



Universidade Católica de Goiás
Pró-Reitoria de Pós Graduação e Pesquisa
Mestrado em Genética

**ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS GENÉTICOS DE CARACTERES
MORFOMÉTRICOS EM GUPPY (*Poecilia reticulata*)**

Goiânia – 2008



Universidade Católica de Goiás
Pró-Reitoria de Pós Graduação e Pesquisa
Mestrado em Genética

**ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS GENÉTICOS DE CARACTERES
MORFOMÉTRICOS EM GUPPY (*Poecilia reticulata*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Genética da Universidade Católica de Goiás, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Genética.

Orientando: Jefferson Mendes Gomide.

Orientador: Dr. Breno de Faria Vasconcellos, Ph.D.

Goiânia – 2008

G633e Gomide, Jefferson Mendes.
Estimativa dos parâmetros genéticos de caracteres
morfométricos em guppy (*Poecilia reticulata*) / Jefferson
Mendes Gomide. – 2008.

47 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Católica de Goiás,
2008.

“Orientador: Prof. Dr. Breno de Faria Vasconcellos”.

1. Guppies – guppy – *Poecilia reticulata* – análise de
variância – MDE. 2. Mutação – deriva genética – invasão –
novos ambientes. I. Título.

CDU: 575.224:597.5(043.3)



UNIVERSIDADE
Católica
DE GOIÁS

PRÓ-REITORIA DE
PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

Av. Universitária, 1069 • Setor Universitário

Caixa Postal 86 • CEP 74605-010

Goiânia • Goiás • Brasil

Fone: (62) 3227.1071 • Fax: (62) 3227.1073

www.ucg.br • heck@ucg.br

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM GENÉTICA
DEFENDIDA EM 17 DE DEZEMBRO DE 2008 E APROVADA
PELA BANCA EXAMINADORA COM A NOTA**

...8,0... (..... Oito inteiros.....)

.....
Dr. Breno de Faria Vasconcellos – MGene/UCG
(Presidente Orientador)

.....
Dr^a. Flávia de Melo Rodrigues – MGene/UCG
(Membro Interno)

.....
Dr. Nelson Jorge da Silva Júnior – MCAS/UCG
(Membro Externo)

"Ser rico não é a coisa mais importante do mundo; por isso, não use todo o seu tempo e toda a sua inteligência para ganhar dinheiro. Para que se dedicar tanto às riquezas? Elas desaparecem num instante, como um pássaro que voa para longe." Provérbios 23:4 e 5

"Buscai em primeiro lugar o Reino dos Céus, e as outras coisas vos serão acrescentadas..." Mateus 5 (Jesus no sermão do monte).

Agradecimentos

Agradeço a Deus que me criou para adorá-lo e espero que este mestrado sirva para de uma forma ou de outra, amar mais as pessoas e compreendê-las.

Agradeço à minha esposa Alessandra Oliveira César Mendes que sempre me incentivou e suportou em mais essa caminhada e aos meus filhos Nathan César Mendes e Alexandre César Mendes, que mesmo impacientes e desejosos esperavam o pai para um abraço, beijos, brincadeiras e passeios, passeios estes que muitas vezes não ocorreram.

Agradeço à minha mãe Emidia Mendes do Nascimento por ter procurado da melhor maneira possível fazer de mim um homem realizado e melhor.

Agradeço ao meu grande amigo (Peixoto) Dr. Aparecido Divino da Cruz, Ph.D., por me mostrar o caminho e me estender a mão sempre que preciso.

Agradeço ao meu amigo e orientador Dr. Breno de Faria Vasconcellos, Ph.D., por horas de auxílio e paciência em todos os momentos.

Agradeço ao Dr. José Alexandre Filizola Diniz Filho, Ph.D., ao Dr. Nelson Jorge da Silva Júnior e a Dra. Flávia Melo Rodrigues, PhD., pela alegria em ajudar.

Agradeço aos meus amigos Cláudio Carlos da Silva, M.Sc., Dr. Flávio Monteiro Ayres, Dra. Vera Aparecida Saddi e Dra. Mariana Pires de Campos Telles pela ajuda e incentivo.

Às meninas do Departamento de Biologia: Ana Flávia, Dona Josina, Amanda, Ivete, Juliana e minha mãezinha Nedirce, sempre alegres em nos atender bem e ao Amigo Roberto Carlos pelo apoio.

Aos meus colegas do mestrado que trilharam juntos essa jornada.

Agradeço à Universidade Católica de Goiás, que é uma instituição séria e realmente teve um papel fundamental no meu desenvolvimento cognitivo e profissional.

Sumário

1. Introdução	07
2. Objetivos	08
3. Revisão de literatura	09
3.1 Genética e evolução	09
3.2 <i>Poecilia reticulata</i> (Guppy)	15
4. Materiais e métodos da pesquisa	18
4.1 Materiais	18
4.2 Métodos	18
4.3 Local de coleta	18
4.3.1 Bacia do rio Tocantins: características físicas e geográficas	20
4.3.2 Bacia do rio Paranaíba: características físicas e geográficas	21
4.3.3 Pontos de coleta	22
4.3.4 Medidas	24
4.3.5 Análise	26
5. Resultados e discussão	28
6. Conclusão	34
Referências bibliográficas	35
Anexos	38
Artigo	42

Lista de Figuras

Figura 1 – Bacias Hidrográficas do estado de Goiás	19
Figura 2 – Ponto de coleta em Goiânia	22
Figura 3 – Ponto de coleta em Caldas Novas	23
Figura 4 – Ponto de coleta em Pirenópolis	23
Figura 5 – Modelo de medidas em peixes, vista lateral	24
Figura 6 – Modelo de medidas em peixes, vista dorsal	25
Figura 7 – Diferença morfológica de gênero entre as espécies	25

Listas de Tabelas

Tabela I. Resumo do quadro de análise de variância das características avaliadas nos Guppies (<i>Poecilia reticulata</i>)	28
Tabela II. Médias das características avaliadas entre machos e fêmeas por ponto de coleta	30
Tabela III. Grau de divergência e limites L1 (superior) e L2 (inferior) de confiança entre as três populações coletadas, estimando 160 gerações	32
Tabela IV – Variância (quadrado médio) entre as três populações após t gerações, observando o tempo necessário para o processo estocástico de evolução neutra ao longo deste intervalo de tempo. Machos e fêmeas foram analisados separadamente	33

Lista de Anexos

Anexo a – ANOVA comparando comprimento padrão com local, sexo e interações de espécies de <i>Poecilia reticulata</i>, base para computar o MDE. Os valores de SQ, GL, QM, F, valor-P e F-crítico referem-se, respectivamente, à soma de quadrados, graus de liberdade, quadrado médio (variância) e a estatística F, valores de P e F crítico	38
Anexo b – ANOVA comparando tamanho do olho com local, sexo e interações de espécies de <i>Poecilia reticulata</i>, base para computar o MDE. Os valores de SQ, GL, QM, F, valor-P e F-crítico referem-se, respectivamente, à soma de quadrados, graus de liberdade, quadrado médio (variância) e a estatística F, valores de P e F crítico	38
Anexo c – ANOVA comparando altura do corpo com local, sexo e interações de espécies de <i>Poecilia reticulata</i>, base para computar o MDE. Os valores de SQ, GL, QM, F, valor-P e F-crítico referem-se, respectivamente, à soma de quadrados, graus de liberdade, quadrado médio (variância) e a estatística F, valores de P e F crítico	38
Anexo d – ANOVA comparando distância pré-dorsal com local, sexo e interações de espécies de <i>Poecilia reticulata</i>, base para computar o MDE. Os valores de SQ, GL, QM, F, valor-P e F-crítico referem-se, respectivamente, à soma de quadrados, graus de liberdade, quadrado médio (variância) e a estatística F, valores de P e F crítico	39
Anexo e – ANOVA comparando comprimento do focinho com local, sexo e interações de espécies de <i>Poecilia reticulata</i>, base para computar o MDE. Os valores de SQ, GL, QM, F, valor-P e F-crítico referem-se, respectivamente, à soma de quadrados, graus de liberdade, quadrado médio (variância) e a estatística F, valores de P e F crítico	39
Anexo f – ANOVA comparando comprimento da cabeça com local, sexo e interações de espécies de <i>Poecilia reticulata</i>, base para computar o MDE. Os valores de SQ, GL, QM, F, valor-P e F-crítico referem-se, respectivamente, à soma de quadrados, graus de liberdade, quadrado médio (variância) e a estatística F, valores de P e F crítico	39
Anexo g – ANOVA comparando peso em gramas com local, sexo e interações de espécies de <i>Poecilia reticulata</i>, base para computar o MDE. Os valores de SQ, GL, QM, F, valor-P e F-crítico referem-se, respectivamente, à soma de quadrados, graus de liberdade, quadrado médio (variância) e a estatística F, valores de P e F crítico	40

Anexo h – ANOVA comparando distância interorbital com local, sexo e interações de espécies de <i>Poecilia reticulata</i>, base para computar o MDE. Os valores de SQ, GL, QM, F, valor-P e F-crítico referem-se, respectivamente, à soma de quadrados, graus de liberdade, quadrado médio (variância) e a estatística F, valores de P e F crítico	40
Anexo i – ANOVA comparando comprimento do pedúnculo caudal com local, sexo e interações de espécies de <i>Poecilia reticulata</i>, base para computar o MDE. Os valores de SQ, GL, QM, F, valor-P e F-crítico referem-se, respectivamente, à soma de quadrados, graus de liberdade, Quadrado médio (variância) e a estatística F, valores de P e F crítico	40
Anexo j – ANOVA comparando altura do pedúnculo caudal com local, sexo e interações de espécies de <i>Poecilia reticulata</i>, base para computar o MDE. Os valores de SQ, GL, QM, F, valor-P e F-crítico referem-se, respectivamente, à soma de quadrados, graus de liberdade, Quadrado médio (variância) e a estatística F, valores de P e F crítico	41

Lista de Siglas e Abreviaturas

1. **MDE** - equilíbrio entre mutação e deriva genética (*mutation-drift equilibrium model*)
2. **f** - Coeficiente de endogamia
3. **(1 - f) V_A** - Estimativa da variância genética aditiva (endogamia)
4. **V_A** - Variância genética aditiva
5. **F** - Divergência evolutiva ou estatística F.
6. **S²_A/2t V_m** - Fórmula para calcular a hipótese nula de que a divergência entre as populações ocorreu por acaso em função do tempo.
7. **S²_A** - Variância “entre” populações após **t** gerações
8. **t** - Tempo em gerações.
9. **V_m** - Variância mutacional.
10. **V_E** - Variância ambiental.
11. **QM_E** - Quadrado médio.
12. **L₁** - Limite superior do intervalo de confiança.
13. **L₂** - Limite inferior do intervalo de confiança.

