



**GOVERNO DO ESTADO DO PIAUÍ  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ-UESPI  
CAMPUS ALEXANDRE ALVES DE OLIVEIRA  
LICENCIATURA PLENA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**



Vitória Cristina Martins de Oliveira

Diversidade Cromossômica em Populações do Gênero *Geophagus* (Cichliformes, Cichlidae): Análise Citogenética de *Geophagus parnaibae* (Staeck; Schindler, 2006) da Lagoa Prata, Piauí

Parnaíba - PI

2025

Vitória Cristina Martins de Oliveira

Diversidade Cromossômica em Populações do Gênero *Geophagus* (Cichliformes, Cichlidae): Análise Citogenética de *Geophagus parnaibae* (Staeck; Schindler, 2006) da Lagoa Prata, Piauí

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Licenciatura Plena em Ciências Biológicas da Universidade Estadual do Piauí como requisito parcial para a obtenção do Título de Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientador (a): Alessandra Ribeiro Torres

Parnaíba - PI

2025

048d Oliveira, Vitoria Cristina Martins de.  
Diversidade cromossômica em populações do gênero  
Geophagus (Cichliformes, Cichlidae): análise citogenética  
de Geophagus parnaibae (Staeck; Schindler, 2006) da Lagoa  
Prata, Piauí / Vitoria Cristina Martins de Oliveira. -  
2025. 24 f.: il.

Monografia (graduação) - Universidade Estadual do Piauí-  
UESPI, Licenciatura em Ciências Biológicas, Campus Prof.  
Alexandre Alves de Oliveira, Parnaíba-PI, 2025. "Orientadora:  
Prof.ª Dra. Alessandra Ribeiro Torres".

1. Banda C. 2. Ciclídeos. 3. NORs. 4. Citogenética. 5. Bacia do  
Parnaíba. I. Torres, Alessandra Ribeiro. II. Título.

CDD 611.018 16

Vitória Cristina Martins de Oliveira

Diversidade Cromossômica em Populações do Gênero *Geophagus* (Cichliformes, Cichlidae): Análise Citogenética de *Geophagus parnaibae* (Staeck; Schindler, 2006) da Lagoa Prata, Piauí

Aprovação em: 14/ 06/ 2025

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente

 ALESSANDRA RIBEIRO TORRES  
Data: 09/07/2025 15:04:52-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alessandra Ribeiro Torres

Presidente

Documento assinado digitalmente

 FILIPE AUGUSTO GONCALVES DE MELO  
Data: 09/07/2025 20:00:04-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Filipe Augusto Gonçalves de Melo  
Membro da Banca

Documento assinado digitalmente

 LUIZ CARLOS GUILHERME  
Data: 09/07/2025 14:47:53-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Luiz Carlos Guilherme

Membro da banca

Dedico este trabalho para aqueles que nunca limitaram meus sonhos, que mesmo sob o sol intenso me deram sombra para trilhar meu caminho: a minha mãe Maria Cristina e ao meu pai Otacilio.

Dedico também a mim, Vitória, pela coragem de continuar e por não ter desistido, mesmo diante dos desafios.

## AGRADECIMENTOS

- Ao Laboratório de Ecologia Aquática - LEA/UFDPar, em especial a Giovanna e Ruceline pelo tempo disponibilizado e auxílio.
- Ao IFPI - Instituto Federal do Piauí - Campus Parnaíba – Curso de Química por disponibilização de reagentes.
- Ao Sr. João Batista Almeida Sousa, motorista da UESPI que esteve em todas as coletas apoiando e nos levando.
- Ao Sr Glauberto Campos de Medeiros que ajudou na pesca dos exemplares para dar início ao trabalho.
- Ao Sr José Armando de Oliveira – morador próximo a Lagoa da Prata – que ajudou na pesca dos exemplares e disponibilizou de seu tempo para que esse trabalho fosse concluído.
- Em especial, à minha orientadora Alessandra Torres, pela oportunidade de vivenciar a citogenética, por todos os momentos compartilhados ao longo desta trajetória e sobretudo, por confiar em mim.
- Aos colegas de laboratório do LABGECITO, pela colaboração e momentos em coleta. Em especial, ao Thiago por toda ajuda e conversas.
- Aos meus amigos, Breno e Felipe: “Você tem um amigo em mim” Durante todo esse trabalho, estiveram ao meu lado, me apoiando e incentivando. Sou imensamente grata pela companhia e força que me deram, especialmente ao Breno, que não mediu esforços para me ajudar nos momentos mais difíceis e, ao Felipe, sua fé e apresentação a Nossa Senhora é de inenarrável explicação.
- Para minha turma 2021.1: vocês foram essenciais nessa trajetória, todo apoio, conversas e risadas fizeram este caminho ser mais leve.
- Às minhas melhores amigas desde a adolescência, Geovanna e Luana, sou profundamente grata por todo o apoio e carinho ao longo dos anos. Mesmo com a distância, vocês continuam sendo essenciais.
- A Sâmia, por ser você, minha amiga e parceira em todos os momentos felizes e chinelos quebrados. “Voaria por todos os planetas para viver as estrelas e admirar o por-do-sol com você.”
- À minha mãe, melhor amiga e parceira que sonhou comigo, que me deu a vida em todos os sentidos.
- Ao meu pai, que mesmo com tantas dificuldades me proporcionou o impossível

para me ver voar.

