



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro Biomédico
Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes

Yasmin Pires Selhorst

**Influência da urbanização sobre características sexuais de uma espécie
invasora de Poeciliidae**

Rio de Janeiro

2020

Yasmin Pires Selhorst

**Influência da urbanização sobre características sexuais de uma espécie invasora de
Poeciliidae**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Evolução, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientadora: Prof.^a Dra. Rosana Mazzoni

Coorientador: Prof. Dr. Antônio Carlos de Freitas

Rio de Janeiro

2020

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC-A

S465 Selhorst, Yasmim Pires.
Influência da urbanização sobre características sexuais de uma espécie invasora de Poeciilidae/ Yasmim Pires Selhorst. – 2020.
50f. : il.

Orientadora: Rosana Mazzoni.
Coorientador: Antônio Carlos de Freitas.
Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes.

1. Peixe de água doce – Rio de Janeiro (RJ) – Teses. 2. Peixe de água doce – Reprodução – Teses. I. Mazzoni, Rosana. II. Freitas, Antônio Carlos de. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes. IV. Título.

CDU 597(815.3)

Patricia Bello Meijinhos CRB-7/ 5217- Bibliotecária responsável pela elaboração da ficha catalográfica

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Yasmin Pires Selhorst

**Influência da urbanização sobre características sexuais de uma espécie invasora de
Poeciliidae**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Evolução, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em 04 de Maio de 2020.

Orientadora:

Prof.^a Dra. Rosana Mazzoni

Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes – UERJ

Coorientador:

Prof. Dr. Antônio Carlos Freitas

Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes – UERJ

Banca examinadora:

Prof.^a Dra. Ana Cristina Petry

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof.^a Dra. Eugenia Zandonà

Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes - UERJ

Dr. Piatã Santana Marques

Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes - UERJ

Rio de Janeiro

2020

DEDICATÓRIA

À todas as mãos e mentes responsáveis pela produção deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao meu amado Marcio, por sempre acreditar em mim e encher minha cabeça de questionamentos sobre tudo, até sobre meus próprios questionamentos. Obrigada por ser esse grande amigo e estar sempre ao meu lado!

Ao meu pai, Beno, por ser o maior entusiasta da minha carreira acadêmica, por sempre me apoiar, aconselhar e acreditar na minha capacidade. Obrigada por me ajudar a ter confiança toda vez que preciso enfrentar um novo desafio!

À minha mãe, Esther, por estar sempre ao meu lado, acreditar e se preocupar comigo. Por me dar asilo sempre que precisei e sempre preparar uma marmita com tanto carinho.

À professora Rosana Mazzoni, por ter me acolhido em seu laboratório, estar disponível sempre que necessário, por ter guiado meus caminhos, pelo diálogo aberto e respeitoso em todas as fases desta jornada e por ter me concedido a liberdade de fazer escolhas em muitos momentos de decisão. Muito obrigada por acreditar em mim, me corrigir quando foi necessário e me estimular a seguir em frente!

Ao grande amigo Jeferson, por ter participado de cada vivência minha durante o mestrado. Por ajudar nos campos, pelas discussões, pelas gargalhadas, pelo apoio. Muito obrigada por ser tão disponível e me trazer tanta alegria e aprendizado!

Ao Piatã, por ter cedido grande parte dos dados utilizados neste estudo, por ser essa pessoa incrível e estar sempre disponível. Obrigada por me ensinar tantas coisas, ser paciente e me fazer acreditar que tenho potencial para seguir por esse caminho.

À Luisa, por ser minha parceira de laboratório, por todas as conversas intermináveis, pela confiança, pelos conselhos e por ter sempre uma palavra de carinho e esperança. Obrigada por me ensinar tantas coisas e ser esse exemplo de pesquisadora e de ser humano!

À professora Eugenia Zandonà, por me “amadrinhar”, estar sempre disposta à uma discussão, por ter contribuído com muitas ideias e ter aceitado com tanto carinho minha “invasão” ao seu laboratório em busca de mais aprendizagem. Obrigada por todo conhecimento e entusiasmo transmitidos!

A todos os professores e pós-doutores do PPGEE, por oferecerem disciplinas tão importantes e estimulantes! Por estarem sempre abertos a discussões, ainda que em momentos aleatórios, pelos corredores, tendo pouco ou muito tempo disponível. Agradeço especialmente ao Bruno Rosado, Eugenia Zandonà, Jayme Prevedello, Luisa Manna e Piatã Marques, pelas disciplinas “Teorias ecológicas”, “Comunicação Oral Científica” e “Variação Intraespecífica”, que me ensinaram coisas importantíssimas e ajudaram a pensar e repensar diversos conceitos.

Ao grupo de discussão “Seminários Unidos”, por permitirem minha participação e proporcionarem tantas discussões incríveis, por acolherem todas as vozes e me deixarem tão à vontade para também me posicionar.

À Élide e Karol, minhas bests, por serem como minhas irmãs, estarem junto comigo para o que der e vier, serem um ponto de apoio tão seguro e sempre estarem dispostas a me acolher e escutar. Obrigada por tudo, vocês são demais!

Aos grandes amigos que fiz no Laboratório de Ecologia de Rios e Córregos, Beatriz, Bruna, Bruno, Élide, Fernanda, Jeferson, Karol e Kauan, obrigada por serem essas pessoas maravilhosas, por me ouvirem e também se abrirem, por discutirem questões importantes e bobagens cotidianas, por serem esses grandes exemplos. Obrigada por serem um estímulo para estar na UERJ todos os dias!

À Quezia, pela amizade, pelas discussões, pela beleza e alto astral. Obrigada por ser um raio de alegria sempre que te encontro e pelo apoio mútuo durante o processo de seleção pro doutorado!

Ao Pedro, por essa amizade tão recente e ainda assim tão profunda. Muito obrigada por me apoiar, confiar em mim, me fazer sentir tão especial e compartilhar a dor e a delícia do processo seletivo para o mestrado/doutorado comigo.

À Diana e Andressa, por terem ajudado por tanto tempo nos trabalhos de campo e limpeza de aquários.

A todos os integrantes dos Laboratórios de Ecologia Vegetal e de Ecologia de Aves, por terem me acolhido como amiga em tantos momentos e terem me permitido participar de diversas discussões interessantes.

Ao professor Antônio Carlos e ao Artur, por terem aberto caminhos tão importantes, por terem me guiado e sido parte fundamental da minha formação como pesquisadora. Obrigada por todos os puxões de orelha, pela orientação e pela amizade!

À Velma e ao David, por continuarem sendo um enorme apoio, por se preocuparem comigo, acreditarem em mim e me estimularem a seguir em frente em todas as minhas decisões. Obrigada por serem tão maravilhosos!

A todos os meus familiares, mais próximos ou mais distantes, por sempre me apoiarem, se preocuparem e incentivarem minha escolha pela pós-graduação.

A todos os integrantes do Departamento de Ecologia, muitos cruzaram meu caminho e ajudaram de maneiras diversas na construção deste trabalho e de mim mesma.

A todos os funcionários da UERJ que trabalham com tanta dedicação em prol do conhecimento e contribuem para que cada um de nós, alunos, possa crescer pessoal e profissionalmente.

À CAPES e a FAPERJ, pelo apoio financeiro.

E a todos aqueles que não mencionei, mas que de alguma forma fazem parte dessa história.

A lucidez e a força do intelecto da mulher provam continuamente a injustiça do clamoroso escárnio há muito dirigido contra o que foi desdenhosamente chamado “a mente feminina”.

Charlotte Perkins Gilman

RESUMO

SELHORST, Yasmin Pires. Influência da urbanização sobre características sexuais de uma espécie invasora de Poeciliidae. 2020. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução) – Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2020.

A urbanização é um fenômeno mundial crescente e por isso é necessária a compreensão da influência urbana sobre as espécies. Populações residentes em localidades urbanas tendem a apresentar mudanças em características morfológicas e comportamentais que as permitem prosperar nesses ambientes. Tais mudanças podem afetar processos evolutivos. *Guppies* (*Poecilia reticulata*) são peixes de água doce invasores no Brasil, que prosperam em riachos altamente impactados pela pressão urbana. Possuem ciclo de vida curto e mudanças fenotípicas em função do ambiente são perceptíveis dentro de poucas gerações. O padrão de coloração corporal e o tamanho do órgão reprodutor dos machos garantem seu sucesso reprodutivo. Sabe-se que além de ocorrerem em altas densidades populacionais, guppies em riachos urbanos estão expostos a alterações na dieta pela escassez de algas e alta turbidez da água pelo lançamento de esgoto. Contudo, não se sabe como tais fatores influenciam suas características reprodutivas. No presente estudo foram utilizados *guppies* como modelo para a compreensão da influência da urbanização em características sexuais. Através da medição e comparação do órgão reprodutor (gonopódio) e manchas coloridas (áreas laranja e iridescentes) nos machos, observamos que a urbanização influencia apenas o tamanho das áreas iridescentes, sendo estas maiores para machos de riachos urbanos. No entanto, a densidade, turbidez e dieta não explicaram a diferença observada.

Palavras-chave: Características sexuais em ambientes urbanos. Comprimento do gonopódio.

Padrão de coloração de peixes. Riachos urbanos.

ABSTRACT

SELHORST, Yasmin Pires. *Influence of urbanization on sexual characteristics of an invasive species of Poeciliidae*. 2020. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Evolução) – Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2020.

Urbanization is increasing over the years and, therefore, it is necessary to understand the urban influence on species. Populations residing in urban locations tend to show changes in morphological and behavioral characteristics that allow them to thrive in these environments. Such changes can affect evolutionary processes. *Guppies* (*Poecilia reticulata*) are freshwater fish, invasive in Brazil, which thrive in streams highly impacted by urban pressure. They have a short life cycle and phenotypic changes due to the environment are noticeable within a few generations. The pattern of body color and the size of the male reproductive organ guarantee their reproductive success. It is known that the populations of guppies in urban streams in addition to occurring in high population densities are exposed to changes in the diet due to the scarcity of algae, and the high turbidity of the water by the release of sewage from different sources. However, it is not known how these factors influence their reproductive characteristics. In the present study, guppies were used as a model to understand the influence of urbanization on sexual characteristics. Through the measurement and comparison of the reproductive organ (gonopodium) and colored spots (orange and iridescent areas) in males, we observed that urbanization influences only the size of iridescent areas, which are larger for males of urban streams. However, density, turbidity and diet did not explain the observed difference.

Keywords: Sexual characteristics in urban environments. Gonopodium length. Color pattern in fish. Urban streams.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Exemplo de riacho urbano habitado por <i>guppies</i> na cidade do Rio de Janeiro.....	14
Figura 2 -	<i>Poecilia reticulata</i>	15
Figura 3 -	Variações de coloração entre indivíduos de <i>P. reticulata</i>	16
Figura 4 -	Gráficos das hipóteses.....	19
Figura 5 -	Riachos urbanos e não-urbanos localizados na cidade do Rio de Janeiro onde foram realizadas a coleta dos indivíduos para o presente trabalho.....	21
Figura 6 -	Riachos onde foi realizada a coleta dos organismos.....	22
Figura 7 -	Metodologia de pesca elétrica.....	24
Figura 8 -	Medida de comprimento do gonopódio (mm) com o auxílio da ferramenta “reta” no software ImageJ Fiji®.....	25
Figura 9 -	Medida de área de mancha laranja (mm ²) com o auxílio da ferramenta “polígono” no software ImageJ Fiji®.....	25
Figura 10 -	Medida de área de mancha iridescente (mm ²) com o auxílio da ferramenta “polígono” no software ImageJ Fiji®.....	26
Figura 11 -	Medida de comprimento padrão (mm) com o auxílio da ferramenta “reta” no software ImageJ Fiji®.....	27
Figura 12 -	Relação entre a área de laranja (mm ²) e o comprimento padrão (mm) dos indivíduos para riachos urbanos (vermelho) e não-urbanos (azul).....	30
Figura 13 -	Relação entre a área de laranja (mm ²) e a urbanização para riachos urbanos (vermelho) e não-urbanos (azul).....	31
Figura 14 -	Relação entre a área de iridescente (mm ²) e o comprimento padrão (mm) dos indivíduos para riachos urbanos (vermelho) e não-urbanos (azul).....	32
Figura 15 -	Relação entre a área de iridescente (mm ²) e a urbanização para riachos urbanos (vermelho) e não-urbanos (azul).....	32
Figura 16 -	Relação entre o tamanho do gonopódio (mm) e o comprimento padrão (mm) dos indivíduos para riachos urbanos (vermelho) e não-urbanos (azul).....	33
Figura 17 -	Relação entre o tamanho do gonopódio (mm) e a urbanização para riachos urbanos (vermelho) e não-urbanos (azul).....	33

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1 MATERIAL E MÉTODOS	20
1.1 Área de estudo	20
1.2 Coleta dos organismos.....	23
1.3 Medidas morfológicas, tamanho das populações (densidade) e dieta dos organismos	24
1.4 Variáveis preditoras	28
1.5 Análise Estatística dos Dados.....	28
2 RESULTADOS	30
3 DISCUSSÃO	34
CONCLUSÃO	38
PERSPECTIVAS	39
REFERÊNCIAS	40
ANEXO A - Análise de Componentes Principais (PCA) riachos urbanos X não-urbanos.....	47
ANEXO B - Análise do conteúdo estomacal	49

INTRODUÇÃO

Nos últimos séculos, os seres humanos têm sido responsáveis por grandes mudanças na Terra. Alterações podem ser observadas no uso do solo, em seu enriquecimento com nitrogênio e fósforo para a produção de alimentos (Johnson *et al.*, 2010), o aumento da temperatura média global ocasionada principalmente pela combustão de combustíveis fósseis (Silva *et al.*, 2014), a translocação de organismos vivos e a facilitação de invasões biológicas pela degradação ambiental (Le Maitre *et al.*, 2004). Todos esses fatores são riscos em potencial para os organismos, principalmente se considerarmos que a população humana está aumentando.

