UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (UNIRIO)
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE (CCBS)
INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS (IBIO)
MESTRADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE NEOTROPICAL

Lorena Priscilla Queiroz

ANÁLISE DO PADRÃO DE COLORIDO DE UMA NOVA POPULAÇÃO DO GÊNERO *GYMNOTUS* LINNAEUS (SILURIPHYSI: GYMNOTIFORMES: GYMNOTIDAE) DO RIO MARATUÃ, BACIA DO RIO SÃO JOÃO, ESTADO DO RIO DE JANEIRO

RIO DE JANEIRO
2016

Lorena Priscilla Queiroz

ANÁLISE DO PADRÃO DE COLORIDO DE UMA NOVA POPULAÇÃO DO GÊNERO *GYMNOTUS* LINNAEUS (SILURIPHYSI: GYMNOTIFORMES: GYMNOTIDAE) DO RIO MARATUÃ, BACIA DO RIO SÃO JOÃO, ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Volume único

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação *stricto sensu* em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Neves dos Santos
Co-orientador: Prof. Dr. Ricardo Campos da Paz

Rio de Janeiro
2016

Ficha Catalográfica

QUEIROZ, Lorena Priscilla

Análise do padrão de colorido de uma nova população do gênero *Gymnotus* Linnaeus (Siluriphysi: Gymntiformes: Gymnotidae) do rio Maratuã, bacia do rio São João, Estado do Rio de Janeiro

Dissertação: Mestrado em Ciências Biológicas, 2016.

1. Gymnotiformes
2. Gymnotidae
3. Gymnotus
4. Taxonomia

I. Neves dos Santos, L.
II. Campos da Paz, R.
III. Título

Lorena Priscilla Queiroz

ANÁLISE DO PADRÃO DE COLORIDO DE UMA NOVA POPULAÇÃO DO GÊNERO *GYMNOTUS* LINNAEUS (SILURIPHYSI: GYMNOTIFORMES: GYMNOTIDAE) DO RIO MARATUÃ, BACIA DO RIO SÃO JOÃO, ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Dissertação submetida como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Biológicas, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Biodiversidade Neotropical

Aprovada em: / /

Prof. Dr. Luciano Neves dos Santos (Depto. de Ecologia e Recursos Marinhos – UNIRIO)

Prof. Dr. Fábio Muller dos Reis de Salles Pupo (Lab. de Ictiologia Teórica e Aplicada – UNIRIO)

Prof. Dr. Carlos Augusto Assumpção de Figueiredo (Depto. de Ciências Ambientais - UNIRIO)

Rio de Janeiro
2016

Esta dissertação é dedicada a
você que, por algum motivo, a
está lendo.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à minha mãe pela praticidade e pelo apoio que sempre me proporcionou, e também ao Itamar Miranda pelo acolhimento durante tantos anos.

Agradeço também ao meu orientador, Luciano Neves dos Santos, e ao meu co-orientador, Ricardo Campos da Paz, pela paciência e pela oportunidade de estudar e debater assuntos extremamente interessantes, e por terem auxiliado e direcionado o trabalho.

Por fim, agradeço ao amigo Fábio Pupo por ter ajudado no trabalho sempre que possível.

“If we knew what it was we were doing, it would not be called research, would it?”
– Albert Einstein

Resumo

O padrão de colorido é uma característica importante na descrição de espécies do gênero de peixes neotropicais *Gymnotus* Linnaeus (Siluriphysi: Gymnotiformes: Gymnotidae). Porém ainda não se discutiu objetivamente, na literatura, uma metodologia padronizada, nem foram feitos estudos aprofundados sobre o assunto. Este trabalho desenvolve uma análise detalhada sobre o padrão de colorido de uma nova espécie (ainda não descrita formalmente), pertencente ao gênero *Gymnotus*. Os exemplares foram coletados no rio Maratuã, tributário do rio São João, município de Silva Jardim, Rio de Janeiro. As coletas se deram trimestralmente ao longo de um ciclo anual completo, com início em agosto de 2014 e término em junho de 2015, abrangendo, portanto, as quatro estações do ano. Ao todo, foram examinados 441 espécimes quanto ao seu padrão de colorido, quantidade esta ainda não observada nos estudos feitos dentro do gênero. A partir de análises merísticas e estatísticas sobre a disposição das bandas escuras e claras alternadas, concluiu-se que há uma relação não-linear bem evidente entre sua disposição e quantidade ao longo do corpo com o tamanho dos exemplares, observando-se tal padrão para os exemplares menores que 100,0 mm CT e também para os maiores que 100,0 mm CT. Além disso, ao se comparar as contagens feitas tanto em vista dorsal quanto dos lados esquerdo e direito, todas as contagens mostraram uma relação linear com o número de bandas escuras do lado esquerdo do corpo, podendo este atributo ser utilizado para representar satisfatoriamente a variação de bandas para a espécie. Além da análise do dado merístico "número de bandas", também foi minuciosamente detalhada a forma das bandas de acordo com a região corporal onde se encontra. O estudo contou com a presença de indivíduos em intervalo de comprimento total que variou desde 21,0 até 223,0 mm, e o intervalo de bandas encontrado para todos os 435 exemplares em bom estado para esta análise foi de 13 a 29. A inclusão de indivíduos com grande variação de tamanho nas análises indicou uma relação entre tamanho (comprimento total) e número de bandas escuras, sugerindo que não apenas indivíduos adultos devem ser considerados nas descrições de espécies. Se os resultados do presente trabalho puderem ser aplicados para as outras espécies de *Gymnotus* que possuem bandas, descrições destas válidas atualmente podem apresentar importantes ruídos decorrentes da falta de critérios e padronização na descrição e diagnose das espécies.

Palavras-chave: taxonomia, peixe neotropical, peixe elétrico, biodiversidade, *Gymnotus*.

Abstract

The color pattern is an important feature in the description of species of the neotropical fish genus *Gymnotus* Linnaeus (Siluriphysi: Gymnotiformes: Gymnotidae). However, it was not yet discussed objectively, in the literature, a standardized methodology, nor were made in-depth studies on the subject. This work develops a detailed analysis on the color pattern of a new species (not yet formally described) belonging to the genus. The specimens were collected in the Maratuã river, a tributary of the São João river, municipality of Silva Jardim, Rio de Janeiro, southeastern Brazil. The samples have taken on a quarterly basis over a full annual cycle, starting in August 2014 and ending in June 2015, covering, therefore, the four seasons. In all, 441 specimens were examined as to their color pattern, this amount not yet been observed in similar studies within the genus. From meristic analysis and statistics on the arrangement of alternating light and dark bands, it was concluded that there is a very clear non-linear relationship between its disposition and amount throughout the body with respect to the size of the specimens, standard observed for individuals smaller than 100.0 mm TL and also for those greater than 100.0 mm TL. Furthermore, when comparing both counts done (in dorsal view and on the left and right sides), all of them exhibited a linear relationship with the number of dark bands on the left side of the body, showing that this attribute can be used to satisfactorily represent band's variations for the species. In addition to the analysis of the meristic data "number of bands", was also thoroughly detailed how the band's shape changes according to the body region where it's located. The study counted with the presence of individuals in total length interval ranging from 21.0 to 223.0 mm, and the bands range found for all the 435 individuals in good condition for this analysis was 13 to 29. The inclusion of individuals with large variation in size to the analysis indicated a relationship between length (total length) and number of dark bands, suggesting that not only adult individuals should be considered in the descriptions of species. If the results in this study could be applied to other species in *Gymnotus* that possess bands, many of the valid descriptions to these currently valid species can present significant noise due to the lack of criteria and standardization in their description and diagnosis.

Keywords: taxonomy, Neotropical fish, electric fish, Biodiversity, *Gymnotus*.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO..... 10
OBJETIVOS..... 16
MATERIAIS E MÉTODOS..... 17
RESULTADOS..... 26
DISCUSSÃO..... 41
LITERATURA CITADA..... 47

1. INTRODUÇÃO

A região Neotropical ocupa áreas que abrangem desde o Sul do México, incluindo o Caribe, até o Sul da América do Sul. Embora grande parte do hábitat aquático disponível no planeta seja de água salgada, os hábitats de água doce abrigam quase metade da diversidade de peixes que existe (COHEN, 1970). Dessa diversidade, a maior riqueza de espécies de peixes de água doce do mundo se encontra na região Neotropical, englobando mais de 6 mil espécies, contando as já descritas e as que ainda estão por descrever (REIS *et al*., 2003). A região abriga aproximadamente um terço da ictiofauna mundial, com predominância dos grupos Characiformes, Siluriformes e Gymnotiformes (KAVALCO & PAZZA, 2007). A maior diversidade dessa fauna encontra-se no Brasil, onde o número estimado para a ocorrência de espécies é quase 3 mil (BUCKUP *et al*. 2007), número que deve aumentar pois há ainda muitas espécies a serem descritas. MENEZES *et al.* (2007) observam a necessidade de se estudar a ictiofauna dos rios da floresta Atlântica por ser um bioma extremamente impactado e ameaçado.

A ordem monofilética de peixes Gymnotiformes, exclusiva da região Neotropical, ocorre abundantemente nas águas das bacias brasileiras. Conta com 5 famílias, 30 gêneros e aproximadamente 180 espécies (NELSON, 2006), distribuídas desde 36°S na Argentina (Rio Salado em La Plata) até 18°N no México (Rio San Nicolau em Chiapas) (MAGO-LECCIA, 1994). Esses peixes utilizam a ondulação da nadadeira anal – que ocupa a maior parte da margem ventral do corpo e normalmente possui mais de 100 raios – para os movimentos natatórios, além de não possuírem nadadeiras dorsal (exceto Apteronotus), pélvica e adiposa. A locomoção exclusivamente resultante das ondulações da nadadeira anal evita grandes interferências no campo elétrico do peixe (ALBERT, 2001). São reconhecidas cinco famílias para a ordem Gymnotiformes: Apteronotidae, Gymnotidae, Hypopomidae, Rhamphichthyidae e Sternopygidae (ALBERT & CAMPOS-DA-PAZ, 1998), popularmente conhecidos como tuviras e sarapós.

A grande maioria das espécies viventes de Gymnotiformes emitem descargas elétricas fracas a partir de órgãos elétricos derivados de músculos e células nervosas especializadas, que constituem os "órgãos de descargas elétricas rítmicas" (*Eletric Organ Discharges* - EOD) (LISSMAN, 1958). Em comparação com grupos proximamente relacionados (por exemplo, Siluriformes e Characiformes), o corpo possui morfologia especializada, que evoluiu independentemente em muitos grupos de peixes teleósteos,

proporcionando-lhes um corpo lateralmente achatado e rígido. De acordo com ALBERT (2001) a eletrogeração não é condição necessária para desenvolver tal morfologia, embora apenas clados eletrorreceptivos a tenham desenvolvido, sendo ela, então, associada apenas à eletrorrecepção passiva. As frequências com que geram descargas parecem variar de acordo com a espécie. Os órgãos elétricos e os eletrorreceptores funcionam em conjunto para caracterização do ambiente tanto a nível abiótico, de extrema importância, uma vez que a maioria das espécies de peixes elétricos de água doce possui hábitos noturnos e vive em riachos de águas túrbidas, quanto biótico, para comunicação intraespecífica. (LISSMAN, 1958; MOLLER, 1995; CRAMPTON *et al.* 2008; CRAMPTON *et al.* 2011).

ELLIS (1913) observou que os peixes Gymnotiformes possuem capacidade de regeneração da região pós-celômica do corpo, regenerando nadadeiras, tecido muscular, órgãos elétricos, escamas e cromatóforos. É normal que essa região do corpo sofra danos, principalmente como resultado de predação, seguindo-se uma regeneração (parcial ou completa) que pode resultar, externamente, em uma redução abrupta do comprimento da região caudal e/ou afetar a pigmentação normal nesta área do corpo. Esta capacidade regenerativa costuma dificultar as contagens merísticas e análises osteológicas na região afetada, além de modificar o padrão de colorido na região regenerada. Em sua maioria, membros do grupo apresentam hábitos noturnos e seu habitat primário são rios e riachos com águas mais calmas, associados à vegetação (WINEMILLER & ADITE, 1997).

Gymnotidae é uma das cinco famílias de Gymnotiformes, sendo a que possui mais ampla distribuição geográfica dentro da ordem (MAGO-LECCIA, 1994). Até 1998 a família era considerada monotípica, contendo apenas o gênero *Gymnotus* Linnaeus, 1758 (Ostariophysi: Gymnotiformes: Gymnotidae). Este quadro foi modificado por ALBERT & CAMPOS-DA-PAZ (1998), quando propuseram a introdução do gênero *Electrophorus* na família, gênero monoespecífico contendo apenas a espécie *E. electricus* Linnaeus, 1766. Todos os gymnotideos são predadores noturnos de peixes e outros animais aquáticos de pequeno porte, e são os únicos Gymnotiformes que constroem e protegem ninhos (ALBERT & CAMPOS-DA-PAZ, 1998; ALBERT, 2001).

Gymnotus é, atualmente, reconhecido como um grupo monofilético, sendo também o gênero mais diversificado dentro da ordem e também o que possui mais ampla distribuição geográfica, estendendo-se do rio Salado, nos pampas da Argentina (36ºS), até o rio São Nicolás, no sudoeste de Chiapas, México (18ºN), estando também presente nas

águas continentais de todos os países das Américas Central e Sul e na ilha Trindade, exceto Chile e Belize (MAGO-LECCIA, 1994; ALBERT, 2001; ALBERT *et al.*, 2004). Nele estão agregados peixes de hábitos preferencialmente noturnos que se ocultam durante o dia, principalmente nos micro-hábitats formados por rochas e vegetação submersos. São peixes agressivos, predadores noturnos e exames de conteúdo estomacal constataram que a alimentação contém principalmente pequenos peixes e insetos aquáticos. (BIZERRIL & PRIMO, 2001; ALBERT & CRAMPTON, 2003).

Devido às complicações de se coletar nos hábitats onde se encontram os peixes do gênero e pelas dificuldades em analisar seus caracteres, sua diversidade foi, por muito tempo, subestimada (MAGO-LECCIA, 1994; ALBERT, 2001). Novos métodos de amostragem, coleta e identificação de peixes elétricos têm revelado um numeroso contingente de espécies em áreas previamente inexploradas (LUNDBERG *et al*., 1996). Além disso, no passado boa parte das espécies foi erroneamente identificada como *G. carapo*, a espécie-tipo do gênero *Gymnotus*, dificultando o estabelecimento das relações filogenéticas entre as espécies, que demoraram para serem estabelecidas. Com o maior esforço de coleta e a maior eficiência das descrições, o gênero teve seu número de espécies aumentado de 9 (MAGO-LECCIA, 1994) para 40 espécies consideradas válidas atualmente (GIORA & MALABARBA, 2016), as quais ocorrem na maioria dos habitats de planícies neotropicais (CAMPOS-DA-PAZ, 2002; ALBERT & CRAMPTON, 2003; RICHER-DE-FORGES *et al.* 2009). A maioria das espécies de *Gymnotus* encontra-se na Bacia Amazônica, de onde são conhecidas 18 espécies (CRAMPTON *et al*., 2005). Novas evidências morfológicas, moleculares e de sinais elétricos indicam que muitas espécies ainda permanecem por serem descritas formalmente (LOVEJOY *et al.*, 2010).