Resumo

A invasão de novos ambientes se relaciona com a variabilidade genética das espécies. O *Guppy* (***Poecilia reticulata***) é uma destas espécies introduzidas acidentalmente ou artificialmente, advindo de várias populações de cativeiro em todo o mundo. Em alguns países, estas introduções se deram várias vezes, particularmente para o controle do crescimento de mosquitos transmissores de doenças, em lagos e pequenos riachos nos países tropicais. O *Guppy* se alimenta das larvas desses mosquitos, impedindo que cheguem à fase adulta. Devido à necessidade de se obter uma maior compreensão da diferenciação de populações introduzidas, e com isto poder reduzir o impacto da introdução de espécies exóticas, já que é a terceira causa de extinção de espécies nativas, foram coletadas três populações em cidades diferentes do estado de Goiás, e as suas características métricas analisadas. A análise procurou determinar a taxa de divergência, entre populações de vida livre, que contribuirá para a compreensão do processo de colonização dos ambientes naturais por esta espécie exótica. Os resultados indicaram que a divergência entre as populações analisadas, para a maioria das características é muito grande, ou seja, a taxa de divergência é maior do que a esperada pela evolução neutra, de modo que seleção direcional deve estar atuando sobre estas características.

Palavras-chave: Guppy, Guppies, ***Poecilia reticulata***, análise de variância, MDE, invasão de novos ambientes

Abstract

Key words: Guppy, guppies, *Poecilia reticulata*, analysis of variance, MDE, breaking into new environments.

The invasion of new environments is related to the genetic variability of the species. The guppy (*Poecilia reticulata*) is a species introduced accidentally or artificially, arisen from different populations of captivity around the world. In some countries, these introductions are made repeatedly, particularly to control the growth of disease-transmitting mosquitoes in small lakes and streams in tropical countries. The Guppy is feeding the larvae of mosquitoes, preventing it from coming into adult life. Because of the need to obtain a better understanding of the differentiation of introduced populations, and this may reduce the impact of the introduction of exotic species, since it is the third leading cause of extinction of native species, three populations in different cities of the state of Goias were collected, and their metric features analyzed. The review sought to determine the rate of divergence among populations of free life, which contribute to the understanding of the process of colonization of natural environments by this alien species. The results indicated that the divergence between the populations analyzed, for most of the features is very large, ie the rate of divergence is greater than expected by neutral evolution, so that directional selection is expected to be acting on these characteristics.

1. Introdução

Guppy são peixes da espécie ***Poecilia reticulata***, popularmente conhecidos como *guppies*, são peixes teleósteos, ciprinodontídeos ovovivíparos, originários da América Central, das regiões estuarinas da Venezuela, Guiana, Suriname e de várias pequenas ilhas incluindo Trinidad e Tobago (MAGURRAN, 1995; NAKAJIMA, 2001; LINDHOLM, 2005; SHOJI, 2006). É uma espécie de grande interesse na aquarofilia por sua beleza. Para selecionar as características que desejam na espécie, os aquarofilistas, descartam a maioria dos alevinos até pela rede de esgoto, contribuindo com a dispersão do *Guppy* (MAGURRAN 1995; SHOJI, 2006).

A invasão de novos ambientes se relaciona com a variabilidade genética das espécies. O *Guppy* é uma destas espécies introduzidas acidentalmente ou artificialmente, advindo de várias populações de cativeiro em todo o mundo. Em alguns países, estas introduções se deram várias vezes (SHOJI, 2006). A introdução artificial a novos ambientes, advindas de várias regiões do mundo, é resultado de descarte de aquarofilistas, como mencionado anteriormente e particularmente para o controle do crescimento de mosquitos transmissores de doenças, em lagos e pequenos riachos nos países tropicais. O *Guppy* se alimenta das larvas desses mosquitos, impedindo que cheguem à fase adulta (MAGURRAN 1995; SHOJI, 2006).

Este trabalho se justifica pela necessidade de se obter uma maior compreensão da diferenciação de populações introduzidas, já que a introdução de espécies exóticas é a terceira causa de extinção de espécies nativas. O guppy (***Poecilia reticulata***) é um dos peixes ornamentais mais criados em todo o mundo e é encontrado, como espécie invasora, em quase todos os continentes, excetuando-se a Antártida. Determinar a taxa de divergência entre populações de vida livre irá contribuir para a compreensão do processo de colonização dos ambientes naturais por esta espécie exótica.

2. Objetivos

O objetivo deste trabalho foi avaliar a taxa de diferenciação de populações em três regiões do estado de Goiás e definir com que velocidade as características mensuradas modificaram ao longo do tempo, submetidas a pressões seletivas em novos ambientes.

3. Revisão de literatura

3.1 Genética e evolução

Mudança é a palavra que define evolução. Mudanças morfométricas e etológicas nos seres vivos ao longo das gerações constituem as variações necessárias para esta ocorrência. Porém, nem todas as alterações são classificadas como evolução, por não serem herdáveis, ou seja, transmitidas de geração a geração. A composição da geração seguinte à atual será determinada pela aptidão de cada organismo que faz parte da população, influenciando na variação de reprodução da população e se esta terá maior ou menor probabilidade de passar o caráter evolutivo (RIDLEY, 2006).

Aptidão é a capacidade do indivíduo na produção de uma prole fértil e viável, transmitindo suas características e afetando as frequências gênicas e genotípicas da próxima geração (RIDLEY, 2006).

Grandes populações são estáveis quanto às frequências gênicas e genotípicas, na ausência de agentes que promovam mudanças em suas propriedades genéticas. Existem duas classes de processos que alteram estas frequências: os sistemáticos e os dispersivos. Os processos sistemáticos tendem a mudar a frequência gênica de uma maneira que pode ser predita, tanto em quantidade, quanto em direção. Os processos dispersivos surgem em pequenas populações pelos efeitos de amostragem e podem ser preditos em quantidade, mas não em direção. Entre os processos sistemáticos podemos destacar a migração, a mutação e a seleção (FALCONER, 1987).

O efeito de migração é importante, já que movimenta genes de uma população para outra, geralmente afetando, em maior proporção, as pequenas populações, e em menor proporção aquelas de maior tamanho. O efeito da migração pode ser sentido tanto nas populações migrantes como nas receptoras (FALCONER, 1987).

Segundo Griffiths et al. (2006), a migração de uma população para outra com frequências gênicas diferentes, resulta em uma população mista, tendo uma frequência alélica intermediária a seu valor original. A mudança na frequência gênica é proporcional a diferença de frequência entre a população receptora e a média das populações doadoras. Geralmente a taxa de migração (ao contrário da taxa de mutação) pode ser maior, logo se

a diferença de freqüência alélica entre a população doadora e a receptora for grande, a mudança de freqüência pode ser substancial.

Segundo diversos autores (FUTUYMA, 1992; VALVA, DINIZ FILHO e CARVALHO, 2005; GRIFFITHS et al, 2006; CASTILHO, 2008) as mutações constituem a principal fonte de variação para espécies ou populações, mas o processo de mutação em si não determina uma mudança gênica significativa na população. A taxa de mudança na freqüência gênica a partir do processo de mutação é muito lenta porque as taxas de mutações espontâneas geralmente são baixas. A taxa de mutação é definida como a probabilidade de que uma cópia de um alelo mude para outra forma alélica em uma geração. As taxas de mutação geralmente são tão lentas que a mutação sozinha não pode responder pelas rápidas mudanças genéticas das populações e espécies.

A mutação e migração não podem explicar por que os organismos parecem tão bem adaptados a seus ambientes, pois eles são aleatórios com relação ao modo pelo qual os organismos sobrevivem nos ambientes que habitam. As mudanças em uma espécie em resposta a um ambiente em modificação ocorrem porque os genótipos diferentes produzidos por mutação têm habilidades diferentes para sobreviver e se reproduzir. Isto ocorre como resposta a um processo seletivo (FUTUYMA, 1992; VALVA, DINIZ FILHO e CARVALHO, 2005; GRIFFITHS et al, 2006; CASTILHO, 2008).

Na seleção, os indivíduos férteis e viáveis participam ativamente das variações na população, embora, contribuindo de forma diferente com número de descendentes para a próxima geração (FALCONER, 1987).

O processo de seleção pode alterar as freqüências de vários genótipos na população. Darwin chamou este processo de sobrevivência e reprodução diferencial de tipos diferentes, de seleção natural. A probabilidade relativa de sobrevivência e taxa de reprodução de um fenótipo ou genótipo é chamado de adaptação. A adaptação é uma consequência da relação entre o fenótipo do organismo e o ambiente no qual o organismo vive, logo um mesmo genótipo terá adaptabilidades diferentes em ambientes diferentes. Um motivo é que mesmo os organismos geneticamente idênticos podem desenvolver fenótipos diferentes se expostos a ambientes diferentes durante o desenvolvimento. Mas, mesmo se o fenótipo é o mesmo, o sucesso do organismo depende do ambiente. A seleção atua alterando as freqüências alélicas em uma população. Um aumento da freqüência do alelo com maior adaptabilidade significa que a adaptação média da população como um todo

aumenta. O contrário também pode ocorrer. A população não se torna necessariamente maior ou cresce mais rápido, nem é menos provável de se tornar extinta (FALCONER, 1987).

Se uma população consiste em um número finito de indivíduos e se um determinado par de genitores tem apenas uma prole pequena, então, mesmo na ausência de todas as forças seletivas, a frequência de um gene não será exatamente reproduzida na geração seguinte, devido a um erro de amostragem. Se, em uma população hipotética de 1.000 indivíduos, a frequência de um alelo **a** qualquer for de 0,5 em uma geração, então ela pode ser, por acaso, de 0,493 ou 0,505 na geração seguinte devido à produção de uma prole um pouco maior ou um pouco menor de cada genótipo (GRIFFITHS et al, 2006; VALVA, DINIZ FILHO e CARVALHO, 2005; FUTUYMA, 1992).