- À minha prima, Vivianne por todo conselho e apoio durante essa trajetória.
- À minha vó, Dindinha. Pelo acolhimento em Parnaíba e todo amor, poesias e eu te amos.
- Em memória à minha vó Margarida, que me traz forças para não desistir.

## RESUMO

Os ciclídeos compreendem diversos gêneros, entre os quais se destaca *Geophagus*, atualmente com 31 espécies descritas. Uma delas, *Geophagus parnaibae*, é endêmica da bacia do rio Parnaíba e popularmente conhecida como cará salema. Essa espécie ocorre na Lagoa da Prata, um corpo d'água marginal alimentado pelo rio Parnaíba, localizado no município de Parnaíba (PI). Estudos citogenéticos anteriores enfocaram regiões de banda C, NORs e cariótipo em diferentes espécies do gênero, sendo *Geophagus brasiliensis* a mais investigada nesse aspecto. O número diploide na família Cichlidae varia entre 46 e 48 cromossomos, com cerca de 60% das espécies apresentando  $2n = 48$ , o que indica um elevado grau de conservação. Apesar disso, os dados citogenéticos sobre *G. parnaibae* ainda são limitados. No presente estudo, os cromossomos mitóticos foram obtidos por técnica de preparação direta, visando determinar o número cromossômico e caracterizar a organização genômica. A impregnação por nitrato de prata foi utilizada para identificar as regiões organizadoras de nucléolo (NORs), enquanto a técnica de banda C permitiu a visualização da heterocromatina constitutiva. Os resultados revelaram um número diploide conservado de  $2n = 48$ , mas com um cariótipo estruturalmente distinto, presença de NORs múltiplas e heterocromatina centromérica. Essas particularidades diferenciam *G. parnaibae* de espécies próximas, como *G. brasiliensis*, sugerindo possíveis eventos de reorganização cromossômica, isolamento populacional e adaptações locais. A variabilidade observada aponta para processos microevolutivos, ressaltando a relevância de estudos citogenéticos em populações geograficamente isoladas. Além disso, os achados reforçam a necessidade de análises complementares com marcadores moleculares e amostras de diferentes localidades da bacia do Parnaíba, a fim de elucidar os mecanismos evolutivos que moldam a diversidade cromossômica no gênero *Geophagus*.

Palavras-chave: Banda C, Ciclídeos, NORs, Bacia do Parnaíba.

## ABSTRACT

Cichlids comprise a diverse array of genera, among which *Geophagus* stands out, currently encompassing 31 described species. One of these, *Geophagus parnaibae*, is endemic to the Parnaíba River basin and is commonly known as "cará salema." This species occurs in Lagoa da Prata, a marginal waterbody fed by the Parnaíba River and located in the municipality of Parnaíba, Piauí State (Brazil). Previous cytogenetic studies have focused on C-banding, nucleolus organizer regions (NORs), and karyotypic analysis in various species of the genus, with *Geophagus brasiliensis* being the most extensively investigated. The diploid number in the family Cichlidae ranges from  $2n = 46$  to  $48$ , with approximately 60% of species exhibiting  $2n = 48$ , indicating a high degree of chromosomal conservation. Nonetheless, cytogenetic data for *G. parnaibae* remain scarce. In the present study, The direct preparation techniques were employed to obtain mitotic chromosomes in order to determine the diploid number and characterize genomic organization. Silver nitrate staining was used to identify NORs, while C-banding enabled visualization of constitutive heterochromatin. The results revealed a conserved diploid number of  $2n = 48$ ; however, the species exhibited a structurally distinct karyotype, multiple NORs, and prominent centromeric heterochromatin. These features distinguish *G. parnaibae* from closely related species such as *G. brasiliensis*, suggesting potential chromosomal rearrangements, population isolation, and local adaptations. The observed variability points to ongoing microevolutionary processes, highlighting the importance of cytogenetic studies in geographically isolated populations. Furthermore, the findings underscore the need for complementary analyses using molecular markers and samples from different localities within the Parnaíba River basin to better elucidate the evolutionary mechanisms shaping chromosomal diversity within the genus *Geophagus*.

Key-words: C Band , NORs, Cichlids, Parnaíba basin.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Exemplar coletado na Lagoa da Prata, Parnaíba, PI.....	12
<b>Figura 2</b> - Coloração convencional com Giemsa na metáfase de <i>Geophagus parnaibae</i> , com $2n = 48$ . Coletado na Lagoa da Prata.....	16
<b>Figura 3</b> - Foto do cariótipo montado de <i>Geophagus parnaibae</i> coletado na Lagoa da Prata, localizada no município de Parnaíba.....	17
<b>Figura 4</b> -Foto da metáfase corada com nitrato de prata ( $AgNO_3$ ) na região telocêntrica (Setas), Lagoa da Prata, localizada no município de Parnaíba.....	18
<b>Figura 5</b> -Cromossomos submetidos à coloração pelo método de banda C, evidenciando a heterocromatina constitutiva localizada principalmente nas regiões centroméricas (setas). .....	19

## **SUMÁRIO**

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVOS</b>	<b>14</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>15</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>17</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b>	<b>21</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>22</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os vertebrados, uma categoria diversificada de organismos, passaram por especializações ao longo do tempo para se adaptarem aos diferentes habitats disponíveis, consequentemente uma ampla distribuição global. Esse grupo abrange uma vasta gama de espécies, ocupando ambientes terrestres, aéreos e aquáticos. Divididos em duas superclasses, Agnatha e Gnathosomata, os primeiros incluem feiticeiras e lampreias, considerados ancestrais dos últimos. Dentro dos Gnathosomata, há uma subdivisão monofilética conhecida como Teleostemi, que engloba peixes cartilaginosos, peixes ósseos e tetrápodes (Hickman *et. al.*, 2016;).