ALBERT *et al.* (2004) reconheceram a existência de três clados dentro do gênero, observando diferenças na osteologia, no padrão de colorido e nas proporções corporais: o grupo de espécies *G. cylindricus*, com 2 espécies formalmente descritas; o grupo de espécies *G. pantherinus*, com 16 espécies formalmente descritas; e o grupo de espécies *G. carapo*, que conta atualmente com 22 espécies formalmente descritas. Mais recentemente, LOVEJOY *et al.* (2010), utilizando primariamente dados moleculares, sugeriram que as espécies do gênero formam pelo menos cinco linhagens. O grupo de espécies *G. carapo* possui padrão de colorido com duas características de coloração: as bandas escuras e claras alternadas (oblíquas e de margem irregular); e a membrana e raios da nadadeira anal

possuem uma região de coloração clara na porção posterior, sendo todo o restante do comprimento composto por cromatóforos marrom escuros (ALBERT, 2001). Segundo ALBERT *et al*. (2004), apenas a segunda característica pode ser considerada útil para o reconhecimento de um grupo monofilético. O grupo é o mais rico em espécies dentro do gênero. O sudeste brasileiro abriga duas espécies formalmente descritas de *Gymnotus*: *Gymnotus pantherinus* (Steindachner, 1908), descrita originalmente de "Santos", Estado de São Paulo e *Gymnotus sylvius* (Albert & Fernandes-Matioli, 1999), cujo material tipo foi coletado na bacia do rio Ribeira de Iguape, litoral do Estado de São Paulo (ALBERT *et al*., 1999, ALBERT *et al*., 2004).

O padrão geral de colorido do corpo é uma das características externas mais evidentes em espécies de *Gymnotus*, servindo como base para estudos taxonômicos e de sistemática neste grupo (FERNANDES *et al*., 2005). Alguns desses padrões, como manchas ou bandas, ocorrem tanto em *Gymnotus* quanto em outros gêneros de Gymnotiformes (CAMPOS-DA-PAZ & COSTA, 1996) não sendo claro, ainda, seu significado em termos de proximidade filogenética, pois são compartilhados com outros gêneros de Gymnotiformes. ALBERT *et al*. (2004) sugerem que o padrão de bandas claras e escuras alternadas sejam úteis para evitar o reconhecimento visual por predadores, uma vez que, por possuírem hábitos noturnos, não seria uma característica útil em relações intraespecíficas. Ainda no mesmo trabalho, reconhecem o aparecimento de bandas pigmentadas como sendo uma das características mais marcantes da diversidade interespecífica e da variação geográfica em *Gymnotus*. Quanto ao número, a condição plesiomórfica é reconhecida por eles como sendo representada por 18 a 23 bandas escuras oblíquas com margens onduladas que se tornam claras no meio durante o crescimento, resultando na aparente presença de "pares de bandas" (especialmente notada em indivíduos adultos). Grande parte das espécies do gênero apresenta padrão de colorido composto por bandas escuras e claras alternadas (Tabela 1).

Tabela 1. Lista com as espécies de *Gymnotus* que possuem bandas escuras e claras alternadas. Os dados foram retirados, quando possível, das descrições originais.

Espécie	N	Bandas	Média
G. carapo Linnaeus, 1758*	15	16-23	20
G. inaequilabiatus (Valenciennes, 1839)*	10	19-24	22
G. coatesi La Monte, 1935*	4	15-17	16
G. anguillaris Hoedeman, 1962*	8	7-26	22
G. coropinae Hoedeman, 1962**	24	4-22	14
G. cataniapo Mago-Leccia, 1994*	7	23-35	29
G. pedanopterus Mago-Leccia, 1994*	15	18-27	22
G. stenoleucus Mago-Leccia, 1994*	9	18-24	22
G. sylvius Albert et al., 1999	6	21-22	-
G. arapaima Albert & Crampton, 2000*	15	19-24	22
G. jonasi Albert & Crampton, 2000*	9	11-20	16
G. mamiraua Albert & Crampton, 2000*	9	18-21	20
G. melanopleura Albert & Crampton, 2000*	1	22	22
G. diamantinensis Campos-da-Paz, 2002*	2	19-22	21
G. choco Albert & Crampton, 2003*	9	18-22	21
G. esmeraldas Albert & Crampton, 2003*	8	6-10	8
G. henni Albert & Crampton, 2003*	7	13-16	15
G. paraguensis Albert & Crampton, 2003*	3	23-26	24
G. tigre Albert & Crampton, 2003*	6	16-23	21
G. javari Albert & Crampton, 2003*	11	13-21	15
G. panamensis Albert & Crampton, 2003*	2	23-24	24
G. ucamara Crampton et al., 2003	13	18-24	21
G. curupira Crampton & Albert, 2005	19	14-20	19
G. obscurus Crampton & Albert, 2005	16	14-20	17
G. varzea Crampton & Albert, 2005	37	16-22	18
G. pantanal Fernandes et al., 2005	12	7-25	13
G. omarorum Richer-des-Forges et al., 2009	22	22-24	23
G. chaviro Maxime & Albert, 2009	87	17-22	19
G. tiquie Maxime *et al*. 2011	6	19 – 24	20,5
G. capanema Milhomem et al., 2012	1	21	-
G. interruptus Rangel-Pereira, 2012	3	22-26	23,6

* retirados de ALBERT& CRAMPTON, 2003
**retirado de CRAMPTON & ALBERT, 2003

Apesar das descrições de espécies em *Gymnotus* terem adotado padrões mais detalhados quanto à análise morfológica em anos recentes, não existe ainda uma metodologia específica e objetiva de análise do padrão de colorido. O único rigor metodológico que se observa no estudo em todos os trabalhos de *Gymnotus* verificados é o de se fazer as medidas e contagens a partir do lado esquerdo dos exemplares. Mesmo com a importância taxonômica do estudo dos diferentes padrões de colorido no gênero *Gymnotus*, nota-se uma ausência quase completa de estudos realmente detalhados sobre as variações dessas características no gênero. Observa-se que geralmente não há investigação,

por parte dos autores, sobre as possíveis influências na coloração, por exemplo, do sexo, da maturidade, do tamanho e do número de indivíduos analisados, bem como possíveis impactos de variáveis ambientais sobre tais características. Além disso, são praticamente inexistentes análises dos padrões de colorido dos indivíduos *in vivo*. Como observado na Tabela 1, apenas a descrição de *G. chaviro* fez a diagnose da espécie, em relação ao número de bandas, com um número razoável (87) de exemplares (MAXIME & ALBERT, 2009), não havendo, no entanto, uma análise mais detalhada em conjunto com uma base metodológica para a mesma.

Este trabalho foi feito tendo em vista a necessidade de se estabelecer bases metodológicas comuns para o estudo do padrão de colorido das espécies de *Gymnotus* que possuem bandas, pois o uso de metodologias distintas e insuficientemente descritas dificulta tanto comparações quanto a identificação de padrões. A verificação da possibilidade de que os métodos utilizados para a obtenção dos resultados deste estudo podem ser aplicados para outras espécies do gênero pode colaborar na criação de um padrão de abordagem sobre o assunto. Além disso, tal verificação também permitiria generalizar as hipóteses apresentadas no presente trabalho e fornecer maiores informações sobre as principais questões discutidas, tais como a eficiência das descrições e diagnoses, a importância da inclusão de indivíduos representando razoavelmente bem todas as classes de tamanhos encontradas dentro da espécie e a abordagem correta para se fazer a contagem das bandas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar os dados acerca do padrão de colorido numa nova espécie de *Gymnotus* do sudeste do Brasil. Devido ao fato desta compartilhar com a maioria das outras espécies do gênero um padrão de bandas escuras e claras alternadas bem evidente, e baseando-se em discussões sobre o nível de detalhamento com que o padrão de colorido é abordado na literatura, sugerir uma metodologia de análise, visando padronizar e tornar mais preciso o entendimento das variações do padrão de colorido na espécie estudada e nas demais espécies com bandas do gênero *Gymnotus*.

2.2. Objetivos específicos

- Estudar o padrão de colorido de uma nova espécie de *Gymnotus* da bacia do rio São João, Estado do Rio de Janeiro.

- Discutir as abordagens metodológicas atualmente utilizadas em análises de padrão de colorido das espécies do gênero *Gymnotus*, incluindo as questões do número de indivíduos e as faixas de tamanho utilizadas nas análises, identificando situações problemáticas nessas abordagens e propondo soluções e aprimoramentos às mesmas, visando aumentar a robustez na descrição e diagnose das espécies do gênero que apresentam padrão de bandas no corpo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

O rio São João tem suas nascentes na Serra do Sambe, no município de Cachoeira de Macacu (RJ), a uma altitude de cerca de 600,0 m e percorre aproximadamente 150,0 km até desaguar no oceano Atlântico, junto à cidade de Barra de São João, Rio de Janeiro (Figura 1). A bacia do rio São João cobre uma área de aproximadamente 2.190,0 km² (BIZERRIL & PRIMO, 2001). As coletas dos exemplares se deram no rio Maratuã, tributário do rio São João. Foram realizadas quatro coletas ao longo de um ano, abrangendo as quatro estações do ano, que se deram nos meses de agosto (2014), dezembro (2014), março (2015) e junho (2015).

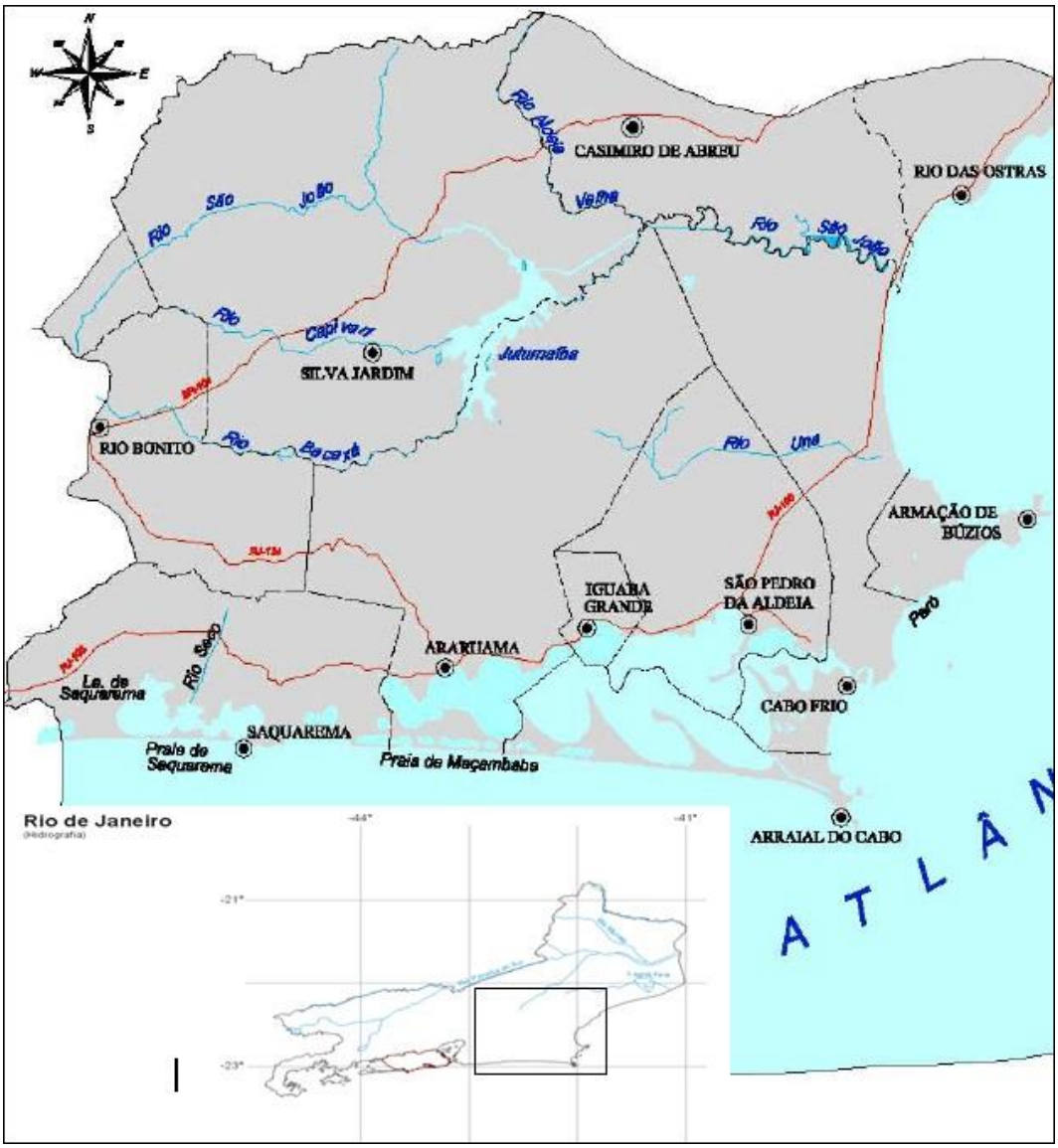

Figura 1. Localização geográfica do rio São João. Fonte: BIZERRIL & PRIMO, 2001.

A sub-bacia do rio Maratuã tem 15,7 km de extensão (GREMIÃO, 2008) e está localizada no município de Silva Jardim e nasce em montanha a cerca de 600 m de altitude, localizada em frente a serra de Boa Vista e a nordeste da vila de Correntezas. Tem como afluente principal o rio Iguape. O rio Maratuã (Figuras 2, 3, 4 e 5) foi visitado em todas as coletas. Seu fundo encontrou-se composto predominantemente por areia, com cerca de 2% composto por lama. Observou-se que a vegetação marginal era majoritariamente representada por capim navalha (*Paspalum virgatum*) e brachiaria, região onde se concentrou o maior esforço de coleta e onde normalmente se abrigavam os espécimes de *Gymnotus*. A profundidade variou de 0,7 m na estação seca a 1,6 m na estação chuvosa. Notou-se que a água onde os espécimes foram coletados encontrava-se turva durante todo o período do trabalho.

