

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
CENTRO DE CIÊNCIAS MÉDICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEDICINA VETERINÁRIA
DOUTORADO EM MEDICINA VETERINÁRIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM HIGIENE VETERINÁRIA E
PROCESSAMENTO TECNOLÓGICO DE PRODUTOS DE ORIGEM
ANIMAL**

ELIANE TEIXEIRA MÁRSICO

BIOACUMULAÇÃO DE 210 POLÔNIO E 210 CHUMBO EM PESCADO

**UNIVERSIDADE
FEDERAL
FLUMINENSE**

**NITERÓI-RJ
2005**

ELIANE TEIXEIRA MÁRSICO

BIOACUMULAÇÃO DE $^{210}\text{POLÔNIO}$ E $^{210}\text{CHUMBO}$ EM PESCADO

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Medicina Veterinária da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor. Área de concentração em Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal.

Orientador: Prof.Dr. Alphonse Germaine Albert Charles Kelecom

Co-orientador: Prof. Dr. Sérgio Carmona de São Clemente

NITERÓI-RJ

2005

ELIANE TEIXEIRA MÁRSICO

BIOACUMULAÇÃO DE 210 POLÔNIO E 210 CHUMBO EM PESCADO

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Medicina Veterinária da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor. Área de concentração em Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal.

Aprovada em: 31 de maio de 2005.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alphonse Germaine Albert Charles Kelecom
Instituto de Biologia – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Sérgio Carmona de São Clemente
Faculdade de Veterinária – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Pedro Paulo Oliveira e Silva
Faculdade de Veterinária – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edgar Francisco Oliveira de Jesus
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Hélio de Carvalho Vital
Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento – Centro Tecnológico do Exército

Niterói- RJ
2005

A Marina, minha filha, que foi o meu maior projeto. Ao Firmino, meu marido (in memoriam), pelo grande exemplo de vida, por tudo! Agradeço a Deus por ter compartilhado uma parte da vida ao seu lado... saudades!! A ternura e a pureza dos meus sobrinhos João Manoel e Luís Felipe e da minha afilhada Manuela! A minha família, base de toda minha vida e aquele que em vida foi um amigo, tudo que sou como pessoa, tem sempre uma pitada dele: meu pai (*in memoriam*)!

*...Eterno,
É tudo aquilo que dura uma fração de segundo,
Mas com tamanha intensidade,
Que se petrifica e nenhuma força jamais o resgata...
(Carlos Drummond de Andrade)*

*Ao meu pai, Manoel (in memoriam), pela eternidade de
seus ensinamentos...*

*Ao Firmino (in memoriam) pela eternidade do seu
amor...*

*"Precisa-se de um amigo,
para se parar de chorar,
para não se viver debruçado no passado em busca de
memórias perdidas,
que nos bata nos ombros sorrindo ou chorando,
mas que nos chame de amigo
para ter-se a consciência de que ainda se vive..."
(Vinicius de Moraes)*

*A todos os meus verdadeiros amigos, por tornarem a
vida mais fácil, mais prazerosa, mais fácil de ser
vivida...obrigada por fazer parte do meu projeto de
vida! Sem vocês tudo seria muito mais difícil...*

Minha homenagem àquele que em vida foi meu amigo, companheiro, marido e grande estimulador de minhas atividades profissionais...

Você passa...

Ficarão pelo chão as marcas do seu passo!

Você passa...

Ficarão seus anseios, seus temores, ficará o tom da sua voz...

A reflexão que lhe foi emprestada em momentos de grande emoção!

Você passa...

Ficarão seus conselhos, sua virtude sem par!

Ficarão palavras proferidas, atitudes assumidas!

Você passa...

Ficará o rítus da sua boca...a expressão do seu rosto...seu sorriso...suas brincadeiras...sua alegria...sua generosidade...sua lealdade...seu exemplo de profissionalismo!

Você passa...

Ficará sua postura, a generosidade de sua mão estendida em nossa direção!

Ficará a referência,

Ficará a preferência,

Por um modelo a ser imitado!

Você passa...

Ficará a ventura de tê-lo conhecido

De poder ter convivido com você!!

Você passa...

Ou será que somos nós a passar?

Que importa agora esta reflexão?

Digamos que foi você quem passou pela nossa, ou então que fomos nós a passar pela sua...não somos nós etapas de uma mesma história?

Somados os momentos de alegria,

Divididas as desilusões e tristezas,

Compartilhados os momentos de esperanças,

Hão de ficar, na sucessão de lembranças

Arquitetadas no tempo e no espaço

Da nossa saudade,

Oscilando, flutuando – indo e voltando,

Imagens que jamais poderão ser apagadas,

Porque você, sem perceber

Fez de nossas vidas um lindo verso de esperança..um poema de amor, em cada canto de nossos corações!

Não! Você não vai passar!

Ontem, hoje, para todo sempre,

Seja reconhecido o seu valor!

Seja honrada,

Seja respeitada,

A sua identidade ...

Como marido, pai, filho, irmão, professor, profissional, GRANDE AMIGO! Fica a saudade! Para sempre...Até breve!

AGRADECIMENTOS

Ao Firmino pela bela caminhada que compartilhamos, a vida sem sua companhia é certamente mais triste. Além de termos tido uma sintonia profissional muito grande, ele sabia como tornar a vida mais alegre, mais engraçada, mais prazerosa. Obrigada!...Onde quer que você esteja!....Eu não teria tido essa trajetória sem você! Um beijo enorme!! Te amo para todo o sempre!!!

Ao Professor Alphonse Kelecom, pelo estímulo, pelo exemplo profissional, pela oportunidade, pela paciência nos momentos mais difíceis e por me abrir os olhos para um lado da ciência que ainda estava oculto na minha vida profissional, pela imensa competência e importante contribuição para minha formação.

Ao Professor Sérgio Carmona de São Clemente, pelo estímulo para o desenvolvimento deste projeto, pela paciência de ter iniciado a minha vida profissional, por ter acreditado sempre na minha capacidade sendo uma presença indispensável para elaboração deste estudo. Minha eterna gratidão se estende desde o início que nunca se acaba, com a certeza de que ainda existe muito para aprender.

A Professora e grande amiga Leila Gatti Sobreiro, por todas as influências positivas e por todos os conselhos que tão necessários se fizeram e ainda se fazem, pela paciência, carinho e compreensão, pela companhia em muitos momentos importantes e difíceis, pela

Manuela, que foi meu jardim e minha luz em um momento que tudo parecia ser tão escuro!!!
Obrigada!!!

Ao Professor e grande amigo Sérgio Borges Mano, pelo exemplo profissional e pela presença constante em todos os momentos.

Ao Professor e amigo de sempre e todas as horas, Henrique Silva Pardi, pela presença constante e verdadeira, pela convivência amiga pelos caminhos da vida, por todo carinho.

Ao Drausio, pela grande amizade, por estar sempre presente e pronto a ajudar e pela valiosa contribuição durante todo o curso de pós-graduação.

Ao técnico de laboratório Iedo Ramos Dutra, pela colaboração valiosa na fase de realização da parte experimental deste estudo, meu muito obrigado.

Ao Médico Veterinário e grande amigo Carlos Conte Junior, pela imensa ajuda na parte experimental e pela agradável companhia no laboratório de Controle Físico-químico.

