguiar Santos¹, Lorenzo Soriano Antonaccio Barroco², Flávia Kelly Siqueira de Souza³,
Carlos Edwar de Carvalho Freitas⁴

Submetido 19/06/2017 – Aceito 27/07/2017 – Publicado on-line 30/07/2017

Resumo

Isótopos estáveis são formas de um mesmo elemento químico que diferem em número de nêutrons no núcleo e que não realizam decaimento radiativo. Os isótopos funcionam como rastreadores da circulação dos elementos químicos na natureza. Assim, são capazes de traçar conexões entre os vários níveis ecológicos do ecossistema. Na Amazônia Brasileira, alguns estudos foram realizados utilizando isótopos estáveis de carbono, nitrogênio e estrôncio em estudos sobre ecologia trófica, rotas de migração e padrão de movimento de peixes. Tendo em vista o grande potencial de utilização dessa ferramenta em estudos ecológicos este estudo realizou uma revisão bibliográfica sobre o uso de isótopos estáveis de carbono, nitrogênio e estrôncio em estudos ecológicos com peixes na Amazônia Brasileira.

Palavras-Chave: carbono, nitrogênio, estrôncio, ecologia alimentar, padrão de migração

Stable isotopes in ecological studies with fish in the Brazilian Amazon. Stable isotopes are forms of the same chemical element that differ in number of neutrons in the nucleus and do not perform radiative decay. They are like as trackers of the circulation of chemical elements in nature. Thus, they are able to chart connections between the various ecological levels of the ecosystem. In the Brazilian Amazon, some studies were carried out using stable isotopes of carbon, nitrogen and strontium in studies on trophic ecology, migration routes and fish movement patterns. Considering the great potential of using this tool in ecological studies this study carried out a bibliographical review on the use of stable isotopes of carbon, nitrogen and strontium in ecological studies with fishes in the Brazilian Amazon.

Key-words: carbon, nitrogen, strontium, trophic ecology, migration pattern

¹ Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Biologia de Água Doce e Pesca Interior do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Campus II, CEP: 69080-971, Manaus, AM. jamersonaguiar1@gmail.com

² Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Ciências Pesqueiras nos Trópicos da Universidade Federal do Amazonas, Professor do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manacapuru, Rua Rio de Janeiro, 57, Cohabam, Centro, CEP: 69400-266, Manacapuru-AM. lorenzo.barroco@ifam.edu.br

³ Professora Adjunta na Universidade Federal do Amazonas - Departamento de Ciências Pesqueiras. Av. Gen. Rodrigo Otávio, 3000, CEP: 69077-000, Coroado II, Manaus, Amazonas – Brasil. flakel.souza@gmail.com

⁴ Professor Titular na Universidade Federal do Amazonas - Departamento de Ciências Pesqueiras. Av. Gen. Rodrigo Otávio, 3000, CEP: 69077-000, Coroado II, Manaus, Amazonas – Brasil. freitasc50@gmail.com



1. Introdução

Isótopos são espécies atômicas de um mesmo elemento químico que possuem massas atômicas diferentes, mas com mesmo número atômico, ou seja, os isótopos possuem mesmo número de prótons, mas diferente número de nêutrons. Os isótopos são chamados de estáveis por não realizarem decaimento radioativo (PEREIRA e BENEDITO, 2007; MARTINELLI, et al., 2009).

Comumente são utilizados em estudos ecológicos o ^{13}C , ^{15}N e ^{87}Sr (Tabela 1) (ARAUJO-LIMA et al., 1986; FORSBERG et al., 1993; ZULUAGA-GÓMES et al., 2016; SOUSA et al., 2016) e sua utilização baseia-se na previsibilidade da variação da composição isotópica dos compostos ao passar por processos físico-químicos e/ou biológicos, conforme um elemento se move através dos compartimentos de um ecossistema (PEREIRA e BENEDITO, 2007; MARTINELLI et al., 2009).

Tabela 1. Utilização dos principais isótopos estáveis em estudos ecológicos.

Isótopos	Uso
Carbono	Identificar fontes de energia para consumidores
Nitrogênio	Determinar a posição trófica de consumidores
Estrôncio	Entender migrações e padrões de movimentos de peixes

Os primeiros trabalhos utilizando isótopos estáveis em estudos ecológicos na Amazônia aconteceram na metade da década de 80 em estudos de cadeias alimentares aquáticas (ARAUJO-LIMA et al., 1986). Desde então, vêm aumentando a utilização destas ferramentas em estudos ecológicos com diversos grupos taxonômicos na Amazônia, (WAICHMAN, 1996; MAGNUSSON et al., 1999; ADIS e VICTORIA 2001; NARDOTO et al., 2011; LARA et al., 2012; CARABALLO et al., 2014; SCHWAMBORN e GIARRIZZO, 2014; CARABALLO e FORSBERG, 2016), principalmente em estudos sobre ecologia trófica, história de vida, migração e origem de peixes (FORSBERG et al., 1993; BENEDITO-CECILIO et al., 2000; MARSHALL et al. 2008; GARCEZ et al., 2014; POUILLY et al., 2014; HEGG et al., 2015; SOUSA et al., 2016; HERMANN et al.,

2016; CARVALHO et al., 2017). No entanto, ainda é reduzido o número de estudos com essas ferramentas devido a carência de instituições que realizem este tipo de análise no Brasil, além do elevado custo das análises (MARTINELLI et al., 1988).