Se, na segunda geração, houver outro erro na nova frequência gênica, logo a frequência de **a** pode ir de 0,505 a 0,511 ou de volta a 0,498. Cada geração é um evento independente. Esta mudança aleatória de frequências gênicas é chamada de deriva genética. Novas mutações podem se tornar estabelecidas em uma população muito embora não sejam favorecidas pela seleção natural simplesmente por um processo aleatório de deriva genética. Mesmo novas mutações favoráveis em geral são perdidas, e ocasionalmente uma mutação levemente deletéria pode permanecer em uma população por deriva (GRIFFITHS et al, 2006; VALVA, DINIZ FILHO e CARVALHO, 2005; FUTUYMA, 1992).

A deriva genética pode ser vista como o acaso, que contribui para a modificação das frequências alélicas, e como flutuações de frequências alélicas que podem levar à fixação de um ou outro alelo independentemente do seu valor adaptativo. Todas as populações apresentam uma localização geográfica ou condições ambientais definidas, e a diferenciação genotípica é geralmente devida ao acaso, podendo ainda ter um impacto pequeno no total da população, observando que as oportunidades de reprodução e/ou sucesso para cada subpopulação será também distribuída ao acaso, assegurando que cada subpopulação terá sua própria evolução de frequências alélicas (CASTILHO, 2008).

A capacidade de invadir e conquistar novos ambientes está relacionada à variação e estrutura genética das espécies. Populações de cativeiro que reproduzem em novos ambientes parecem ter menor variação genética, quando comparadas a populações naturais, porque as populações de cativeiro apresentam uma menor população

intercruzante, apresentando homogeneidade genética. Além disso, por apresentarem uma linhagem comum, os invasores originados de cativeiro podem ser geneticamente semelhantes, evidenciando baixa variação genética, limitação à diferenciação e aumento do risco de extinção. No entanto, muitas populações introduzidas sobrevivem, resultando em populações geneticamente diversificadas durante um curto espaço de tempo, constituindo eventos evolutivos rápidos. O *Guppy* é um exemplo marcante, que foi introduzido acidentalmente ou artificialmente, advindo de várias populações de cativeiro em todo o mundo. Em alguns países, estas introduções se deram várias vezes. Pesquisas realizadas com populações de *Guppies* introduzidos na Austrália mostraram altos níveis de variação genética aditiva, no que se refere a características como: tamanho corporal dos machos, cores, traços (SHOJI et al, 2006).

A invasão de habitats por espécies exóticas pode ser considerada a terceira maior ameaça à biodiversidade, atrás apenas da destruição e da fragmentação dos habitats. A habilidade invasora de uma espécie pode ser afetada pela estrutura e variabilidade genéticas, e espécies invasoras derivadas de linhagens produzidas em cativeiro presumivelmente têm baixa variabilidade genética em função tanto do pequeno tamanho populacional inicial quanto das pressões de seleção às quais essas populações foram submetidas. Deriva e acasalamento entre indivíduos relacionados resultariam em uma maior probabilidade de que dois alelos de um determinado indivíduo com um dado locus sejam idênticos por ascendência. Esta probabilidade é o coeficiente de endogamia, f . Um aumento do coeficiente médio de endogamia dentro de uma população deverá dar origem a uma erosão da variância genética aditiva estimada por $(1 - f) VA$. Tal perda de variância genética aditiva reduz a resposta evolutiva de seleção, reduzindo a pressão ambiental ou de seleção, e potencializando a adaptação das populações introduzidas no novo ambiente, já que predadores e outras características do novo ambiente (pressão seletiva), pelo menos inicialmente inexistirão, permitindo uma invasão bem sucedida. Existem inúmeras possibilidades de adaptação destas espécies invasoras (LINDHOLM et al, 2005).

Em estudos realizados na Austrália com populações introduzidas demonstraram variações genéticas aditivas nos machos, com variação do tamanho e cores, para fuga de predadores e também para atração sexual (SHOJI et al, 2006).

A genética quantitativa, ou genética biométrica, estuda os organismos por meio de suas características métricas, e a base genética de características métricas é diferente da

base da genética qualitativa, já que a segregação dos genes envolvidos não pode ser seguida individualmente. Com isso, novos métodos de estudo tiveram que ser desenvolvidos e novos conceitos introduzidos. A maioria das características de valor econômico, tanto para plantas como para animais, são características métricas e a maioria das mudanças, referentes à microevolução, são geralmente mudanças de características métricas (FALCONER, 1996).

A diferença entre genes relacionados com características mendelianas e métricas encontra-se nos seus efeitos em relação aos tipos de variação. Um gene com um efeito grande, suficiente para causar uma descontinuidade palpável, mesmo na presença de segregação em outros locos e na presença de variações não genéticas, pode ser estudado pelos métodos mendelianos, enquanto um gene, cujo efeito não é bastante grande para causar descontinuidade, não pode ser estudado individualmente. As características métricas são quase que infinitamente numerosas. Qualquer atributo que varie continuamente, e que pode ser medido, poderia ser estudado, em princípio, como uma característica métrica, como: dimensões e proporção anatômicas, funções fisiológicas de toda a natureza e qualidades mentais ou psicológicas. A condição essencial é que elas possam ser medidas (FALCONER, 1996).

As características que têm sido usadas em estudos de genética quantitativa são predominantemente, características de dimensões anatômicas ou de funções fisiológicas, medidas em termos de um produto final, tais como: lactação, fertilidade ou taxa de crescimento. A genética de um caráter métrico centraliza-se em torno do estudo de sua variação, porque é em termos de variância que são formuladas as questões primárias de genética. Existem genótipos que podem ser sensíveis a influências do ambiente e, assim, podem mostrar maior ou menor variância de ambiente. A variância de ambiente de uma população heterogênea pode, assim, não ser a mesma que aquela medida num grupo geneticamente uniforme. A variância aditiva, que é a variância dos valores genéticos, é o componente importante, uma vez que é a principal causa de semelhança entre parentes e, por conseguinte, o principal determinante das propriedades genéticas da população e da resposta da população à seleção. Além disso, é o único componente que pode ser prontamente estimado pelas observações feitas na população (FALCONER, 1996).

A seleção natural pode ser dividida em três tipos, de acordo com sua ação sobre um determinado caráter: seleção direcional, estabilizadora e disruptiva. A seleção

direcional pressiona em direção a um dos genótipos, seja ele dominante ou recessivo. Por exemplo, quando pescadores selecionam somente peixes grandes durante muitos anos, os menores que restaram reproduzirão e perpetuarão somente os alelos que determinam o menor tamanho, e direcionando a população para o pequeno porte. A seleção estabilizadora permite que o genótipo heterozigoto prevaleça. Por muitos anos, o peso dos bebês recém nascidos de Londres, Nova Iorque, Itália e Japão, permaneceu dentro de uma média. Bebês menores tinham dificuldade de sobrevivência pós-parto e os maiores tinham dificuldade para nascer e ambos acabavam morrendo. Durante muito tempo, os meninos de peso médio prevaleceram. Somente a partir de 1990, que em países ricos, esta seleção praticamente desapareceu. Quando ocorre aumento dos genótipos homozigoto dominante e homozigoto recessivo, em detrimento ao genótipo heterozigoto, temos a seleção disruptiva. Os tentilhões africanos quebradores de sementes **Pyrenestes ostrynus**, apresentam dois grupos bem distintos, um grupo com bicos grandes e outro com bicos pequenos, ambos adaptados a um tipo diferente de semente de ciperáceas (junco). Quando as sementes são macias, os tentilhões com bicos pequenos são favorecidos e quando as sementes são duras, os de bicos grandes são favorecidos, os bicos existem em ambos os sexos, eliminando dimorfismo sexual (RIDLEY, 2006).

O método comparativo é importante para o estudo dos padrões e processos da evolução biológica, relacionando as características fenotípicas aos processos de adaptação ao ambiente natural. Como as características são transmitidas pelos ancestrais comuns, deve existir um padrão filogenético nas espécies atuais que possa ser mensurável e encontrado na população. Se existe um padrão filogenético nos dados envolvendo estudos de variação interespecífica, é necessária então a utilização de métodos filogenéticos comparativos. Os dados a serem estudados estão estruturados ao longo da filogenia, pois os valores de um caráter qualquer não estão distribuídos ao acaso nas espécies estudadas (DINIZ FILHO, 2000).

A maior parte dos processos microevolutivos que geram diferenciação de uma característica ao longo do tempo produzem um padrão filogenético nestes dados, incluindo o processo mais simples de evolução neutra, no qual apenas variações ao acaso ocorrem entre as espécies. Se o padrão filogenético existe entre espécies, estatisticamente estas espécies não serão independentes para as características. Características isoladas não podem ser relacionadas. Diferentes tipos de características morfológicas são mais ou

menos resistentes ao longo do tempo evolutivo e isso pode permitir a compreensão de como e porque essas características evoluem. Uma das questões evolutivas que podem ser analisadas pelos métodos comparativos filogenéticos é a taxa de evolução de uma característica. O objetivo é definir com que velocidade um caráter fenotípico qualquer muda ao longo do tempo, o que dá uma idéia de como esse caráter reage às pressões seletivas do ambiente (DINIZ FILHO, 2000).

Utilizando modelos de genética populacional a fim de inferir processos microevolutivos a partir das taxas de diferenciação entre as populações ou espécies, define-se qual a taxa de evolução esperada de acordo com um processo puramente estocástico (variável) de diferenciação entre as populações, no qual os únicos fatores atuando são mutação e deriva genética (Evolução neutra). São estabelecidos os intervalos de confiança para a relevância dessa diferenciação. Quando a diferenciação observada for maior que a esperada sob o modelo neutro, podemos inferir processos de seleção direcional. Quando a diferenciação observada for menor do que a esperada pelo modelo neutro, pode-se inferir que a evolução está ocorrendo mais lentamente do que o esperado, indicando processos de seleção estabilizadora e/ou restrições evolutivas. Um modelo que permite estimar qual a divergência fenotípica esperada sob o modelo nulo de evolução neutra e qual o seu intervalo de confiança é o modelo de Turelli, baseado no equilíbrio entre mutação e deriva genética (*mutation-drift equilibrium model* – MDE) (DINIZ FILHO, 2000).