Ao Prof. Edgar Francisco Oliveira de Jesus por todo apoio nos momentos em que pensei que tudo estava perdido. Obrigada por ter me acrescentado tanto como ser humano. Obrigada pelo enorme empenho nos problemas estruturais relacionados à parte experimental da tese e, sobretudo, por ter me apresentado o Dr. Cláudio Conti do Instituto de Radioproteção e Dosimetria do Rio de Janeiro, pessoa a quem devo todo o respeito e agradecimento, pela imensa colaboração na leitura das amostras.

A todos os amigos que estiveram presentes nesta etapa difícil da minha vida, sem eles tudo seria muito mais penoso. Eles certamente são a forma que Deus encontrou pra falar e cuidar de mim.

A minha família, minha mãe Iva, exemplo de coragem e força, minha irmã Débora, meus sobrinhos, João Manoel e Luís Felipe, vocês foram a base para que eu não desistisse de tudo.

À Faculdade de Medicina Veterinária, ao Instituto de Biologia da Universidade Federal Fluminense e ao Instituto de Radioproteção e Dosimetria do Rio de Janeiro, pelo apoio material e humano.

A todos aqueles que de uma forma ou de outra, sendo na questão profissional ou na vida, contribuíram para que eu tivesse força, capacidade e equilíbrio para desenvolver e levar adiante este projeto, que muitas vezes abandonei em função da participação dele em um capítulo tão penoso da minha vida.

Sobretudo agradeço a Deus, por guiar sabiamente meus passos e atitudes.

"Não sou nada.

Nunca serei nada.

Não posso querer ser nada.

À parte isso, tenho em mim todos os sonhos do mundo"

(Fernando Pessoa)

BIOGRAFIA

Eliane Teixeira Mársico, filha de Manoel Teixeira e Iva Coelho Teixeira, nascida na cidade de Resende, Estado do Rio de Janeiro, em 09 de outubro de 1961, cursou o primeiro e o segundo grau no Instituto de Educação Nossa Senhora Medianeira, na cidade de Barra do Pirai, Estado do Rio de Janeiro.

Em agosto de 1979 ingressou na Faculdade de Veterinária da Universidade Federal Fluminense (UFF), obtendo o grau de Médica Veterinária em outubro de 1984.

Em dezembro do mesmo ano iniciou suas atividades profissionais na Agro Pecuária Santo Antônio, onde trabalhou exercendo os cargos de Médica Veterinária e Gerente Administrativa até 1993,

Especializou-se em Produção Animal na Universidade Federal de Lavras, UFLA, localizada no Estado de Minas Gerais no ano de 1987.

Em 1990 realizou Curso de Aperfeiçoamento Internacional em Reproduccion Animal, no Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias, INIA, na Espanha.

Em 1995 especializou-se em Educação e Saúde Pública no Instituto de Saúde da Comunidade, na Universidade Federal Fluminense.

Ingressou no Mestrado em Medicina Veterinária, em 1996 tendo obtido o título de mestre em 1998, como bolsista do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

No mesmo ano iniciou suas atividades como docente nas Faculdades de Veterinária do Estado do Rio de Janeiro. Foi aprovada em 1998, em Concurso Público, para o cargo de Professor substituto na disciplina de Controle Físico-Químico de Produtos de Origem Animal na Faculdade de Veterinária da Universidade Federal Fluminense onde atuou até 2000.

Ingressou no Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária ao nível de doutorado em 2001.

Foi aprovada em concurso público para o cargo de Professor Assistente da disciplina de Controle Físico Químico de Produtos de Origem Animal da Faculdade de Veterinária da Universidade Federal Fluminense em 2003.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES, p.15

LISTA DE TABELAS, p.19

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS, p.21

RESUMO, p.21

ABSTRACT, p.22

1 INTRODUÇÃO, p. 23

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA, p. 27

2.1 HISTÓRICO, p. 27

2.2 RADIOATIVIDADE, p. 30

2.3 ATIVIDADE, TRANSMUTAÇÃO E MEIA-VIDA FÍSICA DE UMA AMOSTRA, p.33

2.4 AS FAMÍLIAS RADIOATIVAS, p. 34

2.5 RADIONUCLÍDEOS NOS ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS MARINHOS, p. 36

2.6 BIOACUMULAÇÃO DO ^{210}Po E ^{210}Pb EM ALIMENTOS, p. 38

2.7 BIOACUMULAÇÃO DO ^{210}Po E ^{210}Pb EM ORGANISMOS MARINHOS, p. 39

2.8 EFEITO DO ^{210}Po E ^{210}Pb SOBRE A SAÚDE HUMANA, p.45

2.9 ASPECTOS DA BIOLOGIA MARINHA E A IMPORTÂNCIA DA PESCA NO MUNDO, p.51

2.10 CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES ESTUDADAS, p. 53

2.10.1 Congro rosa – *Genypterus brasiliensis* (Regan, 1903), p. 53

- 2.10.2 Sardinha – *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879), p. 53
- 2.10.3 Pescada bicuda – *Cynoscion microlepidotus* (Cuvier, 1830), p. 54
- 2.10.4 Atum – *Thunnus atlanticus* (Lesson, 1831), p. 54
- 2.10.5 Camarão – *Litopenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817), p. 56

3 MATERIAL E MÉTODOS, p. 59

- 3.1 OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS, p.59
- 3.2 DISSECÇÃO, PESAGEM E OBTENÇÃO DE BASE SECA, p. 59
- 3.3 MINERALIZAÇÃO, p. 62
- 3.4 DEPOSIÇÃO ELETROQUÍMICA DO ^{210}Po EM DISCOS DE AÇO, p. 62
- 3.5 RADIOMETRIA ALFA DO ^{210}Po , p.63
- 3.6 DETERMINAÇÃO INDIRETA DO ^{210}Pb , p. 65

4 RESULTADOS, p.66

- 4.1 CONGRO ROSA (*G. brasiliensis*), p.66
 - 4.1.1 $^{210}\text{Polônio}$, p. 66
 - 4.1.2 $^{210}\text{Chumbo}$, p. 73
- 4.2 PESCADA BICUDA (*C. microlepidotus*), p. 80
 - 4.2.1 $^{210}\text{Polônio}$, p. 80
 - 4.2.2 $^{210}\text{Chumbo}$, p. 87
- 4.3 SARDINHA (*S. brasiliensis*), p. 93
 - 4.3.1 $^{210}\text{Polônio}$, p. 93
 - 4.3.2 $^{210}\text{Chumbo}$, p. 99
- 4.4 ATUM (*T. atlanticus*), p. 105
 - 4.4.1 $^{210}\text{Polônio}$, p. 105
 - 4.4.2 $^{210}\text{Chumbo}$, p. 113
- 4.5 CAMARÃO (*L. brasiliensis*), p. 118
 - 4.5.1 $^{210}\text{Polônio}$, p. 118
- 4.6 APRESENTAÇÃO GRÁFICA COMPARATIVA DO TEOR DE ^{210}Po ENTRE OS TECIDOS DAS ESPÉCIES DE PEIXES ESTUDADAS, p. 123
- 4.7 APRESENTAÇÃO GRÁFICA COMPARATIVA DO TEOR DE ^{210}Pb ENTRE OS TECIDOS DAS ESPÉCIES DE PEIXES ESTUDADAS, p. 125
- 4.8 COMPARAÇÃO DAS RELAÇÕES $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ NOS TECIDOS DOS PEIXES, p. 127