Baseado na análise de estudos realizados, esta revisão bibliográfica apresenta informações sobre aspectos de alimentação, padrão de movimento e migração de peixes que utilizaram isótopos estáveis como ferramenta de análise na Amazônia Brasileira.

2. Metodologia

Para a elaboração do presente artigo, foi realizado um levantamento bibliográfico nos portais de busca: Science Direct (www.sciencedirect.com), Sciverse Scopus (www.scopus.com), Web of Science (webofknowledge.com) e Wiley Online Library (onlinelibrary.wiley.com). Os dados foram coletados em janeiro e fevereiro de 2017, a partir da consulta das seguintes palavras chave “*trophic level*”, “*food chain*”, “*stable isotopes*”, “*food web*”, “*stable carbon isotopes*”, “*flooded forest*”, “*natal homing*”, “*Amazon Basin*”, “*fish movement*”, “*geochemistry*”, “*strontium isotope*”, “*trace elements*”, “*otolith microchemistry*”, “*history fish migration*”, “*otolith fingerprints*” e “*geographical origin*”. Foram considerados os artigos publicados no período compreendido entre 1980 e 2017. Adicionalmente, as referências bibliográficas dos artigos encontrados foram examinadas para verificar se havia mais alguma publicação que não tivesse sido listada pelas bases de dados. Foram encontrados trabalhos com diferentes grupos de organismos mas focamos apenas em trabalhos que utilizaram os peixes como principal grupo taxonômico. Dessa forma, 19 trabalhos foram utilizados nesta revisão bibliográfica.

3.1 Isótopos estáveis em estudos sobre alimentação de peixes na Amazônia Brasileira

Os consumidores refletem sua dieta (Martinelli et al., 1988). A utilização de isótopos estáveis de carbono em estudos tróficos permite a identificação das fontes autotróficas de energia para os consumidores. Usando modelos de mistura isotópica é possível determinar a proporção e quais alimentos foram assimilados



pelos consumidores (Philips et al., 2014), tendo um enriquecimento médio de 0,8‰ dos isótopos de carbono em cada transferência trófica (DeNiro e Epstein, 1978). Ao longo da cadeia alimentar os consumidores tornam-se enriquecidos em média 3,4‰ em ^{15}N , desta forma, através da utilização de isótopos estáveis de nitrogênio é possível determinar a posição trófica de um consumidor na cadeia trófica (Minagawa e Wada, 1984; Post, 2002).

Em um trabalho clássico, ARAUJO-LIMA et al. (1986) abriram mão da abordagem tradicional de análise visual do conteúdo estomacal utilizando como ferramenta os isótopos estáveis de carbono em uma abordagem mais direta. Dessa forma, puderam negar a hipótese de que macrófitas aquáticas são as principais fontes de energia para os peixes detritívoros na Amazônia. Os autores puderam ainda sugerir que a maioria dos peixes consumidos na Amazônia são sustentados pelo fitoplâncton.

Ainda nessa temática, FORSBERG et al. (1993) levaram em conta que as macrófitas aquáticas são responsáveis por 52% da produção primária nas planícies de inundação da Amazônia (JUNK, 1985) e realizaram um estudo mais amplo com a finalidade de testar a hipótese de que a quantidade de carbono absorvida pela comunidade de peixes adultos das planícies de inundação da Amazônia Central derivava dos diferentes grupos de plantas, assim as proporções de carbono assimiladas pelas comunidades de peixes teriam relação com a disponibilidade dos diferentes grupos de plantas no ambiente.

As plantas com vias fotossintéticas C_3 e C_4 diferem consideravelmente na razão isotópica de carbono, assim FORSBERG et al. (1993) traçaram a origem do carbono a partir desses dois grupos. Os autores puderam perceber ainda que, apesar de muitos grupos de plantas contribuírem significativamente para produção primária nas planícies de inundação, nem todos grupos eram importantes no balanço de carbono dos peixes adultos. As plantas com vias fotossintéticas C_4 eram responsáveis por mais da metade da produção primária, representando entre 2,5-17% do fluxo de carbono nessas teias alimentares. Enquanto o fitoplâncton, que compõe a menor biomassa entre os produtores primários, representou mais de 36%. Em conjunto, as plantas com via fotossintética C_3 (árvores da floresta inundada, macrófitas C_3 , perifíton e fitoplâncton)

representaram 82,4-97,5% do carbono assimilado pelos peixes adultos.