Os peixes ósseos são divididos em dois grandes grupos, sendo eles: peixes de nadadeira lobada (Sarcopterygii) e os peixes de nadadeira raiadas (Actinopterygii), o grupo mais recente e com maior número de diversidade e qual a ordem Cichliformes pertence (Nelson; Grande; Wilson, 2016; Pough; Janis; Heiser, 2008).

Dentre as famílias que pertencem à ordem dos Cichliformes, destaca-se a Cichlidae, amplamente distribuída em diversas regiões do mundo. Estes peixes ocupam uma variedade de habitats de água doce e até salobra. Coloca-se a origem da família no início do Cenozoico, seguindo a configuração geológica de Gondwana, abrangendo desde a África, Madagascar, América Central e do Sul, até partes da Ásia e América do Norte (Nelson; Grande; Wilson, 2016). Além de sua vasta distribuição geográfica, a família Cichlidae é notável pela grande quantidade de espécies que compõem essa linhagem, com aproximadamente 2.337 espécies descritas atualmente, sendo 1.761 espécies válidas, sendo distribuídas em 349 gêneros descritas e 257 gêneros validos. (Eschmeyer; Fong 2025). Já na América do sul contém 291 espécies validas, sendo o Brasil uma das regiões com uma grande variedade e dependendo da região recebem nomes diferentes como acará, tucunaré e jacundá (Kullander, 2003).

Os ciclídeos são peixes amplamente explorados economicamente, para consumo alimentar, alguns são utilizados para comercialização, como renda familiar e para consumo próprio. Também se destaca na prática de aquariofilia, por possuírem distintas colorações atraentes, comportamento variado e tamanho moderado, o que os torna comuns como peixes ornamentais.

Além disso, ao longo dos anos, essa família de peixes de água doce tem desempenhado um papel significativo na citogenética tradicional, destacando sua importância no estudo das características biológicas e evolutivas da família e espécies

que a compõem (Cioffi *et. al*, 2018; Feldberg; Porto; Bertollo, 2003; Rossi, 2021). Nos ciclídeos encontrados na região neotropical e na América do Sul o número diploide varia de 46 a 48 cromossomos, embora mais de 60% das espécies apresentem número cromossômico modal igual a 48 com variação de 38 a 60 cromossomos (Feldberg; Porto; Bertollo, 2003; Poletto *et. al*, 2010).

Os ciclídeos incluem vários gêneros, e entre eles se destaca *Geophagus*, descrito por Heckel (1840), contendo 31 espécies descritas, que podem ser encontradas na Amazônia, Mato Grosso, Nordeste e Sul do Brasil (Kunllander, 2003). Entre as espécies já descrita, *Geophagus parnaibae* descrita por Staeck e Schindler (2006).

Estudos citogenéticos já foram realizados para o gênero *Geophagus*, observações nas regiões de banda C, NORs, cariótipo e o número fundamental. Entre espécies já descritas, destacam-se o *Geophagus cf. proximus* e *G. brasiliensis*, sendo este com ampla distribuição e com mais dados citogenéticos. Os dados já obtidos para o gênero *Geophagus*, são descritos de  $2n= 48$  cromossomos, indicando alto grau de conservação. Por sua vez, apresentam o número fundamental FN variando de 50 a 58. Além disso, diferentes populações de uma mesma espécie podem apresentar modificações em seu cariótipo, com variações nos tipos cromossômicos, sendo eles: metacêntrico (M), submetacêntrico (Sm), subtelocêntrico (St) e acrocêntrico (a) (Feldberg; Porto; Bertollo, 2003; Pires; Caetano; Dias, 2014; Rocha *et. al*, 2013; Poletto *et. al*, 2010; Thompson, 1979; Vicari *et. al*, 2006).

O *Geophagus parnaibae* é endêmico da Bacia do Rio Parnaíba, que divide os estados do Maranhão e Piauí, popularmente conhecido como cará salema (Staeck; Schindler, 2006), encontrado na Lagoa da Prata, lagoa marginal alimentada pelo Rio Parnaíba, no município de Parnaíba (PI). Muitos moradores da região a utilizam para sobrevivência, pescando peixes tanto na alimentação da família como para comercialização.

A morfologia da espécie é caracterizada pela ausência de faixa infraorbital escura e de marcas pré-operculares negras, traços comuns em outras espécies do gênero *Geophagus*. Seu comprimento total varia entre 57,9 cm e 75,9 cm. Notam-se, ainda, o focinho alongado, o perfil dorsal da cabeça levemente curvado e as nadadeiras dorsal e anal com extremidades pontiagudas (Figura 1) (Staeck; Schindler, 2006).

A citogenética abrange qualquer estudo relacionado aos cromossomos, incluindo análises do número diploide, forma, função e organização, visando determinar a variabilidade e evolução das espécies em foco.

