

5 Resultados e Discussão

5.1. Estudo do método empregado

Para avaliar a precisão e exatidão dos métodos analíticos empregados, foram utilizados os materiais de referência da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA/Mônaco) COPEPOD HOMOGENATE-M.A.-1 sample n° 501 e do National Research Council - Canada DOLT-2 (fígado). Estes padrões foram utilizados por apresentarem composição de mercúrio (Hg) e metilmercúrio certificados. Os valores das amostras certificadas, obtidos neste trabalho foram comparados com os valores de referência dos certificados (CRM) (Tabelas 7 e 8). Os valores dos coeficientes de variação dos resultados obtidos foram abaixo dos 10%, como recomendados pela FAO (1983). Nos gráficos 11 e 12 são demonstradas todas as concentrações de HgT obtidas nas amostras certificadas bem como, seus respectivos desvios-padrões.

Tabela 7: Concentração de HgT ($\mu\text{gHg.g}^{-1}\text{p.s.}$) na amostra de referência (IAEA MA-1 sample 501).

Amostra de Referência	Valores de Referência (CRM)	Valores Obtidos neste Trabalho			
		Média \pm SD	N	C.V. (%)	Recuperação (%)
IAEA MA-1 Copépode ($\mu\text{gHgT.g}^{-1}$)	0,28 \pm 0,024	0,30 \pm 0,06	16	8,0	107

N = n° de amostras DP = desvio padrão

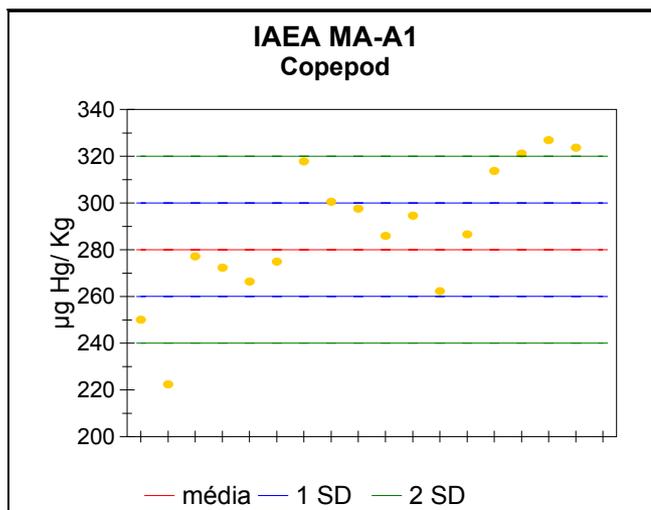


Figura 11: Gráfico da evolução de todas as concentrações de HgT obtidas nas amostras certificadas (N = 17).

Tabela 8: Concentração de MeHg ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ p.s.) nas amostras de referência DOLT-2 para análise de peixe.

Amostra de Referência	Valores de Referência	Valores Obtidos neste Trabalho			
		Média \pm DP	N	C.V. (%)	Recuperação (%)
	Valor Real	Intervalo (95%)			
Dolt 2 ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	$0,693 \pm 0,053$	$0,68 \pm 0,08$	10	5	98

N = n° de amostras DP = desvio padrão

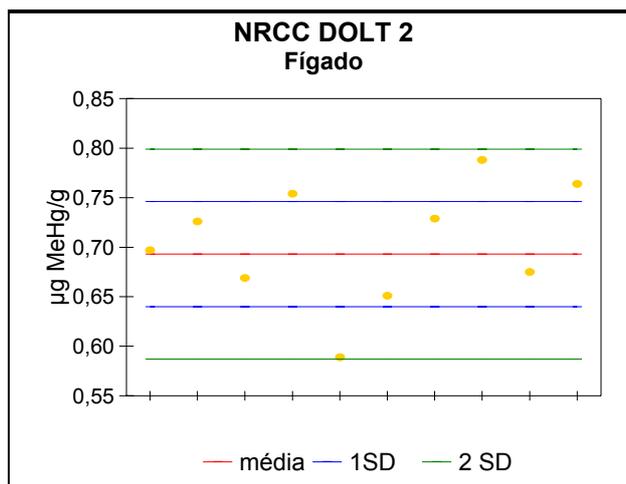


Figura 12: Gráfico da evolução de todas as concentrações de MeHg nas amostras certificadas obtidas (N = 10).

5.2. Caracterização da precisão e da exatidão do método analítico

Observando-se os dados descritos nas Tabelas 7 e 8, foi possível concluir, que houve uma boa concordância entre os valores de concentração (HgT e MeHg) obtidos experimentalmente e os valores de concentração dos materiais certificados (Dolt – 2 e IAEA).

O coeficiente de variação (C.V.) que permite avaliar de quantos pontos percentuais os resultados encontrados desviam-se do valor verdadeiro conhecido, devido a erros aleatórios, foi inferior a $\pm 10\%$, significando, que ambos os procedimentos analíticos escolhidos são plenamente satisfatórios (FAO, 1983).

Os resultados permitem que seja afirmado, que em ambos os métodos analíticos empregados, desde a digestão das amostras, passando pela extração (MeHg) até a dosagem dos analitos HgT e MeHg pelas técnicas anteriormente mencionadas, mostraram-se eficientes e reprodutivos, conforme foi verificado através da análise do padrão de referência.

Os teores de HgT e MeHg obtidos experimentalmente para o padrão de referência foram comparados, através do teste t, “teste de Student”, com o valor

certificado. O valor de t encontrado para o HgT ($t = 1,333$) situou-se abaixo dos valores tabelados para $\alpha = 0,05$ ($t = 2,131$) e para $\alpha = 0,01$ ($t = 2,947$). E o valor de t encontrado para o MeHg ($t = -0,4596$) situou-se abaixo dos valores tabelados para $\alpha = 0,05$ ($t = 2,365$) e para $\alpha = 0,01$ ($t = 3,500$), mostrando que a diferença de 0,06 para HgT e 0,08 para MeHg são estatisticamente insignificantes, podendo ser atribuídos unicamente a erros aleatórios. Com base nesses resultados pode-se afirmar que os métodos de análise produzem resultados exatos.

5.3. Estudo do limite de detecção para HgT

O limite de detecção (LD) representa a menor massa ou concentração de mercúrio, que pode ser detectado com 95% de confiabilidade estatística (Skoog, 1985 apud Kehrig, 1992), é determinado pela razão entre três vezes o desvio-padrão calculado (s) com base em uma série de 10 leituras de uma solução de branco a partir de uma matriz idêntica à de interesse, porém sem o analito, e a inclinação da curva analítica (a) (Figura 7), que é a sensibilidade:

$$L.D. = 3 \times s/a \quad (1)$$

Com base no resultado obtido para L.D., calculou-se a quantidade mínima de HgT, possível de ser detectada, para amostras de peixes, pelo emprego do método em questão, obtendo-se o valor de $3,30 \text{ ng.mL}^{-1}$.

5.4. Estudo do limite de detecção para MeHg

A quantidade mínima detectada ou detectabilidade mínima (D) é definida como a menor concentração ou fluxo de massa de analito (MeHg) da amostra na fase móvel (gás nitrogênio), que produz um sinal no detector (DCE). É igual à razão entre duas vezes o nível de ruído (N) e a medida da sensibilidade (S) (Lanças, 1993).

A sensibilidade de um detector (S) é igual a saída do sinal por unidade de concentração ou unidade de massa MeHg na fase móvel que entra no detector (Lanças, 1993).

A quantidade mínima de MeHg detectada pelo método analítico, CG-ECD, foi estabelecida através de sucessivas injeções, de soluções diluídas de padrão de cloreto de metilmercúrio em tolueno, até o ponto em que não mais se observou nenhum sinal de ruído no tempo de retenção de analito estudado. Soluções de branco obtidas a partir de uma matriz idêntica à de interesse, porém sem o analito foram injetadas no CG-DCE e não se observou a presença de nenhum sinal de ruído no tempo de retenção do analito estudado.

Foi também estabelecida a concentração mínima de MeHg, possível de ser detectada através do CG-DCE, para a matriz utilizada neste estudo, sendo encontrado o valor: $0,50\mu\text{gKg}^{-1}$ p.u. Este valor de concentração apresentou o sinal característico, no tempo de retenção do MeHg. Próximo ao tempo de retenção do MeHg, o cromatograma não apresentou outros sinais de ruído do detector.

5.5. Resultados para as amostras de peixes

Na Tabela 9 são apresentadas as concentrações médias e o desvio padrão de HgT, MeHg e a % MeHg, além dos valores médios para o comprimento, o peso e a idade nas corvinas (*Micropogonias furnieri*), bagre (*Bagre spp.*) e tainhas (*Mugil liza*). No anexo 1, itens a, b e c são apresentados os resultados obtidos, para as concentrações de HgT, MeHg, idade, peso, comprimento e sexo nas espécies citadas anteriormente.

Neste estudo foram avaliados a influência dos parâmetros morfométricos (comprimento, peso), bióticos (maturidade sexual, sexo), do hábito alimentar e da posição do indivíduo ao longo da cadeia alimentar nos níveis de mercúrio encontrados no tecido muscular, no fígado e na gônada dos peixes estudados.

De acordo com os resultados obtidos (Tabela 9) para o intervalo das concentrações de HgT na corvina, no bagre e na tainha, é possível notar que esses valores encontram-se abaixo do limite permitido pela Organização Mundial de Saúde (OMS) que é de $500 \mu\text{g.Kg}^{-1}$.

Tabela 9: Concentrações médias (M) e desvio padrão (SD) de HgT e MeHg bem como suas razões nos tecidos úmidos dos organismos marinhos da Baía de Guanabara e seus respectivos parâmetros morfométricos

Orgs. Marinhos	Compr. Médio (cm)	Peso (g)	Idade Média (anos)	Músculo (M ± SD)			Fígado (M ± SD)			Gônada (M ± SD)		
				HgT (μgKg^{-1}) p.u.	MeHg (μgKg^{-1}) p.u.	% MeHg	HgT (μgKg^{-1}) p.u.	MeHg (μgKg^{-1}) p.u.	% MeHg	HgT (μgKg^{-1}) p.u.	MeHg (μgKg^{-1}) p.u.	% MeHg
Corvina (N = 14)	36,0	0,46	2,0 à 2,5	88,03 ± 77,18	86,27 ± 75,64	98	193,7 ± 133,8	55,14 ± 35,10	27	27,7 ± 19,10	27,64 ± 19,06	100
Bagre (N = 14)	39,0	0,66	*	64,09 ± 13,49	63,45 ± 13,36	99	268,8 ± 56,84	56,16 ± 22,39	22	*	*	*
Tainha (N = 15)	31,5	0,34	*	3,58 ± 2,36	1,86 ± 1,23	52	140,4 ± 56,10	13,0 ± 10,25	10	9,85 ± 6,89	9,83 ± 6,87	100

- * = Não possui valor / A % MeHg foi obtida conforme cálculos descritos no capítulo 6 item 6.4.4

5.5.1.

Influência dos parâmetros morfométricos e bióticos, do hábito alimentar e da posição na teia trófica na bioacumulação de mercúrio no tecido muscular das espécies estudadas.

Com o objetivo de verificar a possível influência do comprimento total dos indivíduos na acumulação do HgT no tecido muscular dos peixes, *Micropogonias furnieri* (corvina), *Bagre spp.* (bagre) e *Mugil liza* (tainha) empregadas neste trabalho, foram construídas as curvas comprimento total (L) x [HgT] no tecido muscular das espécies estudadas.