4.9 FATORES DE CONCENTRAÇÃO (Fc) APARENTES DE ^{210}Po A PARTIR DA ÁGUA DO MAR NAS ESPÉCIES ESTUDADAS, p. 129

5 DISCUSSÃO, p. 136

6 CONCLUSÕES, p. 144

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS, p. 146

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Fig.1 Becquerel, descobridor da radioatividade natural em 1896, p. 30
- Fig.2 Marie Curie – cientista responsável pela identificação, em 1898, do polônio, p. 31
- Quadro 1 Propriedades físico-químicas do polônio, p. 32
- Quadro 2 Propriedades das radiações, p. 35
- Quadro 3 Alcance das Radiações Nucleares em diversos meios materiais (cm), p. 35
- Quadro 4 As três séries radioativas naturais, p. 38
- Quadro 5 Radionuclídeos naturais mais comuns no ambiente marinho (concentrações em Bq/L), p. 39
- Fig. 3 Distribuição do polônio no meio ambiente, p. 41
- Fig. 4 Mensuração de um exemplar de pescada bicuda (*Cynoscion microlepidotus*, Cuvier, 1830), p. 62
- Fig. 5 Evisceração de um exemplar de pescada bicuda (*Cynoscion microlepidotus*, Cuvier, 1830) para separação dos órgãos, p. 62
- Fig. 6 Separação em cápsulas de porcelana de fragmentos de órgãos e tecidos estudados, p. 62
- Fig. 7 Preparo da base seca das porções estudadas em estufa com temperatura controlada em 80°C, p. 63
- Fig. 8 Processo de mineralização das amostras estudadas em uma mistura de HNO₃ e HClO₄ em capela de exaustão de gases sob temperatura de 120°C, p. 64
- Fig. 9 Discos de aço inoxidável para eletrodeposição do ²¹⁰Po (lado revestido de resina), p. 65
- Fig. 10 e 11 Dissolução das amostras mineralizadas em HCl 0,5 N para fornecimento de uma solução clorídrica em vista a eletrodeposição, p. 65
- Fig. 12 Equipamento de radiometria Alpha Analyst da Canberra Inc., p. 66
- Fig. 13 Tela de acompanhamento e controle das contagens do ²¹⁰Po nas câmaras de

- detecção, p. 67
- Fig. 14 Distribuição das massas nos exemplares de congro rosa (*G. brasiliensis*), p. 70
- Fig. 15 Distribuição da atividade do ^{210}Po (mBq g^{-1}) em órgãos e tecido muscular de Congro rosa (*G. brasiliensis*), p. 72
- Fig. 16 Distribuição da atividade do ^{210}Po em base seca em exemplares de congro rosa (*G. brasiliensis*), 73
- Fig. 17 Distribuição da atividade do ^{210}Po em base úmida em exemplares de congro rosa (*G. brasiliensis*), p. 73
- Fig. 18 Relação ^{210}Po nos órgãos/ ^{210}Po no tecido muscular em amostras de congro rosa (*G. brasiliensis*), p. 75
- Fig. 19 Distribuição da atividade do ^{210}Pb (mBq g^{-1}) em órgãos e tecido muscular de Congro rosa (*G. brasiliensis*), p. 78
- Fig. 20 Distribuição percentual da atividade do ^{210}Pb (base seca) no congro rosa (*G. brasiliensis*), p. 79
- Fig. 21 Relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em órgãos e tecido de congro rosa (*G. brasiliensis*), p. 79
- Fig. 22 Tendência de acumulação do ^{210}Po em relação ao ^{210}Pb em relação ao tecido muscular (considerado como padrão) de congro rosa (*G. brasiliensis*), p. 80
- Fig. 23 Relação entre ^{210}Pb nos órgãos e ^{210}Pb no tecido muscular de congro rosa (*G. brasiliensis*), p. 81
- Fig. 24 Distribuição das massas nos dez exemplares de pescada bicuda (*C. microlepidotus*), p. 84
- Fig. 25 Distribuição da atividade do ^{210}Po (mBq g^{-1}) em órgãos e tecido muscular de pescada bicuda (*C. microlepidotus*), p. 86
- Fig. 26 Distribuição da atividade do ^{210}Po em base seca em exemplares de pescada bicuda (*C. microlepidotus*), p. 87
- Fig. 27 Distribuição da atividade do ^{210}Po em base úmida em exemplares de pescada bicuda (*C. microlepidotus*), p. 87
- Fig. 28 Relação ^{210}Po nos órgãos/ ^{210}Po no tecido muscular em amostras de pescada bicuda (*C. microlepidotus*), p. 89
- Fig. 29 Distribuição da atividade do ^{210}Pb (mBq g^{-1}) em órgãos e tecido muscular de Pescada bicuda (*C. microlepidotus*), p. 92
- Fig. 30 Distribuição percentual da atividade do ^{210}Pb na pescada bicuda (*C. microlepidotus*), p. 92
- Fig. 31 Relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em órgãos e tecidos de pescada bicuda (*C. microlepidotus*), p. 93
- Fig. 32 Tendência de acumulação do ^{210}Po em relação ao ^{210}Pb em relação ao tecido muscular de pescada bicuda (*C. microlepidotus*), p. 94
- Fig. 33 Relação entre ^{210}Pb nos órgãos e ^{210}Pb no tecido muscular de pescada bicuda (*C. microlepidotus*), p. 94
- Fig. 34 Distribuição das massas nos exemplares de sardinha (*S. brasiliensis*), p. 95
- Fig. 35 Distribuição da atividade do ^{210}Po (mBq g^{-1}) em órgãos e tecido muscular de sardinha (*S. brasiliensis*), p. 98
- Fig. 36 Distribuição da atividade do ^{210}Po em base seca em exemplares de sardinha (*S. brasiliensis*), p. 99
- Fig. 37 Distribuição da atividade do ^{210}Po em base úmida em exemplares de sardinha (*S. brasiliensis*), p. 99
- Fig. 38 Relação ^{210}Po nos órgãos/ ^{210}Po no tecido muscular de amostras de sardinha