Contudo, os estudos anteriores não levaram em consideração a variação espacial e a sazonal na composição isotópica das plantas e dos peixes. Tais variações poderiam causar erros nas estimativas das fontes de energia para os consumidores. Diante disso, BENEDITO-CECILIO et al. (2000) buscaram recalculá-la contribuição relativa das plantas para os peixes considerando as variações espaciais e sazonais e a participação de plantas C_4 como fonte de carbono para a ictiofauna.

Os autores testaram a hipótese de que a produção pesqueira transfere o carbono das plantas para as pessoas na mesma proporção que é disponível nas planícies de inundação do rio Amazonas. Como resultado, apenas duas espécies de peixes mudaram sua razão isotópica sazonalmente e outras duas tiveram mudanças na razão isotópica de carbono espacialmente. A contribuição máxima de carbono oriundo das plantas C_4 foi de 15%, enquanto que o grupo das plantas C_3 contribuíram com mais de 85% para a produção pesqueira. Os autores puderam concluir que não há correlação entre a disponibilidade de carbono no ecossistema e sua transferência para a dieta humana via recursos oriundos da pesca.

OLIVEIRA et al. (2006a) encontraram resultados semelhantes ao estudarem as fontes de energia para o tambaqui em um lago de inundação na Amazônia. Eles viram que os frutos, sementes, material vegetal e zooplâncton foram as principais fontes de energia ingeridas pelo tambaqui, ressaltando a absorção de fontes de energia com via fotossintética C_3 .

Estes estudos corroboram que as principais fontes de carbono para os peixes são os organismos autotróficos com via fotossintética C_3 , apesar de não serem o grupo mais produtivo em áreas de planícies de inundação da Amazônia. Diante disso surge uma pergunta: por que as plantas C_4 são pouco aproveitadas como fonte de energia para os peixes?

FORSBERG et al. (1993) sustentaram a hipótese proposta por CASWELL et al. (1973) em que as plantas C_4 são seletivamente evitadas pelos herbívoros devido sua baixa digestibilidade e valor nutricional ao analisarem dados existentes na literatura. Entretanto, para algumas espécies herbívoras, como *Schizodon fasciatus*, as plantas C_4 foram responsáveis por 65,9% do carbono



utilizado como fonte de energia (FORSBERG et al. 1993). MORTILLARO et al. (2015) analisaram as composições isotópicas de carbono e nitrogênio aliado com ácidos graxos para investigar a estrutura trófica e fornecer um melhor entendimento da utilização das fontes de alimento para os peixes nas planícies de inundação da Amazônia. Os autores encontram grandes quantidades de ácidos graxos nas macrófitas C_4 , o que indica o alto valor nutritivo dessas plantas. Dessa forma, sugeriram que as macrófitas C_4 são negligenciadas pelos peixes como fonte de alimento devido sua baixa digestibilidade.

LEITE et al. (2002) acreditavam que o carbono fixado pelas herbáceas aquáticas, especialmente gramíneas C_4 poderiam sustentar a cadeia alimentar das larvas de peixes que utilizavam os bancos de herbáceas aquáticas dos lagos nas planícies de inundação da Amazônia para se refugiar e se alimentar. Assim, estimaram a contribuição das gramíneas C_4 para a produção de larvas de peixes e determinaram a estrutura vertical da teia alimentar usando isótopos estáveis de carbono e nitrogênio. A hipótese foi refutada pelos autores uma vez que as larvas de peixes estudadas eram consumidores primários ou secundários que tinham como principal fonte de energia as plantas C_3 . Embora a contribuição das gramíneas C_4 fosse importante para algumas espécies.

MORTILLARO et al. (2016) intrigados com o fato das teias alimentares das planícies de inundação da Amazônia serem sustentadas por fontes de carbono C_3 , apesar das macrófitas C_4 geralmente produzirem maiores biomassas do que as macrófitas C_3 , realizaram um experimento em microcosmos utilizando ácidos graxos e isótopos estáveis de carbono para investigar o padrão de degradação e o destino do carbono das macrófitas C_3 e C_4 . O experimento demonstrou que as macrófitas C_4 são rapidamente mineralizadas, bem como a mistura natural de matéria orgânica particulada com produtores primários empobrecidos em ^{13}C devem ser responsáveis pela baixa contribuição das fontes de carbono C_4 para as teias alimentares aquáticas na Amazônia.

Para OLIVEIRA et al. (2006b), a conclusão que o fitoplâncton poderia sustentar toda a pesca na Amazônia ainda não estava clara, pois o fitoplâncton contribui com apenas 2% da produtividade primária nas planícies inundadas da Amazônia (MELACK et al., 1999). Assim, com o

objetivo de investigar as fontes primárias de carbono para os peixes com importância comercial em um lago de inundação do rio Amazonas, os autores utilizaram modelos isotópicos de mistura combinado com análises de conteúdo estomacal.