Nas Figuras 13 e 14 serão demonstradas as possíveis correlações entre a concentração de HgT e o comprimento total da corvina e tainha a fim de avaliar se este parâmetro influi ou não no acúmulo do HgT pelo organismo destas espécies.

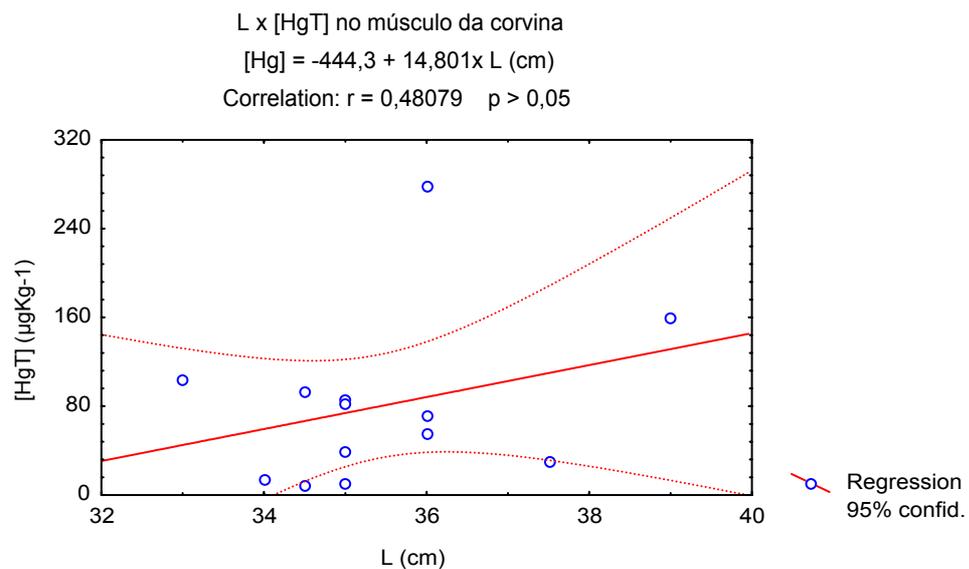


Figura 13: Comportamento da concentração de HgT no tecido muscular em função do comprimento total (L) da corvina.

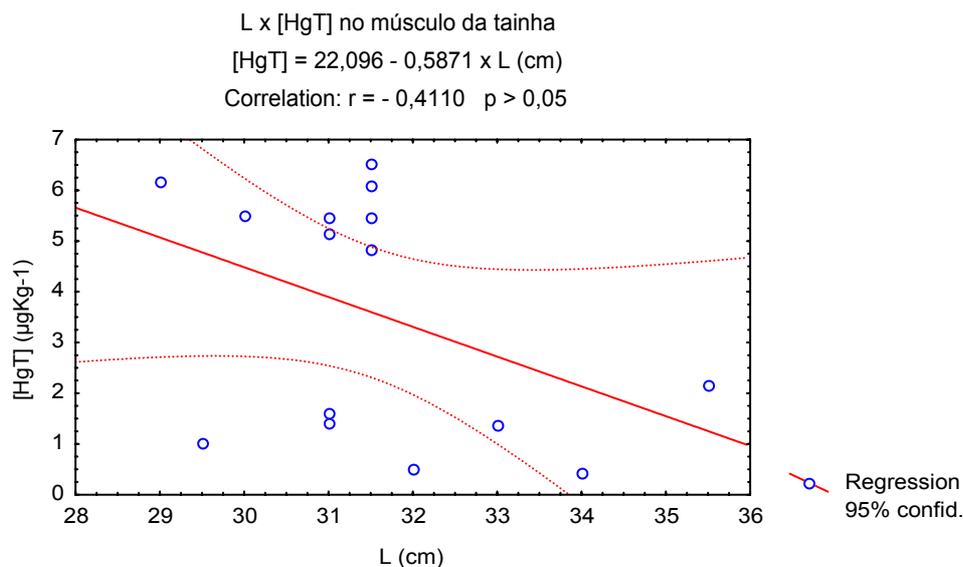


Figura 14: Comportamento da concentração de HgT no tecido muscular em função do comprimento total da tainha.

Observando-se as Figuras 13 e 14 foi possível verificar que não há uma correlação estatística (*correlação de Spearman*) entre as concentrações de HgT no tecido muscular e o comprimento total, da corvina (N = 14) ($r = 0,48$; $p > 0,05$) e da tainha (N = 15) ($r = 0,41$; $p > 0,05$). Esses resultados observados para a corvina e a tainha estão de acordo com estudos realizados por Huckabee et al. (1979), que demonstraram que a correlação entre comprimento e a concentração de HgT no tecido muscular dos peixes sofre a influência de certas variáveis. Segundo este estudo, é necessário que a amostra apresente uma variação de comprimento e de idade adequadas para que se possa obter uma correlação direta. Um outro estudo que demonstra esse fato, foi realizado por Scott e Armstrong et al. (1972) em peixes brancos e peixes de olhos grandes. Neste estudo não foi encontrada uma correlação significativa entre a concentração de HgT e o comprimento dos peixes, mas em um estudo subsequente (Scott et al., 1974) no mesmo local e utilizando peixes com comprimento maiores e uma maior variação média de comprimento, foi encontrada uma correlação significativa e positiva. Portanto, é possível inferir que, provavelmente, as amostras utilizadas neste estudo não apresentaram uma boa variação de comprimento visto que, na corvina

o comprimento variou de 33,0 à 43,0 cm e na tainha de 29,0 à 35,5 cm ou provavelmente, segundo Huckabee et al. (1979), as espécies estudadas possuíam diferentes padrões de crescimento e exposição a contaminação por mercúrio.

Observando-se o estudo realizado anteriormente por Kehrig et al. (1998, 2002) na Baía de Guanabara, empregando-se 81 corvinas e 20 tainhas, com uma maior variação no comprimento total das espécies estudadas, foi verificado uma correlação estatisticamente significativa entre a concentração de mercúrio total e o comprimento total no tecido muscular das espécies.

Em um outro estudo realizado por Sellanes et al. (2002), empregando-se 10 amostras de atum, não foi possível estabelecer uma correlação entre o comprimento total e a concentração de HgT no tecido muscular destes indivíduos. Estes resultados vêm ao encontro com os obtidos nesta dissertação.

Embora neste estudo a corvina e a tainha não tenham apresentado uma correlação entre a concentração de mercúrio no músculo e o comprimento total dos indivíduos, na literatura científica é amplamente documentado que esta correlação ocorre para a maioria das espécies estudadas (Huckabee et al., 1979; Boening et al., 2000).

Foi observado, no tecido muscular do bagre, a influência do comprimento do indivíduo no acúmulo de mercúrio pelo organismo, sendo verificado (Figura 15) a existência da correlação entre esses dois parâmetros.

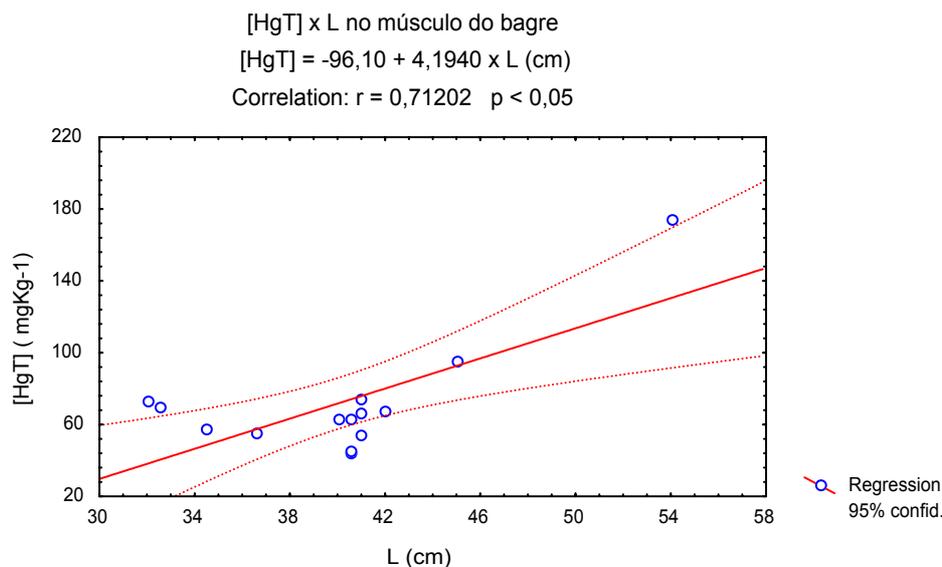


Figura 15: Comparação entre a concentração de HgT no tecido muscular e o comprimento do bagre.

Observando-se a Figura 15 verifica-se uma correlação estatística e significativa ($r = 0,71$; $p < 0,05$) entre a concentração de HgT no tecido muscular e o comprimento total do bagre ($N = 14$). E está de acordo com estudos anteriores realizados por Moreira & Pinto et al. (1991), Kehrig et al. (1998, 2002), que demonstraram este comportamento empregando amostras de corvina e tainha. E estudos anteriores a este já verificaram este comportamento, como por exemplo o realizado por Olsson (1976). Desta forma é possível verificar que normalmente há uma correlação bastante significativa entre o comprimento das espécies e a bioacumulação de mercúrio em seu organismo. É necessário ressaltar que o bagre apresentou uma boa amplitude em relação ao seu comprimento (32,0 cm – 54,0 cm) o que não ocorreu com a corvina e a tainha como mencionado anteriormente. Sendo, provavelmente este, o motivo pelo qual o tecido muscular do bagre apresentou uma correlação significativa entre a concentração de HgT e o seu comprimento total.

Observando-se a Tabela 9 foi possível verificar que a razão de HgT na forma de MeHg (% MeHg) no tecido muscular da corvina e do bagre foi praticamente 100 % enquanto no tecido muscular da tainha esta mesma percentagem foi de 52 %. Sendo assim, foi realizado um estudo para verificar o

comportamento da concentração MeHg e o comprimento no tecido muscular da tainha.

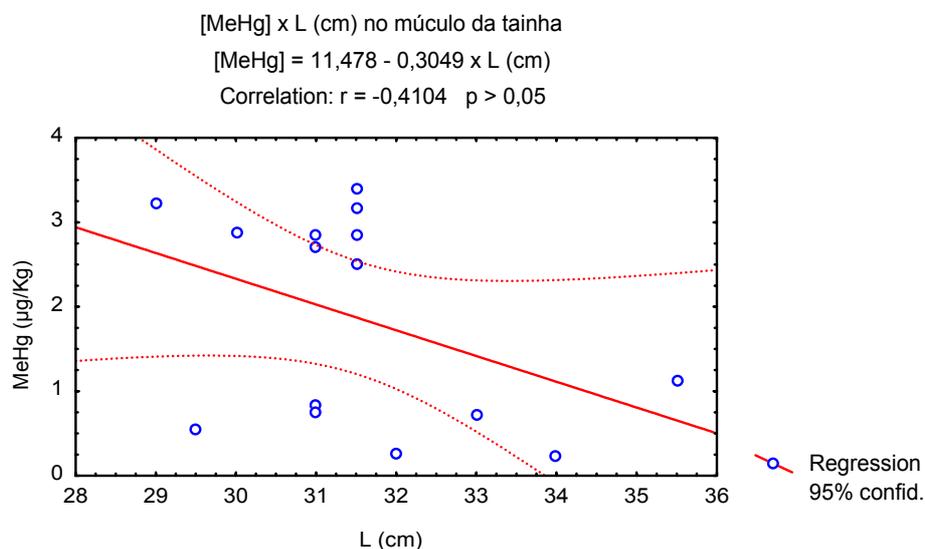


Figura 16: Comportamento da concentração de MeHg no tecido muscular em função do comprimento total da tainha.