- (*S. brasiliensis*), p. 101
- Fig. 39 Distribuição da atividade do ^{210}Pb (mBq g^{-1}) em órgãos e tecido muscular de sardinha (*S. brasiliensis*), p. 104
- Fig. 40 Distribuição percentual da atividade do ^{210}Pb em amostras de sardinha (*S. brasiliensis*), p. 104
- Fig. 41 Relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em órgãos e tecidos de sardinha (*S. brasiliensis*), p. 105
- Fig. 42 Tendência de acumulação do ^{210}Po em relação ao ^{210}Pb em relação ao tecido muscular (considerado como padrão) em exemplares de sardinha (*S. brasiliensis*), p. 106
- Fig. 43 Relação entre ^{210}Pb nos órgãos e ^{210}Pb no tecido muscular de sardinha (*S. brasiliensis*), p. 106
- Fig. 44 Distribuição das massas nos exemplares de atum (*T. atlanticus*), p. 109
- Fig. 45 Distribuição da atividade do ^{210}Po (mBq g^{-1}) em órgãos e tecido muscular de atum (*T. atlanticus*), p. 111
- Fig. 46 Distribuição da atividade do ^{210}Po em base seca em exemplares de atum (*T. atlanticus*), p. 112
- Fig. 47 Distribuição da atividade do ^{210}Po em base úmida em exemplares de atum (*T. atlanticus*), p. 112
- Fig. 48 Relação ^{210}Po nos órgãos/ ^{210}Po no tecido muscular de amostras de atum (*T. atlanticus*), p. 114
- Fig. 49 Distribuição da atividade do ^{210}Pb (mBq g^{-1}) em órgãos e tecido muscular de atum (*T. atlanticus*), p. 115
- Fig. 50 Distribuição percentual da atividade do ^{210}Pb em amostras de atum (*T. atlanticus*), p. 116
- Fig. 51 Relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em órgãos e tecido de atum (*T. atlanticus*), p. 119
- Fig. 52 Tendência de acumulação do ^{210}Po em relação ao ^{210}Pb em relação ao tecido muscular (considerado como padrão) de atum (*T. atlanticus*), 119
- Fig. 53 Relação entre ^{210}Pb nos órgãos e ^{210}Pb no tecido muscular de atum (*T. atlanticus*), p. 120
- Fig. 54 Distribuição das massas nos exemplares de camarão (*L. brasiliensis*), p. 121
- Fig. 55 Distribuição da atividade do ^{210}Po (mBq g^{-1}) em órgãos e tecido muscular de camarão (*L. brasiliensis*), p. 123
- Fig. 56 Distribuição da atividade do ^{210}Po em base seca em exemplares de camarão (*L. brasiliensis*), p. 124
- Fig. 57 e 58 Atividade de ^{210}Po em amostras de coração e brânquias de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*), p. 125
- Fig. 59 e 60 Atividade de ^{210}Po em amostras de olhos e estômago de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*), p. 126
- Fig. 61 e 62 Atividade de ^{210}Po em amostras de fígado e intestino de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*), p. 126
- Fig. 63 e 64 Atividade de ^{210}Po em amostras de cecos pilóricos e conteúdo gástrico de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*), p. 126
- Fig. 65 e 66 Atividade de ^{210}Po em amostras de músculo branco e músculo vermelho (somente sardinha) de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C.*

- microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*), p. 127
- Fig. 67 e 68 Atividade de ^{210}Pb em amostras de coração e brânquias de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*), p.127
- Fig. 69 e 70 Atividade de ^{210}Pb em amostras de olho e estômago de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*), p. 128
- Fig. 71 e 72 Atividade de ^{210}Pb em amostras de fígado e intestino de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*), p. 128
- Fig. 73 e 74 Atividade de ^{210}Pb em amostras de cecos pilóricos e conteúdo gástrico de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*), p.128
- Fig. 75 e 76 Atividade de ^{210}Pb em amostras de músculo branco e músculo vermelho congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*), 129
- Fig. 77 e 78 Relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em amostras de coração e brânquias de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*), p. 129
- Fig. 79 e 80 Relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em amostras de olho e estômago de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*), p. 130
- Fig. 81 e 82 Relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em amostras de fígado e intestino de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*), p. 130
- Fig. 83 Relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em amostras de cecos pilóricos de sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*), 130
- Fig. 84 Relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em amostras de conteúdo gástrico de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*) e atum (*T. atlanticus*), p. 131
- Fig. 85 e 86 Relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em amostras de músculo branco e vermelho (somente sardinha) de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*), p. 131
- Fig. 87 Fator de concentração (Fc) do ^{210}Po nos organismos inteiros a partir da água do mar, p. 133
- Fig. 88 Fator de concentração do ^{210}Po no músculo a partir da água do mar para as espécies estudadas, p. 133
- Fig. 89 Fator de concentração (Fc) do ^{210}Po no órgão mais ativo de cada espécie, a partir da água do mar, p. 134
- Fig. 90 Fator de concentração do ^{210}Po no coração, a partir da água do mar, p. 134
- Fig. 91 Fatores de concentração do ^{210}Po nas brânquias, a partir da água do mar, 135
- Fig. 92 Fator de concentração do ^{210}Po no olho, a partir da água do mar, p. 135
- Fig. 93 Fator de concentração do ^{210}Po no estômago, a partir da água do mar, p. 136
- Fig. 94 Fator de concentração do ^{210}Po no fígado, a partir da água do mar, p. 136
- Fig. 95 Fator de concentração do ^{210}Po no intestino, a partir da água do mar, p. 137

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1 Origem, peso total e distribuição das massas em órgãos e tecidos, comprimento e valores mínimos, máximos e desvio padrão destes parâmetros em exemplares de Congro rosa (*G. brasiliensis*) analisados, p. 69
- TABELA 2 Concentração individual, valores mínimos, máximos e médios e desvio padrão de ^{210}Po em órgãos e tecido muscular de congro rosa (*G. brasiliensis*), p. 71
- TABELA 3 Atividades médias (desvio padrão, DP), valores mínimos e máximos (mín-máx) de ^{210}Po (mBq g^{-1} base seca), distribuições percentuais das massas em órgãos e tecidos do peixe predador congro rosa (*G. brasiliensis*), p. 74
- TABELA 4 Atividade média do ^{210}Po segundo a origem das amostras estudadas (variação geográfica) de congro rosa (*G. brasiliensis*), p. 74
- TABELA 5 Atividades médias (desvio padrão, DP), valores mínimos e máximos (mín-máx) de ^{210}Pb (mBq g^{-1} base seca), distribuições percentuais das massas e distribuição das atividades em órgãos e tecidos do peixe predador congro rosa. (*G. brasiliensis*), p. 76
- TABELA 6 Concentração individual, valores mínimos, máximos e médios e desvio padrão de ^{210}Pb em órgãos e tecido muscular de congro rosa (*G. brasiliensis*), p. 77
- TABELA 7 Distribuição e relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$, $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Po}$ (músculo x órgãos) $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Pb}$ (músculo x órgão) e $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ (mBq g^{-1}) em cada órgão e tecido em peixes da espécie *G. brasiliensis*, p. 81
- TABELA 8 Origem e distribuição das massas em órgãos, tecidos e nos exemplares inteiros de pescada bicuda (*C. microlepidotus*) analisados, p. 83
- TABELA 9 Concentração individual, valores mínimos, máximos e médios e desvio padrão de ^{210}Po em órgãos e tecido muscular de pescada bicuda (*C. microlepidotus*), p. 85
- TABELA 10 Atividades médias (desvio padrão, DP), valores mínimos e máximos (mín-máx) de ^{210}Po (mBq g^{-1} base seca) e distribuições percentuais das massas e das atividades em órgãos e tecidos da pescada bicuda (*C. microlepidotus*), p. 88
- TABELA 11 Concentração individual, valores mínimos, máximos e médios e desvio