Os resultados indicaram que as plantas C_3 e outra fonte alimentar com composição isotópica similar poderia ser localmente mais importante do que o fitoplâncton para os peixes das planícies de inundação. Assim, os resultados confirmaram a importância da floresta inundada e das macrófitas aquáticas para a manutenção dos estoques pesqueiros nas planícies de inundação. Ainda segundo os autores, as diferenças nos resultados encontrados por eles dos trabalhos que indicavam o fitoplâncton como principal fonte de carbono para os peixes nas planícies de inundação poderiam ser devido ao maior número de amostras utilizadas, a amostragem ter sido realizada em apenas um lago de várzea e a maior precisão do modelo utilizado para estabilizar as estimativas das contribuições relativas das fontes de carbono. Além da utilização em conjunto da análise de conteúdo estomacal que ajudou na interpretação da análise isotópica. Portanto, justificando o uso de uma abordagem conjunta envolvendo isótopos estáveis e análise de conteúdo estomacal.

De outra forma, alguns estudos na Amazônia (SILVA et al., 2005; AZEVEDO-SILVA et al., 2016; MARSHALL et al., 2016) têm utilizado isótopos estáveis de carbono e de nitrogênio juntamente com a concentração de mercúrio dos peixes para elucidar questões sobre biomagnificação e bioacumulação de mercúrio nas cadeias alimentares aquáticas.

SILVA et al. (2005) buscaram entender melhor os fatores que conduzem as altas concentrações de mercúrio em peixes piscívoros do que em espécies herbívoras dos lagos nas planícies de inundação do rio Tapajós levando em consideração o período de enchente e cheia. Os resultados demonstraram claramente o fenômeno de biomagnificação, uma vez que as concentrações de mercúrio aumentaram com o enriquecimento de ^{15}N nos peixes. Os peixes não piscívoros continham nove vezes menos mercúrio do que os peixes piscívoros. Além disso, há um aumento da biomagnificação do mercúrio no período de enchente. Os resultados de MARSHALL et al. (2016) também mostraram



significante biomagnificação de mercúrio entre os níveis tróficos no médio rio Negro.

AZEVEDO-SILVA et al. (2016) utilizaram os isótopos de carbono e nitrogênio e análise de mercúrio para avaliar a estrutura trófica da ictiofauna e a biomagnificação do mercúrio no lago Puruzinho, Amazônia Ocidental, a partir da hipótese de que o mercúrio biomagnifica através da teia alimentar, assim como há importância das espécies de peixes migratórias para a biomagnificação do mercúrio. Os autores concluíram que a ictiofauna do lago Puruzinho é parte de uma curta teia alimentar com três níveis tróficos bem caracterizados e com bioacumulação de mercúrio ao longo da cadeia alimentar. Além disso, os peixes migradores não mudaram significativamente a taxa de bioacumulação do mercúrio nas espécies do lago estudado.

Esses estudos demonstram a ampla utilização dos isótopos estáveis juntamente com outras ferramentas para elucidar questões em estudos de ecologia trófica. Novas abordagens têm sido realizadas utilizando análises de isótopos estáveis com ecomorfologia para explorar as relações entre as diversidades trófica e morfológica de assembleias de peixes. ZULUAGA-GÓMEZ et al. (2016) buscou compreender as relações funcionais e tróficas entre quatro famílias de peixes (Loricariidae, Serrasalminidae, Anostomidae e Cichlidae) em corredeiras do rio Xingu. As famílias foram separadas baseadas nas características morfológicas associadas com uso do micro-habitat e alimentação. As famílias foram menos diferenciadas no espaço isotópico do que no espaço morfológico. A diversidade funcional foi maior nos ciclídeos e loricarídeos, enquanto que a diversidade trófica foi maior nos serrasalmídeos e loricarídeos. De acordo com as estimativas do modelo de mistura usado pelos autores, o fitomicrobentos foi a principal fonte de energia para todas as famílias.

3.2 Isótopos estáveis em estudos sobre padrão de movimento e migração de peixes na Amazônia Brasileira

A Bacia Amazônica é geoquimicamente diversa e complexa, características ideais para realização de estudos através de análises da microquímica de estruturas calcificadas em peixes, tais como otólitos, vértebras e escamas, estas estruturas crescem continuamente ao longo

da vida dos peixes, representando acumulações sequenciais diárias, sazonais ou anuais de camadas ou anéis de crescimento, as variações geoquímicas presentes nessas estruturas biogênicas são particularmente relevantes para o estudo da história de vida, migração e origem dos peixes (PANFILI et al., 2002).