3.2 *Poecilia reticulata* (Guppy)

Os peixes da espécie ***Poecilia reticulata***, conhecidos vulgarmente como *Guppies*, são peixes teleósteos, ciprinodontídeos ovovivíparos, originários da América Central, das regiões estuarinas da Venezuela, Guiana, Suriname e de várias pequenas ilhas incluindo Trinidad e Tobago (MAGURRAN, 1995; NAKAJIMA, 2001; LINDHOLM et al, 2005; SHOJI, 2006). É uma espécie introduzida em várias regiões do mundo, particularmente para o controle do crescimento de mosquitos transmissores de doenças, em lagos e pequenos riachos nos países tropicais. O *Guppy* se alimenta das larvas desses mosquitos, impedindo que cheguem à fase adulta. Além deste fato, o *Guppy* obteve sucesso de colonização em várias regiões das Américas, Europa, Ásia, Austrália e África, introduzido

acidental ou deliberadamente, a partir de linhagens criadas artificialmente, uma vez que esta espécie é de grande interesse na aquarofilia. Para selecionar as características que desejam na espécie, os aquarofilistas, descartam a maioria dos alevinos até pela rede de esgoto, contribuindo com a dispersão do *Guppy* (MAGURRAN 1995; SHOJI, 2006).

Os *Guppies* apresentam fecundação interna e após a fecundação dos ovos, a mãe não acrescenta nenhum nutriente adicional aos ovos e nem aos filhotes. O nutriente existente no ovo, que é megalécito, é suficiente para o bom desenvolvimento dos alevinos, que já nascem nadando ativamente, já se livrando de predadores e isso é um mecanismo de redução da predação. Em estado selvagem, as fêmeas produzem normalmente de dois a oito jovens, uma vez por mês. Foi observado em *Guppies* do rio Aripo em Trinidad, que os jovens já nascem com alta capacidade de aprendizagem comportamental, e destreza em realizar manobras para fugir dos predadores. Os *Guppies* evoluíram para evitar a predação e este é um dos principais motivos da capacidade de colonização de diversas regiões em todo o mundo (MAGURRAN et al. 1995).

Após a ovulação, ocorre um aumento na receptividade feminina à corte masculina. Os machos apresentam uma modificação na nadadeira pélvica, o gonopódio, sendo este usado como órgão copulador. As fêmeas podem armazenar esperma e só precisam de um único acasalamento, a fim de produzir ninhadas ao longo de muitos meses. Existe um considerável dimorfismo sexual na espécie. Os machos não são apenas os menores, mas também os mais coloridos (MAGURRAN et al. 1995).

O desenvolvimento do macho, ao contrário do que acontece com as fêmeas, vai até a maturidade sexual. Em Trinidad as populações masculinas possuem um tamanho padrão, freqüentemente variando entre 14 mm e 47 mm, enquanto as fêmeas normalmente excedem 20 mm deste tamanho. As fêmeas têm um padrão de cor bege, presumivelmente como uma defesa contra a predação. As distintas colorações dos machos, por outro lado, estão implicadas na seleção sexual (MAGURRAN et al, 1995).

A introdução do *Guppy*, de forma artificial, deliberada ou acidentalmente, pode apresentar as mesmas conseqüências que uma migração. Em um mesmo córrego, rio ou bacia hidrográfica uma espécie raramente forma uma única e grande população panmítica, existindo várias subpopulações separadas geográfica ou temporalmente. Este fato pode impedir ou dificultar a troca de genes com outro conjunto, por intermédio do agrupamento de seus elementos. Os efeitos genéticos resultantes do isolamento

dependem do tamanho das populações isoladas. Se uma população for dividida em grandes grupos, o resultado desse isolamento será semelhante ao dos cruzamentos consangüíneos, havendo aumento da frequência de homozigotos na população. Sendo denominado efeito *Wahlund*. Somente certo número de indivíduos migra, proporcionando trocas genéticas (fluxo gênico). Quanto maior for o número de indivíduos que migra de uma população para outra, maior será a integração entre as populações, possibilitando grande variação genética na população total (CASTILHO, 2008).

A variação do tamanho nos *Guppies* machos é um traço quantitativo, distribuído equitativamente dentro das populações, e caracterizado pelo elevado grau de herdabilidade. O tamanho reduzido do macho em relação à fêmea se deve pelo fato das cores em animais maiores serem vistas com facilidade pelos predadores. Determinando uma seleção direcional, prevalecendo os machos com menor porte. O tamanho e a cor têm efeitos mensuráveis na aptidão masculina. Por exemplo, a cor afeta o sucesso de cópula do macho, correlacionando o comportamento ao sucesso reprodutivo, e ao risco de predação. Em geral, os machos que têm uma coloração mais alaranjada são preferidos pelas fêmeas, enquanto os machos com coloração notadamente mais brilhante estão sujeitos a um maior risco de predação (SHOJI et al. 2006).

O tamanho do macho foi relacionado também como um fator na escolha por parte da fêmea, no sucesso de cópula do macho, e na susceptibilidade à predação. Os machos maiores têm geralmente uma vantagem reprodutiva, embora tenham uma desvantagem por serem mais predados, sugerindo uma evidência de seleção direcional para o tamanho e a coloração dos machos. Entretanto, a seleção puramente direcional reduz a variação genética se não for equilibrada por algum outro processo evolutivo. Observando os níveis impressionantes da variação dos traços sexuais secundários masculinos nos *Guppies*, deve haver alguma forma que contribui para um equilíbrio na seleção, que mantenha a variação (HUGHES, RODD e REZNICK, 2005).

4. Materiais e Métodos da pesquisa

4.1 Materiais

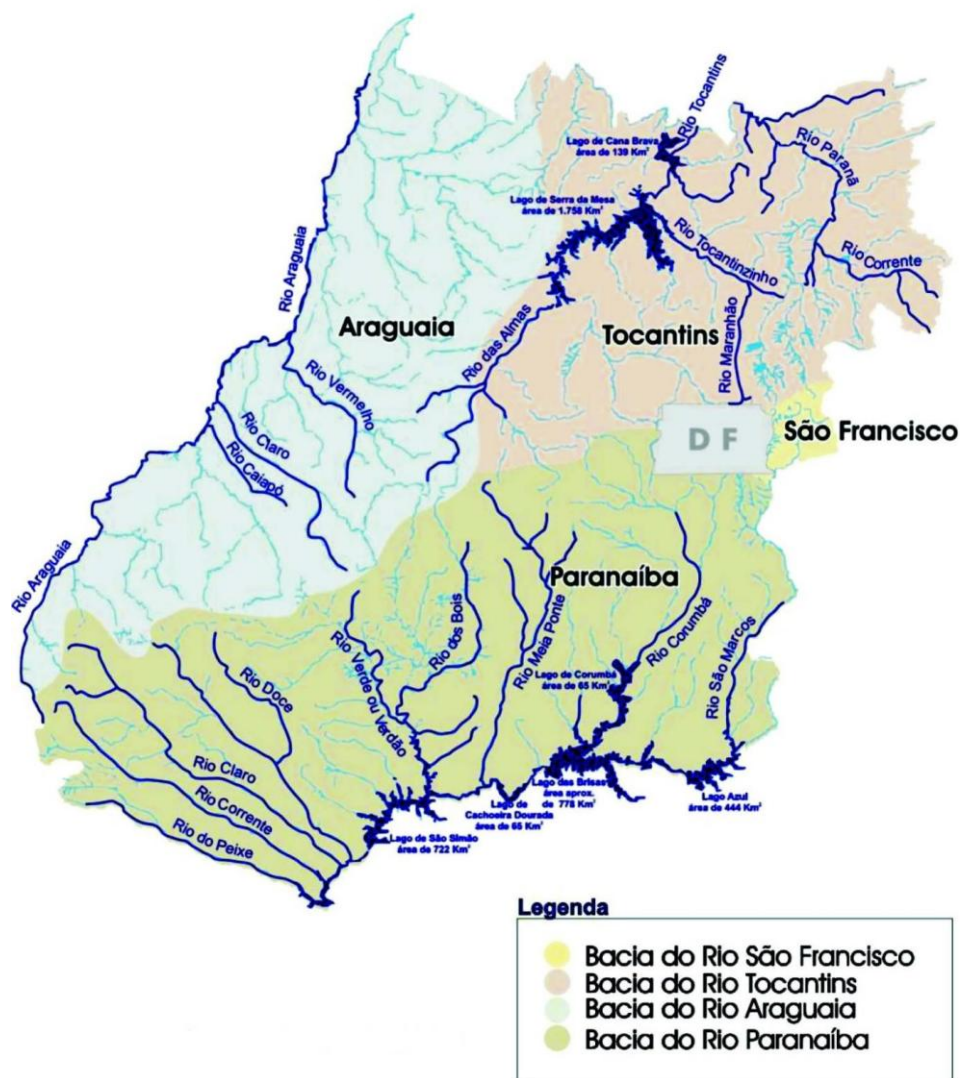
Foram utilizados puçás com malha de aproximadamente 1mm entre nós para coletarem os exemplares adultos, aleatoriamente, liberando apenas os jovens, e depois separados por sexo, selecionando de cada local 50 machos e 50 fêmeas. Foram posteriormente, fixados em álcool 70%, levando-os a morte, acondicionados em frascos de vidro e levados ao laboratório de genética da Universidade Católica de Goiás, sendo pesados, medidos e mantidos em temperaturas de aproximadamente 4°C em refrigeradores, para preservar melhor as características da cada exemplar.

4.2 Métodos

Foram coletados 300 indivíduos (150 machos e 150 fêmeas) pertencentes a três diferentes populações localizadas nos municípios de Pirenópolis, Caldas Novas e Goiânia, no estado de Goiás. Nos municípios de Pirenópolis e Caldas Novas os animais foram coletados em riachos com largura aproximada de 2m e profundidade variando entre 0,5 e 1m, nos pontos de coleta. Em Goiânia, os peixes foram obtidos da população existente na represa localizada no Campus II da Universidade Católica de Goiás.

4.3 Local de coleta

Os exemplares para este estudo foram coletados em três pontos diferentes do Estado de Goiás. O ponto de coleta de Pirenópolis pertencendo à bacia do Tocantins e os pontos de Goiânia e Caldas Novas pertencendo à bacia do Paranaíba. Entre estas bacias está a Serra dos Pirineus, o que possivelmente inviabilizaria a passagem de exemplares de uma bacia para a outra, demonstrando um distanciamento entre as linhagens. As bacias são mostradas na figura 1.