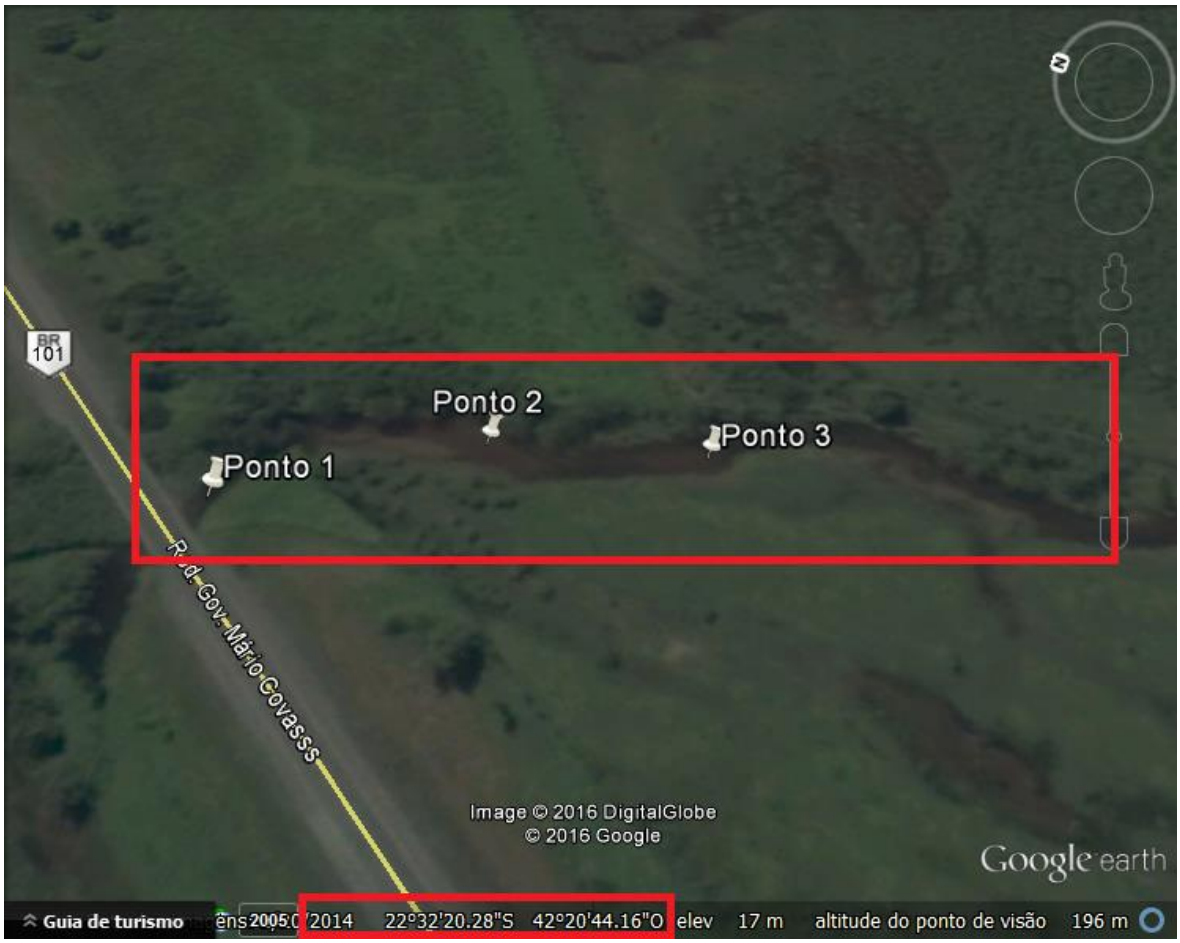

Figura 2. Localidade onde se realizaram as coletas e coordenada geográfica. Fonte: Google Earth.

Figuras 3. Rio Maratuã. Dezembro de 2014.

Figura 4. Rio Maratuã. Março de 2015.

Dados abióticos para todas as coletas foram tomados com sonda multiparâmetro. Foram registrados dados sobre a temperatura, o pH, os sólidos dissolvidos totais (TDS) e o oxigênio dissolvido (OD). A temperatura influencia a maioria dos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na água, especialmente pH, condutividade e OD, e sua variação acompanha as flutuações do clima. O potencial hidrogeniônico (pH) na faixa de 6,0 a 9,0 é considerado compatível para a maioria dos organismos, e pH muito distante desta faixa pode indicar contaminação por efluentes industriais ou produtos químicos. O eletrodo que mede o pH pode sofrer variação com a temperatura, por isso deve ser calibrado antes das medições. Os TDS são normalmente usados para caracterizar apenas ambientes de água doce e seus valores medem a quantidade de todas as substâncias orgânicas e inorgânicas em suspensão na água, nas formas molecular, ionizada ou coloidal. Altos valores de sais minerais e espécies iônicas geram altos teores de TDS, podendo influenciar diretamente a condutividade elétrica. O OD pode ter origem endógena (fotossíntese) ou exógena (difusão com a atmosfera), e suas variações têm relação direta com atividades físicas, químicas e biológicas existentes no corpo d'água. Sua variação pode ocorrer em períodos de até 24h, mudando também de acordo com as variações de temperatura (VIEIRA, 2010; BORGES *et al*., 2007). Na resolução CONAMA 357 de março de 2005, a classe 3, limite para pesca amadora e consumo humano após tratamento convencional e avançado (última classe onde recomenda contato humano com a água), tem como valor máximo de TDS = 500 mg/L; pH de 6,0 a 9,0 e OD não inferior a 4,0 mg/L. Na Tabela 2 se encontram os dados caracterizadores da água onde habitavam os peixes coletados e analisados neste estudo.

Tabela 2. Dados abióticos coletados com sonda multiparâmetro nas quatro coletas e em cada um dos pontos de estudo do presente trabalho.

Agosto/2014			
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Temperatura (°C)	22,94	22,8	22,66
pH	5,89	5,4	5,2
TDS	12	12	12
OD (mg/L)	7,5	7,9	7,8
Dezembro/2014			
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Temperatura (°C)	29,16	29,66	29,42
pH	4,27	4,29	4,32
TDS	14	14	15
OD (mg/L)	4,56	4,85	5,05
Março/2015			
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Temperatura (°C)	26,13	25,41	24,78
pH	5,37	5,48	4,66
TDS	12	12	12
OD (mg/L)	2,67	2,61	2,37
Junho/2015			
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Temperatura (°C)	21,82	21,58	20,91
pH	5,22	4,58	5,23
TDS	11	11	11
OD (mg/L)	2,67	4,09	4,11

Para a coleta dos exemplares, foram utilizadas rede-de-arrasto manual (malha de 5,0 mm) e peneiras confeccionadas com armação de alumínio tubular (com 50,0 cm x 70,0 cm) e rede de nylon com malha de 2,0 mm (“tela de mosquiteiro”). As coletas foram realizadas durante o período diurno, junto às margens (profundidade até um metro), e preferencialmente em locais onde havia vegetação marginal, junto à qual normalmente estão abrigados indivíduos de *Gymnotus*. Os exemplares, assim que coletados, foram imediatamente acondicionados em sacos plásticos contendo etiqueta com informações relativas ao local de captura, sendo fixados ao final dos trabalhos em solução de formalina a 10%. Posteriormente, no laboratório (após um período de cinco a sete dias na solução de formalina a 10%), foram transferidos para sua conservação definitiva em álcool 70% GL. Os exemplares coletados e utilizados no estudo encontram-se provisoriamente mantidos no Laboratório de Ictiologia Neotropical (LABIN; Departamento de Ecologia e Recursos Marinhos, Instituto de Biociências da UNIRIO), e posteriormente serão encaminhados para

instituições credenciadas. O número de exemplares obtido em cada uma das coletas e em cada um dos pontos de coleta se encontra na Tabela 3.

Tabela 3. Quantidade de peixes coletados por mês e pontos de coleta

Agosto/2014	
Ponto 1	0
Ponto 2	1
Ponto 3	2
Dezembro/2014	
Ponto 1	22
Ponto 2	66
Ponto 3	69
Março/2015	
Ponto 1	24
Ponto 2	49
Ponto 3	39
Junho/2015	
Ponto 1	22
Ponto 2	36
Ponto 3	114

3.2. Análise em laboratório

Para medida de comprimento total (CT – distância tomada da extremidade anterior do focinho à ponta da cauda) foi usada régua milimetrada, tomando-se distância linear ponto a ponto e referência com o milímetro mais próximo. No total, foram examinados 444 indivíduos de *Gymnotus* sp., coletados na bacia do rio São João (estado do Rio de Janeiro). Os espécimes, após inspeção geral e com auxílio da lupa, foram fotografados a fim de registrar o padrão de colorido geral para uma análise mais detalhada a partir das imagens. Para fins de análise minuciosa e observação de detalhes, fotografias foram também trabalhadas utilizando-se o programa Adobe Photoshop CC 2015 (ADOBE SYSTEMS, 2016), visando o realce das cores dos indivíduos. Os exemplares vivos foram examinados apenas superficialmente para a comparação e reconhecimento de diferenças marcantes com indivíduos fixados, enquanto as análises mais detalhadas foram feitas somente a partir de espécimes conservados em álcool 70%. Foram excluídos das medições baseadas em comprimento total e das contagens de bandas todos os exemplares que possuíam apêndice caudal significativamente danificado ou regenerado.

A região cefálica foi analisada para o reconhecimento de padrões de coloração, tais como manchas ou listras (escuras ou claras), e reconhecimento da disposição geral dos

cromatóforos. Foram feitas observações das regiões dorsal, laterais e ventral da cabeça de cada um dos exemplares. As nadadeiras peitoral e anal foram observadas quanto à presença e disposição cromatóforos (ou seja, se sobre as membranas interradiais e/ou sobre os raios). A partir das diferenças na distribuição dos cromatóforos observadas para a nadadeira anal, esta foi dividida em três seções (ou "terços", não implicando em igualdade de comprimento entre estes segmentos). A porção da nadadeira anal mais próxima da região cefálica, cujos cromatóforos estão esparsamente dispostos, foi denominada "terço anterior". A porção mais próxima da extremidade caudal, caracterizada pela ausência de cromatóforos, foi denominada "terço posterior". A porção entre o terço posterior e o terço anterior, que possui alta densidade de cromatóforos, foi denominada "terço médio".

Denominou-se "bandas" as faixas transversais, com pigmentação marrom escuro bem marcada, dispostas primariamente em sentido dorsoventral no corpo dos indivíduos. Neste estudo, cada banda escura equivale ao que foi denominado por ALBERT *et al*. (1999) como "pares de bandas escuras" ("*pairs of dark pigment bands*"). Essas bandas escuras se encontram separadas por regiões mais claras, de cor amárelo-pálido (sem ou com muito pouca pigmentação), denominadas de regiões interbanda. A região marrom clara por vezes visível região medial das bandas escuras foi denominada região intrabanda. Inicialmente, a análise e contagem de bandas seguiu Albert *op cit* (Figura 5); porém, ao longo do estudo, a análise obteve peculiaridades próprias de acordo com o método de contagem de bandas que se mostrou mais eficiente. A primeira banda escura contada é aquela localizada mais próxima da extremidade caudal e a última é aquela mais próxima da região occipital dos exemplares. As contagens, de início, foram feitas sempre sobre ambos os lados dos exemplares e no dorso, visando à identificação de assimetrias, dos fatores que as geram e ao auxilio sobre qual a melhor tomada de decisões quanto à maneira de efetuar as contagens das bandas

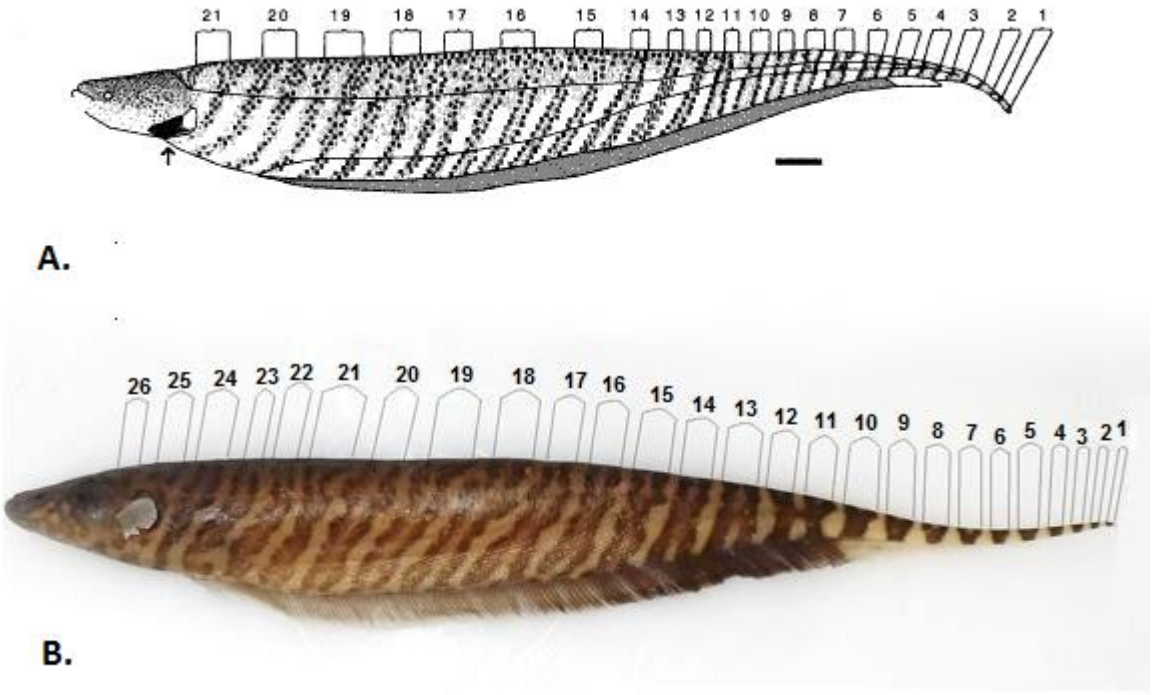

Figura 5. A: esquema de contagem de bandas proposto por ALBERT *et al.* 1999; **B:** adaptado ao estudo de *Gymnotus* sp. (150,0 mm CT).

Devido à observação de algumas tendências e padrões na variação da disposição das bandas entre os exemplares da amostra, estes foram analisados em diferentes intervalos de CT, intervalos estes escolhidos de acordo com o pronunciamento da tendência observada. Os espécimes também foram analisados de acordo com mudanças na aparência das bandas na série ontogenética. Peculiaridades apresentadas na forma e na pigmentação das bandas escuras que variaram em relação à localização no corpo dos exemplares também foram detalhadas. As margens das bandas escuras foram analisadas de acordo com sua aparência ao longo do corpo dos exemplares, observando-se variações na sua forma e na orienatação que possuem em relação ao plano vertical do corpo.