	padrão de ^{210}Pb em órgãos e tecido muscular de pescada bicuda (<i>C. microlepidotus</i>), p.90
TABELA 12	Atividades médias (desvio padrão, DP), valores mínimos e máximos (mín-máx) de ^{210}Pb (mBq g^{-1} base seca), distribuições percentuais das massas e distribuição das atividades em órgãos e tecidos da pescada bicuda (<i>C. microlepidotus</i>), p. 91
TABELA 13	Origem, peso total e distribuição das massas em órgãos e tecidos, comprimento e valores mínimos, máximos e desvio padrão destes parâmetros em exemplares de sardinhas (<i>S. brasiliensis</i>) analisados, p. 96
TABELA 14	Concentração individual, valores mínimos, máximos e médios e desvio padrão de ^{210}Po em órgãos e tecido muscular de sardinha (<i>S. brasiliensis</i>), p. 97
TABELA 15	Atividades médias (desvio padrão, DP), valores mínimos e máximos (mín-máx) de ^{210}Po (mBq g^{-1} base seca) e distribuições percentuais das massas e das atividades em órgãos e tecidos de sardinha (<i>S. brasiliensis</i>), p. 100
TABELA 16	Concentração individual, valores mínimos, máximos e médios e desvio padrão de ^{210}Pb em órgãos e tecido muscular de sardinha (<i>S. brasiliensis</i>), p. 102
TABELA 17	Atividades médias (desvio padrão, DP), valores mínimos e máximos (mín-máx) (mBq g^{-1} base seca), distribuições percentuais das massas e distribuição das atividades de ^{210}Pb em órgãos e tecidos da sardinha (<i>S. brasiliensis</i>), p. 103
TABELA 18	Origem, peso total e distribuição das massas em órgãos e tecidos, comprimento e valores mínimos, máximos e desvio padrão destes parâmetros em exemplares de atum (<i>T. atlanticus</i>) analisados, p. 108
TABELA 19	Concentração individual, valores mínimos, máximos e médios e desvio padrão de ^{210}Po em órgãos e tecido muscular de atum (<i>T. atlanticus</i>), p. 110
TABELA 20	Atividades médias (desvio padrão, DP), valores mínimos e máximos (mín-máx) de ^{210}Po (mBq g^{-1} base seca) e distribuições percentuais das massas e das atividades em órgãos e tecidos de atum (<i>T. atlanticus</i>), p. 113
TABELA 21	Atividades médias (desvio padrão, DP), valores mínimos e máximos (mín-máx) de ^{210}Pb (mBq g^{-1} base seca), distribuições percentuais das massas e distribuição das atividades em órgãos e tecidos do atum, p. 115
TABELA 22	Concentração individual, valores mínimos, máximos e médios e desvio padrão de ^{210}Pb em órgãos e tecido muscular de atum (<i>T. atlanticus</i>), p. 117
TABELA 23	Distribuição e relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$, $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Po}$ (músculo x órgãos) $^{210}\text{Pb} \cdot ^{210}\text{Pb}$ (músculo x órgão) e $^{210}\text{Po} \cdot ^{210}\text{Pb}$ (mBq g^{-1}) em cada órgão e tecido em peixes da espécie <i>T. atlanticus</i> , p. 118
TABELA 24	Concentração individual, valores mínimos, máximos e médios e desvio padrão de ^{210}Po em órgãos e tecido muscular de camarão (<i>L. brasiliensis</i>), p. 122
TABELA 25	Atividades médias (desvio padrão, DP), valores mínimos e máximos (mín-máx) de ^{210}Po (mBq g^{-1} base seca), distribuições percentuais das massas e das atividades em órgãos e tecidos de camarão (<i>L. brasiliensis</i>), p. 125
TABELA 26	Fatores de concentração (Fc, base úmida) em órgãos e tecidos de congro rosa (<i>G. brasiliensis</i>), pescada bicuda (<i>C. microlepidotus</i>), sardinha (<i>S. brasiliensis</i>) e atum (<i>T. atlanticus</i>), p. 132
TABELA 27	Fatores de concentração (Fc, base úmida) em órgãos e tecidos de camarão (<i>L. brasiliensis</i>), p. 132

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

α	Alfa, partícula alfa
β	Beta, partícula beta
Bq g ⁻¹	Becquerel por grama
Ci	Curie
He	Hélio
ICRP	International Commission on Radiological Protection
K ₂ (UO ₂)(SO ₄)	Sulfato duplo de potássio e uranila
LIA	Limite de Incorporação Anual
mBq	mili Becquerel
mBq g ⁻¹	Mili Becquerel por grama
²¹⁰ Pb	Chumbo 210
²¹⁰ Po	Polônio 210
PoO ₂	Dióxido de polônio
²²⁶ Ra	Rádio 226
²²² Rn	Radônio 222
SO ₂	Dióxido de enxofre
SeO ₂	Dióxido de selênio
TeO ₂	Dióxido de telúrio

RESUMO

O ^{210}Po é um radionuclídeo natural, descendente da família do ^{238}U , α -emissor de pequena meia-vida física ($t_{1/2} = 138,4$ dias) com tendência a acumular-se seletivamente em alguns órgãos, notadamente os do trato digestório e os rins. Apresenta grande importância científica pela sua alta radiotoxidez, por ser um traçador geoquímico e biológico e por possuir intensa e seletiva acumulação biológica. Este isótopo radioativo pode ser transferido ao homem por meio de inalação, ingestão de alimentos e água. Precursor do ^{210}Po , o ^{210}Pb é um β -emissor de fraca energia e de tempo de meia-vida física de 22,3 anos sendo biologicamente menos danoso, por contaminação interna, que os α emissores. Sua importância biológica reside no fato de produzir o neto, ^{210}Po , por decaimento. No ser humano, apresenta maior importância, pois se acumula nos ossos onde suporta o ^{210}Po , passando a emitir partículas α , que bombardeiam a medula óssea podendo ser responsável por leucemias ou outras patologias. Com relação à transferência ao homem via alimento, o pescado merece destaque pelas altas concentrações verificadas em algumas espécies. Desta forma, o presente estudo teve por objetivo analisar a distribuição corpórea de ^{210}Po e de ^{210}Pb em organismos marinhos. Para esta finalidade foram utilizados peixes das espécies Atum - *Thunnus atlanticus* (Lesson, 1831), Sardinha - *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879), Congro rosa - *Genypterus brasiliensis* (Regan, 1903), Pescada bicuda - *Cynoscion microlepidotus* – Cuvier, 1830, e o Camarão - *Litopenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817). As amostras de órgãos e tecidos foram submetidas à radiometria alfa em equipamento Alpha Analyst da Canberra Inc., equipado com quatro câmaras de detecção e quatro detectores de barreira de superfície do tipo PIPS, funcionando sob vácuo inferior a 0,08 Torr. As contagens α totais obtidas foram convertidas em milibecqueréis usando-se a fórmula do decaimento radioativo que permite o cálculo da atividade no dia da coleta (A_0), determinando a atividade no dia da contagem (A_t): $A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$, de onde se tira $A_0 = A_t \cdot e^{\lambda t}$. A análise da atividade do ^{210}Po em órgãos e tecidos dos peixes estudados demonstra que não há uma distribuição uniforme nestes peixes; que os órgãos dos sistemas digestório (intestino, estômago e fígado) apresentam as mais altas concentrações, embora o intestino demonstre ser o órgão com atividades mais altas. Nas amostras de camarão a não homogeneidade na distribuição do ^{210}Po entre os tecidos pôde ser bem demonstrada no alto teor evidenciado no hepatopâncreas. Como altas concentrações ocorrem em crustáceos quando comparados aos peixes, pode ser esperado uma maior contribuição à exposição humana via consumo desta espécie, visto que em algumas situações, camarões são consumidos inteiros, sem retirada da cabeça do exoesqueleto. No caso dos peixes, somente a porção muscular é consumida com tendência a uma pequena dose de transferência para o homem. As atividades médias de ^{210}Po para peixe inteiro e os fatores de concentração foram semelhantes a dados da literatura para peixes de águas temperadas do hemisfério norte. Em todas as espécies analisadas o ^{210}Po não está uniformemente distribuído. A notável diferença evidenciada para os órgãos do sistema digestório caracterizam o papel dominante destes órgãos no controle da absorção e eliminação do ^{210}Po e indicam que a dose de radiação interna é mais alta nestes órgãos. Existem fortes evidências entre os elevados níveis de ^{210}Po e o conteúdo de músculo vermelho das espécies estudadas, fato observado nas amostras de atum e sardinha. Os resultados indicam a necessidade de estudos mais abrangentes sobre a presença de radionuclídeos em organismos marinhos, face à importância desta fonte de proteína, tanto para a população costeira, como para obtenção de subprodutos a partir de resíduos oriundos da indústria pesqueira.