Em 2014, 54% da população global já vivia em áreas urbanas e estima-se que, até 2050, através do incremento de 2,5 bilhões de pessoas no planeta, esse número aumente para 66% (United Nations, 2014). Tal crescimento força a expansão das cidades, aumentando o processo de urbanização e perda das áreas naturais.

O desenvolvimento urbano é uma das maiores causas de perda de biodiversidade (McKinney, 2002), por alterar aspectos como estrutura de habitats, permeabilidade do solo e regime hidrológico (Pauchard *et al.*, 2006; Seto *et al.*, 2012). Dentre os vários impactos observados, riachos tendem a ser severamente impactados pela urbanização.

O termo “síndrome do riacho urbano” define um conjunto de características biológicas e ambientais modificadas de forma consistente pelo crescimento urbano (Walsh *et al.*, 2005). A urbanização aumenta a quantidade de áreas impermeáveis a partir do revestimento do solo com materiais como concreto e asfalto, ocasionando aumento do escoamento superficial e a vazão dos rios (Gurnell, Lee & Souch, 2007). A concentração de contaminantes e nutrientes na água também são aumentados com a urbanização e mudanças no curso do rio. Dentre as características biológicas destaca-se a diminuição da riqueza de espécies e a abundância preponderante de espécies invasoras (Walsh *et al.*, 2005).

A teoria que trata da “síndrome do riacho urbano” (Walsh *et al.*, 2005) prediz que, em geral, espécies invasoras e tolerantes às alterações provenientes da urbanização dominam esses ambientes (Francis & Chadwick, 2015; Cadotte *et al.*, 2017), pois pelo fato de já terem passado por diversos filtros ambientais, são melhor adaptados a essas áreas (Ducatez *et al.*, 2017; Sol *et al.*, 2018; Dunkle, 2019).

O ambiente urbano exerce grande pressão de seleção, forçando uma rápida mudança em características fenotípicas (Alberti *et al.*, 2017a e 2017b). Alterações no tamanho do corpo,

morfologia e coloração já foram registradas em animais de ambientes urbanos (Giraudeau *et al.*, 2015; Hutton & McGraw, 2016). Essas mudanças podem ser atribuídas à influência direta da urbanização em fatores como a disponibilidade de alimento que geralmente é alterada pela urbanização. Evidências de ambientes preservados não-urbanos mostram que a disponibilidade de alimento ocasiona, por exemplo, diferenças no tamanho ou na expressão de cores dos indivíduos (Devigili *et al.*, 2013); ou à influência indireta, a partir da alteração de aspectos como a turbidez da água, que modifica o contato visual entre os indivíduos (Adro'i *et al.*, 2018) o que, conseqüentemente, pode afetar processos evolutivos como a seleção sexual (McDonnell & Hahs, 2015; Marques *et al.*, 2019).

A seleção sexual pode ocorrer antes e após a cópula, sendo conhecida, respectivamente, como seleção pré e pós-copulatória (Andersson & Simmons, 2006). A seleção de características pré-copulatórias ocorre quando os machos são escolhidos pelas fêmeas a partir de caracteres morfológicos ou comportamentais específicos, como por exemplo o padrão de coloração corporal (Devigili *et al.*, 2013; Evans & Garcia-Gonzalez, 2016). No caso da seleção de características pós-copulatórias, esta acontece principalmente em espécies onde as fêmeas copulam com mais de um macho em um mesmo episódio reprodutivo. A seleção ocorre, então, através da competição do esperma de diferentes machos para a fertilização de um mesmo óvulo (Devigili *et al.*, 2013; Evans & Garcia-Gonzalez, 2016). No presente estudo, será discutida apenas a seleção pré-copulatória, em que as características utilizadas como critério de escolha pelas fêmeas podem ser um indicativo das boas condições físicas dos machos (Zahavi, 1975) e variam entre populações, de acordo com a pressão ecológica a qual a população está sujeita (Endler, 1980).

Pouco se sabe sobre a influência da pressão urbana sobre as características das espécies, principalmente em sistemas aquáticos (Marques *et al.*, 2019). No caso de alterações de características utilizadas na seleção sexual, este conhecimento se torna relevante pois pode alterar o curso da evolução de determinadas populações. Uma espécie invasora que prospera sobretudo em riachos urbanos (Figura 1) ao redor do mundo é a *Poecilia reticulata*, popularmente conhecida como “guppy” (Figura 2).

Figura 1 - Exemplo de riacho urbano habitado por *guppies* na cidade do Rio de Janeiro.



Figura 2 - *Poecilia reticulata*

Legenda: À esquerda uma fêmea e à direita um macho
Fonte: AMARAL, 2018.

Estes peixes são um modelo amplamente utilizado em estudos sobre a evolução das características sexuais, pois possuem ciclo de vida curto, de três a quatro gerações ao ano, e respondem rapidamente à diferentes pressões ambientais (Magurran, 2005). Em alguns estudos foram observadas mudanças fenotípicas e genotípicas na história de vida e coloração corporal dentro de poucas gerações (Ghalambor *et al.*, 2015; Gordon *et al.*, 2017; Kranz *et al.*, 2018; Cole *et al.*, 2019). Os *guppies* são vivíparos de fecundação interna, cujas fêmeas liberam os filhotes completamente formados (Magurran, 2005). O dimorfismo sexual é marcante, sendo

que os machos apresentam coloração complexa, composta por manchas laranjas, vermelhas, pretas e iridescentes (Endler, 1980; Houde & Torio, 1992). A disposição e tamanho das manchas variam entre indivíduos e entre populações (Endler, 1980) (Figura 3).

Figura 3 - Variações de coloração entre indivíduos de *P. reticulata*.



1



2

Legenda: 1) Indivíduos de um mesmo riacho distante de áreas urbanizadas; 2) Indivíduos de um mesmo riacho presente em área urbanizada.

Duas características que garantem o sucesso reprodutivo dos *guppies* machos são a coloração corporal, que é utilizada pelas fêmeas como critério de escolha na seleção sexual pré-copulatória, e o tamanho do gonopódio, que é influenciado pela estratégia de cópula mais utilizada pelos machos (corte ou coerção) (Endler, 1980; Evans *et al.*, 2011). *Guppies* com mais manchas de cores iridescente e laranja são preferidos pelas fêmeas e tem maior sucesso reprodutivo (Kodric-Brown, 1985; Grether, 2000). Não se sabe ao certo os fatores que influenciam a produção de manchas iridescentes e existem hipóteses sobre a preferência por tal coloração. Os machos podem utilizá-la nos displays de corte; o iridescente pode ser associado a manchas de outras cores a fim de se tornarem mais conspícuos (Kodric-Brown, 1985; Doucet

& Meadows, 2009). A cor laranja está relacionada ao consumo de carotenoides, que são normalmente escassos no ambiente (Endler, 1980; Kodric-Brown, 1989; Grether, 2000) e que por isto denotam as boas condições físicas dos machos.

A dieta pode alterar diretamente a expressão das cores nos machos. O consumo de carotenoides apresenta relação direta com a capacidade de forrageamento dos machos, pois são provenientes de algas (Karino *et al.*, 2007). A maior ingestão de carotenoides provenientes de algas garante maior quantidade de manchas laranja (Endler, 1980; Kodric-Brown, 1989; Grether, 2000; Karino, 2007). Carvalho *et al.* (2019) evidenciam que a maior parte do carbono assimilado por *guppies* em riachos não-poluídos foi proveniente de algas, enquanto em riachos altamente poluídos, a maior parte do carbono assimilado foi oriundo do esgoto.

Outros fatores que podem interferir na seleção sexual são a turbidez da água e a densidade em que as populações se encontram. Riachos urbanos podem apresentar águas mais turvas do que os riachos não-urbanos (Brett *et al.*, 2005; Miguel-Chinchilla *et al.*, 2019). Diferenças na turbidez dos riachos podem influenciar indiretamente a coloração dos machos, pois alteram a visualização destes pelas fêmeas e podem, assim, modificar a seleção sexual pré-copulatória baseada na coloração (Adro'i *et al.*, 2018). Adro'i *et al.* (2018) observaram que *guppies* em condições de alta turbidez apresentavam maiores áreas de coloração iridescente em comparação a populações de baixa turbidez.

No caso da densidade populacional, sabe-se que as populações de riachos urbanos apresentam elevadas densidades (Zanatta *et al.*, 2017) e em condições de altas densidades os machos tendem a utilizar principalmente a estratégia de coerção (Jirotkul, 1999a,b; Magris, 2018). Pelo fato das fêmeas estarem sendo forçadas à cópula, ocorre o enfraquecimento da seleção sexual pré-copulatória – nesse caso seleção da coloração – (Jirotkul, 1999a,b) e são selecionados machos com gonopódios maiores, mais eficientes em fecundar as fêmeas (Kelly *et al.*, 2000; Evans *et al.*, 2011). Por outro lado, em baixas densidades, a estratégia mais utilizada é a corte, que estimula a seleção de características pré-copulatórias (coloração) (Jirotkul, 1999a,b; Magris, 2018), assim como a presença de machos com gonopódios menores (Kelly *et al.*, 2000; Evans *et al.*, 2011).

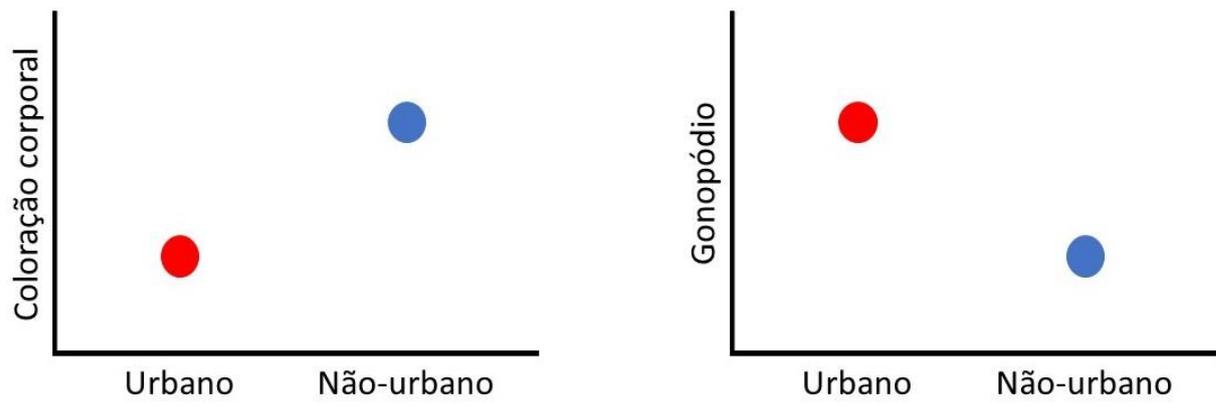
Considerando que o mundo está se tornando cada vez mais urbanizado, é de extrema importância compreender a influência que nós, humanos, exercemos sobre outros organismos. A seleção sexual é um fator determinante para a manutenção e evolução das populações selvagens e é necessário que se compreenda de que maneira esta dinâmica acontece em grandes

centros urbanos. Alterações em ambientes naturais podem gerar modificações nos padrões de seleção sexual, o que, conseqüentemente, pode ocasionar mudanças no curso evolutivo das espécies. Divergência nas características reprodutivas e nos padrões de seleção sexual pré-copulatória podem gerar acasalamento preferencial (*assortative mating*) e posterior especiação (Thompson *et al.*, 2018).