De acordo com o teste estatístico aplicado neste estudo (correlação de Spearman) foi possível verificar que não houve uma correlação estatística e significativa ($r = 0,41$; $p > 0,05$) entre a concentração de MeHg no tecido muscular e o comprimento total da tainha ($N = 15$). Estes resultados estão de acordo com estudos prévios realizados por Kehrig (1999) com peixes coletados na bacia do rio Negro e no reservatório de Balbina, e podem estar relacionados com o reduzido número de indivíduos coletados, que pode ter dificultado a correlação entre esses dois parâmetros.

Embora os níveis de mercúrio nos peixes geralmente sejam melhor correlacionados com o comprimento do que com o peso, pois o comprimento não decresce ao longo do ciclo de vida dos indivíduos (Huckabee et al., 1979), neste trabalho, foi realizado um estudo para verificar o comportamento do HgT no tecido muscular em função do peso do organismo.

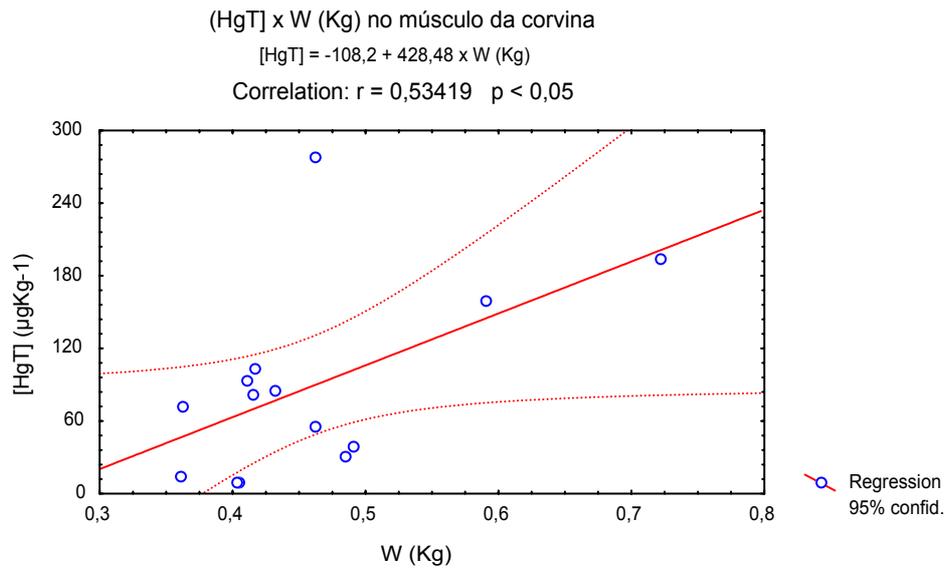


Figura 17: Comportamento da concentração de HgT no tecido muscular em função do peso (W) da corvina.

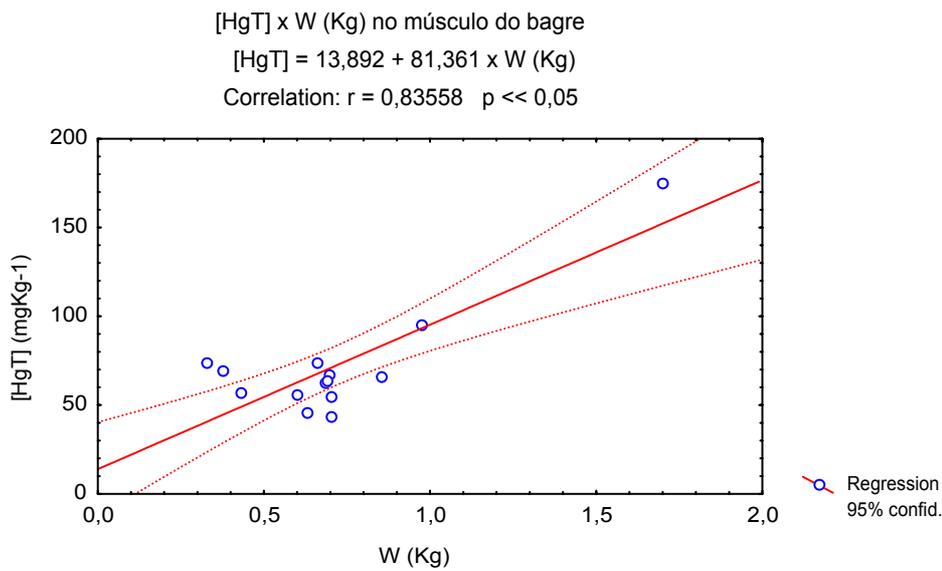


Figura 18: Comportamento da concentração de HgT no tecido muscular em relação ao peso (W) do bagre.

Observando-se as Figuras 17 e 18 nota-se que o tecido muscular da corvina e do bagre apresentaram uma correlação estatística e significativa entre as concentrações de HgT e o peso dos indivíduos. No tecido muscular da tainha

(Figura 19) esta mesma correlação não foi significativa, como pode ser verificado através dos resultados apresentados na Tabela 10.

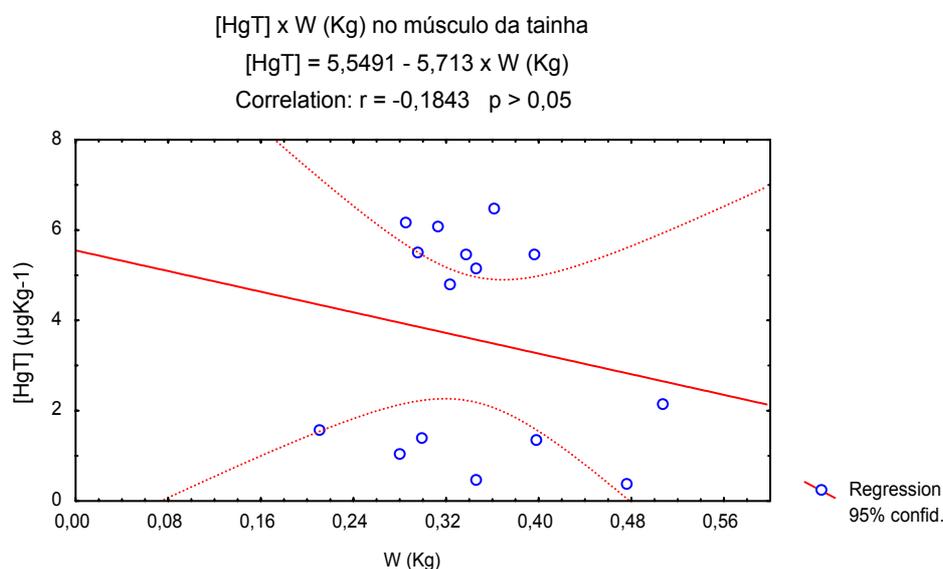


Figura 19: Comportamento da concentração de HgT no tecido muscular em função do peso da tainha.

Tabela 10: Resultados da Correlação de Spearman aplicados para verificar o comportamento da concentração de HgT no tecido muscular em função do peso dos peixes.

Espécies de Peixes	Peso (Kg) (Min. – Máx.)	Correlação de Spearman	
		R	p
Corvina (N = 14)	0,360 – 0,590	0,53	< 0,05
Bagre (N =14)	0,327 – 1,70	0,84	<< 0,05
Tainha (N =15)	0,210 – 0,510	-0,18	< 0,05

Os resultados apresentados estão de acordo com estudos realizados anteriormente que demonstraram que no tecido muscular de algumas espécies de peixes carnívoros, a concentração de HgT aumenta à medida que seu peso aumenta (Cross et al., 1979; Malm et al., 1995; Kehrig et al., 1998). Neste estudo

a corvina é a representante dos peixes carnívoros e predadores sendo assim, está posicionada no topo da cadeia alimentar. Os peixes predadores possuem expectativa de vida maior que sua presa e portanto, um maior tempo de exposição ao mercúrio tanto pela absorção através do alimento como através da água. Esses fatores contribuem para a diferença nos níveis de absorção do mercúrio pelas espécies (Huckabee et al., 1979; Windom e Kendall et al., 1979).

Outro fator que também pode estar influenciando as diferenças de acumulação do mercúrio, e conseqüentemente na correlação estatística e não significativa entre a concentração de HgT e o peso no tecido muscular da tainha (Figura 19), é o hábito alimentar da espécie. A corvina por ser uma espécie carnívora alimenta-se de micro e macrocrustáceos, poliquetas, copépodes e algumas vezes de peixes pequenos, já o bagre que é onívoro alimenta-se de toda a sorte de detritos orgânicos e inorgânicos (Suzuki, 1986), e talvez por este motivo essas espécies tenham apresentado uma correlação significativa entre a concentração de HgT e o peso nos seus tecidos musculares. A tainha é uma espécie planctívora que alimenta-se basicamente de algas diatomáceas (da Silva & Sergipense et al., 1997) e talvez por isso não tenha apresentado, em seu tecido muscular, correlação entre a concentração de HgT e o peso.

Como dito anteriormente a tainha apresentou apenas 52 % de mercúrio total na forma de MeHg ou seja, % MeHg em seu tecido muscular, por isso foi feito um estudo correlacionando a concentração de MeHg em relação ao peso que será demonstrado graficamente (Figura 20) e discutido em seguida. Como a corvina e o bagre apresentaram a percentagem de MeHg em torno de 100 % não foi realizado este estudo para essas espécies.

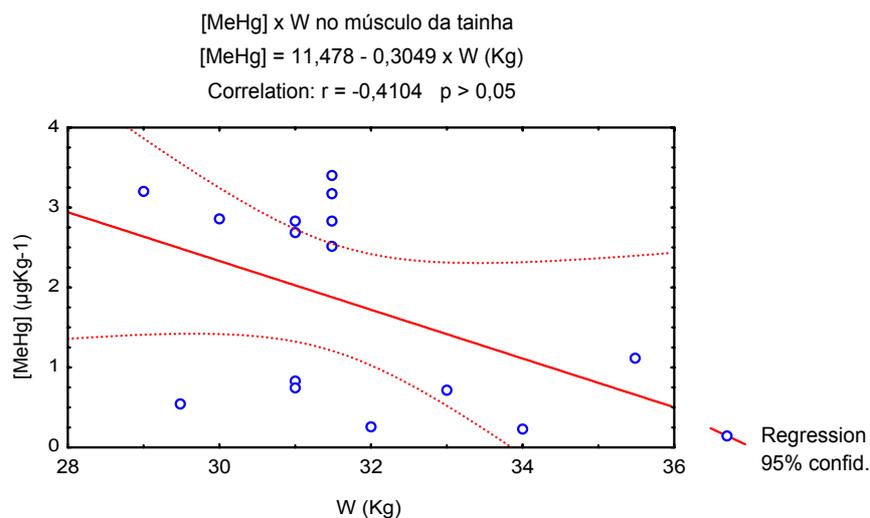


Figura 20: Comportamento da concentração de MeHg no tecido muscular em relação ao peso da tainha.