ABSTRACT

^{210}Po is a natural radionuclide, descending from U^{238} family, that is a α -emitter with a small physical half-life ($1/2 t = 138.4$ days), and a trend to selectively accumulate in some organs such as those from the digestive tract and the kidneys. It has a big scientific importance due to its high radiotoxicity, and also for being a biological and geochemical tracer and for having an intense and selective biological accumulation. This radioactive isotope can be transferred to men by inhalation and food and water ingestion. ^{210}Pb , a precursor of ^{210}Po , is a β -emitter of weak energy and physical half-life of 22.3 years, being biologically less detrimental than α -emitters by internal contamination. It is biologically important because it produces the grandson, ^{210}Po , by decay. In the human beings it has a bigger importance because it accumulates in the bones, where it supports ^{210}Po , emitting α particles, which bomb the bone marrow, what can be responsible for leukemia and other pathologies. In regards to the transfer to men by food, fish is notable because of high concentrations verified in some species. Thus, the present study aims to analyze the corporeal distribution of ^{210}Po and ^{210}Pb in marine organisms. Tuna - *Thunnus atlanticus* (Lesson, 1831), sardine - *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879), pink conger - *Genypterus brasiliensis* (Regan, 1903), hake - *Cynoscion microlepidotus* – Cuvier, 1830, and shrimp - *Litopenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817), were the species utilized for this purpose. Tissue and organ samples were submitted to alpha radiometry in an Alpha Analyst equipment from Canberra Inc., equipped with four detection chambers and four surface barrier detectors of PIPS kind, which work under a vacuum of less than 0.08 Torr. The total alpha counts obtained were converted into *milibecquerells* using the radioactive decay formula which allows the calculation of activity on the collection day (A_0), determining the activity on the count day (A_t): $A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$, from where $A_0 = A_t \cdot e^{\lambda t}$. The analysis of ^{210}Po activity of the fish studied demonstrates there is no uniform distribution in these fish; the organs from the digestive system (intestine, stomach and liver) show the highest concentrations, although the intestine is the organ with the highest activities. In the shrimp samples, the non-homogenous distribution of ^{210}Po among the tissues was well demonstrated by the high levels seen in the hepatopancreas. Since crustaceos have higher concentrations when compared to fish, their consumption by human beings can represent a higher exposition, once in some situations the shrimp is completely consumed, without taking out the head or exoskeleton. With the fish, only the muscular portion is consumed, with a tendency to transfer a small dose to men. The medium activities of ^{210}Po for the whole fish and the concentrating factors were similar to literature data for temperate water fish of the northern hemisphere. In all species analyzed, ^{210}Po is not uniformly distributed. The notable difference evidenced in organs of the digestive system characterize the dominant role of these organs in ^{210}Po absorption and elimination control and indicate that the internal radiation dose is higher in these organs. There is strong evidence between the high levels of ^{210}Po and the red muscle content of the species studied, fact that was observed in the samples of tuna and sardine. The results indicate the need of more comprehensive studies about the presence of radionuclides in marine organisms, in face of the importance of this protein source both to the coastal population and to the acquisition of sub-products derived from the fishing industry.

1 INTRODUÇÃO

Seres humanos e animais são expostos à radiação através dos raios cósmicos, raios gama originados de rochas e solo, pela inalação, ingestão de alimentos ou pela água. O contato ou a ingestão destes elementos pode ocasionar uma série de transtornos à saúde, razão pela qual é de fundamental importância o estudo e a monitorização de elementos radioativos tanto no ambiente como nos alimentos, como forma de salvaguardar a saúde pública.

A poluição radioativa ocorre quando há aumento dos níveis naturais de radiação através da utilização de elementos radioativos naturais ou artificiais. O uso de radiação tem se intensificado nas últimas décadas, para os mais variados fins, uma vez que é uma fonte poderosa de energia, tendo sido utilizado na medicina, na engenharia, na indústria armamentista e espacial. Reatores nucleares são utilizados nas usinas nucleares para produção de energia elétrica e térmica. Experiências com ogivas atômicas realizadas há várias décadas geraram grande quantidade de resíduos radioativos, os quais transportados para atmosfera, espalharam-se pela superfície do planeta, no ar, água e solo, aumentando a radioatividade natural. Explosões nucleares experimentais disponibilizam elevados índices de radiação residual no ambiente marinho. Entretanto, os oceanos também possuem sua radioatividade natural, gerada principalmente por compostos radioativos como o potássio 40 e o rubídio 87, além dos compostos originados do urânio e do tório.

Assim como ocorre com os pesticidas e metais pesados, os organismos também acumulam e concentram radioatividade nos seus tecidos, muitas vezes em níveis extremamente elevados. Nos oceanos, as algas podem apresentar uma radioatividade de 1.000 a 5.000 vezes superior à da água circundante. Os animais que se alimentam destas algas

tendem a concentrar ainda mais tais substâncias. Os fatores de bioacumulação variam muito de acordo com o tipo de organismo e de substâncias envolvidas (ANCELLIN et al., 1973).

As vias de entrada da radioatividade e de isótopos radioativos no meio marinho, podem ser constituídas por radiação natural ambiental, por precipitação de poeiras resultantes de ensaios com armas nucleares, por emissões diretas, voluntárias ou involuntárias das operações nucleares, por eliminações de resíduos no mar oriundos das plantas reelaboradoras de resíduos e dos reatores transportados por navios. Adicionalmente as fontes artificiais de radionuclídeos, nuclídeos de ocorrência natural são mobilizados em grandes quantidades pela produção de óleo e rochas de fosfato usadas no processamento de detergentes e fertilizantes. Este fator pode proporcionar o acúmulo de altos níveis de ^{210}Po nos peixes, que poderão ser uma importante fonte deste radionuclídeo para os seres humanos (GREENPEACE RESEARCH LABORATORIES, 1998).

Convém mencionar que a radiação natural é proveniente dos raios cósmicos e do material radioativo que existe em forma natural no solo, na água e no ar e até no próprio corpo humano.

Um grande problema da utilização da energia nuclear para fins industriais é o destino dos resíduos radioativos. A técnica mais utilizada pelas potências nucleares ocidentais é lançamento ao mar. Há algum tempo atrás se pensava que era impossível a poluição em larga escala das águas oceânicas, entretanto, atualmente se sabe que o aumento da concentração de dejetos radioativos é um dos riscos de contaminação da fauna e da flora marítima, donde pode advir graves perigos para segurança do próprio homem.

Algumas espécies marinhas concentram em seus organismos certo número de elementos radioativos em quantidades de 100 a 1000 vezes maiores que a dos isótopos existentes na água onde vivem. Esse pescado constitui-se, para o homem, de uma exposição interna que causa graves danos, pois certos isótopos alteram componentes químicos dos organismos, causando, quando se tratam de moléculas com função biológica, a perda dessa função, acarretando enfermidades e até a morte.