Fonte: (Seplan 1 Go, 2008).

Figura 1 – Bacias Hidrográficas do estado de Goiás

Nas seções a seguir serão apresentadas detalhadamente as bacias que compõem o estado de Goiás que são objetos deste estudo.

4.3.1 Bacia do rio Tocantins: características físicas e geográficas

A bacia do Tocantins, que ocupa 102.120,6 km², é a segunda em abrangência territorial, está localizada na porção norte-oriental de Goiás, abrigando 71 municípios goianos, entre eles, Pirenópolis.

O rio Tocantins é formado, a partir dos rios das Almas, Maranhão e Tocantinzinho, percorre uma extensão de 2.400 km até desaguar na baía de Marajó, próxima a Belém do Pará, drenando um área de 421.250 km².

Seus principais afluentes dentro do território goiano são: rio das Almas, rio Cana Brava, rio dos Patos, rio Santa Clara, rio Tocantinzinho e rio Uru.

A bacia hidrográfica do rio Tocantins, caracteriza-se por uma razoável homogeneidade climática, com estações bem definidas e pequenas variações de ano para ano em todos os parâmetros climáticos.

O clima predominante nas bacias é de natureza continental tropical úmido, com amenizações parciais de época quente na região sul dessa bacia devido à altitude e com tendências a um clima de natureza equatorial na região norte, nas proximidades do médio Tocantins.

As características climatológicas principais predominantes nas bacias são as seguintes:

- Precipitação média anual ultrapassa 1.600 mm;
- Os meses considerados secos são os de junho, julho e agosto e os meses chuvosos os de novembro e março;
- Os meses mais chuvosos correspondem aos de dezembro, janeiro e fevereiro, sendo dezembro ligeiramente mais chuvoso no extremo sul da região;

Existem 71 municípios que compõem a Bacia do rio Tocantins, incluindo Pirenópolis (Seplan 2 Go, 2008, <http://www.seplan.go.gov.br/>)

4.3.2 Bacia do rio Paranaíba: características físicas e geográficas

A primeira bacia em importância, quanto à área drenada e ocupação antrópica é a bacia do rio Paranaíba, com 149.488 km², na parte centro-sul do Estado, abrigando 125 municípios goianos, entre eles, Goiânia e Caldas Novas.

O rio Paranaíba nasce na Serra da Mata da Corda no Estado de Minas Gerais a uma altitude de 1.140 m e percorre uma extensão de 1.120 km até sua desembocadura no rio Paraná. Sua bacia de captação e drenagem totaliza 220.195 km².

O rio Corumbá nasce na Serra dos Pirineus a uma altitude de 1.200 m e extensão 567,5 km.

As condições climáticas desta bacia são determinadas através dos fatores dinâmicos que asseguram uma certa homogeneidade de clima característico de toda a região Centro-Oeste.

O regime de circulação das massas de ar que atuam em toda a região de margem direita do rio Paranaíba é decorrente da ação do sistema de circulação perturbada de sul (frente polar) e pelo sistema de circulação perturbada de oeste (linhas de instabilidade tropicais).

Possuem características climáticas quentes, úmidas a semi-árido, com 1 a 5 meses secos.

O regime térmico apresenta diferenças pouco significativas, em se tratando de condições médias. As diferenças acentuadas ocorrem geralmente com as mínimas (inverno) e máximas (primavera) diárias, atingindo valores respectivamente, da ordem de 40 a 1°C.

As características climatológicas predominantes são:

- Precipitação média anual entre 1200 e 1800 mm;
- Período chuvoso estende-se de novembro a março, com o trimestre mais úmido correspondendo aos meses de janeiro, fevereiro e março;
- Período seco e representado pelos meses de junho, julho e agosto, com os meses de maio e setembro sendo os de transição entre as estações seca e úmida, respectivamente.

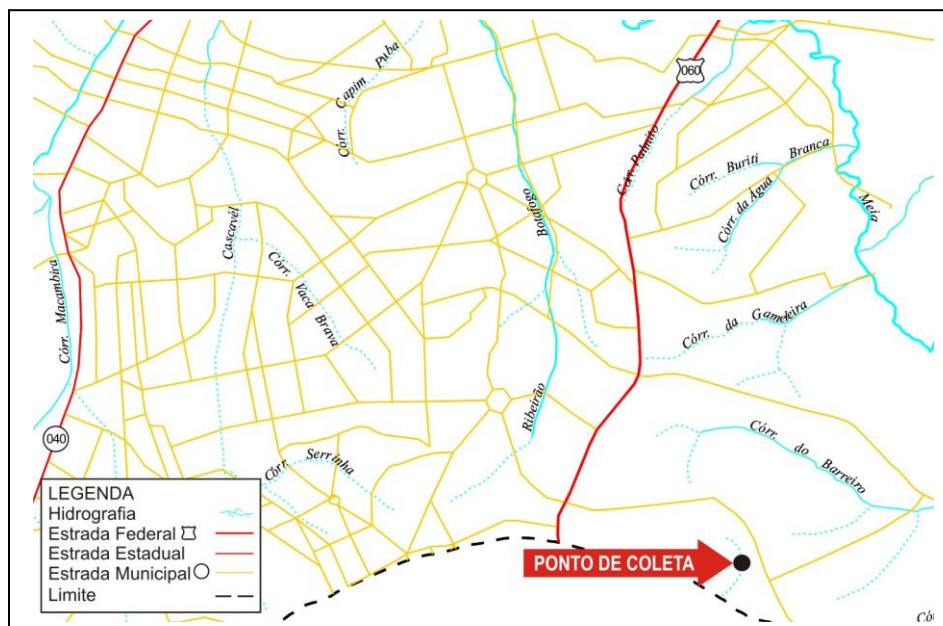
O regime de chuvas na região deve-se quase que exclusivamente ao sistema de circulação atmosférica com pouca influência do relevo sobre as tendências gerais determinadas pelos fatores dinâmicos.

Existem 125 municípios que compõem a Bacia do rio Paranaíba, incluindo Caldas Novas e Goiânia (Seplan 3 Go, 2008, <http://www.seplan.go.gov.br/>)

4.3.3 Pontos de coleta

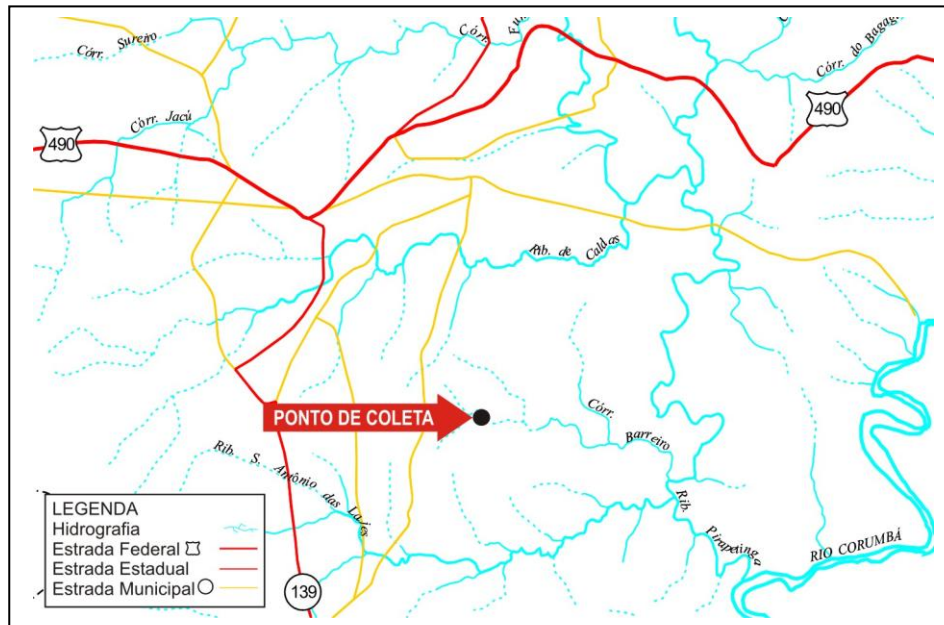
As coletas foram realizadas em três regiões diferentes do Estado de Goiás:

1. Goiânia – Lago do Campus II da Universidade Católica de Goiás,
2. Caldas Novas – Afluente do Rio Corumbá
3. Pirenópolis – Afluente do Rio das Almas.



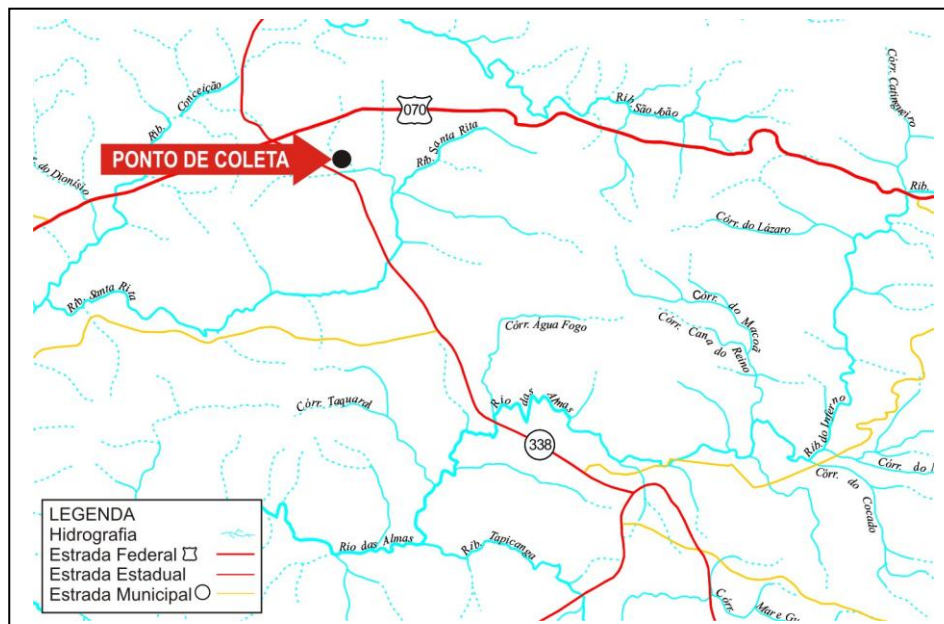
Fonte: Agência Rural GO 1, 2008a.