Outra questão importante a se entender é como espécies invasoras lidam com o ambiente urbano e, assim, são capazes de prosperar. Pouco se sabe sobre a influência da urbanização em características sexuais de peixes e, pelas razões descritas acima, os *guppies* foram escolhidos como modelo no presente estudo para a investigação desta questão.

Sabe-se que as populações de *guppies* em riachos urbanos além de ocorrerem em altas densidades populacionais (Zanatta *et al.*, 2017; Marques, 2019) estão expostas a alterações na dieta (Carvalho *et al.*, 2019) pela escassez de algas, e a alta turbidez da água (Brett *et al.*, 2005; Miguel-Chinchilla *et al.*, 2019) pelo lançamento de esgoto de diferentes origens. Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi investigar sobre as características pré-copulatórias do *guppy P. reticulata* submetido à diferentes condições ambientais. Mais especificamente, neste estudo foi avaliado: (1) o padrão de colorido de machos de *guppies* de riachos com características urbanas e não urbanas; (2) o padrão de tamanho do gonopódio de machos de *guppies* de riachos com características urbanas e não urbanas. Testou-se a hipótese de que os *guppies* de riachos não-urbanos possuem maior área de coloração corporal (manchas laranja e iridescentes) em função da dieta rica em algas, reduzida turbidez e baixas densidades, e menores tamanhos do gonopódio (= mais comportamento de corte) (Figura 4) devidos às baixas densidades. No caso dos *guppies* de riachos urbanos, prevê-se que possuam menor área de coloração corporal (manchas laranja e iridescentes) em função da dieta pobre em algas, piores condições de visualização pela alta turbidez e altas densidades, e maiores tamanho de gonopódio (= mais comportamento de coerção) devido às altas densidades (Figura 4).

Figura 4 - Predições.



Legenda: Esquerda: Quantidade de coloração corporal em função da urbanização. Direita: Tamanho do gonopódio em função da urbanização.

1 MATERIAL E MÉTODOS

1.1 Área de estudo

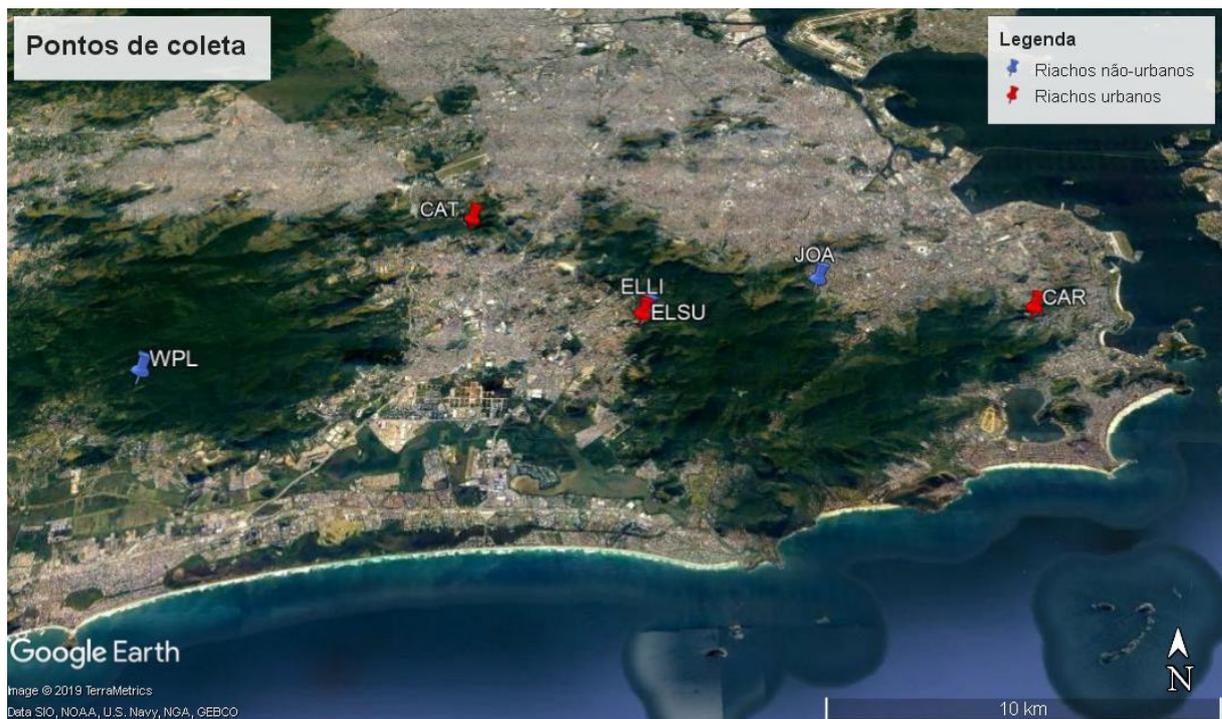
Para a realização do presente trabalho selecionou-se seis riachos localizados na cidade do Rio de Janeiro, sendo três urbanos e três não-urbanos. Em todos os riachos a única espécie de peixe presente foi *P. reticulata*, sendo assim todas as populações estudadas se encontravam em condições de baixa predação. Os riachos urbanos foram denominados como “Carioca Sujo” (CAR), “Catonho Sujo” (CAT) e “Eldorado Sujo” (ELSU). Os riachos não-urbanos foram denominados “WaterPlanet Limpo” (WPL), “Joana Limpo” (JOA) e “Eldorado limpo” (ELLI) (Figura 5, Tabela 1).

No riacho “Eldorado” foram realizadas duas coletas, uma à montante, considerado como não-urbano, e outra à jusante, considerado urbano. Os dois pontos de coleta eram separados por cachoeiras naturais, o que impedia a movimentação dos organismos rio acima.

Todos os riachos escolhidos são classificados como de primeira ou segunda ordem. Os riachos considerados não-urbanos (“WaterPlanet Limpo”, “Joana Limpo” e “Eldorado limpo”) (Figura 6A, B e C) apresentavam pouca influência antrópica aparente. Suas águas eram cristalinas e não foram observados canos de esgotamento próximos ao ponto de coleta. No riacho “WaterPlanet Limpo” foi observada a presença de casas à jusante, porém não foram observadas mudanças aparentes na qualidade da água. O substrato de fundo variou entre areia, cascalho e rochas, com predominância de rochas nos três riachos não-urbanos estudados.

Os riachos considerados urbanos (“Carioca Sujo”, “Catonho Sujo” e “Eldorado Sujo”) (Figura 6D, E e F) apresentavam influência antrópica aparente, com esgoto cru sendo lançado no ponto de coleta. Também foi observada a ocorrência de lixo no riacho Catonho sujo (Figura 6E). O substrato de fundo foi lodoso para os riachos Catonho sujo e Carioca sujo enquanto para o riacho Eldorado sujo foi predominantemente arenoso. Os três riachos urbanos apresentavam águas turvas à olho nu.

Figura 5 - Riachos urbanos e não-urbanos localizados no município do Rio de Janeiro onde foram realizadas a coleta dos indivíduos para o presente trabalho.



Legenda: Marcações em azul: riachos não-urbanos (WPL – WaterPlanet Limpo; ELLI – Eldorado Limpo; JOA – Joana Limpo. Marcações em vermelho: riachos urbanos (CAT – Catonho Sujo; ELSU – Eldorado Sujo; CAR – Carioca Sujo).

Tabela 1 - Coordenadas geográficas dos locais de coleta.

Urbanização	Coordenadas	Riacho	Sigla
Não-urbanos	22°57'44.30"S 43°28'27.27" W	WaterPlanet Limpo	WPL
	22°56'29.28"S 43°19'22.27"W	Eldorado Limpo	ELLI
	22°55'45.62"S 43°16'04.44"W	Joana Limpo	JOA
Urbanos	22°54'17.89"S 43°22'46.97"W	Catonho Sujo	CAT
	22°56'30.66"S 43°19'25.21"W	Eldorado Sujo	ELSU
	22°56'21.46"S 43°12'04.97"W	Carioca Sujo	CAR

Figura 6 - Riachos onde foi realizada a coleta dos organismos.



Legenda: A) WaterPlanet Limpo; B) Joana Limpo; C) Eldorado Limpo; D) Carioca Sujo; E) Catonho Sujo; F) Eldorado Sujo.

Para avaliar se os riachos urbanos eram efetivamente similares entre si em comparação aos riachos não-urbanos, as seguintes variáveis ambientais foram coletadas: pH, condutividade,

temperatura, oxigênio dissolvido na água, porcentagem de dossel, quantidade de coliformes fecais e concentração de NH_4 na água. Posteriormente foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA) considerando as variáveis descritas acima e o ano de coleta, pois alguns riachos foram amostrados em dois anos diferentes (Tabela 2, Anexo A. Fonte: Marques, 2019). A PCA explicou 56% da variação entre os riachos (Figura 3.1, Anexo A. Fonte: Marques, 2019). Os riachos urbanos foram mais similares entre si em comparação aos riachos não-urbanos. O PC1 explicou 33.5% da variação encontrada, que ocorreu em função das variáveis NH_4 , oxigênio dissolvido e pH (Tabela B3, Anexo A. Fonte: Marques, 2019). O PC2 explicou 23% da variação encontrada, que ocorreu em função do ano de coleta, temperatura e quantidade de coliformes fecais na água (Tabela B3, Anexo A. Fonte: Marques, 2019). Os resultados descritos para comparação de riachos urbanos e não-urbanos, extraídos de Marques (2019) são apresentados no Anexo A.

Para a análise de turbidez dos riachos, foi coletada uma amostra de água para cada ponto de coleta. Todas as amostras foram refrigeradas e transportadas ao Laboratório de Ecologia de Peixes e analisadas a partir do aparelho AquaFluor®, em unidades NTU (Nephelometric Turbidity Units – Unidades Nefelométricas de Turbidez). As amostras de turbidez foram coletadas no ano de 2019, diferentemente da coleta dos organismos, que ocorreu nos anos de 2016 e 2017.

1.2 Coleta dos organismos

Para a coleta dos espécimes foi utilizada pesca elétrica de acordo com Mazzoni *et al.* (2000) (Figura 7). Em cada um dos seis riachos foram coletados entre 13 a 21 indivíduos machos. Os peixes coletados foram eutanasiados em gelo, para minimizar a alteração da coloração. Posteriormente foram levados ao Laboratório de Ecologia de Peixes (UERJ) e fotografados, no menor intervalo de tempo possível, em relação ao horário de coleta (para a aquisição fotográfica, foi utilizada uma câmera modelo Canon® G12). Todos os organismos foram fotografados a uma distância padrão.

Figura 7 - Metodologia de pesca elétrica



1.3 Medidas morfológicas, tamanho das populações (densidade) e dieta dos organismos

As medidas do tamanho dos gonopódios e das manchas coloridas foram realizadas a olho nu a partir das fotografias dos animais, no software ImageJ Fiji® (Schindelin *et al.*, 2012). A medição do tamanho dos gonopódios foi feita com o auxílio da ferramenta “reta” no software ImageJ Fiji®. A medida foi feita da base do gonopódio até a porção mais distal com relação ao corpo (Figura 8).