**Figura 1-** Exemplar coletado na Lagoa da Prata, Parnaíba, PI.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Com o avanço das técnicas e equipamentos de microscopia, a citogenética clássica foi ampliada, possibilitando uma análise mais precisa dos cromossomos, tanto em termos de alterações quanto de comparações evolutivas, como divergência e relação filogenética entre as espécies, além da determinação do cariotípico. A ictiocitogenética, ramo voltado para o estudo citogenético de peixes, destaca-se como uma ferramenta crucial para a aquisição de conhecimento, tanto na ciência básica quanto na aplicada (Guerra, 1988; Cioffi *et. al.*, 2018).

Por ser uma espécie endêmica, dados citogenéticos de *Geophagus parnaibae* são escassos, com isso, o resultado desse estudo ampliará os dados citogenéticos, para serem utilizados para comparação com outras populações do gênero *Geophagus*, permitindo melhor entendimento da evolução e diversidade deste grupo, além disso servirá de parâmetros comparativos, para futura relação filogenética. Auxiliará também, na sua conservação no ambiente, na identificação de populações e conservação da espécie.

Considerando o caráter endêmico de *Geophagus parnaibae* e o papel que desempenha tanto no ecossistema quanto na subsistência das populações locais, é importante conhecer sobre seus aspectos citogenéticos e cariotípicos. Tais informações são fundamentais para elucidar padrões evolutivos, identificar possíveis linhagens crípticas e subsidiar estratégias de conservação. Assim, o presente estudo contribui com o preenchimento de lacunas no conhecimento citogenético da ictiofauna neotropical, auxiliando na compreensão da diversidade biológica do gênero *Geophagus* e para a conservação dos recursos naturais da região.

## 2 OBJETIVOS

### Objetivo Geral

Descrever citogenéticamente a espécie *Geophagus parnaibae* encontrada na Lagoa da Prata, no município de Parnaíba, Piauí, identificando marcadores cromossômicos que permitam a comparação com outras populações.

### Objetivo específico:

- Definir o número de cromossomo de exemplares da população da Lagoa da Prata, PI.
- Caracterizar o cariotípico da espécie *Geophagus parnaibae* da população da Lagoa da Prata.
- Definir o número e localização das Regiões Organizadoras de Nucléolos (NORs) dos indivíduos da população da Lagoa da Prata.
- Definir a localização das regiões de heterocromatina constitutiva (Banda C) dos indivíduos da população da Lagoa da Prata.
- Identificar características evolutivas da população em estudo comparando com outras espécies do mesmo gênero.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletados aproximadamente 20 exemplares de *Geophagus parnaibae*, na Lagoa da Prata (-2.970792, -41.786726) localizado no município de Parnaíba, Piauí. Estes ficaram acondicionados em aquários aerados, no laboratório de Genética e Citogenética, localizado na Faculdade de Odontologia (FACOE) da Universidade Estadual do Piauí (UESPI), em Parnaíba, no município de Parnaíba, até o momento de iniciar os procedimentos.

Para estimular a produção de células sanguíneas, foi aplicado lisado bacteriano Broncho-Vaxon 0,7% (granulado, 3,5mg – TAKEDA) (1,0 mL/100g de peso do peixe) e após 21 horas será aplicada colchicina 0,025% (1,0 mL/100g de peso do peixe) que irá fazer com que as células em divisão parem em metáfase e assim, posteriormente seja possível observar os cromossomos em seu maior grau de condensação. No momento da eutanásia, os exemplares serão anestesiados com benzocaína (100mg/mL), segundo a Resolução nº 714 CFMV (2002).

Depois foi realizado a sexagem do peixe a partir da identificação das gônadas, as vísceras, que foram removidas e para o desenvolvimento do estudo foram coletadas as células do rim cefálico. Após, os animais foram fixados e armazenados no laboratório de Genética e Citogenética. Alguns exemplares foram enviados para o Laboratório de Ictiologia, da UESPI do campus Alexandre Alves Oliveira, para identificação. Para obtenção dos cromossomos mitóticos, no intuito de determinar o número de cromossomos e número fundamental (NF), utilizou-se a técnica descrita abaixo (Bertollo *et. al*, 1978), com algumas modificações, descrita abaixo: Após a aplicação de solução de colchicina, intraperitonealmente, espera-se 30 minutos para que seja realizada a eutanásia no peixe, colocando-o em um pequeno recipiente com água e benzocaína (100mg/mL) para a retirada do rim cefálico. A seguir este foi imerso em solução de cloreto de Potássio 0,075M para hipotonização das células. O material foi fixado em uma solução de metanol/ácido acético (3:1) é armazenado em freezer a -20°C, em tubos plásticos de 2mL. Uma pequena porção da amostra é pingada em lâmina de vidro, corada com Giemsa 5% por 10 minutos e analisada em microscópio óptico. Os cromossomos serão medidos e a relação entre os braços determinará os tipos, para a montagem de cariótipo, de acordo com Levan *et. al* (1964).

Para a detecção das NORs, o material foi submetido a tratamento com uma solução de nitrato de Prata 50% e solução de gelatina 2%, e levado à estufa aquecida

a 65°C por aproximadamente 5 minutos. Depois foi lavado a lâmina em água corrente, seca ao ar e analisa em microscópio óptico, conforme técnica descrita por Howell e Black (1980), com modificações.