Modelos aditivos generalizados ("*Generalized additive models"* - GAMs), disponíveis no programa CANOCO 4.5, foram aplicados para a avaliar a relação entre o número de bandas claras e escuras, e presentes nos lados esquerdo, direito e no dorso do corpo, com o tamanho dos peixes. O modelo de complexidade do GAM foi escolhido através do critério de seleção Akaike (AIC), que leva em consideração a eficácia e a parcimônia do modelo (BURNHAM & ANDERSON, 1998; LEPS & SMILAUER, 2003). Os GAMs apresentam vantagens sobre modelos lineares convencionais por que são capazes de detectar relações não-lineares entre as variáveis dependentes e independente. Regressões lineares simples foram aplicadas, utilizando-se como variável independente o

número de bandas escuras do lado esquerdo do corpo (medida convencionalmente usada para a contagem deste atributo no gênero) e o número de bandas claras e escuras nas demais contagens (no lado direito e no dorso) como variáveis dependentes, a fim de se testar o grau de associação entre os atributos e de confirmar o potencial de uso do descritor convencional como medida representativa das variações de bandas claras e escuras e de outras medidas. As regressões lineares simples foram aplicadas por meio do sofwatre Statistica 8.0. Por fim, curvas de rarefação, usualmente aplicada para estudos de suficiência amostral e de saturação da riqueza de espécies, foram aplicadas, por meio do software Estimates 8.20 sobre a matriz transformada da contagem de bandas escuras do lado esquerdo do corpo para a se estimar a quantidade de indivíduos necessária para que o número máximo de bandas (i.e., variação máxima) fosse atingido em cada uma das classes de tamanho escolhidas de acordo com os padrões de mudança que apresentaram.

4. RESULTADOS

4.1. Variações do padrão de colorido ao longo do corpo

De maneira geral, as bandas escuras próximas dos dois terços anteriores do corpo apresentam margens bastante irregulares. Além disso, tanto sua forma quanto sua coloração são menos uniformes, se comparadas com as bandas do terço posterior do corpo, sendo também mais estreitas e tomando uma leve inclinação, com a porção ventral posicionada mais anteriormente (Figura 6B). Ainda se tratando da mesma região, é possível observar que todas as bandas escuras possuem uma região intrabanda bem demarcada, e as regiões interbanda com aproximadamente o mesmo tamanho das bandas escuras. Em se tratando das bandas encontradas no terço posterior do corpo, as margens se encontram bem definidas e uniformes, com as regiões intrabanda pouco evidentes ou mesmo ausentes (Figura 6C). A orientação no corpo é quase vertical, e a região interbanda apresentar tamanho relativo maior em relação às bandas pigmentadas (cerca de metade da largura das bandas escuras).

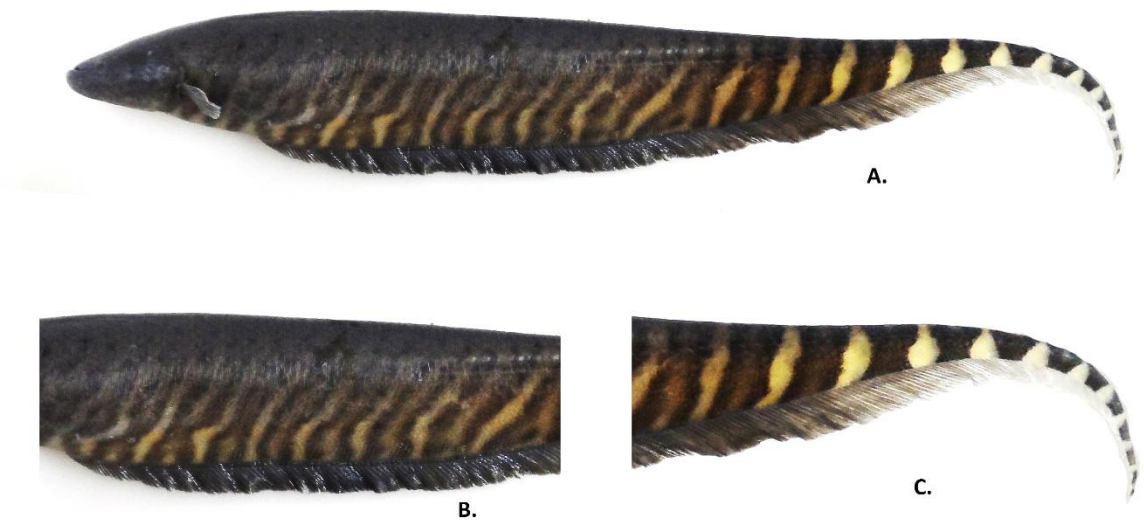

Figura 6. Exemplar de *Gymnotus* sp. coletado em dezembro de 2014. 184,0 mm CT. Observar a mudança na disposição, orientação e forma das bandas conforme se percorre o corpo da região caudal para a rostral.

Em muitos espécimes, é possível destacar uma banda bem demarcada próxima à região occipital que não chega a se distribuir pela região lateral do corpo (Figura 7). Essa banda não foi considerada nas contagens, pois não se estende até a porção lateral do corpo. Além disso, a mesma se encontra em uma região (dorsal) que, em muitos exemplares,

apresenta pigmentação de fundo escura ou bandas com pouca pigmentação, na qual se torna até mesmo inviável observar as bandas em exemplares com CT a partir de 150,0 mm.

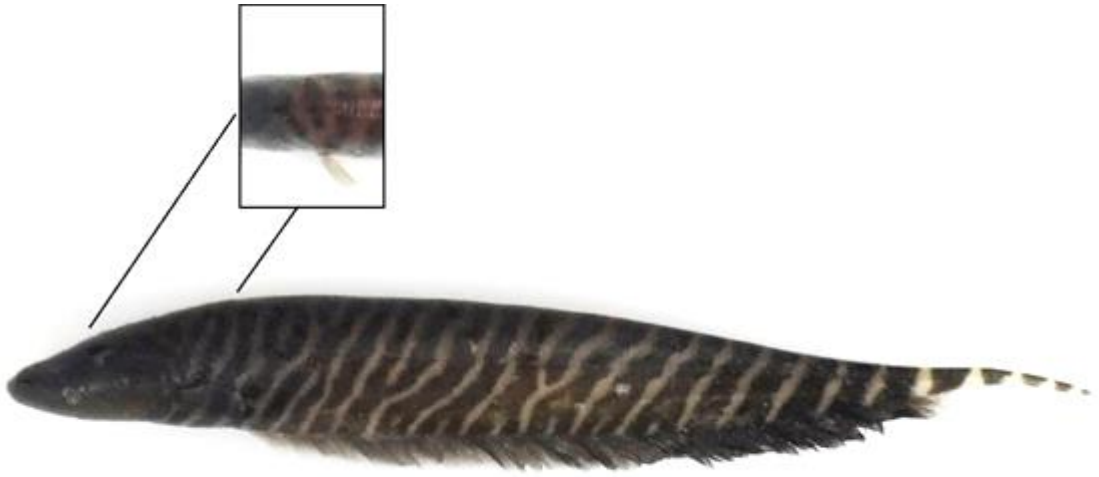

Figura 7. Imagem mostrando a localização da banda exclusiva da região do dorso encontrada em muitos exemplares de *Gymnotus* sp. Coletado em dezembro de 2014; 92,0 mm CT.

Algumas bandas, aparentemente únicas quando vistas a partir do dorso e acima da linha lateral, dividem-se formando mais de uma banda escura ventralmente (abaixo da linha lateral; por exemplo, formando um "Y" invertido - Figura 8). Ou bandas escuras que aparentemente são individualizadas dorsalmente acabam por unir-se ventralmente (abaixo da linha lateral, formando um "Y" - Figura 9), resultando em contagens assimétricas. Nessas situações, optou-se por contar a quantidade de bandas individualizadas acima da linha lateral, pois verificou-se que estas costumam se estender pelo dorso e até o outro lado do exemplar, diminuindo a assimetria no número de bandas de ambos os lados, enquanto que as bandas que sofrem divisões abaixo da linha lateral tendem a acentuar as assimetrias. A presença de bandas que começavam na margem ventral e não chegavam ao dorso, ou que vinham do dorso e não alcançavam a margem ventral do corpo também foi observada. Nesses casos, a banda não foi contabilizada.

Figura 8. Exemplar de *Gymnotus* sp. coletado em junho de 2015. 118,0 mm CT. **A: s**ão observadas bandas que se iniciam abaixo da linha lateral, formando "Y" invertido, e **B:** bandas que não ultrapassam a linha lateral.

A região cefálica não apresentou modificações significativas no seu padrão de colorido com a variação no tamanho dos exemplares. As porções laterais e dorsal sempre apresentando pigmentação densa e escura. Na porção ventral, o padrão vermiculado de disposição de cromatóforos se observou em quase todos os espécimes. Por vezes, a disposição esparsa dos cromatóforos deu lugar a um padrão pontilhado no lugar de vermiculado (Figura 10). As nadadeiras peitoral e anal também apresentaram padrão semelhante em todas as faixas de tamanho. Nadadeira peitoral com distribuição de poucos cromatóforos ao longo da membrana e com raios sem cromatóforos. Nadadeira anal apresentando cromatóforos bem espalhados sobre a membrana no seu terço anterior. No terço médio, observa-se grande densidade de cromatóforos, abruptamente culminando numa região com ausência de cromatóforos, no terço posterior.

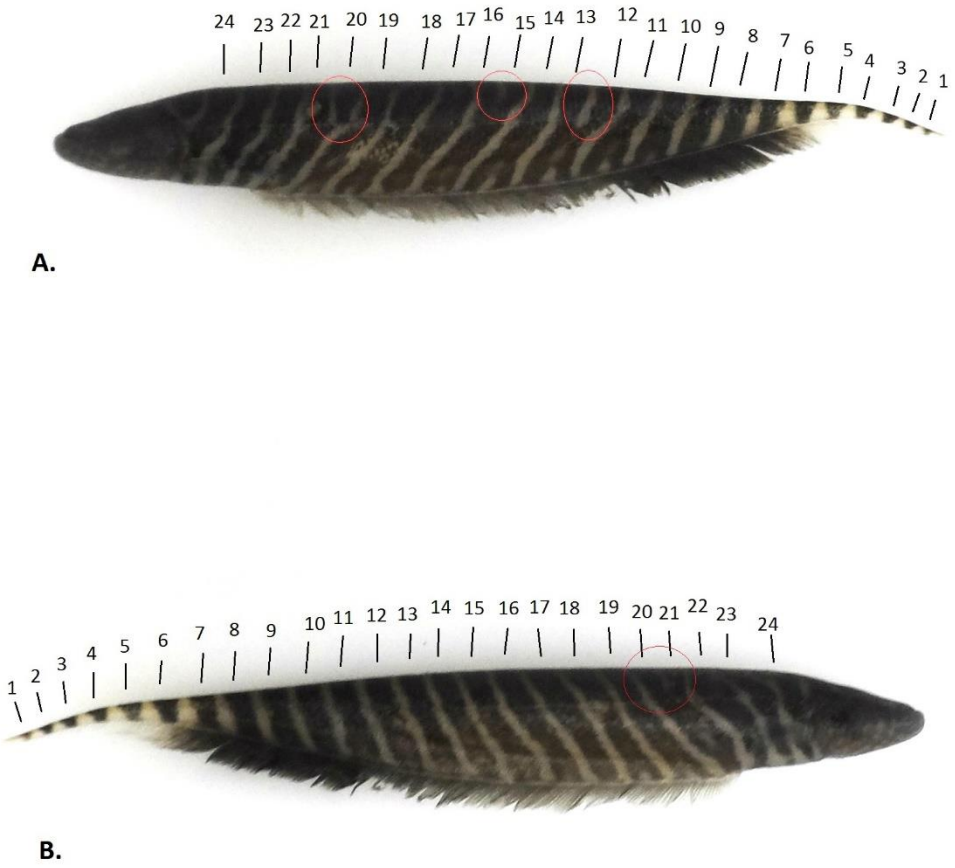

Figura 9. Exemplar de *Gymnotus* sp. coletado em dezembro de 2014. 77,0 mm CT. **A: s**ão observadas bandas que se iniciam acima da linha lateral, formando um "Y". **B:** bandas que não ultrapassam a linha lateral.

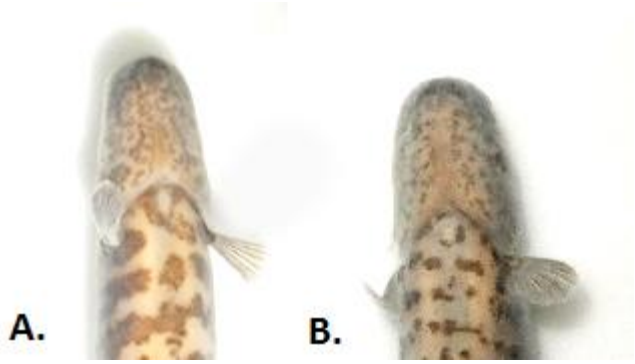

Figura 10. Padrão de colorido da porção ventral da região cefálica dos exemplares de *Gymnotus* sp. **A:** vermiculado; coletado em dezembro de 2014; 205,0 mm CT. **B:** pontilhado; coletado em dezembro de 2014; 152,0 mm CT.

4.2. Variações com relação ao tamanho

A análise da relação entre as bandas escuras esquerdas e as demais bandas contadas no estudo (bandas claras dos lados esquerdo, direito e no dorso, e bandas escuras do lado direito e no dorso) é exibida no gráfico da Figura 11 para toda a amostra, na qual se registrou a contagem de todas as seis medidas de banda, excluindo-se os indivíduos para os quais houve "missing value" para qualquer uma das medidas, totalizando 327 indivíduos na análise. Observa-se uma relação linear em todas as relações feitas no gráfico, com coeficiente de determinação (R^2) variando de 0,81 para bandas escuras no lado direito a 0,78 para as bandas escuras presentes no dorso, implicando num elevado grau de explicação para os resultados das contagens feitas nas diferentes regiões do corpo do exemplar. Este resultado, além de demonstrar a eficácia na caracterização do exemplar por qualquer lado do corpo que se escolha fazer as contagens, também fornece uma equação que pode ser utilizada, dentro da espécie estudada, para estimar a quantidade de bandas de uma das regiões, caso ela esteja danificada ou seja de difícil análise. A relação de linearidade também foi encontrada entre as bandas escuras esquerdas e as regiões interbanda contadas nos lados e no dorso. Estas, como não poderia ser diferente metodologicamente falando, apresentam íntima relação com a quantidade de bandas escuras onde estão presentes. Porém o número encontrado para as duas nem sempre é o mesmo, como se pode verificar nas diferenças do coeficiente de variação (R^2) para ambas (0,02), em todos os lados examinados. Embora alguma variabilidade tenha sido observada para o número de regiões interbanda com relação ás bandas escuras no lado ao qual pertencem, elas também estão linearmente bem relacionadas à quantidade de bandas escuras encontradas no lado esquerdo.