A medição das manchas coloridas foi feita também com o auxílio da ferramenta “seleção de polígonos” no software ImageJ Fiji® (Figuras 9 e 10). As manchas coloridas foram alocadas nas categorias “laranja” e “iridescente”, por serem as cores utilizadas na seleção sexual (Kodric-Brown, 1985). Manchas de coloração laranja e amarela foram consideradas “laranja”. Manchas de coloração azul, verde e lilás foram consideradas “iridescentes”.

Figura 8 - Medida de comprimento do gonopódio (mm) com o auxílio da ferramenta “reta” no software ImageJ Fiji®.



Figura 9 - Medida de área de mancha laranja (mm²) com o auxílio da ferramenta “polígono” no software ImageJ Fiji®.



Figura 10 - Medida de área de mancha iridescente (mm²) com o auxílio da ferramenta “polígono” no software ImageJ Fiji®.



Foi realizada a medida de comprimento padrão dos peixes pois este é altamente relacionado ao tamanho do gonopódio e das manchas coloridas. Para realizar tal medição foi utilizado o software ImageJ Fiji® (Schindelin *et al.*, 2012). A medição foi feita com o auxílio da ferramenta “reta” no software ImageJ Fiji®. A medida foi feita da ponta do focinho até a inserção da nadadeira caudal (Figura 11).

Figura 11 - Medida de comprimento padrão (mm) com o auxílio da ferramenta “reta” no software ImageJ Fiji®.



As densidades da espécie, em cada localidade amostrada, foram estimadas pelo método de Zippin (1958). Esse método consiste na remoção sucessiva de organismos de um trecho obstruído do rio, previamente bloqueado por redes a fim de impedir o deslocamento dos animais. Para cada ponto de coleta foram realizadas três remoções com o mesmo esforço amostral (Zippin, 1958).

Dos machos utilizados na análise de coloração e tamanho do gonopódio, 76 foram também utilizados para análise do conteúdo intestinal, sendo 37 de ambientes não-urbanos e 39 de ambientes urbanos. A porção anterior do intestino foi seccionada até o ponto em que o intestino gira 180° e o conteúdo presente foi analisado. Apenas a porção anterior do intestino foi utilizada pois o conteúdo desta área é considerado relativamente intacto (Zandonà *et al.*, 2015). A análise do conteúdo intestinal foi realizada pela técnica de lâmina de microscópio em grade (Zandonà *et al.*, 2011), em que a área da lâmina ocupada por invertebrados, algas e detritos (lodo e material amorfo) foi estimada. Os invertebrados foram classificados com o menor nível taxonômico possível, geralmente a nível de Família, usando chaves taxonômicas publicadas (Merritt & Cummins, 1996; Mugnai, Nessimian & Baptista, 2010). Em seguida, foi utilizada a área total da lâmina ocupada para estimar a proporção de invertebrados, algas e detritos consumidos, a seguir: $P_i = A_i / A_t$, onde P_i = proporção do item alimentar, A_i = área do item alimentar, A_t = área total ocupada por todos os itens da dieta. Indivíduos com intestinos

vazios foram removidos de todas as análises. Os resultados da análise estão dispostos na Tabela 1 do Anexo B.

1.4 Variáveis preditoras

Foram escolhidas variáveis preditoras que são influenciadas pela urbanização e espera-se que tenham efeito nas características dos organismos analisadas no presente trabalho (tamanho do gonopódio e das manchas coloridas). As variáveis preditoras escolhidas foram: densidade da espécie no riacho, turbidez da água nos riachos e dieta dos organismos (proporção de invertebrados e algas consumidos).

1.5 Análise Estatística dos Dados

Para a realização dos testes estatísticos, utilizamos o software RStudio® (RStudio Team, 2016) e os pacotes *nlme* (Pinheiro *et al.*, 2019) e *lme4* (Bates *et al.*, 2015). Foram realizados dois testes para cada uma das variáveis resposta (tamanho da área laranja, tamanho da área iridescente e tamanho do gonopódio). O primeiro deles para testar se existiam diferenças entre as populações de ambientes urbanos e não-urbanos, baseado na separação dos riachos apresentada no Anexo A. O segundo teste foi realizado com as variáveis preditoras escolhidas (densidade, dieta e turbidez no caso da coloração; densidade no caso do tamanho do gonopódio), a fim de observar se estas tinham efeito significativo sobre as variáveis resposta.

Foi realizado um *Linear Mixed Model* (LMM) para testar o efeito da urbanização no tamanho da área da cor laranja. Neste teste foi utilizada a área de cor laranja como variável resposta, comprimento padrão e urbanização (urbano ou não-urbano) como fatores fixos e riacho como variável aleatória, de acordo com o modelo: $\text{area.laranja} \sim \text{comp.padrão} + \text{urb} + 1(\text{riacho})$. O comprimento padrão foi utilizado como variável fixa pelo fato de o modelo não permitir que se especifiquem covariáveis, apesar do mesmo ser altamente correlacionado com o tamanho das manchas. Riacho foi utilizado como variável aleatória pois cada um dos riachos poderia apresentar características únicas que potencialmente influenciariam a variável resposta. Posteriormente, para testar o efeito da densidade, dieta e turbidez no tamanho da área da cor laranja, realizamos um LMM. Neste teste foi utilizada a área de cor laranja como variável resposta, comprimento padrão, densidade, dieta (proporção

de invertebrados e algas) e turbidez como fatores fixos e riacho como variável aleatória, de acordo com o modelo: $\text{area.laranja} \sim \text{comp.padrao} + \text{dens} + \text{inv.pro} + \text{alg.prop} + \text{turbidez} + 1(\text{riacho})$.

Foi realizado um *General Linear Mixed Model* (GLMM) para testar o efeito da urbanização no tamanho da área das cores iridescentes. Neste teste foi utilizada a área de cor iridescente como variável resposta, comprimento padrão e urbanização (urbano ou não-urbano) como fatores fixos e riacho como variável aleatória, de acordo com o modelo: $\text{area.iridescente} \sim \text{comp.padrao} + \text{urb} + 1(\text{riacho})$. Posteriormente, para testar o efeito da densidade, dieta e turbidez no tamanho da área das cores iridescentes, foi realizado um GLMM. Neste teste foi utilizada a área de cor iridescente como variável resposta, comprimento padrão, densidade, dieta (proporção de invertebrados e algas) e turbidez como fatores fixos e riacho como variável aleatória, de acordo com o modelo: $\text{area.iridescente} \sim \text{comp.padrao} + \text{dens} + \text{inv.pro} + \text{alg.prop} + \text{turbidez} + 1(\text{riacho})$. O comprimento padrão foi tratado como fator fixo pelo fato de o modelo não permitir que se especifiquem covariáveis, apesar do mesmo ser altamente correlacionado com o tamanho das manchas. Riacho foi tratado como fator aleatório pelas mesmas razões expostas anteriormente para a análise da cor laranja.

Foi realizado um LMM para testar o efeito da urbanização no tamanho do gonopódio. Neste teste foi utilizado o tamanho do gonopódio como variável resposta, comprimento padrão e urbanização (urbano e não-urbano) como fatores fixos e riacho como variável aleatória, de acordo com o modelo: $\text{comp.gonopodio} \sim \text{comp.padrao} + \text{urb} + 1(\text{riacho})$. O comprimento padrão foi utilizado como variável fixa pelo fato de o modelo não permitir que se especifiquem covariáveis, apesar do mesmo ser altamente correlacionado com o tamanho do gonopódio. Riacho foi utilizado como variável aleatória pois cada um dos riachos poderia apresentar características únicas que potencialmente influenciariam a variável resposta. Posteriormente, para testar o efeito da densidade no tamanho do gonopódio, foi realizado um LMM. Neste teste foi utilizado o tamanho do gonopódio como variável resposta, comprimento padrão e densidade como fatores fixos e riacho como variável aleatória, de acordo com o modelo: $\text{area.iridescente} \sim \text{comp.padrao} + \text{dens} + 1(\text{riacho})$. O comprimento padrão foi tratado como fator fixo e riacho como fator aleatório pelas mesmas razões expostas anteriormente para a análise da cor laranja.

2 RESULTADOS

O tamanho da mancha laranja variou positivamente com o comprimento padrão (LMM, $t=6.135$, $p=0.000$) (Figura 12). Não houve diferença estatisticamente significativa no tamanho da área laranja entre riachos urbanos e não-urbanos ($7.007\pm 3.69\text{mm}^2$ e $6.759\pm 2.941\text{mm}^2$, respectivamente) (LMM, $t=-1.367$, $p=0.243$) (Figura 13). Não houve efeito significativo da densidade (LMM, $t=-0.322$, $p=0.768$), da proporção de invertebrados na dieta (LMM, $t=0.052$, $p=0.957$), da proporção de algas na dieta (LMM, $t=0.129$, $p=0.897$) e da turbidez (LMM, $t=0.03$, $p=0.978$) para o tamanho da área laranja.

Figura 12 - Relação entre a área de laranja (mm^2) e o comprimento padrão (mm) dos indivíduos para riachos urbanos (vermelho) e não-urbanos (azul).

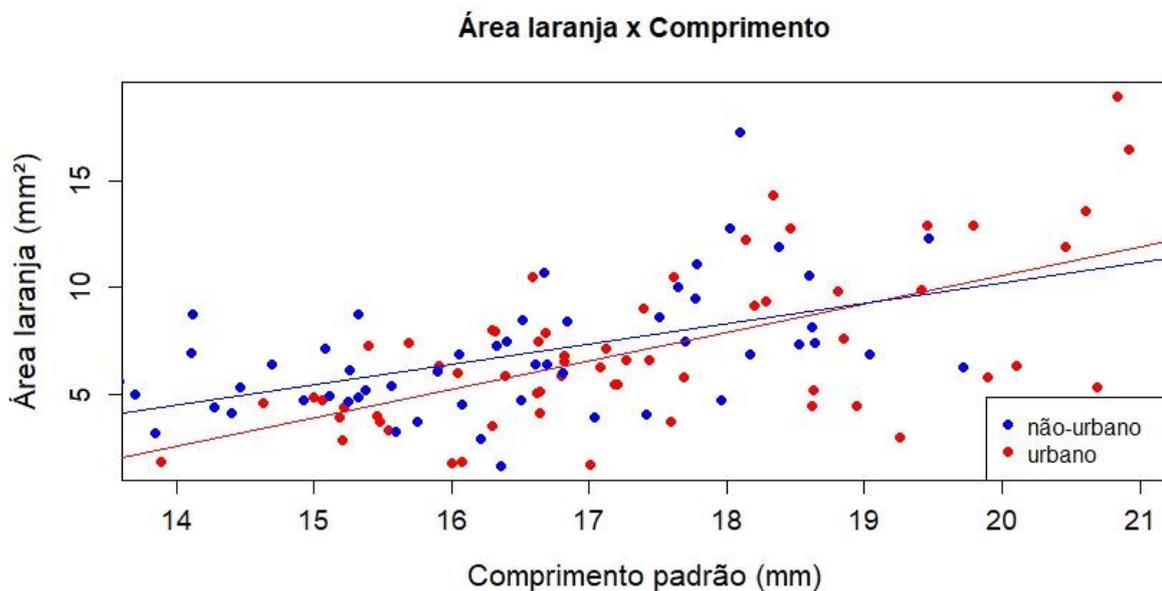
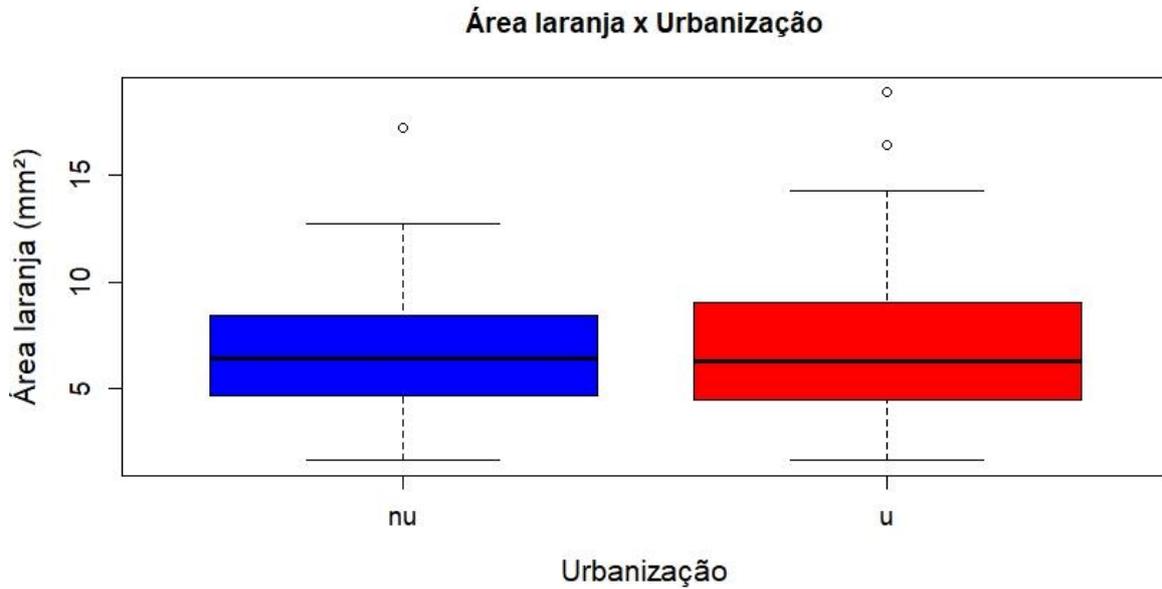


Figura 13 - Relação entre a área de laranja (mm^2) e a urbanização para riachos urbanos (vermelho) e não-urbanos (azul).