Em estudo realizado na Bacia do Rio Negro - AM, GARCEZ et al. (2014) efetuaram um estudo correlacional entre a microquímica de otólitos em exemplares jovens de *Cichla temensis* e a composição geológica do leito rochoso regional para explorar mecanismos subjacentes de diferenças na geoquímica de otólitos e identificar as áreas de nascimento dos peixes. Os resultados sugeriram que as diferenças espaciais na geoquímica de otólitos, podem ser usadas para distinguir origens natais com base nas razões Sr/Sr, Sr/Ca e Ba/Ca. Esta abordagem permitiu classificar corretamente 99% dos peixes juvenis em seus tributários natais usando validação cruzada em uma análise de função discriminante linear. Neste estudo foi demonstrado que os padrões da composição isotópica de otólitos, em especial assinaturas de Sr^{87}/Sr^{86} , correspondem com padrões da geologia regional por meio de inferências a mapas geológicos. O resultado contribui para a classificação de microquímica de otólitos como uma valiosa ferramenta para interpretar movimentos de peixes em sistemas de água preta.

POUILLY et al. (2014) com a finalidade de destacar o uso potencial das assinaturas isotópicas de estrôncio como marcadores geoquímicos precisos de habitats e rotas de migração de peixes, compararam as razões de $^{87}Sr/^{86}Sr$ em água, otólitos e escamas de duas espécies comerciais oriundas de diferentes locais da bacia Amazônica. Os autores, observaram que as proporções de $^{87}Sr/^{86}Sr$ entre os otólitos e escamas dos mesmos indivíduos tinham valores semelhantes e muito próximos da composição isotópica de Sr do rio onde foram capturados. Desta forma os pesquisadores puderam inferir que, durante a absorção biológica e incorporação do Sr em estruturas calcificadas de peixes não há fracionamento isotópico, o que equivale dizer que as escamas se revelam como uma alternativa não letal e eficaz para medições de proporção de $^{87}Sr/^{86}Sr$ em comparação com otólitos.

O estudo de HEGG et al. (2015), pioneiro na descrição do comportamento migratório de três



espécies de bagres populosos e comercialmente importantes: Dourada (*Brachyplatystoma rousseauxii*), Piramutaba (*B. vaillantii*) e Piraíba (*B. filamentosum*), amostradas na foz do rio Amazonas e na Amazônia Central. Neste estudo, o local de nascimento (berçário) e as rotas migratórias destes bagres, foram determinados através das assinaturas de isótopos de estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) registradas em seus otólitos, e correlacionadas com dados da química da água disponíveis na literatura, e classificados através de função discriminante.

Os resultados forneceram a primeira reconstrução microquímica de otólitos relatada para movimentos migratórios de espécies do gênero *Brachyplatystoma* na Bacia Amazônica, através dos resultados e com o apoio de alguns dados de pesca, pôde-se constatar que exemplares juvenis podem apresentar diversas estratégias de criação, contrastando com o entendimento predominante de que o estuário é o único berçário e local de crescimento destes bagres (BARTHEM e GOULDING, 1997).

Ainda nesta temática, DUPONCHELLE et al. (2016), considerando o fato de que algumas espécies de peixes precisam utilizar toda a bacia hidrográfica para completar o seu ciclo de vida, decidiram avaliar os impactos das interrupções da conectividade longitudinal do ambiente lótico resultante da construção de represas em bacias hidrográficas na Amazônia.

Para isso utilizaram exemplares adultos da Dourada (*Brachyplatystoma rousseauxii*), um bagre de grande porte, como espécie modelo, amostrados perto de grandes áreas de reprodução na bacia Amazônica (Alto rios Madeira e Amazonas).

Utilizando microquímica de otólitos para avaliar os movimentos deste bagre ao longo de seu ciclo de vida, através da medição de variações em $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ao longo das seções transversais de seus otólitos por espectrometria de massa com ablação a laser, DUPONCHELLE et al. (2016) conseguiram demonstrar um ciclo de vida migratório aparentemente obrigatório ao longo da bacia para este grande bagre da Amazônia.

Os autores, demonstraram também que as larvas migram do alto para o baixo Amazonas, onde crescem durante um período prolongado antes de migrarem rio acima quando adultos, passando obrigatoriamente pela Amazônia central ou baixa. Porém, nem todos os peixes passaram

seus estágios de berçário no estuário amazônico, assim como observado por HEGG et al. (2015). Além disso, foi evidenciado que a maioria dos adultos habitam a sua área geográfica natal na sub-bacia do rio Madeira. Esse mecanismo de "homing" de longa distância (> 8000 km) é excepcional em peixes com ciclo de vida exclusivo a água doce.

HERMANN et al. (2016), empregaram a microquímica de otólitos de forma inovadora para elucidar as migrações de peixes amazônicos. Neste estudo foi aplicada uma abordagem multi-elementar onde foram realizadas análises nos padrões químicos de diversos elementos traço nos otólitos de cinco espécies de peixes amazônicos: duas espécies "sedentárias" (*Arapaima spp.* e *Plagioscion squamosissimus*), um "migrador da planície de inundação" (*Prochilodus nigricans*) e dois "migradores de longa distância" (*Brachyplatystoma rousseauxii* e *B. filamentosum*).