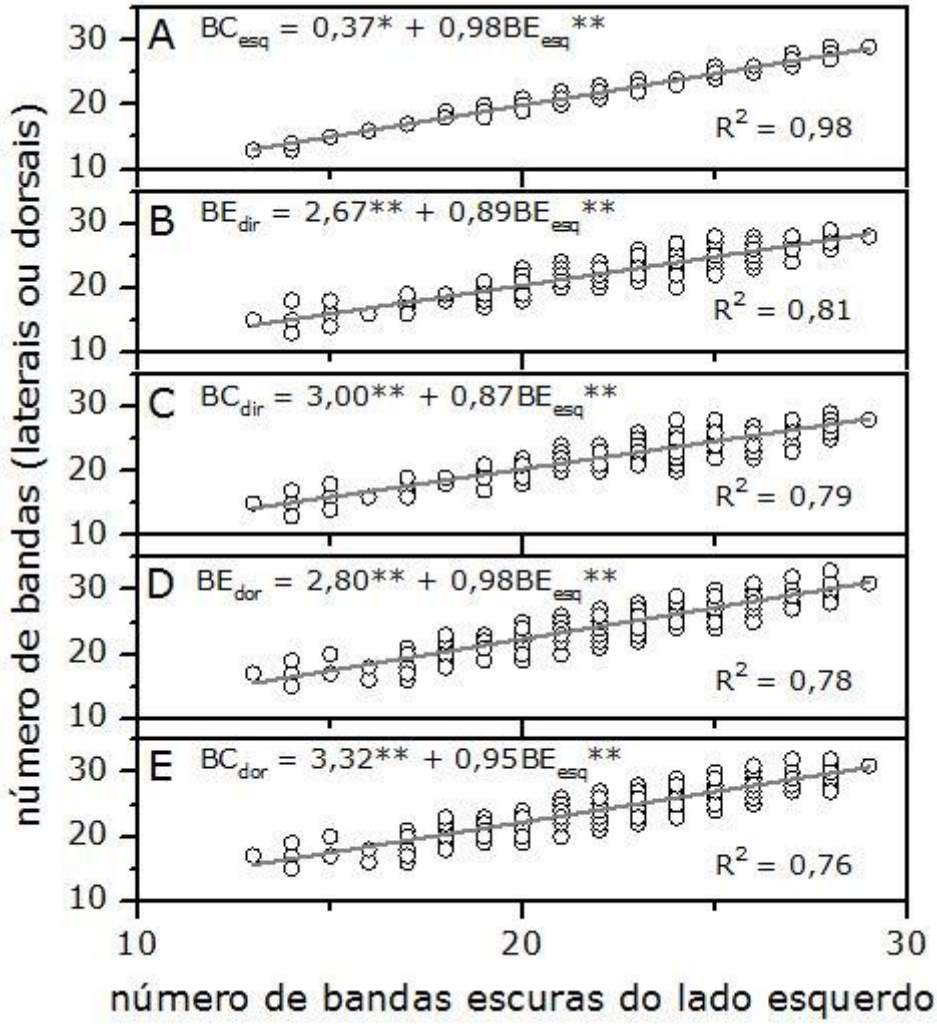

Figura 11. Relações lineares, com respectivas equações e coeficiente de determinação (R^2) entre o número de bandas escuras do lado esquerdo (variável independente) e as variáveis dependentes de: **A:** bandas claras contadas no lado esquerdo. **B:** bandas escuras contadas no lado direito. **C:** bandas claras contadas no lado direito. **D:** bandas escuras contadas no dorso. **E:** bandas claras contadas no dorso. 327 indivíduos analisados.

Como se pode observar no gráfico da Figura 12, exemplares com tamanho próximo ou inferior a 120,0 mm CT exibem um acréscimo bem mais pronunciado no número de bandas quando se percorre o intervalo de tamanho amostrado em ordem crescente. Este acréscimo pode ser constatado a partir do comportamento aproximadamente linear da curva até esse ponto. A partir de 120,0 mm é possível observar um ponto de inflexão que leva a uma curva quase constante nos gráficos, caracterizando que a partir de tal ponto há um incremento muito mais lento de bandas nos exemplares, com uma estabilização no número das mesmas. Tal comportamento pode ser observado para todas as contagens de bandas feitas no presente estudo.

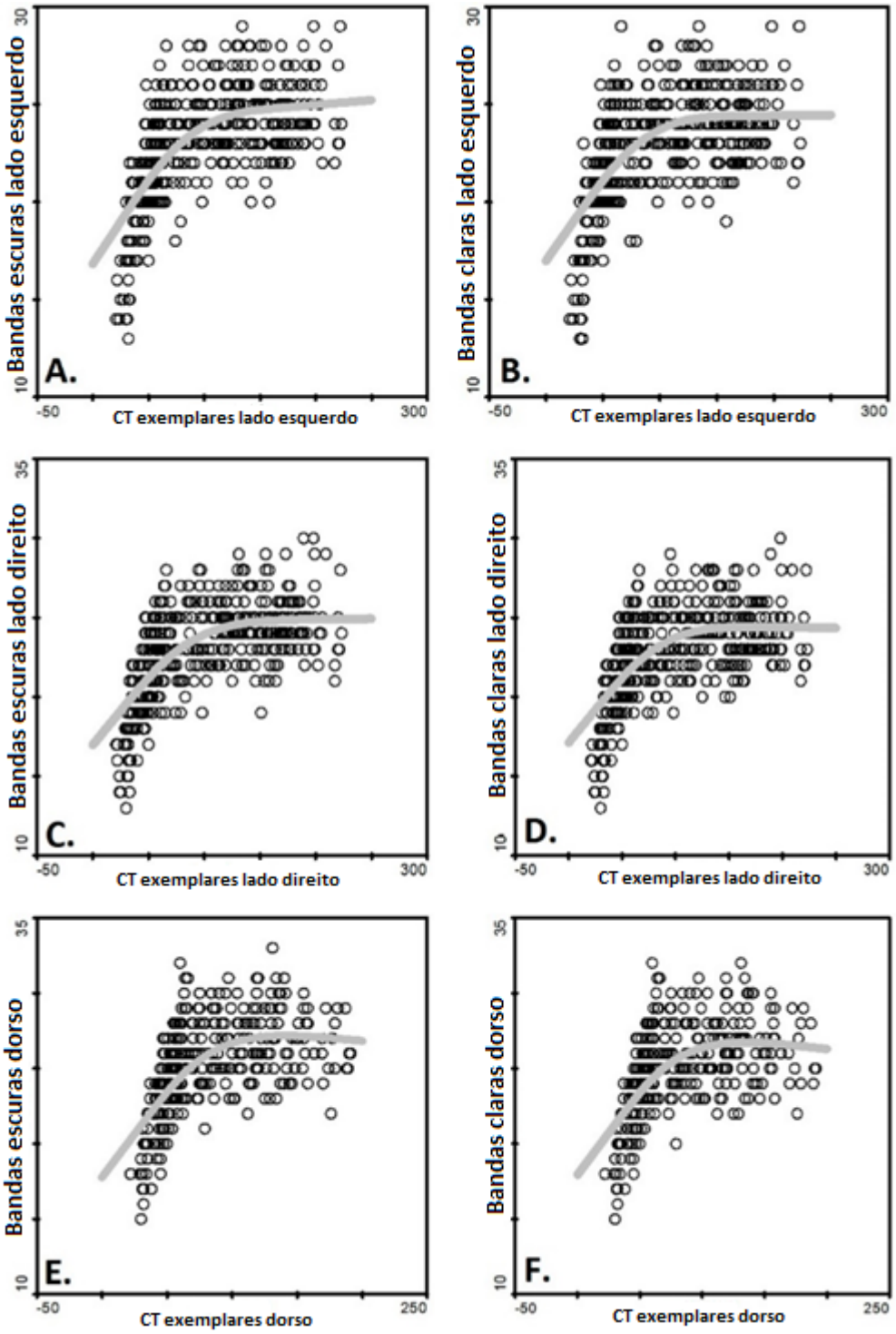

Figura 12. Relação entre a quantidade de bandas escuras e o tamanho dos exemplares de *Gymnotus* sp. coletados na bacia do rio São João. As linhas representam os Modelos Aditivos Generalizados (GAMs) selecionados pelo critério de informação Akaike (AIC). Todos os gráficos relacionam o número de bandas com o tamanho dos exemplares. **A** e **B**: bandas escuras e claras no lado esquerdo, respectivamente (N = 436; 21,0 - 223,0 mm CT; 13 a 29 bandas) **C** e **D**: bandas escuras e claras no lado direito, respectivamente (N = 436; 21,0 a 223,0 mm CT; 13 a 30 bandas). **E** e **F**: bandas escuras e claras no dorso, respectivamente (N = 329; 22,0 a 193,0 mm CT; 15 a 33 bandas).

A análise dos gráficos apresentados nas Figuras 11 e 12 mostra que a escolha da contagem a partir das bandas escuras do lado esquerdo dos exemplares, para fins de estudo do padrão de bandas da espécie estudada, representa satisfatoriamente a totalidade do padrão de colorido observado em todo o corpo dos indivíduos.

Outro fator que se pode notar na separação dos exemplares em várias faixas de tamanho é o intervalo de variação no número de bandas que cada classe de tamanho apresenta (Figura 13). Quando todos os peixes são colocados na análise, os exemplares com menos de 100,0 mm CT influenciam no intervalo de bandas, que passa a ter 17 classes de quantidade de bandas, enquanto a moda, que se encontra em 23 bandas, não parece ser muito influenciada se comparada com os outros resultados. Quando se observa o gráfico que trata apenas dos exemplares menores que 100,0 mm CT, o intervalo de número de bandas é quase o mesmo (16 classes de número de banda), porém a moda cai para 21. Já quando são analisados apenas exemplares com mais de 100,0 mm CT, o intervalo de classes de número de banda cai para quase metade (10 bandas) e a moda se assemelha à análise como um todo, de 23 bandas. Já quando se analisa apenas os exemplares maiores que 150,0 mm CT, o intervalo de classes e a moda não se distanciam muito dos valores encontrados para todos os exemplares maiores que 100,0 mm CT (intervalo com 10 bandas e 24 de moda).

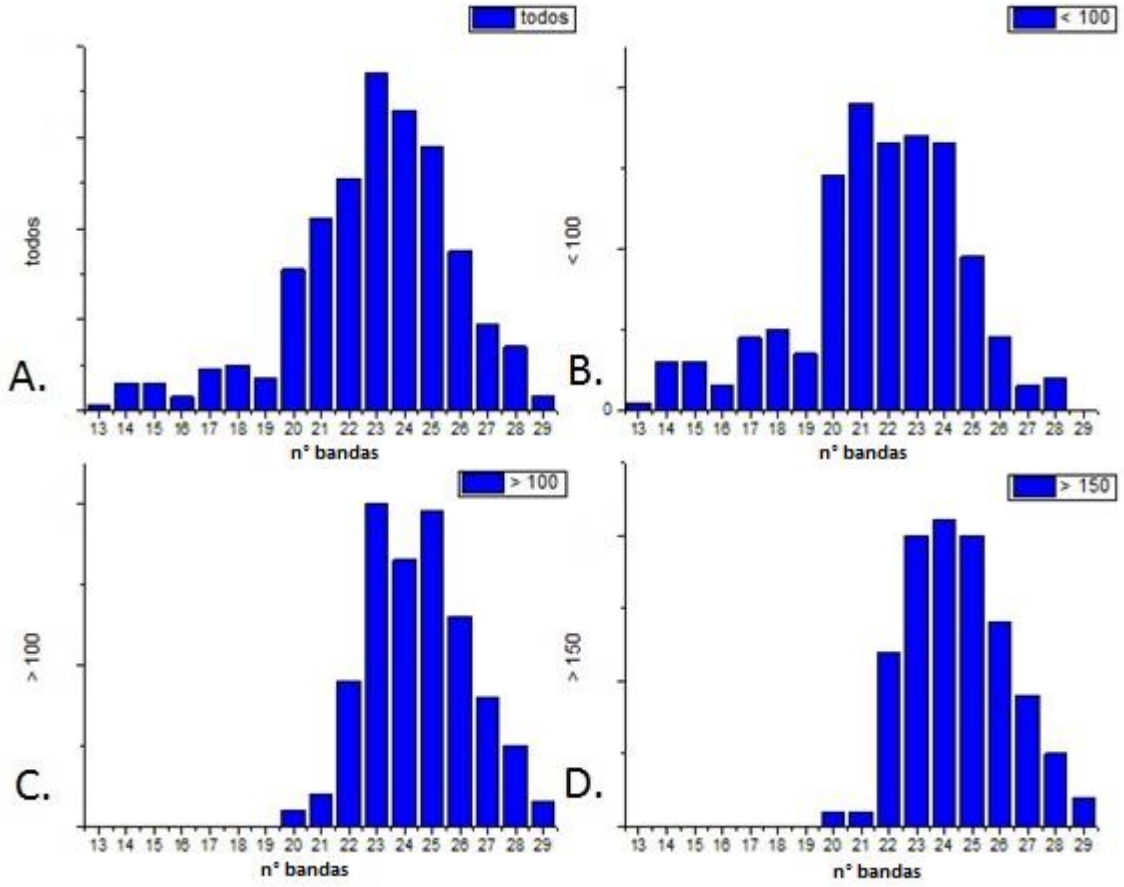

Figura 13. Histograma representativo do número de indivíduos registrados por cada classe de contagem de bandas escuras do lado esquerdo do corpo com a variação do número de bandas por faixa de tamanho. **A**: todos os 435 exemplares analisados; **B**: exemplares menores que 100,0 mm CT (N = 244); **C**: exemplares maiores que 100,0 mm CT (N = 191); e **D**: exemplares maiores que 150,0 mm CT (N = 105).

Ao se estudar o padrão de colorido das espécies de *Gymnotus* que possuem como característica marcante bandas escuras e claras alternadas, deve-se atentar para variações que podem interferir na contagem das mesmas. Neste estudo, mudanças no padrão de colorido do corpo ao longo da série ontogenética foram observadas. Os indivíduos menores que 100,0 mm, apresentam bandas escuras homogêneas (ausência de região intrabanda) e com margens bem delimitadas, ou seja, com menos ondulações (Figura 14). Suas bandas também possuem uma construção com direção vertical na direção dorsoventral, se comparadas às bandas dos espécimes com mais de 100,0 mm CT, que possuem direção obliquamente orientada com a porção ventral direcionada para a região cefálica.