Através da Figura 20 é possível verificar que não há uma correlação estatística e significativa ($r = 0,41$; $p > 0,05$) entre a concentração de MeHg no tecido muscular e o peso da tainha ($N = 15$). Provavelmente, este fato está relacionado com o hábito alimentar da tainha, que é uma espécie planctívora, ou com o fato, do número de espécies coletadas não terem sido suficientes para que fosse possível estabelecer esta correlação.

A literatura científica sugere que um dos parâmetros que podem influenciar a bioacumulação de HgT pelos peixes é o sexo das espécies. Sendo assim, neste trabalho foi estudado o comportamento da concentração de HgT no tecido muscular em relação ao sexo da corvina e da tainha (Figuras 21 e 22). No bagre não foi possível diferenciar os machos e as fêmeas e portanto, este estudo não foi realizado.

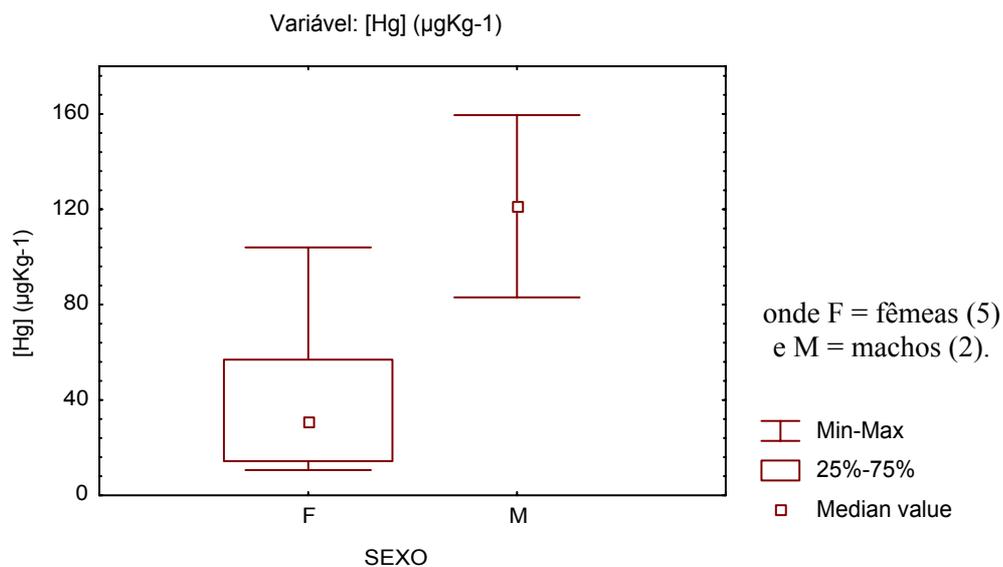


Figura 21: Comportamento da concentração de HgT no tecido muscular em relação ao sexo da corvina.

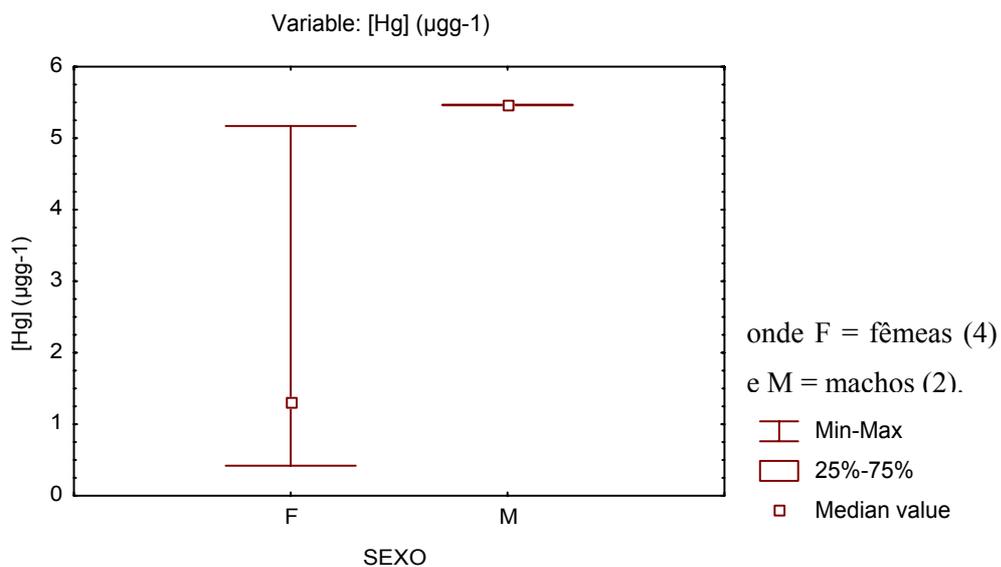


Figura 22: Comportamento da concentração de HgT no tecido muscular em relação ao sexo da tainha.

De acordo com o teste de Mann-Whitney (teste U) aplicado neste estudo não foi observada uma diferença estatística e significativa entre as concentrações de HgT no tecido muscular em função do sexo da corvina e da tainha (Figuras 21, 22 e Tabela 11). Da mesma forma, não houve diferença estatística e significativa

entre a concentração de MeHg e o sexo da tainha, como é possível verificar pelos resultados apresentados na tabela abaixo (Tabela 11). Não foi realizada análise estatística para a concentração de MeHg em relação ao sexo da corvina, pois esta apresentou quase 100 % do HgT na forma de MeHg.

Tabela 11: Teste U (Mann-Whitney) aplicado para avaliar a influência do sexo na concentração de HgT e MeHg no tecido muscular da corvina e da tainha.

	Corvina (N = 14) 5 F e 2 M (Z; p)	Tainha (N = 15) 4 F e 2 M (Z; p)
[HgT]	-1,55; > 0,05	-1,85 ; > 0,05
[MeHg]	*	-1,85; > 0,05

* = Não foi realizado o teste estatístico, F = fêmeas e M = machos

Estudos realizados por De Freitas et al. (1974) e Olsson (1976) no tecido muscular de peixes verificou que as fêmeas possuem uma concentração de HgT menor que os machos, de mesma idade. Esta observação foi associada com o fato delas, apresentarem uma razão de crescimento maior que os machos, de mesma idade, e por isso uma diluição na concentração de HgT. Eles sugeriram ainda que, os altos níveis de mercúrio nos machos poderiam estar relacionados com a atividade metabólica em função do comprimento. Os machos em uma certa idade (ainda jovens) possuem uma alta atividade metabólica por unidade de comprimento, enquanto as fêmeas por crescerem mais rapidamente possuem uma atividade metabólica mais lenta. Sendo assim, mais mercúrio é depositado no tecido muscular do macho em comparação com a fêmea.

Um outro estudo realizado por Nicoletto & Hendricks et al. (1988) verificou que as fêmeas, de algumas espécies de peixes, são capazes de acumular maiores concentrações de mercúrio que os machos. Huckabee et al. (1979), também relataram a provável influência da condição sexual na variabilidade individual da carga corpórea de mercúrio nos organismos.

Embora esses estudos correlacionem a condição sexual com a concentração de HgT presente nos indivíduos, neste estudo não foi possível estabelecer esta

comparação. Provavelmente, devido a não ter sido possível obter um maior número de indivíduos de sexos diferentes uma vez que, tanto as corvinas como as tainhas coletadas não apresentaram maturidade sexual suficiente para que fosse feita a distinção entre indivíduos machos e fêmeas. A corvina alcança a maturidade sexual por volta dos 45,0 cm ou 4 anos (Vazzoler et al., 1973), enquanto a tainha por volta dos 40,0 cm (Fish Base).

Foi aplicado o teste estatístico de Mann-Whitney para verificar se a concentração de MeHg no tecido muscular da tainha estaria sendo influenciada pelo sexo dos indivíduos. De acordo com os resultados obtidos foi possível verificar que não há uma diferença estatística significativa entre a concentração de MeHg e o sexo no tecido muscular da tainha ($Z = -1,85$; $p > 0,05$). Esta ocorrência pode estar provavelmente relacionada com o fato dos indivíduos coletados serem ainda jovens, o que dificultou a distinção entre machos e fêmeas obtendo-se um número pequeno de indivíduos de sexos diferentes.

Como dito anteriormente, a percentagem de MeHg no tecido muscular é maior em espécies de níveis tróficos mais elevados (Windom & Kendall et al., 1979). Neste estudo a espécie representante do nível trófico mais elevado é a corvina, seguida pelo bagre e a tainha. A fim de verificar se a diferença na posição trófica interfere na bioacumulação de mercúrio pelos peixes foi realizado um estudo comparativo entre as concentrações de HgT, MeHg e a % MeHg no tecido muscular das três espécies estudadas (Figura 23).

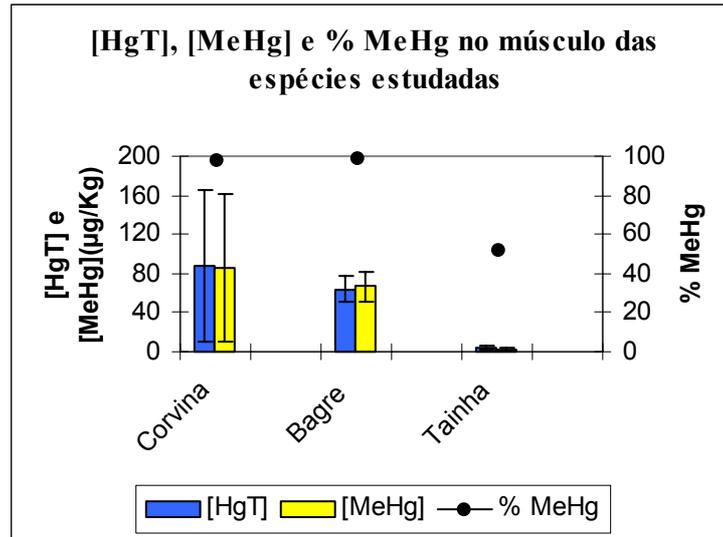


Figura 23: Comparação entre as concentrações de HgT, MeHg e a % MeHg no tecido muscular da tainha, do bagre e da corvina.

Foi aplicado o teste H de Kruskal-Wallis (ANOVA) segundo o qual observou-se que há uma diferença estatística e significativa entre as concentrações de HgT e de MeHg ($H = 28,67$; $p \ll 0,05$ e $H = 27,00$; $p \ll 0,05$ respectivamente) no tecido muscular da corvina, do bagre e da tainha. E de acordo com a Figura 23 e com os resultados apresentados na tabela 10 a % de MeHg no tecido muscular da corvina e do bagre foi de $\approx 100\%$ enquanto na tainha correspondeu a 52% . Esses resultados demonstram uma provável biomagnificação, que consiste num aumento da concentração de metilmercúrio em organismos vivos, ao passar de nichos tróficos inferiores, tainhas (planctívoros), para nichos superiores bagre (onívoro) e corvinas (carnívoros).