De acordo com Sumner (1972), com algumas modificações, para a obtenção do padrão de banda C, lâmina contendo cromossomos mitóticos foi trada com uma solução de HCl 0,2N, à temperatura ambiente, durante 15 minutos. Em seguida, foi lavada em água deionizada e secar ao ar. Submergir as lâminas numa cuba contendo solução de hidróxido de bário a 5% por 5 a 30 minutos, a 42°C. Foi lavada em solução de HCl 0,2N. Foi lavada em água deionizada e secar ao ar. As lâminas foram incubadas em uma solução salina 2XSSC, aquecida, por 1 horas a 60°C e, sem seguida lavadas em água deionizada e secar ao ar. Para finalizar, foi corada com Giemsa a 5%, em tampão fosfato pH 6,8 durante 10 minutos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise citogenética de *Geophagus parnaibae* da Lagoa da Prata, apresentou número diploide modal de 48 cromossomos (Figura 2), sem variação associada ao sexo. Estudos anteriores apontam que peixes neotropicais dessa família, apresentam variação no número diploide entre 46 e 48 cromossomos, sendo que mais de 60% das espécies compartilham um número modal de 48 (Poletto *et al.*, 2010; Feldberg; Porto; Bertollo, 2003; Pires *et al.*, 2020).

**Figura 2-** Coloração convencional com Giemsa na metáfase de *Geophagus parnaibae*, com  $2n = 48$ . Coletado na Lagoa da Prata.



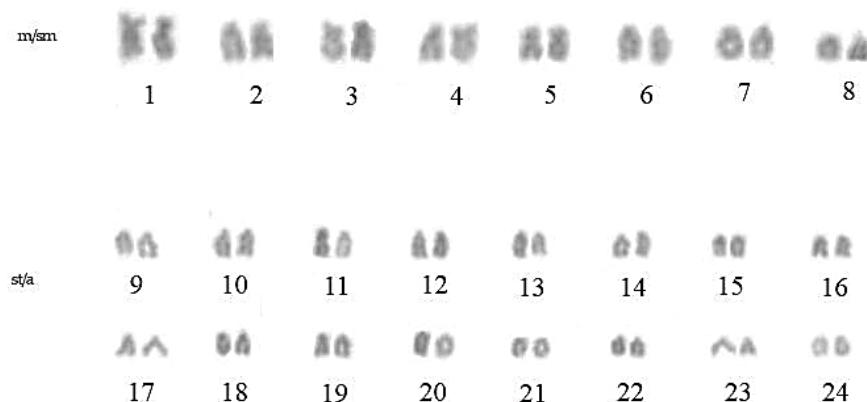
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Nesse contexto, destaca-se a análise do cariotípico de *Geophagus*, gênero atualmente composto por 31 espécies (FishBase, 2025), entre as quais se sobressai *Geophagus brasiliensis* por concentrar o maior volume de dados citogenéticos disponíveis. Essa espécie apresenta consistentemente um número diploide de  $2n = 48$  cromossomos. Os dados obtidos para *Geophagus parnaibae* refletem a existência do alto grau de conservação em relação ao número de cromossomos presente no grupo. (Feldberg; Porto; Bertollo, 2003; Poletto *et al.*, 2010; Vicari *et al.*, 2006; Pires; Caetano; Dias, 2014).

A fórmula cariotípica das espécies do gênero *Geophagus* é composta por cromossomos metacêntricos (m), submetacêntricos (sm), subtelocêntricos (st) e acrocêntricos (a), variando entre as espécies quanto à proporção desses tipos

cromossômicos (Feldberg *et al.*, 2003; Rocha *et al.*, 2013; Pires *et al.*, 2008; Vicari *et al.*, 2006; Poletto *et al.*, 2010). Nos exemplares de *Geophagus parnaibae* provenientes da Lagoa da Prata, o cariotípico é composto por oito pares de cromossomos m/sm e 16 pares st/a (Figura 3). Contudo, não foi possível determinar com precisão a classificação dos cromossomos devido a elevada variabilidade na disposição cromossômica. Apesar de o número diploide observado ser compatível com o padrão modal da família Cichlidae ( $2n = 48$ ), a composição cariotípica apresenta diferenças marcantes em relação àquela descrita para populações de *Geophagus brasiliensis* (Tabela 1), espécie filogeneticamente próxima. Essa divergência sugere a ocorrência de eventos de reorganização cromossômica específicos da população de *G. parnaibae* da Lagoa da Prata, o que pode refletir processos microevolutivos ou mecanismos de isolamento citogenético.

**Figura 3** - Foto do cariotípico montado de *Geophagus parnaibae* coletado na Lagoa da Prata, localizada no município de Parnaíba.



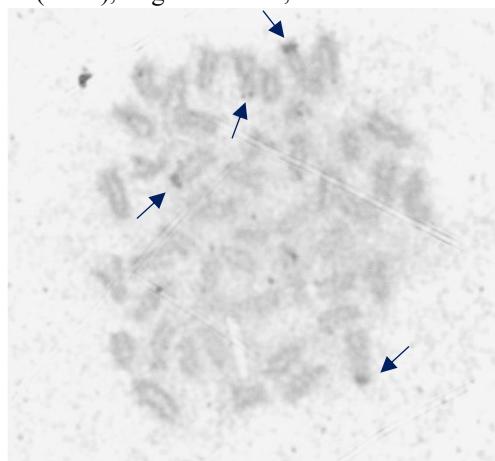
Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

As análises da Região Organizadora de Nucléolos (NOR) na família Cichlidae indicam, em sua maioria um padrão simples, o qual é considerada uma característica ancestral no grupo, entretanto, é visível a variação em relação à NOR na família, demonstrando que a evolução envolveu mudanças importantes na estrutura dos cromossomos, principalmente por inversões pericêntricas e alterações microestruturais. (Feldberg; Bertollo 2003). Na maioria das espécies do gênero *Geophagus* é comum a ocorrência de NOR simples (Tabela 1), evidenciadas em um único par cromossômico. Esse padrão é considerado conservado dentro do grupo e tem sido amplamente relatado na literatura (Feldberg *et al.*, 2003; Poletto *et al.*, 2010; Pires *et al.*, 2020; Perazzo *et al.*, 2013).