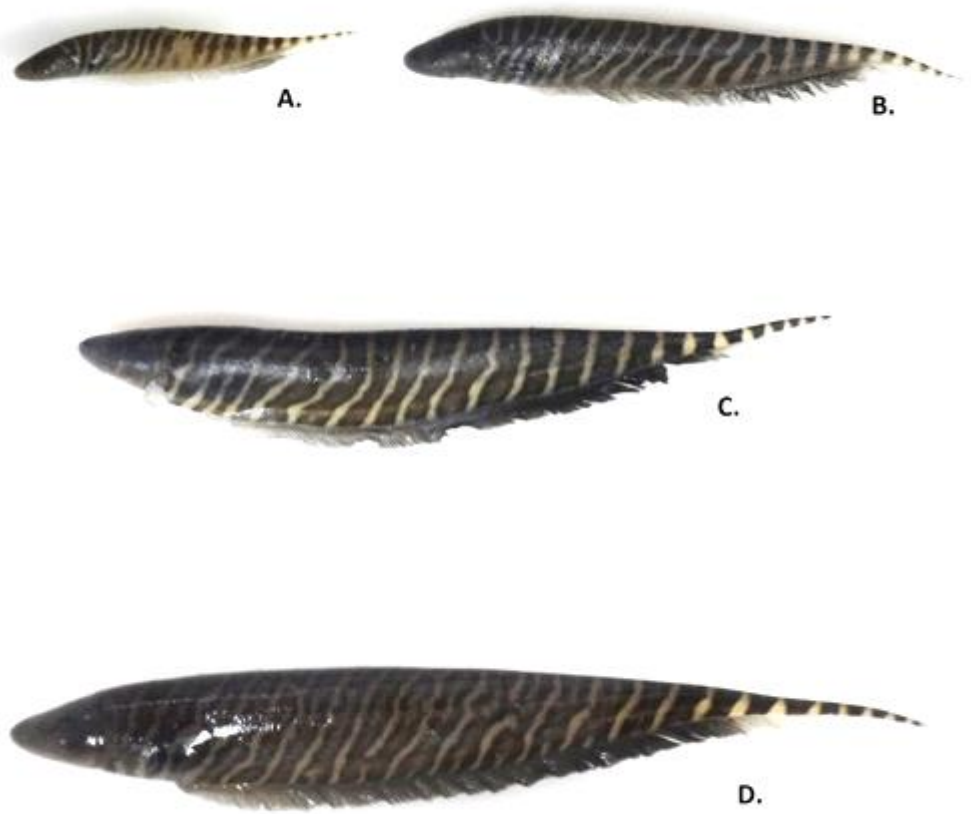

Figura 14. Variações no padrão de colorido ao longo da série ontogenética. Exemplares: **A.** 52,0mm CT, coletado em dezembro de 2014. **B.** 56,0 mm CT, coletado em dezembro de 2014. **C.** 120,0 mm CT coletado em março de 2015. **D.** 127,0 mm CT, coletado em março de 2015.

Alguns exemplares com comprimento total menor que 50,0 mm apresentam regiões sem banda em alguma região do corpo, sendo que alguns exemplares muito pequenos (com menos de 25,0 mm) sequer apresentaram presença de bandas, como pode ser observado na Figura 15.

Figura 15. Peixes com menos de 50,0 mm CT. Coletados em dezembro de 2014.

Em indivíduos com mais de 150,0 mm CT, as bandas escuras na região do dorso, próximo à região cefálica (distribuídas ao longo da metade anterior do corpo) podem tornar-se bastante irregulares, ou podem formar um conjunto de manchas indistintas, ou ainda adquirir um padrão pontilhado que inviabiliza sua contagem. Epecialmente nesta área, também, a cor de fundo pode adquirir uma pigmentação muito escurecida que se confunde com a cor das bandas escuras, não possibilitando sua distinção (Figura 16). Portanto, a região obteve um aproveitamento baixo para a realização de contagens nos exemplares que medem 150,00 mm CT ou mais, e a distinção das bandas chegou a ser inviável em todos os exemplares (N = 13) com mais de 200,0 mm CT. Dos 246 peixes com tamanho até 100,0 mm, 245 apresentaram bandas individualizadas no dorso. Já nos peixes com tamanho entre 100,0 mm e 150,0 mm, aproximadamente 16% (14 de 87) não foi possível efetuar contagens no dorso. Dos 96 peixes com comprimento entre 150,0 e 200,0 mm, não foi possível fazer contagens no dorso em 62 deles (65%).

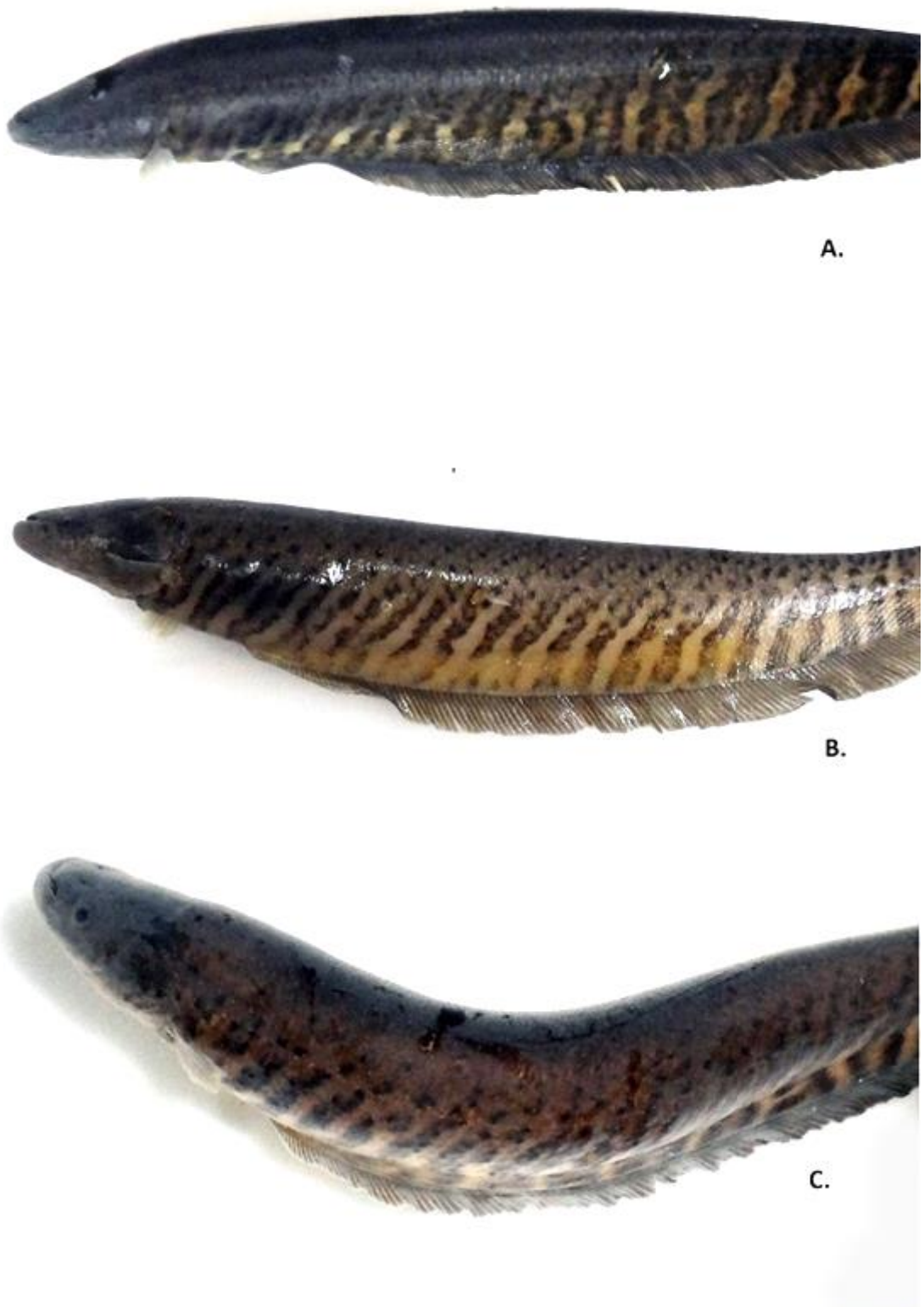

Figura 16. Peixes sem bandas individualizadas no dorso. **A.** Coletado em março de 2015; 187,0 mm CT. **B.** Coletado em dezembro de 2015; 152,0 mm CT. **C.** Coletado em dezembro de 2014; 164,0 mm CT.

A curva de rarefação na Figura 17 mostra o número de exemplares necessários para que a variação no número de bandas em cada classe de tamanho seja atingida com estabilidade satisfatória. A análise foi feita com as bandas quantificadas a partir do lado esquerdo dos exemplares. Como se pode observar na curva, englobando-se todos os 435 exemplares com variação de comprimento total entre 21,0 e 223,0 mm CT, são necessários aproximadamente 100 indivíduos para se encontrar toda a variação de bandas observada (13 a 29 bandas). No caso de haver apenas indivíduos menores que 100,0 mm CT (N = 244), para se atingir toda a faixa de variação do número de bandas representado na amostra (13 a 28 bandas), o número de exemplares necessários quase duplica, se aproximando de 200 para se abranger todo o intervalo de bandas observado. Este fato pode ser explicado pelo grande incremento no tamanho do intervalo (17 classes) observado na contagem de bandas que exemplares menores agregam aos resultados e à grande dispersão no número de bandas que há dentro desse intervalo. Por isso, para encontrar todas as classes com alguma estabilidade, são necessários 200 indivíduos e a suficiência amostral é muito maior para que todas as classes sejam bem representadas. Nas análises de exemplares maiores que 100,0 mm CT (N = 191), a estabilidade foi alcançada quase que com o mesmo número de exemplares que são necessários quando usada a totalidade dos exemplares que foram analisados (N = 435), se aproximando de 100 indivíduos, mostrando que embora o intervalo do número de bandas seja menor, as quantidades de banda encontradas estão bem dispersas ao longo do intervalo, demandando um grande número de exemplares para que todas as quantidades de bandas observadas sejam alcançadas com algum grau de confiança. Já quando se observam exemplares com mais de 150,0 mm CT (N = 105), o número de necessário para se alcançar estabilidade nas análises cai para próximo de 50, mostrando que as variações no número de contagem de bandas se encontra menos dispersa dentro desse intervalo de tamanho.

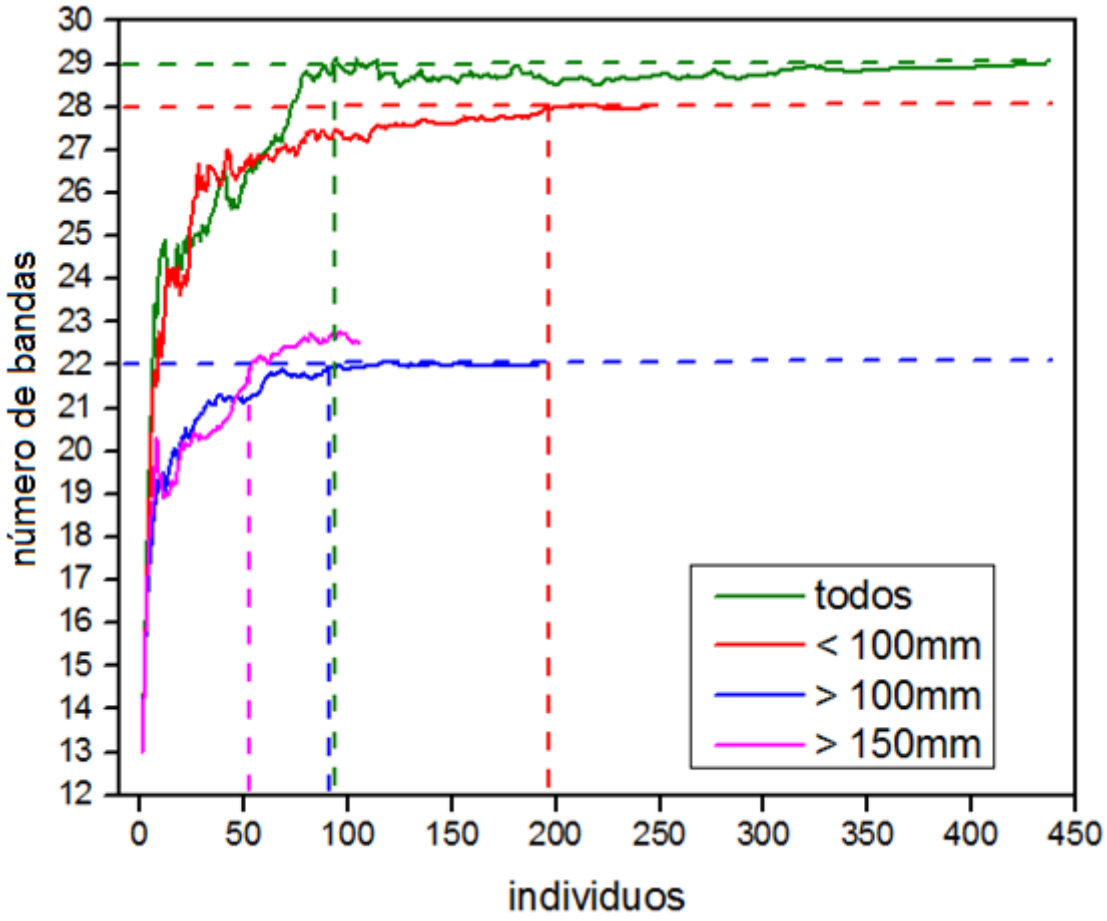

Figura 17. Curva de rarefação modificada, indicativa da suficiência amostral mínima para se atingir toda a variabilidade do número de bandas escuras no lado esquerdo dos exemplares previsto para cada classe de tamanho. Em verde: todos os 435 exemplares; em vermelho: indivíduos com menos de 100,0 mm CT (N = 244); em azul: indivíduos com mais de 100,0 mm CT (N = 191); em roxo: indivíduos com mais de 150,0 mm CT (N = 105).

Análises preliminares apresentaram algumas tendências quando se correlacionou o número de bandas com as variações nas características físico-químicas da água, mencionadas na Tabela 2. Porém estudos mais detalhados e coletas num maior intervalo de tempo serão necessários para que as razões para o aparecimento de tais tendências sejam devidamente entendidas. As análises foram feitas todas tomando-se o número de bandas do lado esquerdo dos exemplares, e os gráficos se encontram na Figura 18.