Figura 2 – Ponto de coleta em Goiânia



Fonte: Agência Rural GO 2, 2008b.

Figura 3 – Ponto de coleta em Caldas Novas



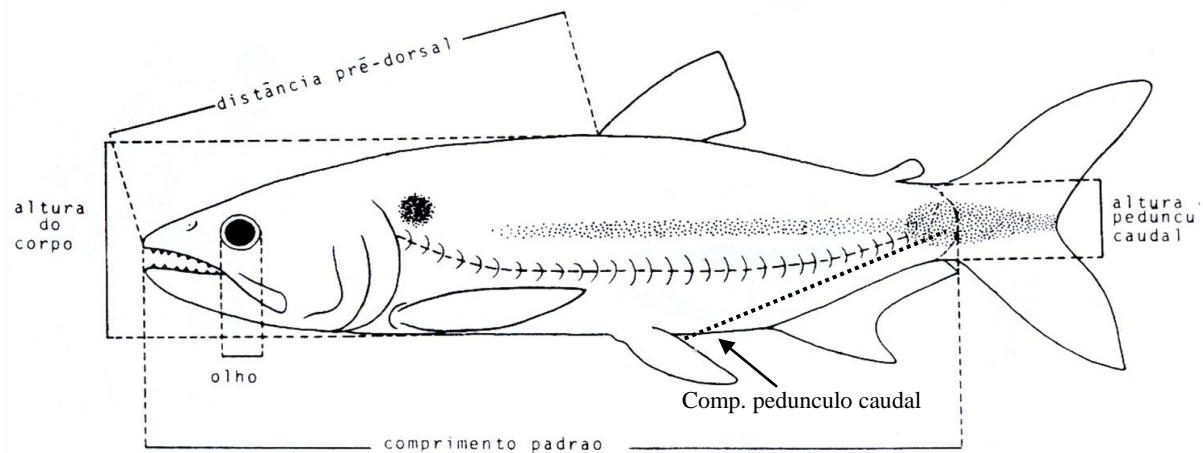
Fonte: Agência Rural GO 3, 2008c.

Figura 4 – Ponto de coleta em Pirenópolis

4.3.4 Medidas

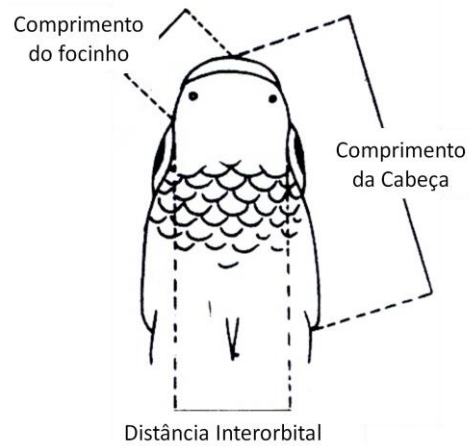
As medidas foram realizadas com paquímetro manual de precisão em mm e balança de precisão.

De cada exemplar foram tomadas dez medidas, de acordo com Lagler et al (1977). Comprimento padrão; Tamanho do olho; Altura do Corpo, tomada na base da nadadeira dorsal; Distância pré-dorsal; Comprimento do focinho; Comprimento da cabeça; Peso em g; Distância interorbital; Comprimento do pedúnculo caudal; Altura do pedúnculo caudal, as medidas seguiram o mesmo critério para todos os espécimes e são demonstradas nas figuras 5 e 6.



Fonte: Lagler, 1977

Figura 5 – Modelo de medidas em peixes, vista lateral



Fonte: Lagler, 1977

Figura 6 – Modelo de medidas em peixes, vista dorsal



Fonte: RS-YAYOI, 2007

Figura 7 - Diferença morfológica de gênero entre as espécies.

4.3.5 Análise

Os dados morfométricos foram submetidos a uma análise de variância, (ANOVA) (Diniz Filho, 2000), para obtenção dos componentes de variância necessários para a determinação do intervalo de confiança a ser utilizado na estimativa do grau de diferenciação das populações. Como fontes de variação, na análise de variância, foram considerados os efeitos fixos de local, sexo e suas interações.

Para a estimativa do intervalo de confiança dos limites evolutivos foi utilizado o modelo de Turelli, que permite estimar qual a divergência fenotípica esperada sob o modelo nulo de evolução neutra, baseado no equilíbrio entre mutação e deriva genética (MDE).

Para n populações, o valor de F (divergência evolutiva) é dado por $F = S^2_A / 2t V_m$, utilizando o valor crítico a 5% obtido dessa distribuição (aproximando pela distribuição F com $n - 1$ e ∞ graus de liberdade). É possível calcular a hipótese nula de que a divergência entre as populações ocorreu por acaso em função do tempo. A quantidade de variância introduzida na população por mutação, por geração e por zigoto é demonstrada por S^2_A que é a variância mutacional. $2t V_m$ é a variância esperada pelo modelo de evolução neutra, demonstrando que é uma variância em fator do tempo, sendo multiplicada por dois, por existirem duas linhagens se diferenciando independentemente, sendo multiplicada pela quantidade de variância aditiva que é introduzida por mutações neutras. Existe um problema em conhecer a variância mutacional V_m . Embora esse parâmetro seja difícil de estimar, diversos trabalhos demonstram que a razão V_m/V_E é constante para diversos grupos taxonômicos e aproximadamente igual a 10^{-4} , sendo (V_E variância ambiental). Savalli (1993) sugere dividir S^2_A pelo quadrado médio do resíduo da ANOVA (QM_E), que seria um estimador de V_E .

O resultado foi comparado com os limites do intervalo de confiança, L_1 e L_2 . Assumindo-se diversos valores de t e tomando os valores críticos de F_1 (**superior**) = 5,126262 e F_2 (**inferior**) = 0,000985, calculou-se os limites L_1 e L_2 (Tabela III). Utilizando os valores críticos estimados pelo quociente S^2_A/QM_E , entre as três populações após t gerações, obtendo o tempo necessário para o processo estocástico de evolução neutra ao longo do intervalo de tempo (Tabela IV). Se o valor do quociente estiver situado dentro do intervalo entre L_1 e L_2 , isso indica que a divergência entre as espécies está dentro das

expectativas do modelo MDE, sendo explicada por um processo estocástico de evolução neutra ao longo deste intervalo de tempo. Se o quociente é maior que L_1 , isso indica que a divergência é muito grande, ou seja, a taxa de evolução é maior do que a esperada pela evolução neutra, de modo que seleção direcional deve estar acelerando a divergência. Se, por outro lado, o quociente for menor que L_2 , a divergência é muito pequena considerando o tempo disponível para evolução neutra, de modo que a atuação de seleção estabilizadora no caráter deve ser invocada.

5. Resultados e Discussão

O resultado da análise de variância (Tabela I) mostrou que houve diferença entre as localidades para todas as características analisadas tanto para o grupo de machos como para o grupo de fêmeas. A análise de variância mostrou também que existe um nítido dimorfismo sexual, pois as fêmeas obtiveram maiores médias que os machos em todas as características com exceção da altura do pedúnculo caudal, independente da região de coleta. Esse dimorfismo foi também observado por Magurran et al (1995).

Os valores de P abaixo de 0,05 representam uma variância significativa para tais características.

Tabela I – Resumo do quadro de análise de variância das características avaliadas nos Guppies (*Poecilia reticulata*)

Características	Características	GI	QM	P
Comprimento Padrão	Sexo	1	1.948,66	8,04E-56
	Locais	2	118,15	3,04E-10
Tamanho do Olho	Sexo	1	3,35	5,76E-19
	Locais	2	0,10	0,058565
Altura do Corpo	Sexo	1	87,69	1,81E-38
	Locais	2	4,12	3,27E-05
Distância Pré-dorsal	Sexo	1	895,38	1,01E-58
	Locais	2	23,70	2,14E-05
Comprimento do Focinho	Sexo	1	3,87	8,72E-14
	Locais	2	0,28	0,011423
Comprimento da Cabeça	Sexo	1	103,99	1,45E-57
	Locais	2	3,62	1,24E-06
Peso em g	Sexo	1	0,87	1,53E-36
	Locais	2	0,05	3,82E-06
Distância Interorbital	Sexo	1	23,03	2,68E-11
	Locais	2	29,39	5,75E-23
Comprimento do Pedúnculo Caudal	Sexo	1	23,81	0,292439
	Locais	2	216,03	5,78E-05
Altura do Pedúnculo Caudal	Sexo	1	6,88	0,001806
	Locais	2	46,23	1,38E-24

Esperava-se que os exemplares coletados em Goiânia e Caldas Novas, por pertencerem à mesma Bacia Hidrográfica poderiam apresentar médias comparáveis, mais próximas que as medidas dos exemplares coletados em Pirenópolis. Porém os resultados mostram que os peixes coletados em Pirenópolis apresentam médias maiores para seis

características (Comprimento padrão, altura do corpo, distância pré-dorsal, comprimento da cabeça, comprimento do pedúnculo caudal e altura do pedúnculo caudal) e a maioria das médias entre as fêmeas de Goiânia são maiores quando comparadas com as médias obtidas de Caldas Novas, se invertendo quando comparamos os machos.

Na hipótese que as temperaturas ambientais de Pirenópolis sejam inferiores que as dos demais locais pode-se supor que as maiores médias nos exemplares coletados podem ter sido causadas por esse efeito ambiental, seguindo a Regra de Bergmam que afirma para vertebrados endotérmicos, vivendo em climas frios e elevadas latitudes, que serão geralmente maiores que aqueles vivendo em regiões mais quentes e latitudes inferiores (ASTHON, 2000; MEIRI, 2004). Seguindo esta abordagem, e se confirmado que as médias de temperatura em Pirenópolis são menores, poderíamos supor que os animais ectotérmicos também se enquadrariam nesta regra. Como as médias dos peixes coletados em Caldas Novas e Goiânia foram menores que as de Pirenópolis, os dados provavelmente podem ser relacionados a Bergmam e sugerir maior grau de parentesco entre estas, por serem da mesma bacia hidrográfica.