Os resultados da análise de iridescência apresentaram relação positiva com o comprimento padrão (GLMM, $t=3.542$, $p=0.0004$) (Figura 14) e diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos urbano e não-urbano ($19.79 \pm 8.902 \text{mm}^2$ e $7.439 \pm 5.309 \text{mm}^2$, respectivamente) (GLMM, $t=2.981$, $p=0.002$) (Figura 15). Não houve efeito significativo da densidade (GLMM, $t=0.752$, $p=0.452$), da proporção de invertebrados na dieta (GLMM, $t=-0.388$, $p=0.698$), da proporção de algas na dieta (GLMM, $t=0.152$, $p=0.878$) e da turbidez (GLMM, $t=-0.469$, $p=0.639$) para o tamanho da área iridescente.

Figura 14 - Relação entre a área de iridescente (mm^2) e o comprimento padrão (mm) dos indivíduos para riachos urbanos (vermelho) e não-urbanos (azul).

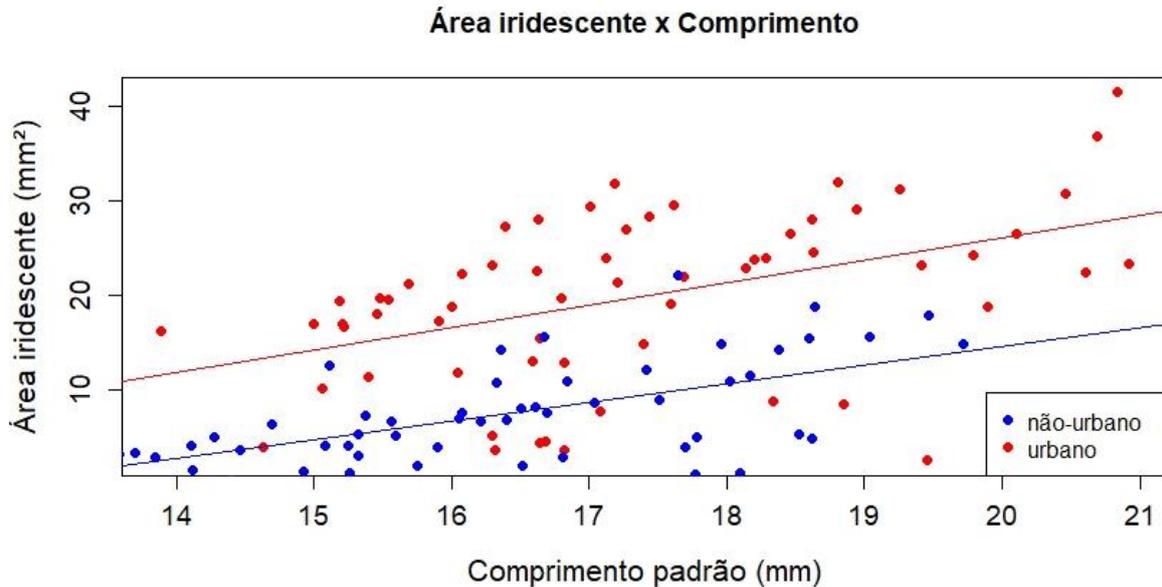
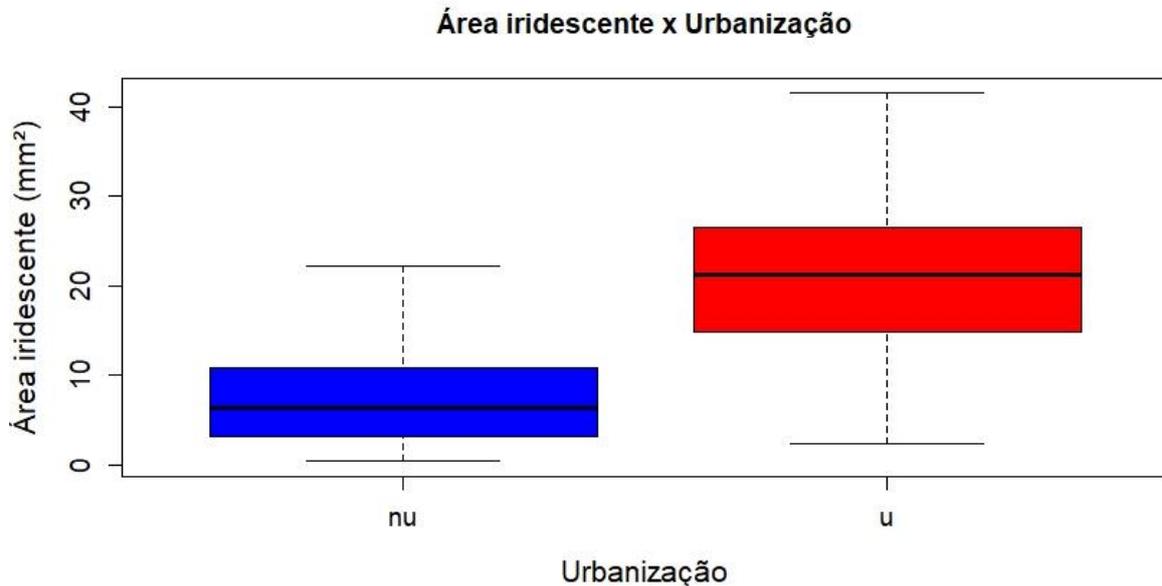


Figura 15 - Relação entre a área de iridescente (mm^2) e a urbanização para riachos urbanos (vermelho) e não-urbanos (azul).



Os resultados da análise do gonopódio apresentaram relação positiva com o comprimento padrão (LMM, $t=8.019$, $p=0.000$) (Figura 16). Não houve efeito significativo da urbanização no tamanho do gonopódio ($3.815 \pm 0.364\text{mm}$ e $3.781 \pm 0.335\text{mm}$, respectivamente riachos urbanos e não-urbanos) (LMM, $t=-0.952$, $p=0.394$) (Figura 17). Não houve efeito significativo da densidade (LMM, $t=-1.133$, $p=0.32$) para o tamanho do gonopódio.

Figura 16 - Relação entre o tamanho do gonopódio (mm) e o comprimento padrão (mm) dos indivíduos para riachos urbanos (vermelho) e não-urbanos (azul).

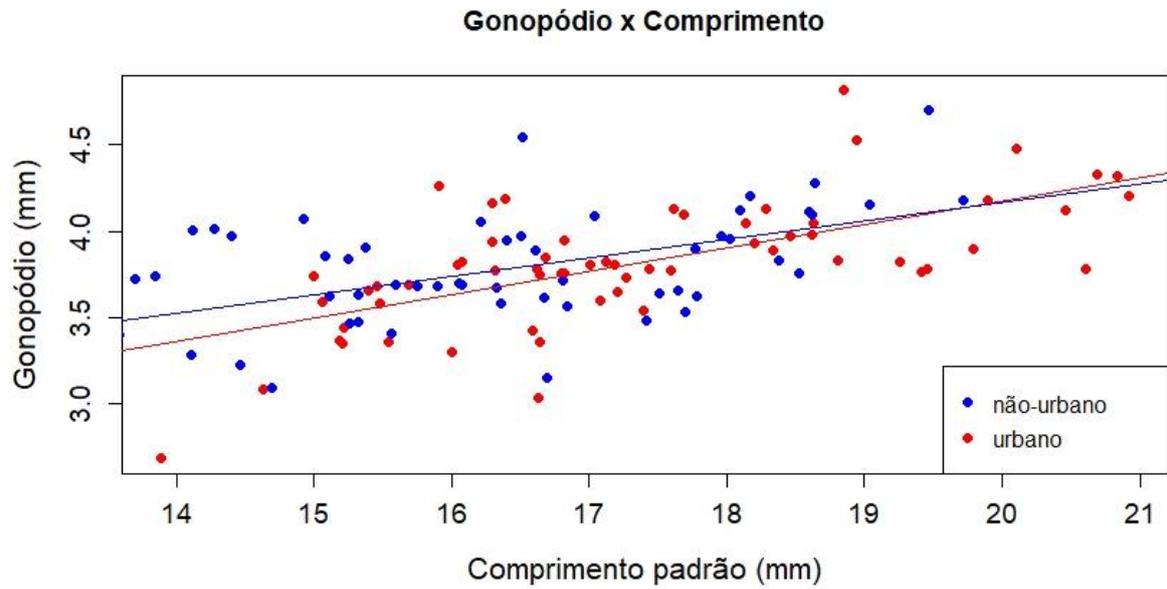
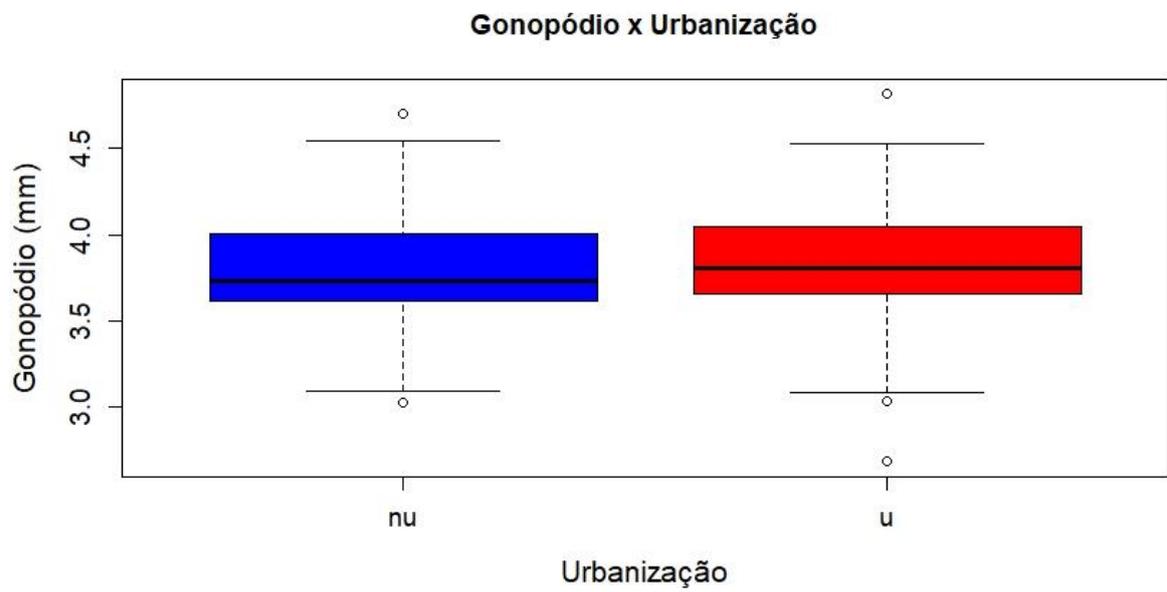


Figura 17 - Relação entre o tamanho do gonopódio (mm) e a urbanização para riachos urbanos (vermelho) e não-urbanos (azul).