Segundo Window et al. (1976a) a transferência de metilmercúrio ao longo da cadeia alimentar ocorre eficientemente, através de sucessivos nichos ecológicos, indicando uma maior concentração deste metal nos organismos do topo da cadeia, que são os predadores. Porém, a eficiência desta transferência é uma função da forma química de mercúrio encontrada na presa. Jernelov e Lam (1971) e Gray et al. (2002), demonstraram que os peixes eliminam, preferencialmente, o mercúrio inorgânico, assimilando o metilmercúrio. Sendo assim, a medida que a presa apresenta uma elevada percentagem de HgT na forma

de MeHg, melhor se dará esta transferência de mercúrio e conseqüentemente espera-se que ocorra uma maior assimilação pelos predadores. Normalmente, os predadores possuem de 70 a 100% do HgT na forma metilada, salvo algumas exceções, tais como o marlím do Pacífico e algumas trutas lacustres (Bache et al., 1971; Rivers et al., 1972; Huckabee et al., 1979).

Observando-se a Figura 23 é possível verificar que a corvina apresentou os maiores níveis de concentração de mercúrio seguida pelo bagre e pela tainha provavelmente, devido ao posicionamento dessas espécies ao longo cadeia alimentar.

Mas não é somente a posição na cadeia alimentar que influencia a bioacumulação de mercúrio pelas espécies estudadas. O hábito alimentar dessas espécies também influencia muito na bioacumulação (Gray et al., 2002).

A tainha não possui seletividade alimentar mas em estudos realizados por da Silva e Sergipense et al. (1997) verificou-se que o conteúdo estomacal desta espécie foi constituído predominantemente de algas diatomáceas, já o bagre alimenta-se de toda a sorte de detritos orgânicos e inorgânicos vivos ou mortos, enquanto a corvina por ser predadora alimenta-se de microcrustáceos, copépodes e algumas vezes de peixes pequenos (Suzuki, 1986). Assim sendo, a tainha estaria menos exposta a contaminação por mercúrio se comparada ao bagre e à corvina.

As diatomáceas por serem fitoplâncton encontram-se no primeiro nível trófico da cadeia alimentar e apresentam uma baixa taxa de acumulação de MeHg e conseqüentemente de mercúrio. Estudos realizados por Sager et al. (2002) sugerem a influência do hábito alimentar nos níveis de mercúrio encontrados no tecido muscular das espécies de peixes por ele analisados.

A expectativa de vida e a razão de crescimento (idade) podem contribuir para as diferenças nos níveis de contaminação por mercúrio entre as espécies (Huckabee et al., 1979). Portanto, quando se for verificar o comportamento da biomagnificação ao longo da cadeia alimentar, devem ser levados em consideração alguns fatores que influenciam a quantidade de mercúrio acumulado

no tecido muscular dos organismos tais como: a concentração deste elemento no ambiente aquático, no sedimento e no alimento, a temperatura e a qualidade da água, o comprimento e a idade do indivíduo, bem como a sua espécie e a velocidade de crescimento da mesma e finalmente o seu metabolismo (Huckabee et al., 1979; Eisler, 1987).

Desta forma, observando-se a Figura 23 verifica-se que as concentrações de HgT e MeHg bem como a percentagem de HgT na forma de MeHg (%MeHg) no tecido muscular decresceu da corvina para a tainha demonstrando a bioacumulação e a provável biomagnificação ao longo da teia trófica.

5.5.1.1.

Avaliação do fator de bioacumulação de mercúrio (FBA) no tecido muscular das espécies estudadas

A absorção de mercúrio tanto por organismos que vivem em estuários tanto quanto pelos que vivem em oceanos, predadores ou não, pode ocorrer tanto através da água (via brânquias) como pela ingestão de alimentos (Windom e Kendall et al., 1979; Huckabee et al., 1979; Gray et al., 2002). Sendo assim, foi determinado neste estudo o fator de bioacumulação (FBA) de HgT pelas espécies estudadas, com intuito de avaliar o quanto de HgT o organismo apresenta em relação ao meio em que ele vive. Esse estudo foi possível utilizando-se os valores das concentrações de HgT encontrados por Kehrig et al. (2001) para amostras de água coletadas na Baía de Guanabara. Segundo, a referência supracitada a concentração média de HgT dissolvido na água da Baía de Guanabara foi $2,5 \pm 0,23 \text{ ngL}^{-1}$. Na Tabela 12 estão descritos os fatores de bioacumulação das espécies estudadas e na Figura 24 esses valores são demonstrados graficamente.

Tabela 12: Fator de bioacumulação de HgT no tecido muscular das espécies estudadas.

Fator de Bioacumulação (FBA)			
	Corvina	Bagre	Tainha
Tecido Muscular	$3,52 \times 10^4$	$2,56 \times 10^4$	$1,43 \times 10^3$
[HgT] \pm SD na água = (2,5 \pm 0,23) ngL⁻¹			

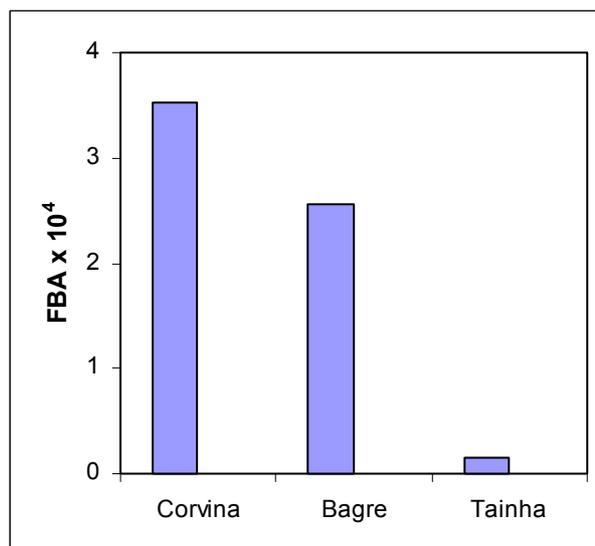


Figura 24: Fator de bioacumulação (FBA) de HgT no tecido muscular da corvina, do bagre e da tainha em relação a concentração de HgT na água da Baía de Guanabara.

Observando-se os valores obtidos para os fatores de bioacumulação (FBA) de mercúrio pelos tecidos musculares das espécies estudadas verifica-se que a corvina ($3,52 \times 10^4$) apresentou um valor cerca de 1,5 vezes maior que o bagre ($2,52 \times 10^4$) e 25 vezes maior que a tainha ($1,43 \times 10^3$). Esses resultados estão de acordo com estudos que demonstraram que os peixes são capazes de acumular mercúrio do meio ambiente cerca de 10^3 à 10^4 ordens de grandeza superiores à concentração na água, sendo portanto responsáveis pela dinâmica destes poluentes no meio aquático (Lowman et al., 1966; Craig, 1985; Celeste e Cáceres, 1988; Kehrig, 1992). As diferenças observadas entre as espécies podem estar relacionadas com a posição de cada indivíduo na teia trófica e com o hábito alimentar. Como dito anteriormente, os predadores são espécies que estão no topo da cadeia alimentar e por isso possuem maior expectativa de vida. Neste caso, a corvina é a representante dos predadores possuindo assim, uma expectativa de vida maior que as outras espécies estudadas e portanto, maior período de exposição ao mercúrio. Essa poderia ser a razão pela qual o FBA de mercúrio pelo tecido muscular das espécies estudadas foi maior para corvina quando comparada com o bagre e com a tainha, que neste estudo representa a espécie de nível trófico mais baixo e portanto, menos exposta. Este comportamento para o FBA de mercúrio demonstra a possível biomagnificação ao longo da cadeia alimentar.

Outro fator que provavelmente, pode estar influenciando o resultado apresentado para o FBA de mercúrio pelos tecidos musculares das espécies estudadas, são as diferenças em seus hábitos alimentares. Como a corvina é um peixe carnívoro estaria mais exposta ao mercúrio via alimento que o bagre, que é onívoro, e a tainha que é planctívoro.

5.5.1.2.

Estudo da concentração de HgT em relação aos parâmetros morfométricos e bióticos no tecido muscular das corvinas e tainhas ao longo dos últimos treze anos.

Neste estudo foi avaliado o comportamento da concentração de HgT no tecido muscular em relação ao comprimento total das corvinas e tainhas coletadas nos períodos de 1990, 1999 e 2003. Este estudo foi realizado a fim de verificar se o número de indivíduos, bem como a variabilidade em seu comprimento total influenciam na acumulação de HgT no tecido muscular desses indivíduos (Figuras 25 e 26).

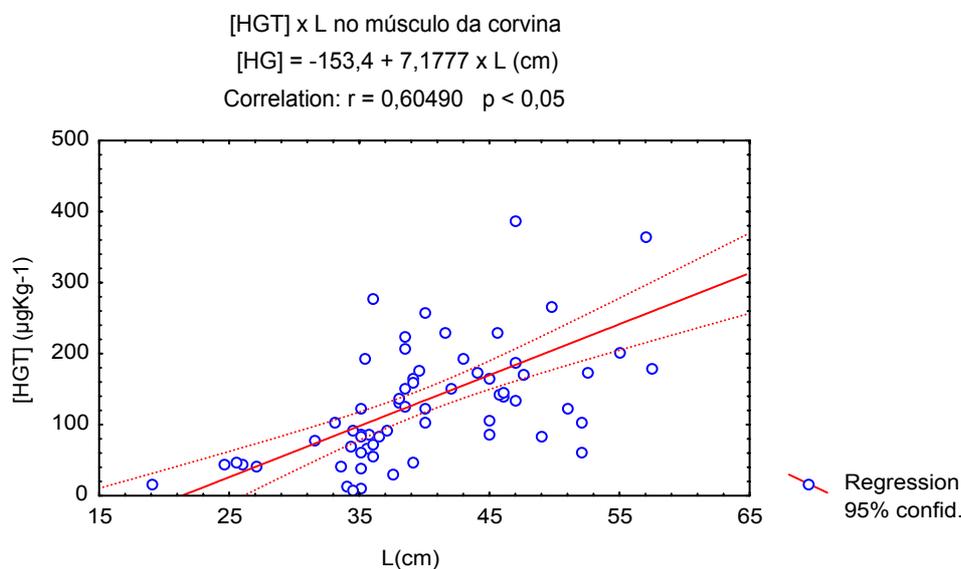


Figura 25: Comportamento da concentração de HgT no tecido muscular em relação ao comprimento das corvinas (N = 81) coletadas nos período de 1990, 1999 e 2003.

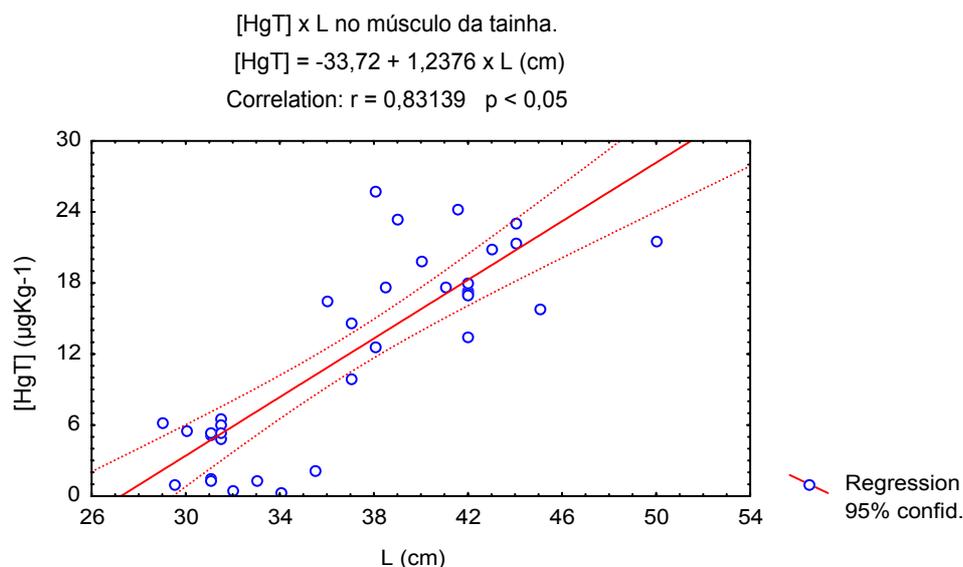


Figura 26: Comportamento da concentração de HgT no tecido muscular em relação ao comprimento total da tainhas (N = 34) coletadas nos períodos de 1999 e 2003.