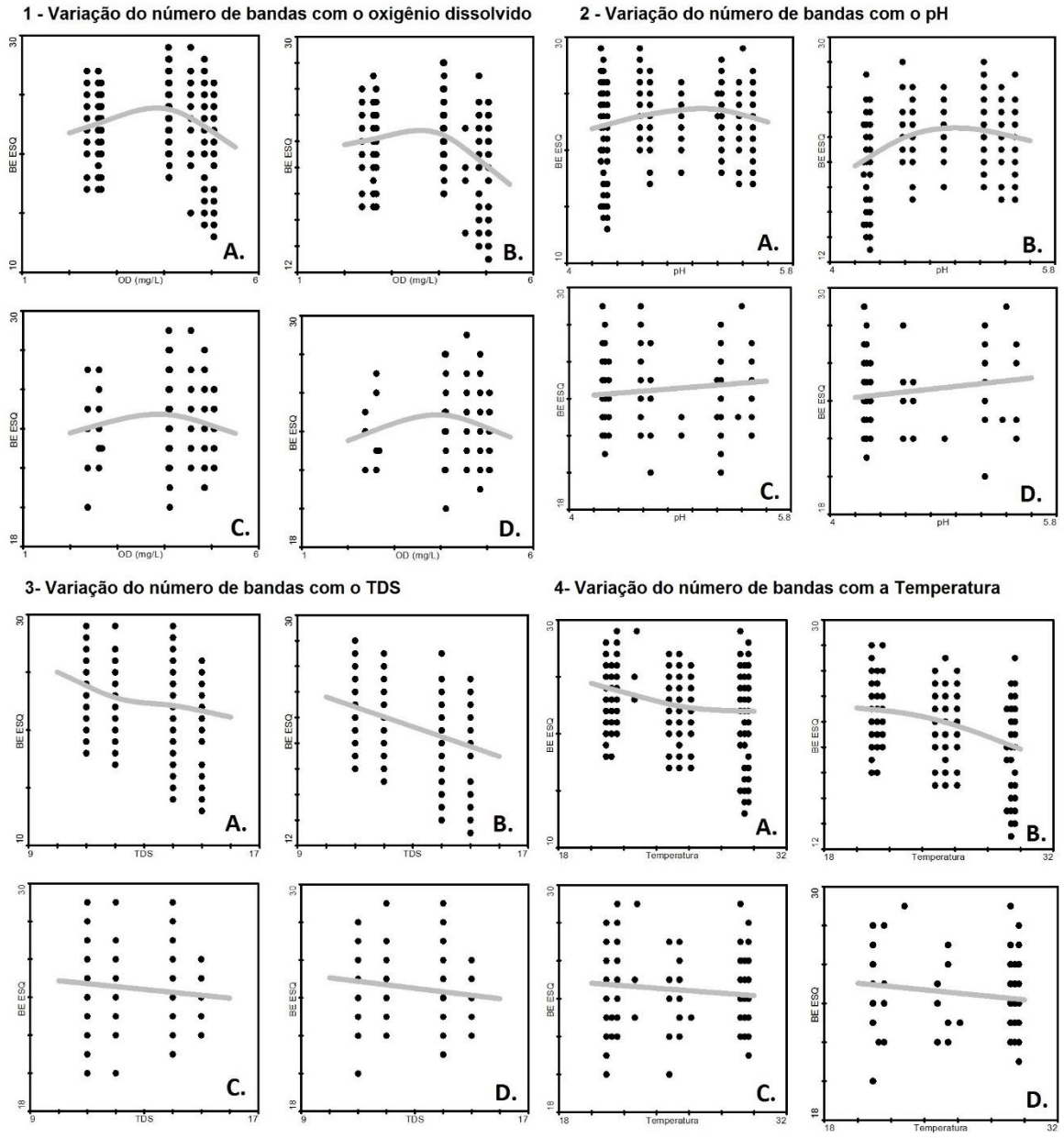

Figura 18. Gráficos com as mudanças no padrão do número de bandas de acordo com as variáveis abióticas da água indicadas pelos números. **A:** todos os indivíduos; **B:** indivíduos menores que 100,0 mm CT; **C:** indivíduos maiores que 100,0 mm CT; e **D:** indivíduos maiores que 150,0 mm CT.

DISCUSSÃO

Grande parte das descrições de espécies de *Gymnotus* presentes na literatura, (e.g. CAMPOS-DA-PAZ & COSTA, 1996, CRAMPTON *et al.*, 2003, CRAMPTON *et al.*2005, MAXIME & ALBERT, 2009, RANGEL-PEREIRA, 2012) se utilizam do lado esquerdo dos exemplares para a retirada de todas as medidas diagnósticas e análises de colorido. A partir desta observação, surgiu a dúvida, se a escolha realmente representa bem o material estudado ou se uma mudança na região de análise acarretaria em ruídos na verificação dos padrões de número de bandas. Embora não exista uma argumentação metodológica objetiva que justifique tal escolha, que segundo a existência de trabalhos publicados até o momento sobre o assunto vem sendo adotada por mera convenção, pode-se observar a partir do gráfico na Figura 11 nos resultados e da relação linear com elevado grande grau de explicação dos dados ($0,76 < R^2 < 0,98$), que de fato o lado esquerdo representa, sem perdas, as quantidades de banda encontradas em ambos os lados, e também no dorso, revelando uma grande correlação entre as mesmas. Assim, verifica-se que, de fato, a escolha do lado esquerdo representa bem todo o corpo do exemplar com relação à disposição de bandas. Além disso, de acordo com o gráfico, a relação linear da quantidade de bandas escuras encontradas no lado esquerdo existe tanto com relação às bandas escuras encontradas nas outras regiões, quanto com relação ao número de regiões interbanda presentes nas mesmas. A análise conjugada dos gráficos nas Figuras 11 e 12 mostra que qualquer um dos lados do exemplar pode ser escolhido para se estudar o número de bandas na espécie em questão neste trabalho, dado que todas representam satisfatoriamente o padrão de colorido observado, sendo então, qualquer uma das contagens, uma medida diagnóstica bastante confiável para o registro do padrão de colorido. Portanto, não há ressalvas a serem feitas na escolha do lado esquerdo para a representação principal caso o padrão encontrado para a descrição da espécie de *Gymnotus* do rio São João sejam validados e extrapolados para a descrição das demais espécies com bandas do gênero. Além disso, devido às dificuldades encontradas nas contagens realizadas a partir do dorso quando os exemplares atingem tamanhos maiores que 150,0 mm CT, recomenda-se que a análise se restrinja a um dos lados dos espécimes quando se tratando de um estudo somente com indivíduos adultos ou quando há grande representatividade desta faixa de tamanho.

Os critérios usados nas descrições de *Gymnotus* mudaram ao longo do tempo. Descrições anteriores à década de 1990 não tinham preocupação com averiguação de um

número razoável de exemplares, nem com o registro detalhado do padrão de colorido. A descrição da espécie-tipo do gênero *G. carapo* feita por LINNAEUS (1758), por exemplo, é tão carente de detalhes que, como registrado em alguns trabalhos na literatura (e.g. ALBERT *et al*. 1999, ALBERT & CRAMPTON, 2003), pode ser usada para todo o gênero *Gymnotus*. A partir da década de 1990, com MAGO-LECCIA (1994), começou a se detalhar mais características do corpo, havendo um melhoramento na tomada de caracteres morfomerísticos. Ainda não havia, porém, a preocupação de se fazer uma sistematização do padrão de colorido. ALBERT *et al*. (1999), foram os primeiros a descrever uma espécie onde o número de bandas e a metodologia usada na sua contagem foram abordados de maneira objetiva e esquematizada, sendo estabelecida como característica diagnóstica das espécies. A partir de então, algumas espécies previamente identificadas sem muitos detalhamentos no padrão de colorido (entre outras características) começaram a ser redrescritas (e.g. *G. carapo* in ALBERT & CRAMPTON, 2003, *G. coropinae* in CRAMPTON & ALBERT, 2003, *G. coatesi* CRAMPTON & ALBERT 2004). Mesmo a partir das melhorias na metodologia das descrições, ainda não havia sido estabelecido um maior detalhamento na análise do padrão de colorido. Embora sejam mais ricas e cuidadosas, nas descrições mais recentes ainda não é observada uma preocupação em se detalhar e padronizar as informações acerca do padrão de colorido. Em alguns casos, sequer fica evidente o que foi considerado como sendo, de fato, uma banda a ser contada na análise (e.g. *G. esmeraldas* in ALBERT & CRAMPTON, 2003; *G. interruptus* in RANGEL-PEREIRA, 2012) onde não é evidente, a partir das fotos dos holótipos presentes nos trabalhos, o modo como são feitas as contagens de bandas, nem mesmo o que se considera como bandas, problema que seria facilmente resolvido caso houvesse indicação de como foram feitas as contagens.

Como se pode notar na Tabela 1, a contagem do número de bandas escuras e claras alternadas nas descrições das espécies é feita em poucos exemplares. Como observado no gráfico da Figura 17, e contando com a possibilidade de que uma generalização para as demais espécies do gênero que apresentam padrão de colorido semelhante seja válida, observa-se que uma contagem de bandas com poucos exemplares resulta num intervalo pouco confiável e sem representatividade dentro da população estudada, especialmente se for geograficamente restrita. É mais interessante, sempre que possível, aumentar o esforço de coleta e o número de exemplares estudados, especialmente se os estudos pretendem

determinar tal padrão. A diagnose da espécie *G. sylvius*, por exemplo, informa que a espécie possui uma variação no número de bandas de 21 a 22, esta tendo sido feita a partir de 6 exemplares e com a série tipo coletada no rio Ribeira de Iguape, na bacia do rio Pardo e no rio Tamanduá (ALBERT *et al*., 1999). ALBERT & CRAMPTON (2003) coletaram 5 espécimes de *G. sylvius* em sua localidade tipo e registraram uma variação diferente no número de bandas, de 21 a 24, fato que pode representar insuficiência amostral na descrição da espécie. *Gymnotus onca* e *Gymnotus melanopleura* (ALBERT & CRAMPTON, 2003), por exemplo, foram descritos com base em apenas um exemplar, gerando uma descrição de número de bandas que pode ser duvidosa. Embora a descrição do padrão de colorido de *G. chaviro* tenha chegado próximo de um número razoável de exemplares (N = 87), não houve preocupação em estudá-lo mais à fundo, havendo apenas uma descrição da sua disposição ao longo do corpo, sem correlação com nenhuma outra característica.

Também não se encontrou, na literatura, preocupação em relacionar as diferenças no padrão de colorido com o tamanho dos exemplares. *G. melanopleura*, embora descrição seja baseada apenas em um holótipo de 99,0 mm CT, possui citações de material não tipo, nenhum medindo mais do que 104,0 mm CT e todos imaturos. Porém, como já observado, há evidências de diferenças marcantes, segundo o presente trabalho, entre o padrão de colorido de adultos e juvenis, o que aumenta muito a incerteza sobre as descrições do padrão de número de bandas espécie supracitada. Um exemplo mais recente encontra-se na descrição de *Gymnotus interruptus* (RANGEL-PEREIRA, 2012). A descrição conta com apenas três exemplares, um holótipo e dois parátipos com CT variando de 79,0 a 121,0 mm. Como apontado para a espécie do rio São João no presente estudo, exemplares pequenos têm uma variação no número de bandas que pode confundir essa espécie (esse caráter) com, por exemplo, *G. Sylvius*, pois a contagem ficaria muito próxima do intervalo de bandas apresentado na sua descrição (ALBERT *et al.* 1999). Por isso, torna-se extremamente importante que o número de bandas esteja associado ao tamanho dos exemplares, sendo uma questão relevante para uma descrição completa. Para várias espécies (e.g. *Gymnotus tiquie* in MAXIME *et al.* 2011; *G. chaviro* in MAXIME *et al*, 2009; *G. chimarrao* in COGNATO *et al*., 2007), a variação de outros caracteres diagnósticos é tomada a partir de um certo número de exemplares e a quantidade de bandas, a partir de outro número. Este fato normalmente ocorre devido à presença de

regenerações que inviabilizam certos exemplares. No entanto, a informação de quais exemplares foram usados nas contagens de bandas e seus tamanhos não é explicitamente indicada pelos autores, não ficando claro que faixas de tamanho compreendem o intervalo do número de bandas. Em alguns trabalhos (e.g. *Gymnotus omarorum*, RICHER-DE-FORGES *et al.*, 2009) não é indicado se o material utilizado para as análises morfomerísticas foi apenas o material tipo, não havendo meio de inferir no tamanho dos exemplares que tiveram suas bandas contadas. A existência de interação entre o tamanho dos exemplares e o número de bandas poderia servir como parâmetro útil de comparação tanto intraespecífica quanto entre espécies, caso se encontre uma relação semelhante dentro das mesmas. Sendo assim, recomenda-se o estudo de padrão de colorido separado por faixas de tamanho, para uma melhor caracterização populacional, sendo estudado preferencialmente para indivíduos jovens e adultos separadamente. Algumas descrições (e.g. CRAMPTON *et al.* 2003, COGNATO *et al*., 2007) não dispõem de dados sobre indivíduos com menos de 100,0 mm CT, representando uma defasagem no entendimento populacional dos espécimes em questão e o estudo incompleto da espécie como um todo. FERNANDES *et al*. (2009), por exemplo, concluíram o trabalho baseados apenas na análise de indivíduos machos adultos, não representando uma população natural e observam que coletas não estão livres de falhas, ou seja, nem sempre uma coleta terá exemplares suficientes para se descrever uma espécie. ALBERT & MILLER (1995, p.665) generalizam o amadurecimento das espécies de *Gymnotus* para os tamanhos de 150,0 a 400,0 mm CT e observaram que o contraste das bandas se encontra mais pronunciado em indivíduos considerados juvenis, aqueles com menos de 100,0 mm CT. Tal observação pode encorajar pesquisadores, no futuro, a basearem suas análises de padrão de colorido em indivíduos jovens, fato que pode não ser conveniente, devido a fatores mostrados neste estudo, como a grande variação no número de bandas, que pode gerar uma alta sobreposição com outras espécies e dificultar a utilização dessa característica na separação interespecífica.

Em termos de estudo de número de bandas em exemplares coletados para caracterizar uma população, normalmente são mostrados o intervalo de número de bandas encontrado e a média das mesmas. Eventualmente, também é dada a moda das contagens (e.g. ALBERT & CRAMPTON, 2001) ou a mediana (e.g. MAXIME *et al*., 2011). De acordo com BUSSAB & MORETTIN (2010), a moda e a mediana são parâmetros mais

estáveis, enquanto que a média sofre grande influência quando há valores discrepantes presentes nas análises. Tendo estas características em vista, é possível que descrições que apontem o uso da média requeiram uma repartição mais equilibrada entre as classes de tamanho e o número de bandas. Em termos de uma amostra aleatória e da contagem das bandas, uma representação mais fidedigna do resumo dos dados pode ser melhor alcançada a partir da mediana ou da moda.