3 DISCUSSÃO

Estudos acerca das características reprodutivas de *guppies* são abundantes em sua área de origem, principalmente na ilha de Trinidad (Magurran, 2005). Nessa região o enfoque tem sido investigar como as características sexuais desses organismos respondem às pressões ocasionadas pela seleção sexual e predação. Por ser uma espécie altamente tolerante, os *guppies* se tornaram invasores em diversos países, habitando inclusive riachos muito impactados pela urbanização (Carvalho *et al.*, 2017). O número de estudos sobre ecologia urbana vem aumentando ao longo dos anos na literatura científica, porém ainda se sabe pouco sobre a influência da urbanização sobre o genótipo e o fenótipo dos indivíduos.

No presente estudo, os resultados indicaram que a urbanização influencia na área de coloração iridescente dos *guppies*, sendo praticamente o dobro nas populações de ambientes urbanos em comparação aos ambientes não-urbanos, enquanto não tem influência sobre a quantidade de cor laranja presente no corpo e nem no tamanho do órgão sexual dos organismos. Tanto a coloração laranja como a iridescente são utilizadas na seleção sexual pré-copulatória.

Os resultados obtidos para a coloração corporal (área de iridescente e de laranja) não corroboraram o esperado, pois a hipótese inicial era de que machos de populações urbanas teriam menor quantidade de ambas as cores pelo fato de consumirem uma dieta pobre em algas, estarem expostos à alta turbidez e ocorrer um relaxamento da seleção sexual em função da alta densidade (machos apresentariam menos comportamento de corte, o que implicaria na menor importância da coloração (Jirotkul, 1999b)).

A coloração corporal é um sinal visual que pode ser afetado por diferentes condições ambientais. Um fator importante para que um sinal seja eficaz é o quão facilmente ele pode ser percebido, levando em consideração o ambiente em que o emissor e o receptor estão inseridos (Guilford & Dawkins, 1991). Adro'i *et al.* (2018) observaram que *guppies* residentes de riachos com águas mais turvas apresentavam maior quantidade de coloração iridescente no corpo. No presente estudo, a turbidez foi significativamente mais alta para os tratamentos urbanos (15.12 ± 5.62) em comparação aos não-urbanos (7.19 ± 1.49) (teste *t*, $t = -10.616$, $p = 3.51e-16$), porém a quantidade de área iridescente não foi explicada pela turbidez (GLMM, $t = -0.469$, $p = 0.639$). A dieta e a densidade dos organismos também não explicaram a prevalência da coloração iridescente em ambientes urbanos. Novas investigações são necessárias a fim de

compreender quais pressões seletivas estão influenciando tal coloração e se estas pressões estão diretamente relacionadas à urbanização ou à seleção sexual.

No caso da coloração laranja, sua expressão está diretamente associada ao consumo de carotenoides, que são provenientes de algas e tendem a ser escassos no ambiente (Endler, 1980; Kodric-Brown, 1989; Grether, 2000). A maior quantidade de laranja no corpo dos machos sinaliza sua melhor capacidade de forrageamento e melhores condições físicas (Nicoletto, 1991; Olson & Owens, 1998; Karino *et al.*, 2007), pois os carotenoides também são utilizados em vias imunológicas (Grether *et al.*, 2004; Kolluru *et al.*, 2006). Marques (2019) verificou que, nas populações de todos os riachos utilizados no presente trabalho, o item alimentar mais consumido pelos *guppies* foi o detrito. Carvalho *et al.* (2019) observaram que, em riachos não-poluídos, a maior parte do carbono assimilado por *P. reticulata* foi proveniente de algas, enquanto em riachos altamente poluídos, a maior parte do carbono assimilado foi oriundo do esgoto. No presente estudo não foram encontradas diferenças nas áreas de coloração laranja entre os ambientes urbanos e não-urbanos.

Estudos acerca da presença de carotenoides no esgoto são necessários, assim como, em caso positivo, se estão sendo assimilados pelos *guppies*. Considerando que *guppies* possam estar assimilando carotenoides diretamente do esgoto é plausível, pelo fato dos carotenoides não serem escassos no sistema, a coloração laranja no corpo dos animais não seria um indicativo adequado das boas condições físicas dos machos e, por essa razão, este seja um sinal menos importante para a seleção sexual pré-copulatória.

É possível que a cor laranja não seja chamativa em ambientes urbanos, enquanto cores iridescentes são. Outra possibilidade é que a coloração seja influenciada por outras variáveis não avaliadas no presente estudo. Lifshitz & St Clair (2016) compilaram dados dos efeitos de alguns produtos de origem antropogênica na coloração de diversas espécies. *Guppies* expostos a substâncias como estrogênio de origem farmacêutica, alguns tipos de pesticidas e componentes de origem industrial apresentaram uma redução no tamanho das manchas laranja. Novos estudos são necessários a fim de avaliar a presença de tais componentes nos riachos estudados.

Outra característica importante para o sucesso reprodutivo dos machos é o tamanho do órgão copulatório, que varia em função da estratégia reprodutiva utilizada. Machos que utilizam mais a estratégia de coerção tendem a ter gonopódios mais longos, enquanto machos que utilizam majoritariamente a estratégia de corte tendem a ter gonopódios mais curtos (Kelly *et*

al., 2000). Jirotkul (1999b) aponta que tais comportamentos de cópula são influenciados pela densidade da espécie nos riachos. Em altas densidades os machos apresentavam menos comportamento de corte em comparação a baixas densidades, porém a densidade teve apenas efeito marginal na quantidade de comportamento coercitivo (Jirotkul, 1999b).

No presente estudo, não houve diferença no tamanho dos gonopódios entre as populações dos riachos urbanos e não-urbanos, o que seria um *proxy* para o tipo de comportamento mais utilizado para cópula (Kelly *et al.*, 2000). Isso pode indicar que, apesar de a densidade ser significativamente mais alta em riachos urbanos em comparação aos riachos não-urbanos, nas populações estudadas é possível que os machos experimentem diferentes níveis de densidade em curtos períodos de tempo, o que os induz a variar na estratégia de cópula entre coerção em altas densidades e corte em baixas, pois um mesmo indivíduo pode utilizar as duas estratégias (Endler, 1987). Possivelmente por essa razão não há seleção para o aumento ou a diminuição dos gonopódios em nível populacional. As populações de *guppies* estudadas por Kelly *et al.* (2000) eram provenientes de ambientes de alta e baixa predação. É provável que o tamanho dos gonopódios tenha sido selecionado nessas populações pelo fato de a pressão de predação ser constante, independentemente da densidade, o que ocasiona maior utilização de uma única estratégia de cópula em detrimento da outra (no caso de localidades de alta predação a estratégia mais utilizada foi a coerção).

Assim como o presente estudo, Evans *et al.* (2011) também não observaram diferença significativa no tamanho dos gonopódios das populações de *guppies* de dois riachos – um de alta predação e outro de baixa –, apesar do tamanho do gonopódio estar relacionado com a estratégia de cópula mais utilizada pelos machos, e os autores saberem previamente que os machos do riacho de alta predação utilizavam majoritariamente a estratégia de coerção.

Mudanças nas características fenotípicas dos organismos são esperadas em função de diferentes pressões ambientais (Endler, 1980). Em ambientes urbanos tanto alterações morfológicas quanto comportamentais já foram registradas para diversos taxa, incluindo plantas (Thompson *et al.*, 2016), invertebrados (Schuett *et al.*, 2018) e vertebrados (Miranda *et al.*, 2013). Tanto transformações no ambiente físico quanto modificações em características reprodutivas são de especial interesse científico pois podem impactar os padrões de seleção sexual.

Ambientes urbanos são potencialmente responsáveis por taxas rápidas de especiação. Alguns estudos apontam a urbanização como filtro para características reprodutivas que afetam

e são afetadas pela seleção sexual (Thompson *et al.*, 2018; Marques *et al.*, 2019). Tais características podem ser alteradas a ponto de se tornarem barreiras reprodutivas, situação em que populações de uma mesma espécie residentes em diferentes localidades (nesse caso, locais urbanos e não-urbanos) não são capazes de reproduzir entre si (Thompson *et al.*, 2018).

Dois fatores também importantes são a existência de diferentes níveis de urbanização, assim como a grande variação de componentes antropogênicos potencialmente prejudiciais aos organismos de sistemas urbanos (Lifshitz & St Clair, 2016; Thompson *et al.*, 2018). É necessário que se compreenda quais interações estão ocorrendo em locais urbanizados, quais variáveis estão causando mais impacto nas espécies presentes e qual é a replicabilidade dos resultados obtidos, comparando-se a outras localidades urbanas.

CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou que a urbanização tem influência sobre a coloração iridescente dos indivíduos machos de *P. reticulata*, enquanto não influencia na coloração laranja e no tamanho do órgão sexual. Os machos de localidades urbanas apresentaram maiores áreas iridescentes no corpo, porém não foi possível identificar o mecanismo responsável por tal padrão.

A urbanização ocasiona um conjunto de alterações ambientais e pouco se sabe como afeta os organismos. Espera-se que seja responsável por taxas rápidas de mudanças fenotípicas e genotípicas, podendo inclusive gerar barreiras reprodutivas e consequente especiação. O presente estudo contribui para a compreensão de padrões relacionados às características sexuais de um organismo aquático invasor altamente abundante em ambientes urbanos.

A seleção sexual pré-copulatória depende diretamente da qualidade do meio para a expressão e recepção de informações. As alterações observadas no presente estudo podem estar diretamente relacionadas aos impactos urbanos (por exemplo presença de componentes tóxicos na água) ou indiretamente (por exemplo modificações causadas no sistema visual das fêmeas). É necessário que novos estudos sejam realizados em sistemas urbanos a fim de ampliar a compreensão sobre o assunto, considerando especialmente que o mundo se torna cada dia mais urbanizado.

PERSPECTIVAS

A partir dos resultados obtidos no presente estudo, torna-se fundamental que mais estudos sejam realizados a fim de investigar as seguintes questões:

- Como funciona a física da iridescência em ambientes aquáticos? Como as características físicas dos riachos urbanos influenciam a visualização das cores iridescentes, assim como de outras cores?
- Carotenoides estão presentes nos esgotos domésticos lançados em cursos d'água? Se sim, estes estão sendo assimilados pelos *guppies*?
- Quais as preferências das fêmeas de populações de localidades urbanas e não-urbanas com relação à coloração corporal? Elas tendem a preferir os machos da própria população a qual pertencem ou as preferências são compartilhadas, independentemente da população de origem?
- Como as estratégias de cópula (corte e coerção) estão sendo utilizadas nos riachos urbanos?
- A densidade dos *guppies* varia dentro de um mesmo riacho? Os indivíduos transitam entre poças de diferentes densidades?
- A coloração corporal em populações de riachos urbanos é uma característica plástica ou fixa?
- Qual a influência da urbanização no sistema visual das fêmeas?

REFERÊNCIAS

- Adro'i, H., Hariyanto, S., Ali, M., & Irawan, B. (2018, August). Phenotype variation of guppy fish (*Poecilia reticulata* W. Peters, 1859) population from different quality of aquatic environments in Surabaya, Indonesia. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2002, No. 1, p. 020028). AIP Publishing.
- Alberti, M., Correa, C., Marzluff, J. M., Hendry, A. P., Palkovacs, E. P., Gotanda, K. M., ... & Zhou, Y. (2017a). Global urban signatures of phenotypic change in animal and plant populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *114*(34), 8951-8956.
- Alberti, M., Marzluff, J., & Hunt, V. M. (2017b). Urban driven phenotypic changes: empirical observations and theoretical implications for eco-evolutionary feedback. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *372*(1712), 20160029.
- Andersson, M., & Simmons, L. W. (2006). Sexual selection and mate choice. *Trends in ecology & evolution*, *21*(6), 296-302.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B. & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, *67*(1), 1-48. doi:10.18637/jss.v067.i01.
- Brett, M. T., Arhonditsis, G. B., Mueller, S. E., Hartley, D. M., Frodge, J. D., & Funke, D. E. (2005). Non-point-source impacts on stream nutrient concentrations along a forest to urban gradient. *Environmental Management*, *35*(3), 330-342.
- Cadotte, M. W., Yasui, S. L. E., Livingstone, S., & MacIvor, J. S. (2017). Are urban systems beneficial, detrimental, or indifferent for biological invasion?. *Biological Invasions*, *19*(12), 3489-3503.
- de Carvalho, D. R., Leal, C. G., Junqueira, N. T., de Castro, M. A., Fagundes, D. C., Alves, C. B. M., Hughes, R. M. & Pompeu, P. S. (2017). A fish-based multimetric index for Brazilian savanna streams. *Ecological Indicators*, *77*, 386-396.
- de Carvalho, D. R., Flecker, A. S., Alves, C. B. M., Sparks, J. P., & Pompeu, P. S. (2019). Trophic responses to aquatic pollution of native and exotic livebearer fishes. *Science of The Total Environment*, *681*, 503-515.