Neste estudo foram utilizadas duas técnicas em conjunto a ablação a laser de baixa resolução (LA-ICPMS) e a microscopia de fluorescência de raios-X de varredura (SAXFM). Esta combinação proporcionou a flexibilidade para amostrar muitos elementos simultaneamente. Desta forma, HERMANN et al. (2016) identificaram novos marcadores ambientais para estudos sobre a química de otólitos de peixes na Amazônia.

Em estudo mais recente, SOUSA et al. (2016) utilizaram a análise da composição microquímica de elementos traço (Sr/Sr, Sr/Ca e Ba/Ca) em otólitos de exemplares adultos de *Cichla temensis* do médio rio Negro, para descrever aspectos do comportamento migratório desta espécie.

Através de funções discriminantes, derivadas de dados de referência de otólitos de exemplares jovens com menos de um ano, conseguiram determinar a origem natal de exemplares adultos, onde, os resultados indicaram que 42% dos adultos amostrados foram coletados na mesma área em que nasceram. Contudo, a variação nos valores dos isótopos $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ao longo do eixo dos otólitos indicou que os movimentos de *C. temensis* tendem a ser mais dinâmicos do que os descritos anteriormente (TAPHORN e BARBARINO-DUQUE, 1993; HOEINGHAUS et al., 2003; MAC-RANDER, 2010).



4. Considerações finais

Apesar do potencial para estudos com isótopos estáveis, ainda são poucos os estudos realizados com essas ferramentas na Amazônia. E sua disseminação pode contribuir para o entendimento de como as comunidades aquáticas estão estruturadas tróficamente, assim como a cerca de suas rotas migradoras e padrões de movimentos dos peixes.

Agradecimentos

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, ao Programa de Pós-Graduação em Biologia de Água Doce e Pesca Interior e a Universidade Federal do Amazonas pelo apoio institucional. Ao CNPq pela bolsa de pós-graduação concedida ao primeiro autor.

Divulgação

Este artigo é inédito e não está sendo considerado para qualquer outra publicação. Os autores e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista Scientia Amazonia detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.

Referências

ADIS, J., VICTORIA, R. L. C₃ or C₄ macrophytes: a specific carbon source for the development of semi aquatic and terrestrial arthropods in Central Amazonian River-Floodplains according to $\delta^{13}\text{C}$ values. **Isotopes in Environmental and Health Studies**, v. 37, n. 3, p. 193-198, 2001.

ARAUJO-LIMA, C. A. R. M., FORSBERG, B. R., VICTÓRIA, R., MARTINELLI, L. A. Energy sources for detritivorous fishes in the Amazon. **Science**, v. 234, p. 256-1258, 1986.

AZEVEDO-SILVA, C. E., ALMEIDA, R., CARVALHO, D. P., OMETTO, J. P. H. B., CAMARGO, P. B., DORNELES, P. R., AZEREDO, A., BASTOS, W. R., MALM, O., TORRES, J. P. M. Mercury biomagnification and the trophic structure of the ichthyofauna from a remote lake in the Brazilian Amazon. **Environmental Research**, v. 151, p. 286-296, 2016.

BARTHEM, R. E; GOULDING, M. **Os bagres balizadores: ecologia, migração e conservação**

de peixes amazônicos. Brasília: CNPq, 1997. 140 p.

BENETIDO-CECILIO, E. ARAUJO-LIMA, C. A. R. M., FORSBERG, B. R., BITTENCOURT, M. M., MARTINELLI, L. C. Carbon sources of Amazonian fisheries. **Fisheries Management and Ecology**, v. 7, p. 305-315, 2000.

CARABALLO, P., FORSBERG, B. Abundance and isotopic composition of planktonic micro crustaceans in a Central Amazon floodplain lake: implications for the trophic dynamics of the plankton community. **Limnología**, v. 38, n. 1, p. 149-164, 2016.

CARABALLO, P., FORSBERG, B. R., LEITE, R. G. Seasonal variation in the distribution and isotopic composition of phytoplankton in an Amazon floodplain lake, Brazil. **Acta Biológica Colombiana**, v. 19, n. 2, p. 291-303, 2014.

CARVALHO, F., POWER, M., FORSBERG, B. R., CASTELLO, L., MARTINS, E., FREITAS, C. E. C. Trophic ecology of *Arapaima* sp. in a ria lake-river-floodplain transition zone of the Amazon. **Ecology of Freshwater Fish**, v.00, p. 1-10, 2017.

CASWELL, H., REED F., STEPHENSON S. N., WERNER, P. A. Photosynthetic pathways and selective herbivory: a hypothesis. **American Naturalist**, v. 107, p. 465-480, 1973.

DENIRO, M. J., EPSTEIN, S. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 42, p. 495-506, 1978.