De acordo com teste de regressão múltipla (correlação de Spearman) aplicado neste estudo verificou-se que existe uma correlação estatística significativa e positiva entre a concentração de HgT no tecido muscular e o comprimento total da corvina ($r = 0,60$; $p < 0,05$) e altamente significativa no tecido muscular da tainha ($r = 0,83$; $p < 0,05$). Os resultados obtidos para as concentrações de HgT no tecido muscular das amostras analisadas nos períodos de 1990 e 1999 foram determinados em estudos realizados por Kehrig et al. (1998, 2002). A correlação encontrada está de acordo com estudos anteriores, e já citados nos parágrafos acima, que demonstram a necessidade da utilização de uma maior variabilidade no comprimento dos indivíduos, associados a semelhantes padrões de crescimento e exposição a contaminação por mercúrio, para que se obtenha uma correlação significativa (Figuras 25 e 26). Sendo esse, o provável motivo pelo qual não se obteve a correlação esperada, entre a concentração de HgT e o comprimento total no tecido muscular da corvina e da tainha coletadas em 2003.

Vários estudos relacionam a concentração de HgT encontrada no tecido muscular dos peixes com a idade desses indivíduos. Acredita-se que indivíduos adultos apresentem uma maior contaminação por mercúrio que os indivíduos jovens. Como neste trabalho não havia indivíduos adultos para que se pudesse

comparar a concentração de HgT no tecido muscular em relação as suas idades utilizou-se os resultados obtidos em estudos anteriores realizados por Kehrig et al. (1998, 2002). Assim, através de uma análise estatística utilizando o teste U (Mann-Whitney) foi possível estabelecer uma comparação entre a concentração de HgT no tecido muscular da corvina e da tainha e o estágio de vida desses indivíduos (Figuras 27 e 28). Sendo que para este tipo de comparação utilizou-se retas parametrizadas tanto para as corvinas ($\log [\text{HgT}] = 2,4 \log L (\text{cm}) - 1,814$) como para as tainhas ($\log [\text{HgT}] = 0,09258 + \log L (\text{cm})$).

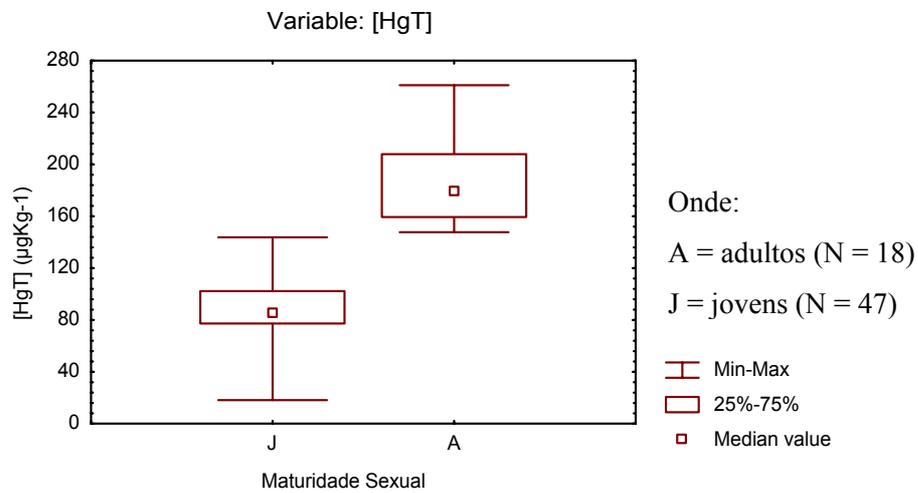


Figura 27: Comparação entre a concentração de HgT no tecido muscular e a idade das corvinas coletadas nos períodos de 1990, 1999 e 2003 (teste U).

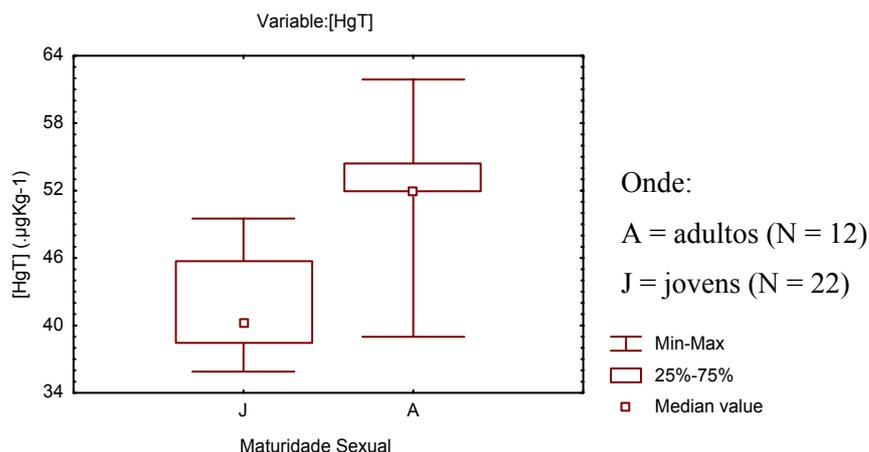


Figura 28: Comparação entre a concentração de HgT no tecido muscular e a idade das tainhas coletadas nos períodos de 1999 e 2003 (teste U).

De acordo com as Figuras 27 e 28 e com teste de Mann-Whitney (teste U) aplicado neste estudo foi observado uma diferença estatística e significativa entre as concentrações de HgT e o estágio de vida (idade) no tecido muscular da corvina ($Z = -6,20$; $p < 0,05$) e da tainha ($Z = -4,43$; $p \ll 0,05$). Sendo assim, indivíduos adultos apresentaram uma maior concentração de HgT em seu tecido muscular que os jovens. Como dito anteriormente, a corvina atinge sua fase adulta por volta de 45,0 cm de comprimento, enquanto a tainha 40,0 cm.

Segundo Huckabee et al. (1979) e Kehrig et al., 2002, esses resultados estão dentro do esperado uma vez que, existe uma provável relação direta entre a idade (comprimento) e a bioacumulação de HgT no tecido muscular dos peixes. Além do comprimento dos indivíduos, outros fatores podem estar, possivelmente, promovendo essa diferença entre as concentrações de HgT e o estágio de vida das espécies, tais como: o hábito alimentar, pois as corvinas jovens, alimentam-se basicamente de plâncton (Isaac-Nahum & Vazzoler, 1983), e o tempo de exposição ao mercúrio, pois peixes adultos possuem maior tempo de exposição que peixes jovens (Huckabee et al., 1979). Segundo algumas observações, há uma grande variação nas concentrações de HgT nos indivíduos jovens, que está, provavelmente, relacionado ao fato deles possuírem um metabolismo muito ativo e conseqüentemente uma variável velocidade de ingestão e acúmulo, nesta faixa etária (Huckabee et al., 1979; Stokes e Wren, 1987).

Neste trabalho também foi possível estudar o comportamento das concentrações de HgT no tecido muscular da corvina e da tainha ao longo dos últimos treze anos, utilizando-se os resultados obtidos no estudo realizado por Kehrig et al. (1998, 2002) e os resultados obtidos neste trabalho e tendo sido feita a parametrização como descrito no parágrafo acima (Figuras 29 e 30).

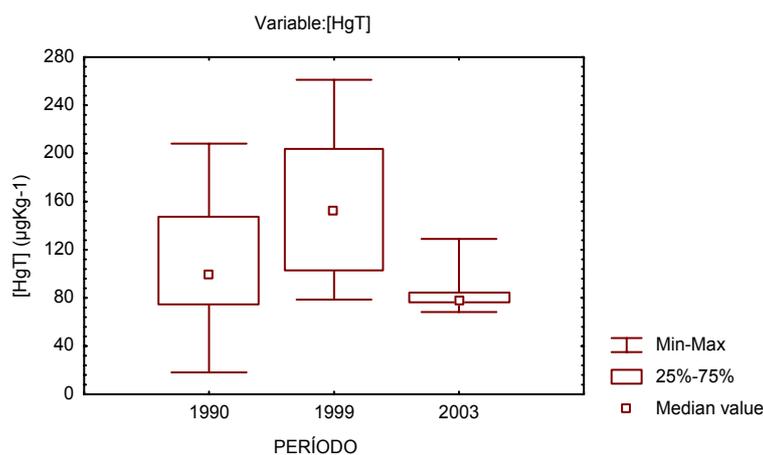


Figura 29: Comportamento das concentrações (normalizadas) de HgT no tecido muscular da corvina (N = 65) dos últimos treze anos na Baía de Guanabara.

A Figura 29 apresenta o comportamento das concentrações de HgT durante o período de 1990, 1999 e 2003 para o tecido muscular das corvinas. Aplicando-se o teste H de Kruskal-Wallis (ANOVA) foi possível verificar uma diferença estatística e significativa entre as concentrações de HgT durante esses períodos ($H = 19,00$; $p < 0,05$).

De acordo com o gráfico e a análise estatística dos dados observou-se que os indivíduos coletados no ano de 2003 ($88,03 \pm 77,18 \mu\text{Kg}^{-1}\text{p.u.}$) apresentaram os menores valores médios de concentração de HgT comparados com os períodos de 1990 ($114,30 \pm 61,26 \mu\text{Kg}^{-1}\text{p.u.}$) e 1999 ($199,45 \pm 119,25 \mu\text{Kg}^{-1}\text{p.u.}$). Esses resultados podem ser devido ao fato das corvinas do ano de 2003 serem todas de indivíduos jovens e apresentarem os menores comprimentos totais (33,0 cm –

43,0 cm) em relação às de 1990 (24,5 cm – 52,5 cm) e às de 1999 (35,0 cm – 57,7 cm). Segundo Vazzoler et al. (1973) as corvinas atingem sua maturidade sexual (fase adulta) quando atingem cerca de 45,0 cm ou 4 anos de idade. E provavelmente por esse mesmo motivo as corvinas de 1999 tenham apresentado as maiores concentrações médias de HgT.

Este estudo comparativo também foi feito no tecido muscular das tainhas analisadas em 1999 (Kehrig et al., 2002) e em 2003 a fim de verificar o comportamento da concentração de HgT no decorrer destes períodos. (Figura 30).