- Cole, G. L., Lynn, J. C., Kranz, A. M., & Endler, J. A. (2019). Colour-based foraging diverges after multiple generations under different light environments. *Ethology*, *125*(4), 212-221.
- Devigili, A., Kelley, J. L., Pilastro, A., & Evans, J. P. (2013). Expression of pre-and postcopulatory traits under different dietary conditions in guppies. *Behavioral Ecology*, *24*(3), 740-749.
- Doucet, S. M., & Meadows, M. G. (2009). Iridescence: a functional perspective. *Journal of The Royal Society Interface*, *6*(suppl_2), S115-S132.
- Ducatez, S., Audet, J. N., Rodriguez, J. R., Kayello, L., & Lefebvre, L. (2017). Innovativeness and the effects of urbanization on risk-taking behaviors in wild Barbados birds. *Animal cognition*, *20*(1), 33-42.
- Dunkle, E. (2019). The impacts of urbanization on ground beetle functional traits (Coleoptera: Carabidae) (Doctoral dissertation, The Ohio State University).
- Endler, J. A. (1980). Natural selection on color patterns in *Poecilia reticulata*. *Evolution*, *34*(1), 76-91.
- Endler, J. A. (1987). Predation, light intensity and courtship behaviour in *Poecilia reticulata* (Pisces: Poeciliidae). *Animal Behaviour*, *35*(5), 1376-1385.
- Evans, J. P., Gasparini, C., Holwell, G. I., Ramnarine, I. W., Pitcher, T. E., & Pilastro, A. (2011). Intraspecific evidence from guppies for correlated patterns of male and female genital trait diversification. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *278*(1718), 2611-2620.
- Evans, J. P., & Garcia-Gonzalez, F. (2016). The total opportunity for sexual selection and the integration of pre-and post-mating episodes of sexual selection in a complex world. *Journal of evolutionary biology*, *29*(12), 2338-2361.
- Francis, R. A., & Chadwick, M. A. (2015). Urban invasions: non-native and invasive species in cities. *Geography*, *100*, 144.
- Ghalambor, C. K., Hoke, K. L., Ruell, E. W., Fischer, E. K., Reznick, D. N., & Hughes, K. A. (2015). Non-adaptive plasticity potentiates rapid adaptive evolution of gene expression in nature. *Nature*, *525*(7569), 372.

- Giraudeau, M., Chavez, A., Toomey, M. B., & McGraw, K. J. (2015). Effects of carotenoid supplementation and oxidative challenges on physiological parameters and carotenoid-based coloration in an urbanization context. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 69(6), 957-970.
- Gordon, S. P., Hendry, A. P., & Reznick, D. N. (2017). Predator-induced contemporary evolution, phenotypic plasticity, and the evolution of reaction norms in guppies. *Copeia*, 105(3), 514-522.
- Grether, G. F. (2000). Carotenoid limitation and mate preference evolution: a test of the indicator hypothesis in guppies (*Poecilia reticulata*). *Evolution*, 54(5), 1712-1724.
- Grether, G. F., Kasahara, S., Kolluru, G. R., & Cooper, E. L. (2004). Sex-specific effects of carotenoid intake on the immunological response to allografts in guppies (*Poecilia reticulata*). *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 271(1534), 45-49.
- Guilford, T., & Dawkins, M. S. (1991). Receiver psychology and the evolution of animal signals. *Animal behaviour*, 42(1), 1-14.
- Gurnell, A., Lee, M., & Souch, C. (2007). Urban rivers: hydrology, geomorphology, ecology and opportunities for change. *Geography compass*, v. 1, n. 5, p. 1118-1137, 2007.
- Houde, A. E., & Torio, A. J. (1992). Effect of parasitic infection on male color pattern and female choice in guppies. *Behavioral Ecology*, 3(4), 346-351.
- Hutton, P., & McGraw, K. J. (2016). Urban impacts on oxidative balance and animal signals. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 4, 54.
- Jirotkul, M. (1999a). Operational sex ratio influences female preference and male-male competition in guppies. *Animal Behaviour*, 58(2), 287-294.
- Jirotkul, M. (1999b). Population density influences male-male competition in guppies. *Animal Behaviour*, 58(6), 1169-1175.
- Johnson, P. T., Townsend, A. R., Cleveland, C. C., Glibert, P. M., Howarth, R. W., McKenzie, V. J., ... & Ward, M. H. (2010). Linking environmental nutrient enrichment and disease emergence in humans and wildlife. *Ecological Applications*, 20(1), 16-29.
- Karino, K., Shinjo, S., & Sato, A. (2007). Algal-searching ability in laboratory experiments reflects orange spot coloration of the male guppy in the wild. *Behaviour*, 101-113.

- Kelly, C. D., Godin, J. G. J., & Abdallah, G. (2000). Geographical variation in the male intromittent organ of the Trinidadian guppy (*Poecilia reticulata*). *Canadian Journal of Zoology*, 78(9), 1674-1680.
- Kodric-Brown, A. (1985). Female preference and sexual selection for male coloration in the guppy (*Poecilia reticulata*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 17(3), 199-205.
- Kodric-Brown, A. (1989). Dietary carotenoids and male mating success in the guppy: an environmental component to female choice. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 25(6), 393-401.
- Kolluru, G. R., Grether, G. F., South, S. H., Dunlop, E., Cardinali, A., Liu, L., & Carapiet, A. (2006). The effects of carotenoid and food availability on resistance to a naturally occurring parasite (*Gyrodactylus turnbulli*) in guppies (*Poecilia reticulata*). *Biological Journal of the Linnean Society*, 89(2), 301-309.
- Kranz, A. M., Cole, G. L., Singh, P., & Endler, J. A. (2018). Colour pattern component phenotypic divergence can be predicted by the light environment. *Journal of evolutionary biology*, 31(10), 1459-1476.
- Le Maitre, D. C., Richardson, D. M., & Chapman, R. A. (2004). Alien plant invasions in South Africa: driving forces and the human dimension: working for water. *South African Journal of Science*, 100(1-2), 103-112.
- Lifshitz, N., & St Clair, C. C. (2016). Coloured ornamental traits could be effective and non-invasive indicators of pollution exposure for wildlife. *Conservation physiology*, 4(1), cow028.
- Magris, M., Chimetto, G., Rizzi, S., & Pilastro, A. (2018). Quick-change artists: male guppies pay no cost to repeatedly adjust their sexual strategies. *Behavioral Ecology*, 29(5), 1113-1123.
- Magurran, A. E. (2005). *Evolutionary ecology: the Trinidadian guppy*. Oxford University Press on Demand.
- Marques, P. S. (2019). Characterizing the effects of urbanization on stream biota using a trait-based approach. Tese de doutorado. University of Victoria.
- Marques, P. S., Manna, L. R., Mazzoni, R., & El-Sabaawi, R. (2019). Intraspecific trait variation in urban stream ecosystems: toward understanding the mechanisms shaping urban stream communities. *Freshwater Science*, 38(1), 1-11.

- Mazzoni, R., Fenerich-Verani, N., & Caramaschi, E. P. (2000). Electrofishing as a sampling technique for coastal stream fish populations and communities in the southeast of Brazil. *Revista Brasileira de Biologia*, 60(2), 205-216.
- McDonnell, M. J., & Hahs, A. K. (2015). Adaptation and adaptedness of organisms to urban environments. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 46, 261-280.
- McKinney, M. L. (2002). Urbanization, Biodiversity, and Conservation. *Bioscience*, 52(10), 883-890.
- Merritt R.W. & Cummins K.W. (1996). *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Kendall Hunt.
- Miguel-Chinchilla, L., Heasley, E., Loiselle, S., & Thornhill, I. (2019). Local and landscape influences on turbidity in urban streams: a global approach using citizen scientists. *Freshwater Science*, 38(2), 303-320.
- Miranda, A. C., Schielzeth, H., Sonntag, T., & Partecke, J. (2013). Urbanization and its effects on personality traits: a result of microevolution or phenotypic plasticity?. *Global change biology*, 19(9), 2634-2644.
- Mugnai R., Nessimian J.L. & Baptista D.F. (2010). *Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do Estado do Rio de Janeiro*. Technical Books, Rio de Janeiro.
- Nicoletto, P. F. (1991). The relationship between male ornamentation and swimming performance in the guppy, *Poecilia reticulata*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 28(5), 365-370.
- Olson, V. A., & Owens, I. P. (1998). Costly sexual signals: are carotenoids rare, risky or required?. *Trends in Ecology & Evolution*, 13(12), 510-514.
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D., R Core Team. (2019). nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-142, <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>.
- RStudio Team (2016). *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Schindelin, J., Arganda-Carreras, I., Frise, E., Kaynig, V., Longair, M., Pietzsch, T., ... & Tinevez, J. Y. (2012). Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nature methods*, 9(7), 676-682.

- Schuett, W., Delfs, B., Haller, R., Kruber, S., Rooffs, S., Timm, D., Willmann, M. & Drees, C. (2018). Ground beetles in city forests: does urbanization predict a personality trait?. *PeerJ*, 6, e4360.
- Silva, W. L., Dereczynski, C., Chou, S. C., & Cavalcanti, I. (2014). Future changes in temperature and precipitation extremes in the state of Rio de Janeiro (Brazil). *American Journal of Climate Change*, 3(04), 353.
- Sol, D., Maspons, J., Gonzalez-Voyer, A., Morales-Castilla, I., Garamszegi, L. Z., & Møller, A. P. (2018). Risk-taking behavior, urbanization and the pace of life in birds. *Behavioral ecology and sociobiology*, 72(3), 59.
- Thompson, K. A., Renaudin, M., & Johnson, M. T. (2016). Urbanization drives the evolution of parallel clines in plant populations. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1845), 20162180.
- Thompson, K. A., Rieseberg, L. H., & Schluter, D. (2018). Speciation and the City. *Trends in ecology & evolution*, 33(11), 815-826.
- United Nations. (2014). World urbanization prospects: the 2014 revision, highlights (ST/ESA/SER.A/352). Population Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations, New York. (Available from: <https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-highlights.pdf>)
- Walsh, C. J., Roy, A. H., Feminella, J. W., Cottingham, P. D., Groffman, P. M., & Morgan, R. P. (2005). The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. *Journal of the North American Benthological Society*, 24(3), 706-723.
- Zahavi, A. (1975). Mate selection—a selection for a handicap. *Journal of theoretical Biology*, 53(1), 205-214.
- Zanatta, N., Pazianoto, L. H. R., de Mello Cioneck, V., Sacramento, P. A., & Benedito, E. (2017). Population structure of fishes from an urban stream. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 39(1), 27-34.
- Zandona, E., Auer, S. K., Kilham, S. S., Howard, J. L., López-Sepulcre, A., O'Connor, M. P., Bassar, R. D., Osorio, A., Pringle, C. M. & Reznick, D. N. (2011). Diet quality and prey selectivity correlate with life histories and predation regime in Trinidadian guppies. *Functional Ecology*, 25(5), 964-973.

Zandonà, E., Auer, S. K., Kilham, S. S., & Reznick, D. N. (2015). Contrasting population and diet influences on gut length of an omnivorous tropical fish, the Trinidadian guppy (*Poecilia reticulata*). *PLoS One*, 10(9), e0136079.

Zippin, C. (1958). The removal method of population estimation. *The Journal of Wildlife Management*, 22(1), 82-90.