DUPONCHELLE, F., POUILLY, M., PÉCHEYRAN, C., HAUSER, M., RENNO, J., PANFILI, J., DARNAUDE, A. M., VASQUEZ, A. G., VALLEJOS, F. C, DÁVILA, C. G., DORIA, C., BÉRAIL, S., DONARD, A., SONDAG, F., SANTOS, R. V., NUÑEZ, J., POINT, D., LABONNE, M., BARAS, E. In press. Trans-Amazonian natal homing in giant catfish. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 5, p. 1511-1520, 2016. (doi:10.1111/1365-2664.12665)

FORSBERG, B. R., ARAUJO-LIMA, C. A. R. M., MARTINELLI, L. A., VICTÓRIA, R. L., BONASSI, J. A. Autotrophic carbon sources for fish of the Central Amazon. **Ecology**, v. 74, p. 643-652, 1993.

GARCEZ, R. C. S., HUMSTON, R., HARBOR, D., FREITAS, C. E. C. Otolith geochemistry in young-of-the-year peacock bass *Cichla temensis* for investigating natal dispersal in the Rio Negro



(Amazon – Brazil) river system. **Ecology of Freshwater Fish**, v. 24, n. 2, p. 242-252, 2014.

HEGG, J. C., GIARRIZZO, T., KENNEDY, B. P. Diverse early life-history strategies in migratory Amazonian catfish: implications for conservation and management. **Plos One**, v. 10, n. 7, p. 1-19, 2015.

HERMANN T. W., STEWART D. J., LIMBURG K. E., CASTELLO L. Unravelling the life history of Amazonian fishes through otolith microchemistry. **Royal Society Open Science**, v. 3 n. 6, p. 1-16, 2016. (doi: 10.1098/ rsos.160206)

HOEINGHAUS, D. J., LAYMAN, C. A., ARRINGTON, D. A., WINEMILLER, K. O. Movement of *Cichla* species (Cichlidae) in a Venezuelan floodplain river. **Neotropical Ichthyology** v. 1, p. 121–126, 2003.

JUNK, W. J. The Amazon floodplain – a sink or source for organic carbon? **Transport of Carbon and Minerals in Major World Rivers**, 58 (PART 3), p. 267-283, 1985.

LARA, N. R. F., MARQUES, T. S., MONTELO, K. M., ATAÍDES, A. G., VERDADE, L. M., MALVÁSIO, A., CAMARGO, P. B. A trophic study of the sympatric Amazonian freshwater turtles *Podocnemis unifilis* and *Podocnemis expansa* (Testudines, Podocnemidae) using carbon and nitrogen stable isotope analyses. **Can. J. Zool.** v. 90, p. 1394-1401, 2012.

LEITE, R. G., ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M., VICTORIA, R. L., MARTINELLI, L. A. Stable isotope analysis of energy sources for larvae of eight fish species from the Amazon floodplain. **Ecology of Freshwater Fish**, v. 11, p. 56-63, 2002.

MAC-RANDER, J. C. Microsatellite development, population structure and demographic histories for two species of Amazonian peacock bass *Cichla temensis* and *Cichla monoculus* (perciformes: cichlidae). MSc Thesis, Lincoln: University of Nebraska, 2010. 80 p.

MAGNUSSON, W. E., ARAÚJO, M. C., CINTRA, R., LIMA, A. P., MARTINELLI, L. A., SANIOTTI, T. M., VASCONCELOS, H. L., VICTORIA, R. L. Contributions of C₃ and C₄ plants to higher trophic levels in an Amazonian savanna. **Oecologia**, v. 119, p. 91-96, 1999.

MARSHALL, B. G., FORSBERG, B. R., THOMÉ-SOUZA, M. J. F. Autotrophic energy sources for *Paracheirodon axelrodi* (Osteichthyes, Characidae)

in the middle Negro River, Central Amazon, Brazil. **Hydrobiologia**, v. 596, p. 95-103, 2008.

MARSHALL, B. G., FORSBERG, B. R., THOMÉ-SOUZA, M., PELEJA, R., MOREIRA, M. Z., FREITAS, C. E. C. Evidence of Mercury biomagnification in the food chain of the cardinal tetra *Paracheirodon axelrodi* (Osteichthyes: Characidae) in the Rio Negro, central Amazon, Brazil. **Journal of Fish Biology**, v. 89, p. 220-240, 2016.

MARTINELLI, L. A., VICTORIA, R. L., MATSUI, E., FORSBERG, B. R., MOZETO, A. A. Utilização das variações naturais de $\delta^{13}\text{C}$ no estudo de cadeias alimentares em ambientes aquáticos: princípios e perspectivas. **Acta Limnol. Brasil.** v. 11, p. 859-882, 1988.

MARTINELLI, L. A., OMETTO, J. P. H. B., FERRAZ, E. S., VICTORIA, R. L., CAMARGO, P. B., MOREIRA, M. Z. **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 144 p.