A presença de Ag-NOR simples, é observado em *Geophagus brasiliensis*, *G. proximus* e *G. surinamense* (Vicari; Bertollo; Artoni, 2006; Pires; Giuliano-Caetano; Dias, 2010; Perazzo *et al.*, 2013). Contudo, Oliveira et al. (2016) relataram variações em *Geophagus brasiliensis*, com o número de pares de cromossomos marcados variando de 1 a 5 em uma população específica. Esses dados indicam que essa população pode ter passado por um processo de adaptação ao ambiente local, o que resultou em modificações cromossômicas observadas na região organizadora do nucléolo (NOR). Assim, é possível sugerir que pressões ambientais específicas tenham promovido alterações no padrão de NOR ao longo do tempo, refletindo um processo evolutivo particular dessa população.

O nitrato de Prata ( $\text{AgNO}_3$ ), tem afinidade por proteínas associadas ao rDNA funcionalmente ativos, responsáveis pela transcrição do rRNA, durante a interfase que antecedeu a divisão celular. Nos exemplares analisados, foi identificado um padrão de NORs múltiplas localizadas em regiões teloméricas, distribuídas quatro cromossomos (Figura 4)

**Figura 4** -Foto da metáfase corada com nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) na região telocêntrica (Setas), Lagoa da Prata, localizada no município de



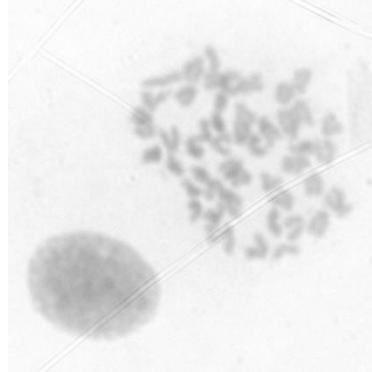
Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

Os dados obtidos neste trabalho, indicam que *Geophagus parnaibae* apresenta um padrão citogenético divergente em relação à maioria das populações do gênero, previamente descritas. A ocorrência de NORs múltiplas sugere a existência de diversidade genética no gênero, corroborando com as observações registradas por Oliveira *et al.* (2016) que analisou diversas populações de *Geophagus brasiliensis* nas bacias dos Rios Contas, Recôncavo Sul, Una-Almada e Itapicuru, no Estado da Bahia, e observou que apenas uma população apresentou NOR múltipla.

Em Cichlidae neotropicais é relatado a diversificação da presença da heterocromatina constitutiva (banda c) em regiões centroméricas, intersticiais e terminais dos braços de vários cromossomos do cariotípico (Silva, 2024). No gênero *Geophagus* é observada a presença nas regiões centroméricas e pericentroméricas, como observado no *Geophagus brasiliensis* e *Geophagus cf proximus* (Tabela 1) (Oliveira, *et al.*, 2016; Rocha *et al.*, 2013; Poletto *et al.*, 2010; Pires; Giuliano-Caetano; Dias, 2010).

Em *Geophagus paranaibae* foi identificado a região de heterocromatina localizada nas regiões centroméricas e teloméricas (Figura 5), o que demonstra uma variação da distribuição no gênero. Essa análise permite a compreensão das variações cromossômicas intra e interpopulacionais, contribuindo para o entendimento dos mecanismos evolutivos e da diferenciação populacional.

**Figura 5**-Cromossomos submetidos à coloração pelo método de banda C, evidenciando a heterocromatina constitutiva localizada principalmente nas regiões centroméricas e teloméricas.



Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

Em síntese, os dados citogenéticos obtidos para *Geophagus paranaibae* da Lagoa da Prata revelam um padrão cariotípico conservado em relação ao número diploide, porém marcado por particularidades estruturais relevantes, como a fórmula cariotípica diferenciada, a presença de múltiplas regiões organizadoras de nucléolo (NORs) e a distribuição centromérica da heterocromatina. Essas características contrastam com os padrões descritos para outras espécies do gênero, especialmente *G. brasiliensis*, e reforçam a existência de processos microevolutivos ou variações populacionais que podem atuar na diversificação cromossômica do grupo. Tais resultados não apenas ampliam o conhecimento sobre a diversidade citogenética em ciclídeos neotropicais, mas também destacam a importância de estudos em populações geograficamente isoladas como dentro do gênero *Geophagus*.