Apesar destas medidas não terem sido submetidas a um teste de comprimento de médias, os maiores valores das médias (tabela II) foram encontrados na população coletada em Pirenópolis, para as medidas: Comprimento padrão, tamanho do olho, altura do corpo, comprimento da cabeça, comprimento do pedúnculo caudal e altura do pedúnculo caudal. Já os machos coletados em Caldas Novas, apresentam maiores médias para as medidas: Distância pré-dorsal, comprimento do focinho, pesa em gramas e distância interorbital. Os machos coletados em Goiânia apresentam médias menores para todas as características quando comparadas com os dois outros pontos de coleta, resultado que pode indicar influências das temperaturas ambientais, tipo de alimentação ou seleção adaptativa.

A análise das médias mostra na tabela II, que os animais coletados em Pirenópolis, apresentam maiores médias para quase todas as características, com exceção do tamanho do olho das fêmeas coletadas em Goiânia e comprimento do focinho das fêmeas coletadas em Caldas Novas, indicando que a adaptação de indivíduos maiores foi melhor nesses ambientes.

Estima-se que a introdução do Guppy no Brasil, tenha ocorrido por volta da década de 30, o que representaria 80 anos, e como ocorrem duas gerações por ano, estima-se 160 gerações, desde sua introdução até os dias atuais. (Magurran, 1995)

Tabela II – Médias das características avaliadas entre machos e fêmeas por ponto de coleta

Medida	Sexo	C. Novas	Goiânia	Pirenópolis
Comprimento Padrão	Fêmea	20,79	21,35	23,88
	Macho	17,14	16,07	17,53
Tamanho do Olho	Fêmea	1,70	1,86	1,73
	Macho	1,55	1,51	1,60
Altura do Corpo	Fêmea	4,69	4,84	5,32
	Macho	3,95	3,70	3,96
Distância Pré-dorsal	Fêmea	12,53	12,74	13,58
	Macho	10,02	8,68	9,78
Comprimento do Focinho	Fêmea	1,55	1,43	1,47
	Macho	1,32	1,25	1,20
Comprimento da Cabeça	Fêmea	4,97	5,23	5,49
	Macho	4,13	3,79	4,23
Peso em g	Fêmea	0,17	0,16	0,23
	Macho	0,09	0,06	0,08
Distância Interorbital	Fêmea	2,65	1,80	2,68
	Macho	2,32	1,16	1,99
Comprimento do Pedúnculo Caudal	Fêmea	7,10	4,62	8,12
	Macho	7,46	5,92	8,15
Altura do Pedúnculo Caudal	Fêmea	3,02	2,13	3,42
	Macho	2,89	1,75	3,03

A análise de variância (tabela IV) para algumas características como: altura do corpo (60 gerações), distância pré-dorsal (100 gerações) e comprimento do focinho (80 gerações) o tempo estimado de divergência entre as populações foi inferior a 160 gerações, sugerindo que estas características não estão sob seleção direcional, ou seja, que esta divergência foi causada apenas por mutação e deriva. As demais características avaliadas tiveram um tempo de divergência igual ou superior a 160 gerações o que indica que provavelmente a seleção direcional está agindo sobre ela, sendo demonstradas nas divergências de tamanhos dos indivíduos e no dimorfismo sexual apresentados nas populações.

Quando se estimou o tempo de divergência (em número de gerações) entre essas populações, os resultados das análises apresentados na tabela IV, em que as características nas fêmeas: comprimento do focinho (0,167), comprimento do pedúnculo caudal (0,084), e nos machos, para as características: tamanho do olho (0,159), altura do corpo (0,081), distância pré-dorsal (0,086), comprimento do focinho (0,073) e comprimento do pedúnculo caudal (0,067), estão dentro do intervalo entre L_1 e L_2 , como mostra a análise do grau de divergência na tabela III, indicando que a divergência entre as espécies está dentro das expectativas do modelo **MDE**, sendo explicada por um processo estocástico de evolução neutra ao longo deste intervalo de tempo.

Os resultados das análises também apresentados na tabela IV, para as características nas fêmeas: Comprimento do corpo (1,360), Tamanho do olho (0,362), Altura do corpo (1,108), Distância pré-dorsal (2,901), Comprimento da cabeça (2,053), Distância Interorbital (1,765) e Altura do pedúnculo caudal (0,941) e nos machos comprimento do corpo (0,346), Comprimento da cabeça (0,301), distância interorbital (1,081) e Altura do pedúnculo caudal (0,992), em que o quociente foi maior que L_1 , indica que a divergência é muito grande, ou seja, a taxa de divergência é maior do que a esperada pela evolução neutra, de modo que seleção a direcional deve estar acelerando a divergência.

Entre as populações coletadas não foi encontrado nenhuma medida em que o quociente fosse menor que L_2 , demonstrando que as divergências são grandes considerando o tempo disponível para evolução neutra, de modo que possivelmente não há a atuação de seleção estabilizadora nos caracteres.

Entre as fêmeas das três populações, foram encontradas sete características (Comprimento padrão, tamanho do olho, altura do corpo, distância pré-dorsal, comprimento da cabeça, distância interorbital e altura do pedúnculo caudal) que apresentam grandes divergências em que há a seleção direcional causando as divergências, indicando que a temperatura e a alimentação podem ter atuado.

Entre os machos das três populações, foram encontradas quatro características (comprimento padrão, comprimento da cabeça, distância interorbital e altura do pedúnculo caudal) para as quais o grau de divergência foi maior que o limite superior L_1 , sugerindo que estas características estão sob o efeito de seleção direcional causando as divergências, indicando a necessidade da disputa pela fêmea nestes ambientes é maior,

devido o porte das fêmeas, já para as demais características um processo estocástico de evolução neutra acentua a necessidade de mais tempo evolutivo para uma seleção direcional.

Tabela III – Grau de divergência e limites L1 (superior) e L2 (inferior) de confiança entre as três populações coletadas, estimando 160 gerações.

F(superior)	F(inferior)	tempo	L1	L2	valor real
5,126262	0,000985	20	0,0205	0,0000	0,991644
5,126262	0,000985	40	0,0410	0,0000	0,991644
5,126262	0,000985	60	0,0615	0,0000	0,991644
5,126262	0,000985	80	0,0820	0,0000	0,991644
5,126262	0,000985	100	0,1025	0,0000	0,991644
5,126262	0,000985	120	0,1230	0,0000	0,991644
5,126262	0,000985	140	0,1435	0,0000	0,991644
5,126262	0,000985	160	0,1640	0,0000	0,991644

Tabela IV – Variância (quadrado médio) entre as três populações após t gerações, observando o tempo necessário para o processo estocástico de evolução neutra ao longo deste intervalo de tempo. Machos e fêmeas foram analisados separadamente.

Sexo	Medida	S^2_A/Q_{merro}	Gerações (NEUTRALIDADE)
Fêmea	Comprimento padrão	1,360	1340
	Tamanho do olho	0,362	360
	Altura do corpo	1,108	1100
	Distância pré-dorsal	2,901	>1500
	Comprimento do focinho	0,167	180
	Comprimento da cabeça	2,053	>1500
	Distancia interorbital	1,765	>1500
	Comprimento do pedúnculo caudal	0,084	820
	Altura do pedúnculo caudal	0,941	920
Macho	Comprimento padrão	0,346	350
	Tamanho do olho	0,159	160
	Altura do corpo	0,081	60
	Distância pré-dorsal	0,086	100
	Comprimento do focinho	0,073	80
	Comprimento da cabeça	0,301	320
	Distancia interorbital	1,081	1080
	Comprimento do pedúnculo caudal	0,067	640
Altura do pedúnculo caudal	0,992	980	

6. Conclusão

Foram encontradas diferenças para todas as características analisadas, entre as populações, gênero sexual, e também entre a população de machos e população de fêmeas. A análise de variância mostrou também que existe um nítido dimorfismo sexual, pois as fêmeas obtiveram maiores médias que os machos em todas as características com exceção da altura do pedúnculo caudal, independente da região de coleta. Esse dimorfismo foi também observado por Magurran et al (1995), o que sugere que em ambientes semelhantes as adaptações podem também seguir um padrão.

Podemos ainda sugerir influência da temperatura ambiental para o tamanho corpóreo e que apesar das populações estarem em bacias hidrográficas diferentes como é o caso de Pirenópolis e Goiânia ou Pirenópolis e Caldas Novas, ou em bacias hidrográficas iguais como Goiânia e Caldas Novas, a evolução neutra está atuante.

Os resultados das análises que estão dentro do intervalo L_1 e L_2 indicam que a divergência entre as espécies está dentro das expectativas do modelo MDE, sendo explicada por um processo estocástico de evolução neutra no intervalo de tempo sugerido.

Os resultados das análises das fêmeas e dos machos em que o quociente foi maior que L_1 , indica que a divergência é muito grande, maior do que a esperada pela evolução neutra, de modo que seleção direcional deve estar atuando sobre estas características.

Para as características dos machos: altura do corpo, distância pré-dorsal e comprimento do focinho o tempo estimado de divergência entre as populações foi inferior a 160 gerações, sugerindo que estas características não estão sob seleção direcional, ou seja, que esta divergência foi causada apenas por mutação e deriva.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA RURAL GO 1 - <https://intra2.agenciarural.go.gov.br/geonet/mapa/index.php?descricao=227&cdescricao=1&mapa=goias.php&continuacid=&continuacid2=Goi%E2nia> – Acesso em: 10 de julho de 2008.

AGÊNCIA RURAL GO 2 - <https://intra2.agenciarural.go.gov.br/geonet/mapa/index.php?descricao=1328&cdescricao=1&mapa=goias.php&continuacid=&continuacid2=Caldas+Novas> – Acesso em: 10 de julho de 2008.

AGÊNCIA RURAL GO 3 - <https://intra2.agenciarural.go.gov.br/geonet/mapa/index.php?descricao=328&cdescricao=1&mapa=goias.php&continuacid=&continuacid2=Pirenopolis> – Acesso em: 10 de julho de 2008.

ASHTON, K. G., TRACY, M. C. & DE QUEIROZ, A. **Is Bergmann's rule valid for mammals?** *Am. Nat.* 156: 390-415. 2000.

CASTILHO, Rita. <http://www.biocongroup.eu/genetics/papers.html>, acesso em 15 de janeiro de 2008.

DINIZ FILHO, José Alexandre F. **Métodos Filogenéticos Comparativos**. São Paulo: Ed. Holos, 2000.

FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1987.

FUTUYMA, D.J. **Biologia Evolutiva**. Sociedade Brasileira de Genética/CNPq, Ribeirão Preto, 631 pp. 1992.

GRIFFITHS et al. **Introdução à Genética**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan, 2006.