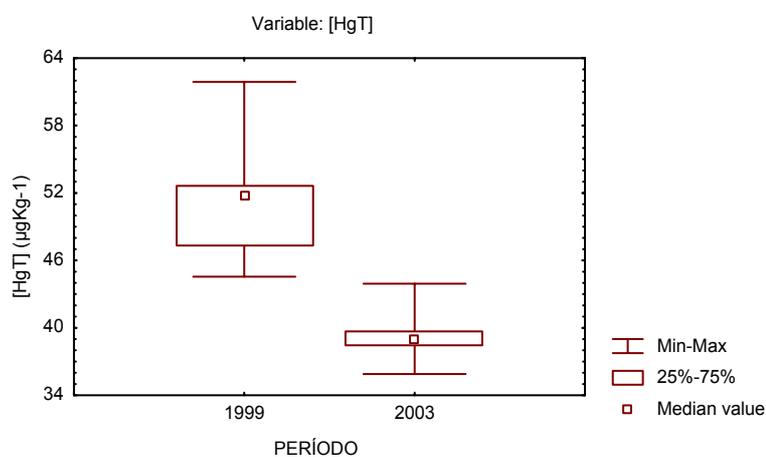


Figura 30: Comportamento das concentrações (normalizadas) de HgT no tecido muscular das tainhas (n = 34) no período de 1999 e 2003 na Baía de Guanabara.

A Figura 30 apresenta o comportamento da concentração de HgT no tecido muscular das tainhas nos períodos de 1999 e 2003. Aplicando-se o teste U de Mann-Whitney foi possível verificar uma diferença estatística e significativa entre as concentrações de HgT durante esse período ($Z = -5,00$; $p \ll 0,05$).

Observando-se o gráfico e a análise estatística dos resultados nota-se que, as tainhas do ano de 2003 apresentaram as menores concentrações médias ($9,85 \pm 6,89 \mu\text{gKg}^{-1}$) quando comparadas com as do ano de 1999 ($18,44 \pm 4,09 \mu\text{gKg}^{-1}$). Este fato pode estar relacionado com o comprimento total das espécies estudadas pois, as tainhas coletadas no ano de 2003 não possuíam indivíduos adultos tendo portanto, um comprimento total menor (29,0 cm – 35,5cm) que as tainhas do ano

de 1999 (36,0 cm – 50,0 cm). Nesta espécie a maturidade sexual (fase adulta) é alcançada quando ela atinge cerca de 40,0 cm.

Foi verificado neste estudo uma corvina apresentando sinais de câncer em seus órgãos, as concentrações médias de HgT encontradas nesta espécie foram $81,40 \pm 6,13 \mu\text{gKg}^{-1}$ p.u. no tecido muscular e $130,92 \pm 5,27 \mu\text{gKg}^{-1}$ p.u. no fígado. Esta observação pode ser uma possível indicação dos elevados níveis de toxicidade a qual estes indivíduos estão sendo expostos no estuário da Baía de Guanabara.

5.5.2.

Influência do hábito alimentar, da posição na teia trófica, dos parâmetros morfométricos e bióticos na bioacumulação de mercúrio no fígado das espécies estudadas.

Com o intuito de estudar a influência do hábito alimentar e do posicionamento na teia trófica em relação a bioacumulação de HgT e de MeHg no fígado da corvina, do bagre e da tainha construiu-se um gráfico de barras (Figura 31) onde são apresentadas as concentrações de HgT, MeHg e a % MeHg no fígado da corvina, tainha e bagre e na Tabela 13 são apresentados seus valores numéricos.

Tabela 13: Média (M) e desvio padrão (SD) das concentrações de HgT e de MeHg bem com a % MeHg no fígado das espécies estudadas.

Espécies de peixes	[HgT] (μgKg^{-1})	[MeHg] (μgKg^{-1})	% MeHg
	M \pm SD	M \pm SD	
Corvina (N = 14)	193,7 \pm 133,83	55,14 \pm 35,08	27
Bagre (N = 14)	268,8 \pm 56,84	56,16 \pm 22,39	22
Tainha (N = 15)	140,37 \pm 56,08	13,0 \pm 10,25	10

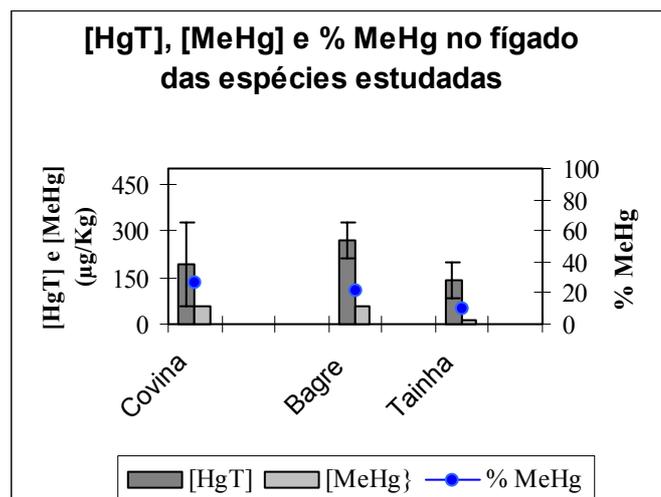


Figura 31: Concentração de HgT e de MeHg e a % MeHg no fígado da corvina, do bagre e da tainhal.

Aplicando-se o teste H de Kruskal-Wallis (ANOVA) observou-se que há diferenças estatísticas e significativas entre as concentrações de HgT ($H = 13,70$; $p \ll 0,05$) e de MeHg ($H = 20,44$; $p \ll 0,05$) no fígado da corvina, do bagre e da tainha. De acordo com a figura 31 verifica-se que a razão de HgT na forma de MeHg (% MeHg) no fígado das espécies estudadas foram respectivamente 27 % para a corvina, 22 % para o bagre e 10 % para a tainha. Esses resultados demonstram a provável capacidade de cada espécie em demetilar e detoxificar o MeHg de acordo com o seu metabolismo e com a forma de exposição de cada espécie ao mercúrio.

É interessante verificar ainda que, embora a concentração de HgT no fígado das espécies possua um valor elevado, menos de um terço deste HgT está na forma de metilmercúrio, provavelmente devido a capacidade do fígado de demetilar e conseqüentemente detoxificar o MeHg. Além disso o bagre apresentou as maiores concentrações médias de HgT e de MeHg comparadas à corvina e à tainha (Tabela 13) possivelmente devido às diferenças em seus hábitos alimentares.

Alguns estudos vêm demonstrando que no tecido muscular a forma orgânica é mais persistente que a forma inorgânica enquanto no fígado, a forma inorgânica

prevalece em relação a orgânica. Estas observações estão relacionadas com as razões de absorção, eliminação e o caráter lipofílico apresentado pelos compostos orgânicos e inorgânicos (Gray et al., 2002).

O fígado e os rins são os principais órgãos de excreção do organismo, sendo que o fígado é o local de biotransformação do metilmercúrio nos animais. O fígado transforma compostos tóxicos, metilmercúrio, em metabolitos, que são codepositados na forma de grânulo de seleneto de mercúrio no fígado e são excretados para bile. Uma vez excretado pela bile, ou este composto será reabsorvido no trato gastrointestinal ou será eliminado pelo intestino através das fezes. No caso do metilmercúrio, ele é reabsorvido através do processo de recirculação enterohepática (Gordon & Skett, 1986 apud Boening et al., 2000). Portanto, este seria o motivo pelo qual no fígado das espécies estudadas a razão de HgT na forma de MeHg (% MeHg) é tão baixa quando comparada aos valores encontrados no tecido muscular dessas espécies.

Segundo estudos realizados por Renzoni et al., 1997 espécies que tem maior contato com as camadas superficiais dos sedimentos tendem a apresentar níveis de mercúrio elevados comparadas as outras espécies onde o contato com o sedimento é menor. Pois o sedimento é um dos locais onde ocorre a metilação do mercúrio. Como o bagre é uma espécie bentônica que se alimenta de detritos orgânicos e inorgânicos (Suzuki, 1986) é provável que esteja ingerindo sedimento associado ao seu alimento. Sendo assim, este seria o provável motivo pelo qual este indivíduo apresentou as maiores concentrações de HgT e de MeHg no fígado comparadas a corvina e a tainha.

Além dos estudos citados e discutidos anteriormente onde foi avaliada a influência do hábito alimentar e do posicionamento na teia trófica em relação a bioacumulação de HgT e de MeHg no fígado das espécies estudadas, foi também avaliado neste trabalho, a provável correlação entre a concentração de HgT e de MeHg no fígado em função do comprimento total e do peso da corvina, do bagre e da tainha. Assim sendo, foi aplicado o teste de regressão múltipla (correlação de Spearman) e os resultados estão contidos na Tabela 14.

Tabela 14: Correlação de Spearman para avaliação estatística da concentração de HgT e MeHg no fígado em relação ao comprimento total e ao peso das espécies estudadas.

Espécies de peixes	Comprimento total		Peso	
	HgT r; p	MeHg r; p	HgT r; p	MeHg r; p
Corvina	0,15; > 0,05	0,27; > 0,05	0,33; > 0,05	0,18; > 0,05
Bagre	0,15; > 0,05	0,51; > 0,05	0,34; > 0,05	0,57; > 0,05
Tainha	0,02; >> 0,05	0,19; > 0,05	-0,006; >> 0,05	0,34; >> 0,05

Observando-se os resultados obtidos na Tabela 14 verifica-se que não houve correlação (Spearman) estatística e significativa entre a concentração de HgT e de MeHg no fígado da corvina, do bagre e da tainha em relação ao seu comprimento total, desses indivíduos. Este resultado está de acordo com um estudo prévio realizado por Horvat et al. (2003) que não encontrou nenhuma correlação entre as concentrações de HgT e MeHg em peixes do lago de Huaqiao. O resultado encontrado pode estar possivelmente relacionado a baixa variabilidade no comprimento das espécies bem como ao pequeno número de amostras coletadas. Pois segundo Scott (1974) é necessário adequar a variação de comprimento nas espécies amostradas a fim de que se possa correlacioná-lo com a concentração de HgT. Ainda segundo este autor, a relação entre o mercúrio contido no peixe e o comprimento, a idade, o crescimento e a condição de crescimento não poderiam ser descritos por uma regressão linear de primeira ordem e sim por uma interação entre idade e crescimento e entre idade e a condição de crescimento o que mudaria a inclinação da regressão. Assim para que se obtenha uma regressão linear e de primeira ordem para a correlação entre a concentração de mercúrio no peixe e seu comprimento ou peso é necessário que as amostras tenham uma maior variabilidade no comprimento associados a padrões semelhantes de crescimento e exposição a contaminação por mercúrio (Huckabee et al., 1979).

Nos mamíferos, como por exemplo golfinhos e focas, é observada uma correlação estatística significativa e positiva entre a concentração de HgT e de MeHg no fígado e o peso corpóreo desses indivíduos (Wagemann et al., 1989; Teigen et al., 1993; Lailson-Brito et al., 2001). Estando este fato provavelmente relacionado ao longo ciclo de vida dessas espécies comparadas com os peixes.

Neste trabalho foi realizado um estudo comparando a possível influência da diferença sexual com a concentração de HgT e de MeHg no fígado da corvina e da tainha. Na Tabela 15 encontram-se os resultados do teste estatístico aplicado para esta avaliação.

Tabela 15: Resultados encontrados para o teste de Mann-Whitney (teste U) aplicado para a comparação entre as concentrações de HgT e de MeHg no fígado em relação ao sexo da corvina e da tainha.