Os radionuclídeos da série de decaimento do ^{238}U , como ^{210}Pb e ^{210}Po são elementos radioativos naturais que se encontram disseminados no ambiente em quantidades traços e podem ser transferidos ao homem por meio de inalação, ingestão de alimentos, que é uma das principais vias de entrada, ou água. Dentre os alimentos, sabe-se que a concentração de radionuclídeos é relativamente alta na maioria dos organismos marinhos, que removem elementos químicos da água do mar e os introduzem na cadeia alimentar, por ingestão de partículas em suspensão, ingestão de elementos pré-concentrados, complexação de metais

com moléculas orgânicas, incorporação de íons metálicos através de sistemas fisiológicos e por fixação por carga (ANCELLIN et al., 1973).

A acumulação dos radionuclídeos na cadeia trófica pode ocorrer de forma diretamente proporcional aos elos da cadeia alimentar, inversamente proporcional aos mesmos, ou independente destes. O padrão diretamente proporcional é observado para os isótopos do urânio, tório, polônio e chumbo entre outros.

As fontes de radionuclídeos para os seres vivos são a cadeia alimentar, a água e o sedimento e partículas em suspensão (ANCELLIN et al., 1973; PENTREATH, 1977; GOUVEA, SANTOS e GOUVEA, 1987).

Dentre os radionuclídeos que mais contribuem para a dose de radiação interna no homem está o ^{210}Po , um radionuclídeo natural, descendente da família do ^{238}U , α -emissor de pequena meia-vida física ($t_{1/2} = 138,4$ dias), alta energia da partícula α emitida (5,3 MeV), associada à intensa atividade específica (BAGNALL, 1983). Apresenta tendência em acumular-se seletivamente em alguns órgãos, notadamente os do trato digestório e os rins (MORGAN, SNYDER e FORD, 1964). A quantidade máxima permitida para ingestão humana, segundo Bagnall (1983) e de $6,8 \times 10^{-12}\text{g}$, ca 2×10^{10} átomos.

Devido a fatores como alta radiotoxidez e por possuir grande dispersão e intensa e seletiva acumulação biológica, o ^{210}Po é um radionuclídeo de grande importância, tanto sob o ponto de vista científico, como ecológico e de saúde pública.

O ^{210}Po apresenta facilidade em formar colóides na água do mar. Segundo Pereira (1995), seu comportamento nos organismos marinhos difere do comportamento no meio abiótico, pois nestes, as maiores concentrações são de urânio e radônio e, nos sistemas biológicos, as maiores concentrações são de ^{210}Po , demonstrando que o mecanismo de concentração do polônio a partir da água do mar é eficiente.

Precursor do ^{210}Po , o ^{210}Pb é um β -emissor de fraca energia e de tempo de meia-vida física de 22,3 anos. É muito usado em sedimentologia como traçador geoquímico. Sua importância biológica reside no fato de produzir o neto, ^{210}Po , por decaimento.

O ^{210}Pb possui atividade de duas a quatro ordens de grandeza menores do que as do ^{210}Po , sendo biologicamente menos danoso que os α emissores. O fato de ser um β emissor de fraca energia e possuir baixa concentração no mar faz do ^{210}Pb um radionuclídeo de pouco impacto biológico nos ecossistemas. Entretanto, no ser humano, apresenta maior importância, pois se acumula nos ossos onde suporta o ^{210}Po , passando a emitir partículas α , que bombardeiam a medula óssea podendo ser responsável por leucemias ou outras patologias.

Em função do exposto e pelo fato de que altas quantidades de ^{210}Po são potencialmente transferidas para seres humanos via dieta, o presente estudo teve por objetivo analisar a distribuição corpórea de ^{210}Po e de ^{210}Pb em organismos marinhos. Para esta finalidade foram utilizados peixes das espécies Atum - *Thunnus atlanticus* (Lesson, 1831), Sardinha - *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879), Congro rosa - *Genypterus brasiliensis* (Regan, 1903), Pescada bicuda - *Cynoscion microlepidotus* – Cuvier, 1830, e o Camarão - *Litopenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 HISTÓRICO

Em 1896, o francês Henri Becquerel (Figura 1), do Instituto de Física de Paris, descobriu acidentalmente a radioatividade natural, ao estudar o fenômeno de fluorescência e observar que o sulfato duplo de potássio e uranila – $K_2(UO_2)(SO_4)_2$ –, conseguia impressionar chapas fotográficas através de uma radiação própria até então desconhecida.

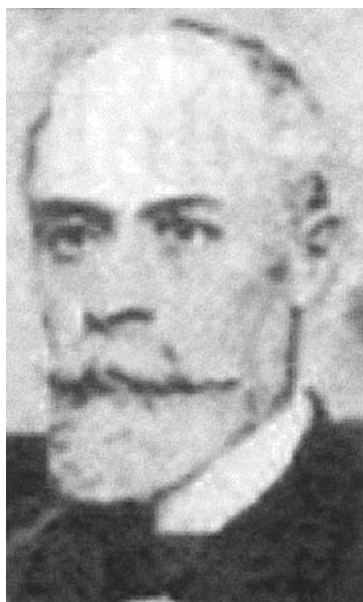


Figura 1: Becquerel, descobridor da radioatividade natural em 1896.

Fonte: <http://soaresoliveira.br/chrisrios/Historico.htm>

Pierre e Marie Curie (Figura 2), colegas de Becquerel, cunharam a palavra “radioactivité” (radioatividade) para designar esta nova propriedade da matéria. Investigando, por análise radioquímica, a pechblenda (principal minério do urânio), na tentativa de purificar o mesmo, eles descobriram em 1898 a presença de duas impurezas ainda mais radioativas que urânio. Eram novos elementos químicos que chamaram de rádio (Ra) e Polônio (Po). Estas descobertas valeram aos três pesquisadores o Prêmio Nobel de Física de 1903 e abriram para a humanidade uma nova Era.

A purificação final do rádio, a determinação da sua massa atômica e o estudo das suas aplicações na Medicina deu a Marie Curie um segundo Prêmio Nobel, o de Química, em 1911. Já o polônio teve um papel fundamental no aprimoramento da técnica de auto-radiografia, por Antoine Lacassagne, em 1924 (LACASSAGNE e LATTÈS, 1924).

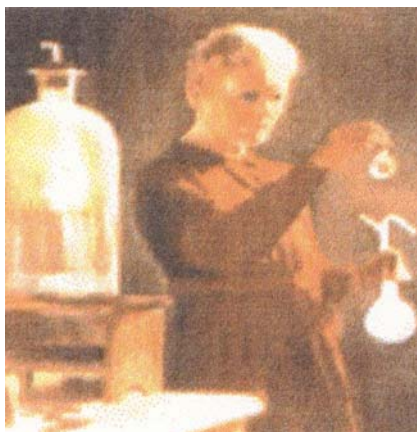


Figura 2: Marie Curie – cientista responsável pela identificação, em 1898, do polônio.

Fonte: <http://soaresloveira.br/chrisrios/Historico.htm>

Polônio é um elemento químico, de símbolo Po, cinza-prateado ou negro, da família do oxigênio (TABELA PERIÓDICA, 2001). O elemento recebeu este nome em homenagem ao país (Polônia) onde nasceu sua descobridora, Marie Curie (CDCC-USP, 2001). Como indica sua posição no grupo VI a da Tabela Periódica, é mais eletro positivo do que o selênio e o telúrio e se assemelha ao bismuto. Por isto, o dióxido de polônio (PoO_2) é mais básico do que os dióxidos de enxofre (SO_2), de selênio (SeO_2) e de telúrio (TeO_2) (ibid, 2001). Trata-se de um metal muito raro, cuja proporção na crosta terrestre é de cerca de uma parte em 10^{15} , ocorrendo na natureza como produto da desintegração radioativa do urânio, do tório e do actínio. Possui 26 isótopos, todos radioativos; são emissores alfa (α), ou raramente alfa/beta (α,β), cujas meias-vidas

físicas ($t_{1/2}$ fis.) variam de uma fração de segundos a 103 anos, que é a meia-vida do polônio 209 (CDCC-USP, 2001). O isótopo natural mais comum do polônio, o polônio 210 ou ^{210}Po , tem meia-vida física de 138,4 dias.