**Tabela 1:** Dados citogenético do gênero *Geophagus*, incluindo número diploide (2n); Fórmula do cariotípico, Número da região organizadora de nucléolo (NOR) e Distribuição da heterocromatina (Banda C), sendo metacêntrico (M), submetacêntrico (Sm), subtelocêntrico (St) e acrocêntrico (a)

Espécies	Localidade	2n	Fórmula cariotípica	NORs	Banda C	Autor
<i>Geophagus brasiliensis</i>	Córrego Olaria, Poloni (SP), Brasil Córrego Araquá, Botucatu (SP), Brasil Rio Bonito, Barra Bonita, (SP), Brasil Rio Paraitininguinha, Salesópolis (SP)	48	2m/sm+st/a	simples		Poleto, et al., 2010
<i>Geophagus cf. proximus</i>	Rio Tietê, Buritama, Rio Engenheiro Taveira, Araçatuba (Sp)	48	4m/sm+44st/a			
<i>Geophagus surinamensis</i>	Rio Orinoco, Caicara, Venezuela	48	4m+st/a			
<i>Geophagus brasiliensis</i>	Cambezinho e Três Bocas, na bacia do rio Tibagi Brasil	48	2 SM+ 22 ST/A	Simples(st/a)	Centromérica	Pires; Giuliano-Caetano. Dias, 2008.
<i>Geophagus cf. proximus</i>	Água Preta, PA, Brasil	48	2m+4s+4st+18a	Simples(m)	Pericentromérica	Rocha, et al., 2013
<i>Geophagus brasiliensis</i>	rio Jaguariaíva - subafluente do rio Paranapanema; rio Socavão – subafluente do rio Ribeira; rio Verde – subafluente do rio Tibagi	48	3sm+21st/a	Simples (st/a)	Centroméricas e pericentroméricas	Vicari, et al., 2006
<i>Geophagus brasiliensis</i>	Rios Contas, Oricó e São Pedro	48	2 sm +46 st/a	Simples (st/a)	Centroméricas e pericentroméricas	
<i>Geophagus brasiliensis</i>	Rio das Pedras, Rio Preto do Criciúma,	48	2 sm +46 st/a	Multipla (st/a)	Centroméricas e pericentroméricas	Oliveira, et al., 2016

	Mineiro e Preto do Costa		
<i>Geophagus</i> <i>brasiliensis</i>	Lagoa do Polegar, Córrego do Arraial, Canal de São Gonçalo, Parque Nacional da Lagoa do Peixe (aqui chamado de Lagoa do Peixe), Lagoa dos Quadros e Parque Ecológico da Costa 6 localidades no sul do Brasil:	48 2sm + 46 st/a _____ (2sm + 46 st/a) _____ (4sm + 44 st/a)	Simples (st) Pericentroméricas e teloméricas. Perazzo, <i>et al.</i> , 2013.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

## 5 CONCLUSÃO

A análise citogenética realizada em *Geophagus parnaibae*, espécie endêmica da bacia do rio Parnaíba, revelou um número diploide conservado ( $2n = 48$ ), em consonância com o padrão predominante na família Cichlidae. A caracterização cariotípica evidenciou 48 cromossomos, distribuídos em 8 pares metacêntricos/submetacêntricos (m/sm) e 16 pares subtelocêntricos/acrocêntricos (st/a) observou-se uma variação na distribuição das classes cromossômicas em comparação com outras espécies do mesmo gênero. Além disso, diferenças na fórmula cariotípica, na organização das regiões organizadoras de nucléolo (NORs) e no padrão de distribuição da heterocromatina sugerem que essa população apresenta um padrão citogenético próprio, possivelmente associado a processos evolutivos locais. citogenético particular distinto em relação às outras espécies do gênero *Geophagus*.

Estas variações podem estar relacionadas a alterações estruturais, processos de adaptação a diferentes ambientes, isolamento genético entre populações e até mesmo ao surgimento de novas espécies por especiação, especialmente considerando que o *Geophagus parnaibae* é endêmico da região. Dessa forma, os dados citogenéticos obtidos reforçam a importância das análises cromossômicas como ferramentas para a investigação dos padrões evolutivos e dos processos de diversificação no gênero *Geophagus*.

Nesse sentido, os dados obtidos para *Geophagus parnaibae* ampliam o conhecimento sobre a diversidade cariotípica no gênero *Geophagus* e ressaltam a necessidade de investigações adicionais com populações de diferentes localidades da Bacia do Parnaíba, bem como o emprego de marcadores moleculares complementares como a técnica de hibridização in situ fluorescente (FISH), visando à confirmação e à caracterização precisa das regiões organizadoras de nucléolo (NORs). Tais abordagens são essenciais para elucidar os processos evolutivos que moldam a diversidade cromossômica nesse grupo de ciclídeos neotropicais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bertollo, L. A. C., Takahashi, C. S., e Moreira-Filho, O. Citotaxonomic considerations on *Hoplias lacerdae* (Pisces, Erythrinidae). **Braz. J. of Gen.**, v: 1 (2). p. 103-120. 1978.

Cioffi, M. B.; Filho, O. M.; Ráb, P.; Sember, A.; Molina, W. F. M.; Bertollo, L. A. C. Conventional Cytogenetic Approaches—Useful and Indispensable Tools in Discovering Fish Biodiversity. **Curr Genet Med Rep.** v.6, 2018, p.176-186. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40142-018-0148-7>. Acesso em junho de 2024.

**Conselho Federal de Medicina Veterinária.** Resolução nº 714, de 20 de junho de 2002. Aprova o Módulo II – Ética e Profissões. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 26 jun. 2002.

Eschmeyer, W. N., Fricke, R., Van der Laan, R. **Catálogo de Peixes de Eschmeyer Gênero, Espécies, Referências.** Disponível em: <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatma>

Froese, R.; Pauly, D. (Ed.). **FishBase.** World Wide Web electronic publication. Versão 04/2025. Disponível em: <https://www.fishbase.org>. Acesso em: 1 jun. 2025.