	HgT		MeHg	
	Z	P	Z	p
Corvina (5 F e 2 M)	-1,16	> 0,05	*	*
Tainha (4 F e 2 M)	-1,38	> 0,05	-1,85	> 0,05

F = fêmeas M = machos * = Não foi necessário fazer esta comparação

De acordo com a Tabela 15 é possível verificar que não ocorreu uma influência estatística e significativa entre a concentração de HgT e de MeHg no fígado em relação ao sexo das espécies estudadas. E esta observação pode estar relacionada ao fato de não se ter uma maior variabilidade entre indivíduos machos e fêmeas pois, as espécies coletadas eram indivíduos jovens e que não atingiram a maturidade sexual sendo portanto muito difícil a distinção entre os sexos.

Embora os estudos supracitados tenham estabelecido o comportamento da concentração de HgT no tecido muscular em relação ao sexo de algumas espécies de peixes, estes comportamentos estabelecidos podem não ser os mesmos encontrados no fígado, e como não existem outros estudos onde se tenha verificado a influência do sexo nas concentrações de HgT e de MeHg no fígado, seria necessária outras investigações com um número maior de indivíduos de sexos diferentes e um número maior de adultos para se poder averiguar este fato adequadamente.

5.5.3.**Influência dos parâmetros morfométricos, do hábito alimentar e da posição na teia trófica na bioacumulação de mercúrio na gônada da corvina e da tainha.**

A gônada é o aparelho reprodutivo dos peixes e dependendo de seu estágio de vida ela estará desenvolvida ou não. Quando ocorre a fecundação, o mercúrio presente na gônada, provavelmente, será absorvido pelos alevinos fazendo com que ocorra uma transferência da contaminação.

Neste trabalho foram realizados estudos avaliando a influência do sexo dos indivíduos na bioacumulação de mercúrio pela gônada da corvina e da tainha. Assim sendo, foi aplicado o teste de Mann-Whitney (teste U) a fim de comparar se a concentração de HgT na gônada é realmente influenciada pelo sexo dessas espécies. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 16.

Tabela 16: Teste de Mann-Whitney aplicado para comparar a significância estatística entre a concentração de HgT na gônada e o sexo da corvina e da tainha.

Espécies estudadas	Teste de Mann-Whitney	
	Z	p
Corvina (N = 14) (5 F e 2 M)	-1,54	> 0,05
Tainha (N = 15) (4 F e 2 M)	-1,85	> 0,05

F = fêmeas M = machos

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 16 verifica-se que não há diferença significativa entre a concentração de HgT nas gônadas e o sexo das espécies estudadas. Este fato pode estar possivelmente relacionado a falta de maturidade sexual das espécies, uma vez que todos os indivíduos eram jovens e portanto a gônada não apresentava o estágio de desenvolvimento adequado para a realização deste estudo. Sendo assim, seria necessário um outro estudo com indivíduos que apresentassem diferentes estágios de maturação das gônadas para que se pudesse avaliar a influência do sexo na concentração de mercúrio.

Além dos estudos citados e discutidos anteriormente comparando os parâmetros bióticos em relação às concentrações de HgT na gônada da corvina e da tainha, foi também realizada uma avaliação comparativa dos padrões de bioacumulação neste órgão. Para que desta maneira, seja verificado se a posição trófica e o hábito alimentar influenciam nos níveis de mercúrio observados na gônada. Por isso foi construída uma tabela (17) onde são apresentadas as concentrações de HgT, MeHg e a % MeHg na gônada da corvina e da tainha.

Tabela 17: Média e desvio padrão das concentrações de HgT e de MeHg bem com a % MeHg na gônada da corvina e da tainha.

Espécies de peixes	[HgT] (μgKg^{-1})	[MeHg] (μgKg^{-1})	% MeHg
	M \pm SD	M \pm SD	
Corvina (N = 14)	27,70 \pm 19,10	27,64 \pm 19,06	100
Tainha (N = 15)	9,85 \pm 6,89	9,83 \pm 6,87	100

Aplicando-se o teste H de Kruskal-Wallis (ANOVA) observou-se que há diferença estatística e significativa entre as concentrações de HgT ($H = 7,26$; $p < 0,05$) e MeHg ($H = 4,33$; $p < 0,05$) na gônada da corvina e da tainha. E de acordo com a Tabela 17 é possível verificar que a concentração de HgT e de MeHg foram maiores na gônada da corvina comparada à da tainha. A % MeHg neste órgão foi igual a 100 em ambas as espécies estudadas.

5.5.4.

Padrões de bioacumulação de mercúrio no tecido muscular, fígado e gônada para cada uma das espécies estudadas.

Para encerrar as discussões a respeito dos resultados obtidos no decorrer desse estudo serão apresentados através de análises estatísticas e tabelas, os padrões de bioacumulação de HgT, de MeHg bem como a % MeHg nos tecidos e órgãos de cada espécie envolvida neste trabalho.

Para avaliar comparativamente o padrão de bioacumulação de HgT e MeHg no tecido muscular no fígado e na gônada da corvina foi aplicado o teste H de Kruskal-Wallis com o intuito de verificar se as concentrações dessas espécies químicas diferem estatisticamente entre os tecidos e órgãos da corvina. Na Tabela 18 é possível observar o comportamento do mercúrio nos tecidos e órgãos analisados.

Tabela 18: Média (M) e desvio padrão (SD) das concentrações de HgT e de MeHg bem com a % MeHg no músculo, no fígado e na gônada da corvina.

Tecido e órgãos analisados	[HgT] (μgKg^{-1}) M \pm SD	[MeHg] (μgKg^{-1}) M \pm SD	% MeHg
Músculo	88,03 \pm 77,18	86,27 \pm 75,64	98
Fígado	193,7 \pm 133,83	55,14 \pm 35,08	27
Gônada	27,70 \pm 19,10	27,67 \pm 19,06	100

Segundo o teste H há uma diferença estatística e significativa entre as concentrações de HgT ($H = 14,45$; $p \ll 0,05$) nos tecidos e órgãos da corvina e uma diferença estatística e não significativa entre as concentrações de MeHg ($H = 2,89$; $p > 0,05$) dessas mesmas amostras analisadas. Sendo assim, foi aplicado o teste de concordância de Friedman (ANOVA) e Kendall's para verificar se as concentrações de MeHg no músculo, no fígado e na gônada da corvina são estatisticamente semelhantes. Os resultados encontrados foram: coeficiente de concordância = 0,82; $r = 0,77$ e $p < 0,05$, confirmando assim que, há semelhança entre as concentrações de MeHg nos tecidos e órgãos da corvina.

No bagre também foram avaliados os padrões de bioacumulação de HgT e de MeHg além da % MeHg no músculo e no fígado. Na Tabela 19 são apresentados os padrões de bioacumulação nos tecido e órgãos do bagre.

Tabela 19: Média (M) e desvio padrão (SD) das concentrações de HgT e de MeHg bem com a % MeHg no músculo e no fígado do bagre.

Tecido e órgãos analisados	[HgT] (μgKg^{-1}) M \pm SD	[MeHg] (μgKg^{-1}) M \pm SD	% MeHg
Músculo	64,09 \pm 13,49	66,44 \pm 15,27	99
Fígado	268,8 \pm 56,84	56,16 \pm 52,39	22

Aplicando-se o teste H de Kruskal-Wallis (ANOVA) é possível verificar que existe uma diferença estatística e significativa entre as concentrações de HgT ($H = 20,28$; $p \ll 0,05$) no tecido muscular e no fígado do bagre. Entretanto, não foi observada diferença estatística e significativa entre as concentrações de MeHg ($H = 0,41$; $p \gg 0,05$) no músculo e no fígado do bagre. Sendo então, aplicado o teste de concordância de Friedman (ANOVA) e Kendall's para verificar a semelhança entre as concentrações de MeHg nos tecidos e órgãos do bagre. Os resultados obtidos para este teste foram: coeficiente de concordância = 0,57; $r = 0,53$; $p < 0,05$, confirmando a semelhança entre as concentrações de MeHg encontradas no tecido muscular e no fígado do bagre.

Esses mesmos estudos foram realizados para a tainha em seus tecidos e órgãos. Na Tabela 20 estão representados os padrões de bioacumulação de HgT e de MeHg e a % MeHg.

Tabela 20: Média (M) e desvio padrão (SD) das concentrações de HgT e de MeHg bem com a % MeHg no músculo, no fígado e na gônada da tainha.

Tecido e órgãos analisados	[HgT] (μgKg^{-1}) M \pm SD	[MeHg] (μgKg^{-1}) M \pm SD	% MeHg
Músculo	3,58 \pm 2,36	1,86 \pm 1,23	52
Fígado	140,4 \pm 56,08	13,0 \pm 10,25	10
Gônada	9,85 \pm 6,89	10,67 \pm 6,57	100

Observando-se as Tabelas 18 a 20 nota-se que as concentrações de HgT foram maiores no fígado seguidas, pelo músculo e pela gônada, enquanto as concentrações de MeHg foram maiores no músculo, seguidas pelo fígado e pela

gônada. Essas observações estão de acordo com estudos prévios que vêm demonstrando que no tecido muscular e na gônada a forma orgânica de mercúrio é mais persistente que a forma inorgânica, entretanto no fígado, a forma inorgânica de mercúrio prevalece em relação à orgânica. Esses fatos foram relacionados às razões de absorção, eliminação e ao caráter lipofílico apresentado pelos compostos orgânicos (Gray et al., 2002).

O fígado é um dos principais órgãos de excreção dos organismos e é o local de biotransformação do metilmercúrio nos animais. Quando o metilmercúrio passa pelo ciclo enterohepático, o resultado é que todo o mercúrio é retido pelo organismo e tem sua meia-vida biológica substancialmente aumentada. E devido, ao seu caráter lipofílico (afinidade pelos grupos sulfidrílicos) este será bioacumulado preferencialmente no tecido muscular e, dependendo do estágio de desenvolvimento, na gônada (Gordon & Skett, 1986 apud Boening et al., 2000; Gray et al., 2002). Assim, o metilmercúrio é adsorvido nas estruturas lipídicas do músculo onde permanece por longos períodos. Em geral, as razões de eliminação para contaminantes lipofílicos decrescem com o aumento da massa corpórea e com a lipofilicidade. Assim, a concentração de HgT e MeHg nas espécies estudadas reflete o balanço entre o valor do coeficiente de partição octanol-água (afinidade de cada órgão pela forma orgânica ou inorgânica) e as razões de absorção e eliminação (Oliveira Ribeiro et al., 1995; Gray et al., 2002).

Observando-se os testes estatísticos (teste H de Kruskal-wallis) utilizados para comparar as concentrações de MeHg no músculo, no fígado e na gônada das espécies estudadas foi possível verificar que não há diferença estatística e significativa na concentração de MeHg encontrada nesses tecidos e órgãos. Esta observação está de acordo com estudos realizados por Wagemann et al. (2000), com focas, onde verificou que as concentrações de MeHg no fígado, geralmente, não são muito maiores que no músculo enquanto as concentrações de HgT são várias ordens de grandeza maior no fígado comparadas às do músculo.

Outros fatores como, elevação da temperatura da água, a redução da alcalinidade ou da dureza, a redução do pH, o aumento da idade do organismo e a redução da quantidade de matéria orgânica no estuário também podem influenciar

a bioacumulação de mercúrio pelos organismos que vivem neste ambiente. Sendo que esses padrões de bioacumulação podem ser significativamente modificados pela condição sexual, exposição do organismo ao mercúrio, a presença de agentes complexantes e quelantes na solução, a composição da dieta alimentar, o nível trófico, a especificidade do tecido e o metabolismo (Eisler, 1987).