ANEXO A – Análise de Componentes Principais (PCA) riachos urbanos X não-urbanos

Table B2. Environmental variables used in the PCA between urban stream reaches (ANC=Antes Comu, CAR=Carioca, CATO=Catonho, ELSU=Eldo sujo, FLOR=Floresta, WPS= Water Planet sujo) and non-urban stream reaches (CAML=Camorim limpo, ELLI=Eldo limpo, JOA=Joana, TNG=Tingui, UBA=Ubatiba, WPL=Water Planet limpo). Where, URB=urbanization, BIO=fish biodiversity (GO=guppy only, GF=guppy co-occurring with competitors and predators), CON=Specific conductivity (Spec $\mu\text{S}/\text{cm}$), TEM=Temperature ($^{\circ}\text{C}$), DO= Dissolved oxygen (mg/L), CA=canopy cover (%), FC= fecal coliforms (*E. coli*, MPN/100mL), NH_4 = Ammonium concentration ($\mu\text{g}/\text{L}$) and sampling year (YR). Values represent averages only when followed by brackets with standard error (3-4 replicates).

Site	Origin	BIO	pH	CON	TEM	DO	CAN	FC	NH_4	YR
ANC	urban	GF	6.4	179.9	23.1	6.9	57.2(8.6)	913900	897.7(9.4)	2016
ANC	urban	GF	5.6(0.03)	113.1(1.2)	24.5(0.05)	3.9(0.35)	58.8(10.8)	75300	425.5(13.7)	2017
CAML	non-urban	GF	6.4	179.8	22.7	8.3	94.8(0.9)	6700	7.8(2.3)	2016
CAML	non-urban	GF	6.3(0.04)	109.6(15.7)	24.8(0)	7.8(0.64)	96.5(0.6)	727	28.3(1.8)	2017
CAR	urban	GO	6.2	518	24.9	6	99(0.1)	280900	2760.5(13.6)	2016
CAR	urban	GO	7.1(0.13)	482(6.7)	26.9(0.11)	1.4(0.39)	97.6(1.6)	280900	12829.8(59.4)	2017
CATO	urban	GO	7.2(0.02)	369.4(14.9)	27.5(0.17)	3.2(0.01)	71.5(4)	43660	3399.2(2370.1)*	2017
ELLI	non-urban	GO	7.1	460	22.7	8.1	94.2(0.7)	5910	29.4(8.2)	2016
ELLI	non-urban	GO	6.2(0.11)	188.1(0.3)	27(0.12)	6.5(1.2)	98.4(0.7)	18.7	10.3(0.6)	2017
ELSU	urban	GO	7.1	736	25.4	4.4	96.8(1.1)	5210	2548.5(61.3)	2016
ELSU	urban	GO	6.2(0.07)	251.3(13.1)	27.5(1)	1.2(0.4)	95.6(2.3)	5210	583(25.9)	2017
FLOR	urban	GF	6.4	361.5	27.2	6	84.5(3.9)	24200	1655(103.5)	2016
FLOR	urban	GF	6.4(0.11)	219.7(13.2)	26.5(0.03)	1.6(0.45)	79(4.1)	36090	1645.6(72.1)	2017
JOA	non-urban	GO	5.8	234.7	22.1	8.1(0.1)*	95(1.8)	256	14.3(4.4)	2016
TNG	non-urban	GF	7.2(0.18)	108.4(0.9)	28.5(0.04)	7.3(1.29)	95.8(0.6)	882	9.2(1)	2017
UBA	non-urban	GF	5.8(0.05)	79.2(2.5)	28.3(0.09)	7.4(0.4)	92.8(1.4)	134	11.7(0.8)	2017
WPL	non-urban	GO	5.6	105.5	22.4	7.9	85.8(4.1)	1460	7.6(6)	2016
WPL	non-urban	GO	5.9(0.12)	62.9(0.1)	25.9(0.05)	12.6(0.1)	90.8(3)	125	22(3.3)	2017
WPS	urban	GF	5.9	354	25	4.2	62.4(13.4)	3000	2699.1(23.4)	2016
WPS	urban	GF	7.1(0.08)	462.9(7.4)	28.3(0.09)	3.7(0.24)	79.4(11.6)	396800	1512.1(9.3)	2017

*value estimated on the average among all reaches with the same origin on the same year.

Fonte: Marques, 2019

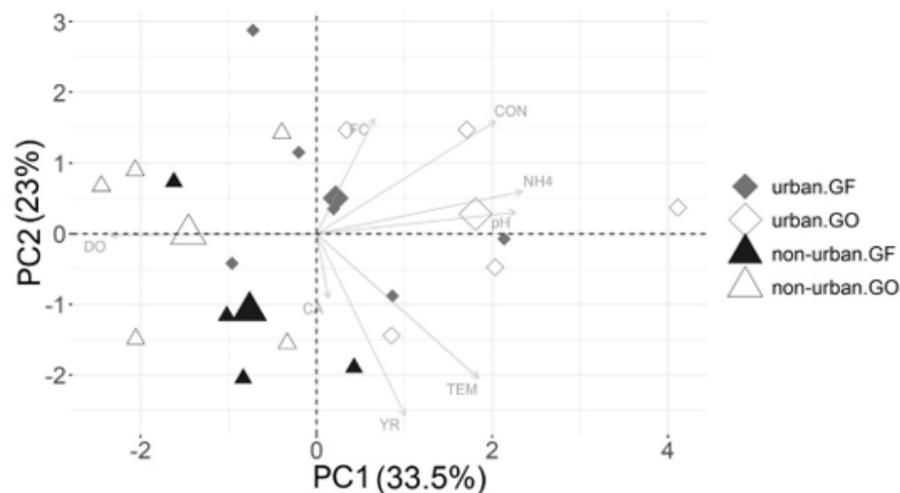


Figure 3. 1. Principal Component Analysis (PCA) showing urban reaches where guppies co-occur with other fish species (increased competition and predation, solid black diamonds, urban.GF), urban reaches where guppies are the only fish species (reduced competition and predation, hollow black diamonds, urban.GO), non-urban reaches where guppies co-occur with other fish species (increased competition and predation, solid grey triangles, non-urban.GF) and non-urban reaches where guppies are the only fish species (reduced competition and predation, hollow grey triangles, non-urban.GO). Large symbols represent the mean for all the reaches in each condition. The analysis is based on the environmental variables: CON=Specific conductivity (Spec $\mu\text{S}/\text{cm}$), TEM=Temperature ($^{\circ}\text{C}$), DO= Dissolved oxygen (mg/L), CA=canopy cover (%), FC= fecal coliforms (*E. coli*, MPN/100mL), NH_4 = Ammonium concentration ($\mu\text{g}/\text{L}$) and sampling year (YR).

Fonte: Marques, 2019

Table B3. Principal components analysis (PCA) showing the eigenvalues (Eig), variance (Var) and cumulative variance (C.var) that each principal component (PC1-8) explain. The contribution of each environmental variable to each component is also shown where CON=Specific conductivity (Spec μ S/cm), TEM=Temperature ($^{\circ}$ C), DO= Dissolved oxygen (mg/L), CA=canopy cover (%), FC= fecal coliforms (*E. coli*, MPN/100mL), NH₄= Ammonium concentration (μ g/L) and sampling year (YR).

	Principal components			Contribution of each variable (%)							
	Eig	Var (%)	C.var (%)	Ph	CON	TEM	DO	CA	NH ₄	FC	YR
PC1	2.7	33.494	33.4944	20.4	16.6	13.5	21.9	0.07	21.8	1.71	4.02
PC2	1.8	23.044	56.5381	0.53	14.8	24.2	0	4.77	2.08	15.4	38.3
PC3	1.5	18.257	74.7955	5.29	10.6	0.8	5.92	50.2	0	21.3	5.96
PC4	0.8	9.5545	84.3499	26.2	1.64	2.14	28.5	2.32	3.67	33.9	1.69
PC5	0.6	7.1756	91.5255	12	6.91	4.24	2.21	14.4	50.8	6.92	2.46
PC6	0.3	3.8256	95.3512	27.2	6.46	20.7	2.89	13.3	8.65	16.7	4.11
PC7	0.2	3.1218	98.4729	2.71	3.23	26.7	32	13.9	11.8	4.03	5.73
PC8	0.1	1.5271	100	5.68	39.8	7.71	6.62	1.02	1.24	0.12	37.8

Fonte: MARQUES, 2019

ANEXO B – Análise do conteúdo estomacal

Tabela 1. Resultados da análise do conteúdo estomacal.

Indivíduo	Riacho	Urbanização	Proporção de invertebrados	Proporção de algas
1	Eldorado Limpo	NU	0.051282051	0
2	Eldorado Limpo	NU	0	0
3	Eldorado Limpo	NU	0	0
4	Eldorado Limpo	NU	1	0
5	Eldorado Limpo	NU	0.6	0
6	Eldorado Limpo	NU	0.942028986	0
7	Eldorado Limpo	NU	0.817232376	0
8	Eldorado Limpo	NU	0.970149254	0
9	Eldorado Limpo	NU	0.746031746	0
10	Eldorado Limpo	NU	0.8	0
11	Eldorado Limpo	NU	0	0
12	Eldorado Limpo	NU	0.896551724	0
13	Eldorado Limpo	NU	0.142857143	0
14	Eldorado Limpo	NU	0.815028902	0
15	Eldorado Limpo	NU	0.206896552	0
16	Eldorado Limpo	NU	0	0
17	Eldorado Limpo	NU	0.8	0
1	WaterPlanet Limpo	NU	0.277056277	0
2	WaterPlanet Limpo	NU	0.215189873	0
3	WaterPlanet Limpo	NU	0	0
4	WaterPlanet Limpo	NU	0.981132075	0
5	WaterPlanet Limpo	NU	0.549019608	0
6	WaterPlanet Limpo	NU	0.567901235	0
7	WaterPlanet Limpo	NU	0.091847408	0.00048409
8	WaterPlanet Limpo	NU	0.40433213	0
9	WaterPlanet Limpo	NU	0.139627498	0.00135985
10	WaterPlanet Limpo	NU	0.594082603	0.004284089
11	WaterPlanet Limpo	NU	0.819325803	0
12	WaterPlanet Limpo	NU	0	0.018434534
13	WaterPlanet Limpo	NU	0.565656566	0.01010101
14	WaterPlanet Limpo	NU	0.833333333	0
15	WaterPlanet Limpo	NU	0	0.0000438
16	WaterPlanet Limpo	NU	0.01711473	0.02018169
17	WaterPlanet Limpo	NU	1	0
18	WaterPlanet Limpo	NU	0.392156863	0
19	WaterPlanet Limpo	NU	0.25	0
20	WaterPlanet Limpo	NU	0.065217391	0

1	Carioca Sujo	U	0.380952381	0
2	Carioca Sujo	U	0.868421053	0
3	Carioca Sujo	U	0.827586207	0
4	Carioca Sujo	U	0.7625	0
5	Carioca Sujo	U	0.842105263	0
6	Carioca Sujo	U	0.6	0
7	Carioca Sujo	U	0	0
8	Carioca Sujo	U	0.927927928	0
9	Carioca Sujo	U	1	0
10	Carioca Sujo	U	0	0
11	Carioca Sujo	U	0.32	0
12	Carioca Sujo	U	0	0
13	Carioca Sujo	U	0.673469388	0
14	Carioca Sujo	U	0.981818182	0
15	Carioca Sujo	U	0.761904762	0
1	Eldorado Sujo	U	0	0
2	Eldorado Sujo	U	1	0
3	Eldorado Sujo	U	0.727272727	0
4	Eldorado Sujo	U	0	0
5	Eldorado Sujo	U	1	0
6	Eldorado Sujo	U	0	0
7	Eldorado Sujo	U	0.876712329	0
8	Eldorado Sujo	U	1	0
9	Eldorado Sujo	U	1	0
10	Eldorado Sujo	U	1	0
11	Eldorado Sujo	U	0	0
1	Catonho Sujo	U	0	0.000654117
2	Catonho Sujo	U	1	0
3	Catonho Sujo	U	0.214285714	0
4	Catonho Sujo	U	0	0
5	Catonho Sujo	U	0	0
6	Catonho Sujo	U	1	0.212472113
7	Catonho Sujo	U	0	0
8	Catonho Sujo	U	0	0
9	Catonho Sujo	U	0.5	0.8
10	Catonho Sujo	U	0.3359375	0.242937853
11	Catonho Sujo	U	0	0
12	Catonho Sujo	U	2	1
13	Catonho Sujo	U	0.999203747	0.000796253