HUGHES, K. A.; RODD, F. H.; REZNICK, D. N. Genetic and environmental effects on secondary sex traits in guppies (*Poecilia reticulata*). **Journal of Evolutionary Biology**, vol. 18, n. 1, Janeiro de 2005.

LAGLER, K. F. et al. **Ichthyology**. 2 ed. New York: Ed. Wiley, 1977.

LINDHOLM, Anna K. et al. **Invasion success and genetic diversity of introduced populations of guppies *Poecilia reticulata* in Australia**. *Molecular Ecology*, 2005.

MAGURRAN, A. E. et al. The Behavioral Diversity and Evolution of Guppy, *Poecilia reticulata*, Populations in Trinidad. **Advances in the study of behavior**, vol. 24, 1995.

MEIRI S, DAYAN T, SIMBERLOFF D. - **Carnivores, biases and Bergmann's rule** - *Biological Journal of the Linnean Society* - Blackwell Synergy, 2004

NAKAJIMA, M.; TANIGUCHI, N. Genetic control of growth in the guppy (*Poecilia reticulata*). *Elsevier, Aquaculture* 204, 393-405, 2002.

_____. Genetic of the guppy as a model for experiment in aquaculture. Kluwer Academic Publishers. 279-289, 2001.

RIDLEY, Mark. **Evolução**. 3 ed. São Paulo: Artmed, 2006.

RS-YAYOI – www.rs-yayoi.com/.../name%20index/pht-guppi01a.jpg. Acesso em: novembro de 2007.

SAVALLI, Udo Michael. (1991) **Sexual selection and the evolution of tail length in the yellow-shouldered widowbird**. Berkeley: University of California, 1993.

_____. The behaviour of male Yellowmantled Widow-birds *Euplectes macrourus* in western Kenya. Springerlink, **Journal Article**, vol. 64, p. 57–62, 1993.

_____. Tail length affects territory ownership in the yellow-shouldered widowbird. **Anim Behav**, vol. 48, p. 105–111, 1994.

_____. Sexual dimorphism and sex ratio in the Yellowshouldered Widowbird *Euplectes macrourus* soror. **Ostrich**, vol. 65, p. 297-301, 1994.

SEPLAN 1 GO. **Anuário estatístico do Estado de Goiás**. Disponível em: http://www.seplan.go.gov.br/sepim/pub/anuario/2005/situacao_fisica/grafico01.jpg. Acesso em: 13 out. 2008a.

SEPLAN 2 GO. **Anuário estatístico do Estado de Goiás**. Disponível em: http://www.seplan.go.gov.br/sepim/pub/anuario/2005/situacao_fisica/bacias/bacia_tocantins.htm. Acesso em: 13 out. 2008b.

SEPLAN 3 GO. **Anuário estatístico do Estado de Goiás**. Disponível em: http://www.seplan.go.gov.br/sepim/pub/anuario/2005/situacao_fisica/bacias/bacia_paranaiba.htm. Acesso em: 13 out. 2008c.

SHOJI, A.; YOKOYAMA J.; KAWATA M., Molecular phylogeny and genetic divergence of the introduced populations of Japanese guppies, *Poecilia reticulata*. Springer Science, Business Media B.V. 2006.

VALVA, Fabrício D'Ayala; DINIZ FILHO, José Alexandre Felizola; CARVALHO, Fernando Lins de. **Evolução humana e povoamento da América**. Sergipe: Universidade Federal de Sergipe, 2005.

Anexos

Anexo a – ANOVA comparando comprimento padrão com local, sexo e interações de espécies de *Poecilia reticulata*, base para computar o MDE. Os valores de SQ, GL, QM, F, valor-P e F-crítico referem-se, respectivamente, à soma de quadrados, graus de liberdade, quadrado médio (variância) e a estatística F, valores de P e F crítico.

Comprimento padrão	SQ	GI	MQ	F	valor-P	F crítico
Sexo	1948,66	1	1948,66	389,7542	8,04E-56	3,873282
Locais	236,317	2	118,1585	23,63305	3,04E-10	3,026466
Interações	92,79666	2	46,39833	9,280196	0,000124	3,026466
Dentro	1469,916	294	4,999715			
Total	3747,689	299				

Anexo b – ANOVA comparando tamanho do olho com local, sexo e interações de espécies de *Poecilia reticulata*, base para computar o MDE. Os valores de SQ, GL, QM, F, valor-P e F-crítico referem-se, respectivamente, à soma de quadrados, graus de liberdade, quadrado médio (variância) e a estatística F, valores de P e F crítico.

Tamanho do olho	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Sexo	3,351747	1	3,351747	90,99922	5,76E-19	3,873282
Locais	0,211065	2	0,105532	2,86518	0,058565	3,026466
Interações	0,806274	2	0,403137	10,94508	2,6E-05	3,026466
Dentro	10,82881	294	0,036833			
Total	15,1979	299				

Anexo c – ANOVA comparando altura do corpo com local, sexo e interações de espécies de *Poecilia reticulata*, base para computar o MDE. Os valores de SQ, GL, QM, F, valor-P e F-crítico referem-se, respectivamente, à soma de quadrados, graus de liberdade, quadrado médio (variância) e a estatística F, valores de P e F crítico.

Altura do Corpo	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Sexo	87,69613	1	87,69613	227,4872	1,81E-38	3,873282
Locais	8,248203	2	4,124101	10,69808	3,27E-05	3,026466
Interações	5,025419	2	2,512709	6,518067	0,001699	3,026466
Dentro	113,3367	294	0,385499			
Total	214,3065	299				

Anexo d – ANOVA comparando distância pré-dorsal com local, sexo e interações de espécies de *Poecilia reticulata*, base para computar o MDE. Os valores de SQ, GL, QM, F, valor-P e F-crítico referem-se, respectivamente, à soma de quadrados, graus de liberdade, quadrado médio (variância) e a estatística F, valores de P e F crítico.

<i>Distância pré-dorsal</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Sexo	895,3805	1	895,3805	421,4717	1,01E-58	3,873282
Locais	47,40267	2	23,70134	11,15665	2,14E-05	3,026466
Interações	33,90295	2	16,95148	7,979365	0,000422	3,026466
Dentro	624,5778	294	2,124414			
Total	1601,264	299				

Anexo e – ANOVA comparando comprimento do focinho com local, sexo e interações de espécies de *Poecilia reticulata*, base para computar o MDE. Os valores de SQ, GL, QM, F, valor-P e F-crítico referem-se, respectivamente, à soma de quadrados, graus de liberdade, quadrado médio (variância) e a estatística F, valores de P e F crítico.

<i>Compr. Do focinho</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Sexo	3,871488	1	3,871488	61,36281	8,72E-14	3,873282
Locais	0,572984	2	0,286492	4,540878	0,011423	3,026466
Interações	0,091616	2	0,045808	0,726054	0,48468	3,026466
Dentro	18,54898	294	0,063092			
Total	23,08507	299				

Anexo f – ANOVA comparando comprimento da cabeça com local, sexo e interações de espécies de *Poecilia reticulata*, base para computar o MDE. Os valores de SQ, GL, QM, F, valor-P e F-crítico referem-se, respectivamente, à soma de quadrados, graus de liberdade, quadrado médio (variância) e a estatística F, valores de P e F crítico.

<i>Comp. da cabeça</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Sexo	103,9939	1	103,9939	408,6551	1,45E-57	3,873282
Locais	7,251285	2	3,625642	14,24735	1,24E-06	3,026466
Interações	4,617009	2	2,308504	9,071516	0,00015	3,026466
Dentro	74,81663	294	0,254478			
Total	190,6788	299				

Anexo g – ANOVA comparando peso em gramas com local, sexo e interações de espécies de *Poecilia reticulata*, base para computar o MDE. Os valores de SQ, GL, QM, F, valor-P e F-crítico referem-se, respectivamente, à soma de quadrados, graus de liberdade, quadrado médio (variância) e a estatística F, valores de P e F crítico.

Peso em gramas	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Sexo	0,871024	1	0,871024	212,0501	1,53E-36	3,873282
Locais	0,10695	2	0,053475	13,0185	3,82E-06	3,026466
Interações	0,060065	2	0,030033	7,311406	0,000796	3,026466
Dentro	1,207645	294	0,004108			
Total	2,245684	299				

Anexo h – ANOVA comparando distância interorbital com local, sexo e interações de espécies de *Poecilia reticulata*, base para computar o MDE. Os valores de SQ, GL, QM, F, valor-P e F-crítico referem-se, respectivamente, à soma de quadrados, graus de liberdade, quadrado médio (variância) e a estatística F, valores de P e F crítico.

Dist. interorbital	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Sexo	23,03532	1	23,03532	48,0125	2,68E-11	3,873282
Locais	58,78463	2	29,39232	61,26237	5,75E-23	3,026466
Interações	1,914002	2	0,957001	1,994676	0,137895	3,026466
Dentro	141,0546	294	0,479778			
Total	224,7886	299				

Anexo i – ANOVA comparando comprimento do pedúnculo caudal com local, sexo e interações de espécies de *Poecilia reticulata*, base para computar o MDE. Os valores de SQ, GL, QM, F, valor-P e F-crítico referem-se, respectivamente, à soma de quadrados, graus de liberdade, quadrado médio (variância) e a estatística F, valores de P e F crítico.

Comprimento do Pedúnculo caudal	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Sexo	23,81774	1	23,81774	1,112346	0,292439	3,873282
Locais	432,0696	2	216,0348	10,08935	5,78E-05	3,026466
Interações	21,48317	2	10,74159	0,501658	0,606043	3,026466
Dentro	6295,178	294	21,41217			
Total	6772,549	299				

Anexo j – ANOVA comparando altura do pedúnculo caudal com local, sexo e interações de espécies de *Poecilia reticulata*, base para computar o MDE. Os valores de SQ, GL, QM, F, valor-P e F-crítico referem-se, respectivamente, à soma de quadrados, graus de liberdade, quadrado médio (variância) e a estatística F, valores de P e F crítico.

<i>Altura do pedúnculo caudal</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Sexo	6,882645	1	6,882645	9,91692	0,001806	3,873282
Locais	92,46105	2	46,23053	66,61166	1,38E-24	3,026466
Interações	1,149485	2	0,574742	0,828123	0,437885	3,026466
Dentro	204,045	294	0,694031			
Total	304,5382	299				