FELDBERG, E; PORTO, J. I. R.; BERTOLLO, L. A. C. Chromosomal changes and adaptation of cichlid fishes during evolution. In: VAL, A.L.; KAPOOR, B.G. **Fish Adaptation.** Enfield – NH, USA: Science Publishers, 2003. p. 285-308. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2013.07.002.in.asp>. Acesso em: maio de 2025.

Guerra, M. S. **Introdução a citogenética geral.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan., 1988.

Hickman, Cleveland P., Jr.; Keen, Susan L.; Eisenhour, David J.; Larson, Allan; Lanson, Helen I. **Princípios integrados de zoologia.** 15. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. 951 p. ISBN 9788527720687.

Howell, W. M., e Black, D. A. Controlled silverstaining of nucleolus organizer regions with a protective colloid developer: a 1-step method. **Experientia**, v.36 n.8, p.1014-1015. 1980.

KULLANDER, S. O. Family Cichlidae. In: REIS, R.E; KULLANDER, S. O; FERRARIS, JR, C. J. Check List of the Freshwater Fishes of South and Central America. Porto Alegre: Edipucres, 2003. p.605-654.

Levan, A., Fredga, K., e Sandberg, A. A. Nomenclature for centromeric position on chromosomes. **Hereditas**, v.52 n.2, p.201-220,1964.

NELSON, J. S.; GRANDE, Terry; WILSON, Mark V. H. **Fishes of the world.** 5. ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2016.

Oliveira, I. A.; Leandro Araújo Argolo,1 Jamille de Araújo Bitencourt1, Débora Diniz,1 Marcelo Ricardo Vicari,2 e Paulo Roberto Antunes de Mello Affonso1 Cryptic Chromosomal Diversity in the Complex *Geophagus brasiliensis* (Perciformes, Cichlidae) **Zebrafish**, v.13, n.1, 2016. DOI: 10.1089/zeb.2015.1169

Perazzo G. X.; Noleto, R. B.; Vicari, M. R.; Gava, A.; Cestar, M. M. I. Trends of karyotypical evolution in the pearl cichlid, *Geophagus brasiliensis*, from southern Brazil, **Zoology**, v. 116, 2013. p.286-292, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.zool.2013.07.002>.

Pires, L. B.; Giuliano-Caetano L.; Dias, A. L. Cytogenetic Characterization of *Geophagus brasiliensis* and Two Species of *Gymnogeophagus* (Cichlidae: Geophaginae) from Guaíba Lake, RS, Brazil **Folia biologica (Kraków)**, v.58, N.1-2, 2010. DOI: 10.3409/fb58\_1-2.29-34

Pires, B. L.; Giuliano-Caetano, L.; Dias, A. L. Karyotype similarities among two populations of *Geophagus brasiliensis* (Perciformes, Cichlidae) from the Tibagi river basin/PR/Brazi. **Caryologia**. v.61, n. 2: p.135-138, 2006. Disponível em: DOI: 10.1080/00087114.2008.10589620 Acesso em: maio de 2024.

Pires L. B; Ussó M. C.; Giuliano-Caetano L, Dias AL. Chromosome comparison among five species of Neotropical cichlids of *Cichlasoma* and *Gymnogeophagus* (Perciformes). **Genet Mol Biol**. Apr 22; v.43, n.2, 2020. Doi: 10.1590/1678-4685-GMB-2018-0383. PMID: 32352477; PMCID: PMC7201576.

Poletto, A.B.; Ferreira, I.A.; Cabral-de-Mello, D.C. et. al. Chromosome differentiation patterns during cichlid fish evolution. **BMC Genet**, v. 11, n. 50, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1471-2156-11-50>. Acesso em: maio de 2024.

Pough, H. F.; Janis, C. M.; Heiser, J. B. **A vida dos vertebrados**. 4. Ed. São Paulo: Atheneu Editora, 2008.

Rocha, C. A. M.; Souza, A. C. P.; Rayol, R. S.; Ribeiro, H. F. Description of the karyotype of *Geophagus* cf. *proximus* (Perciformes, Cichlidae, Geophaginae) **Acta Scientiarum. Ciências Biológicas**, v. 35, n. 1,2013. p. 83-87.

Rossi, A.R. Fish Cytogenetics: **Present and Future**. **Genes** 2021, v. 12, n. 7. P. 983, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/genes12070983> acesso em: maio de 2024.

Staeck W.; Schindler, I. *Geophagus parnaibae* sp. n. – a new species of cichlid fish (Teleostei: Perciformes: Cichlidae) from the rio Parnaíba basin, **Brazil Zoologische Abhandlungen** v.55, n.69, p.69–75, 2006. ISSN 0375-5231.

Sumner, A. T. A simple technique for demonstrating centromeric heterocromatin. **Experimental Cell Research**, v.75 n.1. p. 304-306.,1972.

Thompson, K. W. Cytotaxonomy of 41 Species of Neotropical Cichlidae. **Copeia** v. 1979, n. 4. p. 679-691, 1979.

Vicari, M. R.; Bertollo, L. A. C; Artoni, R. F. Basic and molecular cytogenetics in freshwater Cichlidae (Osteichthyes, Perciformes). Karyotypic conservationism and divergence. **Caryologia** v. 59, no. 3: 260-266, 2006.