Considerações finais

O padrão de colorido é uma característica bastante evidenciada nos artigos descritivos de todas as espécies de *Gymnotus*. Em alguns desses artigos, análises e comparações interespecíficas de padrão de colorido são exploradas em busca de respostas para questões que variam desde a caracterização de populações à distinção de novas espécies. Tendo em vista esses fatores, torna-se imprescindível o entendimento de como tal característica opera nos indivíduos. Estudos detalhados com uma quantidade razoável de exemplares nas diversas faixas de tamanho que podem ser encontradas dentro de uma população devem ser feitos para o melhor entendimento de suas variações e de sua importância dentro de uma espécie. Portanto, é extremamente importante a realização de trabalhos sobre os padrões de colorido das espécies, que envolvam exemplares em quantidade suficiente para que muitas questões sejam respondidas.

Para que uma descrição represente bem uma população, é necessário que a mesma, sempre que possível, tenha participação tanto de indivíduos maduros quanto de imaturos. Como mostrado neste estudo, é possível que em muitas espécies do gênero que possuem padrão de bandas bem definido e quantificável suas contagens sofram interferência de caracteres como o tamanho, como mostrado nos resultados do presente estudo. Quando os autores consideram, na descrição de exemplares, apenas uma determinada faixa de tamanho, a variação do número de bandas encontrada pode não ser representativa de toda a espécie. Uma descrição baseada apenas em indivíduos jovens ou adultos lida apenas com uma parcela do que a espécie é de fato, gerando uma descrição incompleta. Com o objetivo de gerar uma melhor diferenciação interespecífica, talvez uma avaliação restrita a indivíduos adultos seja mais conveniente como diagnose da espécie, pois segundo visto nos resultados apresentados, tal segregação, para a espécie estudada neste trabalho, gerou um menor intervalo de número de bandas, estreitando a variação e gerando resultados mais estáveis acerca do padrão de colorido que foi observado. Porém, na descrição da espécie, o

ideal é que se considere a totalidade de padrões existentes. Portanto, na hora de se escrever e organizar a descrição de uma espécie, deve-se, quando possível, falar separadamente sobre indivíduos jovens e adultos e demais classes de tamanho onde se observem diferenças marcantes, sendo provavelmente válido fazer três descrições associadas, uma geral, uma para indivíduos jovens e uma para indivíduos adultos. Embora não se consiga, muitas vezes, obter um material abrangente, é importante que nesses casos haja a observação de que a descrição da espécie se encontra incompleta e que estudos futuros são necessários para resolver tal problema. Por fim, com base nos esforços de coleta, na quantidade de exemplares estudados e nas análises dos dados encontrados, conclui-se que os resultados apresentam potencial muito interessante para serem utilizados como base para o melhor entendimento desta característica a nível inter e intraespecífico. Estudos futuros são necessários para testar e validar se os padrões e as recomendações encontrados na espécie em questão e poderiam também ser úteis para as outras espécies de *Gymnotus* que possuem padrão de colorido composto por bandas claras e escuras alternadas.

Literatura citada

ADOBE PHOTOSHOP (2015). Versão CC [Software]. Adobe Systems. Disponível em <http://www.adobe.com/br/products/photoshop.html>. Acesso em dezembro de 2015.

ALBERT, J.S. Species diversity and phylogenetic systematics of American knifefishes (Gymnotiformes, Teleostei). Misc. Pub. Mus. Zool. Univ. Mich. 2001. 129p.

ALBERT, J.S. & CAMPOS-DA-PAZ, R. Phylogenetic systematics of gymnotiformes with diagnosis of 58 clades: a review of available data". In: MALABARBA, L.R., REIS, R.E. VARI, R.P., LUCENA, Z.M. & LUCENA C.A.S. (Eds.), Phylogeny and Classification of Neotropical Fishes. *Edipucrs*, 419-443. 1998.

ALBERT, J.S. & CRAMPTON, W.G.R. Five new species of *Gymnotus* (Gymnotiformes, Teleostei) from an Upper Amazonian floodplain, with descriptions of electric organ discharges and ecology. *Ichthyological Exploration Freshwaters*, 12, 241–266. 2001.

ALBERT, J.S. & CRAMPTON, W.G.R. Seven new species of the neotropical electric fish *Gymnotus* (Teleostei: Gymnotiformes) with a redescription of *G. carapo* (LINNAEUS). *Zootaxa*, 287: 1-54. 2003.

ALBERT, J.S., CRAMPTON, W.G.R., THORSEN, D.H.& LOVEJOY, N.R. Phylogenetic systematics and historical biogeography of the neotropical electric fish Gymnotus (Teleostei: Gymnotiformes). *Systematic and Biodiversity*, 2(4): 375-417. 2004.

ALBERT, J.; FERNANDES-MATIOLI, F.M.C & ALMEIDA-TOLEDO, L.F. New species of *Gymnotus* (Gymnotiformes, teleostei) from Southeastern Brazil: toward the desconstruction of *Gymnotus carapo*. *Copeia*, 1999(2): 410-421. 1999.

ALBERT, J.S. & MILLER, R.R. *Gymnotus maculosus*, a new species of electric fish (Chordata: Teleostei: Gymnotoidei) from Middle America, with a key to species of *Gymnotus*. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 108(4): 662-668. 1995.

BIZERRIL, C.R.S.F. & PRIMO, P.B.S. Peixes de Águas Interiores do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, SEMADS – FEMAR. 2001. 417 p.

BORGES, G.B.C., BORTONI, E.C. & ALMEIDA, R.A. 2007. Avaliação de tecnologias para o monitoramento de águas subterrâneas. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. <http://www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/ASUB0/WebHome/137.pdf>. Acesso em 10 de fevereiro de 2016.

BUCKUP, P.A., MENEZES, N.A. & GHAZZI, M.S. Catálogo das espécies de peixes de água doce do Brasil. Rio de Janeiro: Museu Nacional. 2007. 195 p.

BURNHAM, K.P. & ANDERSON, D.R. Model selection and interference: a practical information-theoretic approach. Springer. 1998. 353 p.

BUSSAB, W.O & MORETTIN, P.A. Estatística Básica. São Paulo, Saraiva, 2010. 526 p.

CAMPOS-DA-PAZ, R. *Gymnotus diamantinensis*, a new species of electric knifefish from upper rio Arinos basin, Brazil (Ostariophysi: Gymnotidae). *Ichthyol. Explor. Freshwaters*, 13(2): 185-192. 2002.

CAMPOS-DA-PAZ, R. & COSTA, W.J.E.M. *Gymnotus bahianus* sp. nov., a new gymnotid fish from Eastern Brazil (Teleostei: Ostariophysi: Gymnotiforms), with evidence for the monophyly of the genus. *Copeia*, 1996(4): 937-944. 1996.

CANOCO (2015). Versão 4.5 [Software]. Ithaca, NY, USA: Microcomputer Power. Disponível em < http://www.microcomputerpower.com/default.html>. Acesso em janeiro de 2016.

COHEN, D.M. How many recent fishes are there? *Proceedings of the California Academy of Sciences*, 38: 341-345. 1970.

COGNATO, D. RICHER-DE-FORGES, M.M., ALBERT, J.S. & CRAMPTON, W.G.R. *Gymnotus chimarrao*, a new species of electric fish (Gymnotiformes: Gymnotidae) from Southern Brazil. *Ichthyol. Explor. Freshwaters*, 18(4): 375-382. 2007.

CRAMPTON, W,G.R. & ALBERT, A.S. Redescription of *Gymnotus coropinae* (Gymnotiformes, Gymnotidae), and often misidentified species of Neotropical electric fish, with notes on naturl history and electric signals. *Zootaxa*, 348: 1-20. 2003.

CRAMPTON, W.G.R. & ALBERT, A.S. Redescription of *Gymnotus coatesi* (Gymnotiformes, Gymnotidae), a rare species of electric fish from the Lowland Amazon Basin, with descriptions of osteology, electric signals and ecology. *Copeia*, 2004(3): 525-533. 2004.

CRAMPTON, W.G.R., DAVIS, J.K., LOVEJOY, N.R. & PENSKY, M. Multivariate classification of animal communication signals: A simulation-based comparison of alternative signal processing procedures using electric fishes. *Journal of Physiology*, 102: 304-321. 2008.

CRAMPTON, W.G.R., LOVEJOY, N.R. & ALBERT, J.S. *Gymnotus ucamara*: a new species of neotropical electric fish from the Peruvian Amazon (Ostariophysi: Gymnotidae), with notes on ecology and electric organ discharges. *Zootaxa*, 277: 1-18. 2003.

CRAMPTON, W.G.R., LOVEJOY, N.R. & WDDELL, J.C. Reproductive character displacement and signal ontogeny in a sympatric assemblage of electric fish. *Evolution*, 65: 1650-1666. 2011

CRAMPTON, W.G.R., THORSEN, D.H. & ALBERT, J.S. Three New Species from a Diverse, Sympatric Assemblage of the Electric Fish Gymnotus (Gymnotiformes: Gymnotidae) in the Lowland Amazon Basin, with Notes on Ecology. *Copeia*, 2005(1):82-99. 2005.

ELLIS, M.M. The gymnotid eels of tropical America. *Mem. Carneg. Mus.*, 6(3): 109-195. 1913.

ESTIMATES (2015). Versão 8.20 [Software]. Desenvolvido por Robert K. Colwell. Disponível em < http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/EstimateSPages/EstimateSRegistration.htm>. Acesso em janeiro de 2016.

FERNANDES, F.M., ALBERT, J.S., DANIEL-SILVA, M.F.Z., LOPES, C.E., CRAMPTON, W.G.R. &ALMEIDA-TOLEDO F.L. A new *Gymnotus* (Teleostei: Gymnotiformes: Gymnotidae) from the Pantanal Matogrossense of Brazil and adjacent drainages: continued documentation of a cryptic fauna. *Zootaxa*, 933: 1-14. 2005.

FERNANDES, C.C., LUNDBERG J.G. & SULLIVAN, J. P. Oedemognathus exodon and Sternarchogiton nattereri (Apteronotidae, Gymnotiformes): the case of sexual dimorphism and conspecificity. *Proceedings of the Academy of Natural Science of Philadelphia*, 158: 193-207. 2009.

GIORA, J. & MALABRA, L.R. *Gymnotus refugio*, a new and endangered species of electric fish of the *Gymnotus pantherinus* species-group from southern Brazil (Gymnotiformes: Gymnotidae). *Zootaxa*, 4066: 581-590. 2016.

GOOGLE. Google Earth [Software]. Version 7.1.5.1557. 2016. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.google.com/earth/>. Acesso em janeiro de 2016.

GREMIÃO, M.M.L.S. A bacia do rio São João no contexto escolar da educação ambiental formal. Rio Bonito, jun. 2008. 73 p.

KAVALCO, K.F. & PAZZA, R. Aspectos Biogeográficos de componentes da Ictiofauna da América Central. *ConScientiae Saúde*, 6: 147-153. 2007.

LEPS, J. & SMILAUER, P. Multivariate Analysis of Ecological Data usin *CANOCO*. New York, Cambridge. 2003. 269 p.

LINNAEUS, C. Systema Naturae, Ed. X. (Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Tomus I. Editio decima, reformata.) Holmiae. Systema Nat. ed. 10 v. 1: i-ii + 1-824. 1758.

LISSMAN, H.W. On the function and evolution of electric organs in fish. *J. Exp. Biol.*, 35: 156-191. 1958.

LOVEJOY, N.R., LESTER, K., CRAMPTON, W.G.R., MARQUES, F. P. L. & ALBERT, J.S. Phylogeny, biogeography, and electric signal evolution of Neotropical knifefishes of the genus *Gymnotus* (Osteichthyes: Gymnotidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 54: 278-290. 2010.

LUNDBERG, J.G., COX-FERNANDES C., ALBERT, J.S. & GARCIA, M. "Magosternarchus, a new genus with two new species of electric fish (Gymnotiformes: Apteronotidae) from the Amazon River basin, South America". *Copeia*, 1998(3): 657-670. 1996.

MAXIME, E.L & ALBERT, J.S. A new species of *Gymnotus* (Gymnotiformes: Gymnotidae) from the Fitzcarrald Arch of southeastern Peru. *Neotropical Ichthyology*, 7: 579-585. 2009.

MAXIME, E.L., LIMA, F.C.T. & ALBERT, J.S. A new species of *Gymnotus* (Gymnotiformes, Gymnotidae) from rio Tiquié in Northern Brazil. *Copeia*, 2011(1): 77-81. 2011.

MAGO-LECCIA, F. Electric Fishes of the Continental Waters of America. Biblioteca de la Academia de Ciencias Fisicas, Matematicas y Naturales, Caracas, Venezuela. 1994. 206 p.

MENEZES, N.A., WEITZMAN, S.H., OYAKAWA, O.T., LIMA, F.C.T., CASTRO, R.M.C. & WEIZMAN, M.J. Peixes de água doce da Mata Atlântica: lista preliminar das espécies e comentários sobre conservação de peixes de água doce neotropicais. São Paulo: MZUSP. 2007. 407 p.

MOLLER, P. Electric fishes: History and behavior. London: Chapman & Hall. 1995. 584 p.

NELSON, J.S. Fishes of the world. John Wiley and Sons, Inc. New York. 4th 142 edition. 2006. 601 p.

RANGEL-PEREIRA, F.S. *Gymnotus interruptus*, a new species of electric fish from the Rio de Contas basin, Bahia, Brazil (Teleostei: Gymnotiformes: Gymnotidae). *Vertebrate Zoology*, 62(3): 363-370. 2012.

REIS, R.E., KULLANDER, S.O. & FERRARIS, C. J. Check List of the Freshwater Fishes of South and Central America. Porto Alegre: EDIPUCRS. 2003.729 p.

RICHER-DE-FORGES, M.M., CRAMPTON, W.G.R. & ALBERT, J.S. A new species of *Gymnotus* (Gymnotiformes, Gymnotidae) from Uruguay. Description of a model species in neurophysiological research. *Copeia*, 2009(3): 538–544. 2009.

STATISTICA (2015). Versão 8.0 [Software]. StatSoft. Disponível em <http://external.informer.com/statsoft.com/Products%2FSTATISTICA-Features>. Acesso em janeiro de 2016.

VIEIRA, M. R. Os principais parâmetros monitorados pelas sondas multiparâmetros são: pH. Condutividade, temperatura, turbidez, clorofila ou cianobactérias e oxigênio dissolvido. 2010. <http://www.agsolve.com.br/news_upload/file/Parametros%20da%20Qualidade%20da%20Agua.pdf>. Acesso em 10 de fevereiro de 2016.

WINEMILLER, K.O. & ADITE, A. Convergent evolution of weakly electric fishes from floodplain habitats in Africa and South America. *Environ Biol Fishes,* 49: 175–186. 1997.