MELACK J. M., FORSBERG B. R., VICTORIA R. L. & RICHEY J. E. Biogeochemistry of Amazon floodplain lakes and associated wetlands. In: M. McClain, R. Victoria & J. Richey (Eds). **The Biogeochemistry of the Amazon Basin and its Role in a Changing World**. Oxford: Oxford University Press, 1999. 50 p.

MINAGAWA, M., WADA, E. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 48, n. 5, p. 1135-1140, 1984.

MORTILLARO, J. M., PASSARELLI, C., ABRIL, G., HUBAS, C., ALBERIC, P., ARTIGAS, L. F., BENEDETTI, M. F., THINEY, N., MOREIRA-TURCQ, P., PEREZ, M. A. P., VIDAL, L. O., MEZIANE, T. The fate of C₄ and C₃ macrophyte carbon in central Amazon floodplain waters: insights from a batch experiment. **Limnologia**, v. 59, p. 90-98, 2016.

MORTILLARO, J. M., POUILLY, M., WACH, M., FREITAS, C. E. C., ABRIL, G., MEZIANE, T. Trophic opportunism of central Amazon floodplain fish. **Freshwater Biology**, v. 60, n. 6, 2015.

NARDOTO, G. B., MURRIETA, R. S. S., PRATES, L. E. G., ADAMS, C., GARAVELLO, M. E. P. E., SCHOR, T., MORAES, A., RINALDI, F. D., GRAGNANI, J. G., MOURA, E. A. F., DUARTE-NETO, P. J., MARTINELLI, L. A. Frozen Chicken for Wild Fish: Nutritional Transition in the Brazilian



Amazon Region Determined by Carbon and Nitrogen Stable Isotope Ratios in Fingernails. **American Journal of Human Biology**, v. 23, p. 642-650, 2011.

OLIVEIRA, A. C. B., MARTINELLI, L. A., MOREIRA, M. Z., SOARES, M. G. M., CYRINO, J. E. P. Seasonality of energy sources of *Colossoma macropomum* in a floodplain lake in the Amazon – lake Camaleão, Amazonas, Brazil. **Fisheries Management and Ecology**, v. 13, p. 135-142, 2006a.

OLIVEIRA, A. C. B., SOARES, M. G., MARTINELLI, L. A. & MORREIRA, M. Z. Carbon Sources of fish in an Amazonian floodplain lake. **Aquatic Sci.** v. 68, p. 229-238, 2006b.

PANFILI, J., DE PONTUAL, H., TROADEC, H., WRIGHT, P. J. **Manual of Fish Sclerochronology**; Coédition Ifremer-IRD: Marseille, France. 2002. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00017/12801/>.

PEREIRA, A. L., BENEDITO, E. Isótopos estáveis em estudos ecológicos: métodos, aplicações e perspectivas. **Rev. Biocien.** v. 13, n. 1-2, p. 16-27, 2007.

POST, D. M. Using Stable Isotopes to Estimate Trophic Position: Models, Methods, and Assumptions. **Ecology**, v. 83, n. 3, p. 703-718, 2002.

POUILLY, M., POINT, D., SONDAG, F., HENRY, M., SANTOS, R. Geographical origin of Amazonian freshwater fishes fingerprinted by $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios on fish otoliths and scales. **Environmental Science & Technology**, v. 48, p. 8980-8987, 2014.

SCHWAMBORN, R., and GIARRIZZO, T. Stable isotope discrimination by consumers in a tropical mangrove food web: how important are variations in C/N ratio? **Estuaries and Coasts**, v. 38, n. 3, p. 813-825, 2014.

SILVA, D. S., LUCOTTE, M., ROULET, M., POIRIER, H., MERGLER, D., SANTOS, E. O., CROSSA, M. Trophic structure and bioaccumulation of mercury in fish of three natural lakes of the Brazilian Amazon. **Water, air, and Pollution**, v. 165, p. 77-94, 2005.

SOUSA, R. G. C., HUMSTON, R., FREITAS, C. E. C. Movement patterns of adult peacock bass *Cichla temensis* between tributaries of the middle Negro River basin (Amazonas – Brazil): an otolith geochemical analysis. **Fisheries Management and Ecology**, v. 23, p. 76-87, 2016.

TAPHORN, D.C.; BARBARINO-DUQUE, A. Evaluación de la situación actual de los pavones, *Cichla* spp., en el Parque Nacional Capanaparo-Cinaruco, Estado Apure, Venezuela. **Natura**, v. 96, p. 10-25, 1993.

WAICHMAN, A. V. Autotrophic carbon sources for heterotrophic bacterioplankton in a floodplain lake of Central Amazon. **Hydrobiologia**, v. 341, p. 27-36, 1996.

ZULUAGA-GÓMEZ, M. A., FITZGERALD, D. B., GIARRIZZO, T., WINEMILLER, K. O. Morphologic and trophic diversity of fish assemblages in rapids of the Xingu River, a major Amazon tributary and region of endemism. **Environ. Biol. Fish**, v. 99, n. 8, p. 647-658, 2016.