Isolado a partir de subprodutos da extração de rádio de minerais de urânio, o polônio pode ser produzido artificialmente, pelo bombardeio de bismuto ou chumbo com nêutrons térmicos ou com partículas aceleradas carregadas eletricamente. Por ter alta atividade específica, desintegrando-se no isótopo estável chumbo-206 mediante a emissão de raios alfa, devendo ser manipulado com extremo cuidado (ibid).

O polônio é uma possível fonte de calor em espaçonaves, devido à energia de $1,4 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ liberada no seu decaimento (CDCC-USP, 2001). É empregado industrialmente para eliminar a eletricidade estática gerada pela laminação do papel, na manufatura de laminados plásticos e na fiação de fibras sintéticas. Também é utilizado em escovas para remover poeira de filmes fotográficos e, em Física Nuclear, como fonte de radiação alfa. Misturas de polônio com berilo ou com outros elementos leves são empregadas como fontes de nêutrons (TABELA PERIÓDICA, 2001). Associado aos seus ascendentes ^{210}Pb ($t_{1/2} = 22,3$ anos) e ^{210}Bi ($t_{1/2} = 5,02$ dias) são usados como traçadores de alguns fenômenos geoquímicos como a erosão e a sedimentação (NARITA et al., 1989) ou, como descrevem Fenton e Short (1992) de fenômenos biológicos como a estimativa da idade de certos organismos.

Suas propriedades físico-químicas estão resumidas no quadro 1 (TABELA PERIÓDICA, 2001; ENGENHANDO, 2001):

Quadro 1. Propriedades físico-químicas do polônio.

Número atômico	84
Peso atômico	209,98
Ponto de fusão	254°C
Ponto de ebulição	962°C
Densidade	9,4g cm ⁻³
Energia de ionização	811,3 KJ mol ⁻¹
Raio atômico	190 pm
Eletronegatividade	2,0
Estado de oxidação	-2, +2, +3, +4, +6
Configuração eletrônica	[1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴ 5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰] 6s ² 6p ⁴

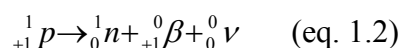
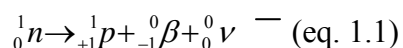
2.2 RADIOATIVIDADE

Radioatividade é a capacidade que certos átomos possuem de emitir, espontânea e aleatoriamente no tempo, radiações eletromagnéticas e partículas de seus núcleos instáveis, com o objetivo de adquirir estabilidade. A emissão de partículas faz com que o átomo radioativo de determinado elemento químico se transforme em um átomo de outro elemento químico diferente. Este fenômeno é chamado de *transmutação* (KELECOM, GOUVEA e SANTOS, 1998).

O esquecimento de uma rocha de urânio sobre um filme fotográfico virgem levou à descoberta de um fenômeno interessante: o filme foi velado (marcado) por “alguma coisa” que saía da rocha, na época denominada raios ou radiações. Outros elementos pesados, com massas atômicas próximas à do urânio, como o rádio e o polônio, também possuíam a mesma propriedade. Este fenômeno foi denominado *radioatividade* e, os elementos que apresentavam essa propriedade, foram chamados *elementos radioativos*. Comprovou-se que núcleos muito energéticos, por possuírem excesso de partículas ou de cargas – em razão de um desequilíbrio da razão nêutron a próton –, tendiam a estabilizar-se, emitindo o excesso de energia nuclear sob a forma de partículas ou de ondas eletromagnéticas (ibid).

Um dos processos de estabilização de um núcleo com excesso de energia é o da emissão de uma partícula pesada, com dupla carga elétrica positiva, constituída por dois prótons e dois nêutrons, e da energia cinética a ela associada. É a radiação alfa ou partícula alfa (${}^4_2\alpha$ ou mais impropriamente 4_2He), idêntica a um núcleo de átomo de hélio (He), um gás chamado “nobre” por não reagir quimicamente com os demais elementos. Quando um núcleo emite uma partícula alfa, perde dois prótons e dois nêutrons e transmuta para um elemento químico cujo número atômico é duas unidades menor (RADIOATIVA, 2001). Outra forma de estabilização, quando existe no núcleo um excesso de nêutrons em relação a prótons, se dá através da emissão de uma partícula com carga elétrica negativa, idêntica a um elétron, porém com energia cinética bem maior, e que resulta da conversão de um nêutron em um próton (eq. 1.1). É a partícula beta negativa ou simplesmente partícula beta (${}^0_{-1}\beta$). Quando um núcleo emite uma

partícula beta, também emite um anti neutrino (${}^0_0\nu$), que não possui carga elétrica e quase não tem massa.



O elétron e o neutrino são emitidos no instante em que se formam, e o próton permanece no núcleo, que passa a conter mais um próton e menos um nêutron (ibid, 2001). Por esta razão, ocorre transmutação do elemento químico, já que o número atômico aumenta em uma unidade. Contudo o número de massa (=soma dos nêutrons e prótons) não muda. Trata-se de uma *transição isobárica*. No caso de existir excesso de prótons em relação aos nêutrons, é emitida uma partícula beta positiva, chamada pósitron (${}^0_+1\beta$), resultante da conversão de um próton em um nêutron (eq. 1.2) (KELECOM, GOUVEA e SANTOS, 1998).

Freqüentemente, após a emissão de uma partícula alfa ou beta, o núcleo resultante deste processo ainda possui excesso de energia e procura estabilizar-se, emitindo esse excesso em forma de onda eletromagnética, da mesma natureza da luz, denominada radiação gama (${}^0_0\gamma$). Os raios gama não possuem massa nem carga elétrica, sendo semelhantes aos raios X, mas com comprimento de onda mais curto, sendo então mais energéticos. Esses raios são fótons ('partículas de radiação eletromagnética') e se propagam com a velocidade da luz. Nenhuma transmutação é verificada durante a emissão gama, pois não há mudança do número de prótons (= número atômico). Trata-se de uma *transição isomérica* onde ocorre um rearranjo da distribuição de nêutrons e prótons no seio do núcleo (ibid).

Os três tipos de radiação natural α e β (ambas corpusculares), e γ (ondulatória) penetram e ionizam a matéria. A seqüência de ionização é :

$$\alpha \gg \beta = +\beta \gg \gamma (=RX)$$

Já em termos de penetração na matéria, a seqüência é oposta:

$$\alpha \ll \beta = +\beta \ll \gamma (=RX)$$

Isto faz com que as radiações α sejam mais temíveis que as demais, *por contaminação interna*, por ionizarem intensamente um volume pequeno de matéria. O quadro 2 demonstra dados comparativos das principais propriedades das radiações e, o quadro 3 alguns dados relativos ao alcance (penetrância) das radiações em diversos meios materiais (RADIOATIVA, 2001).

Quadro 2. Propriedades das radiações.

Propriedade	alfa	beta	póstron	gama
Natureza	corpúscular	corpúscular	corpúscular	radiação eletromagnética
Símbolo	${}^4_2\alpha$ ou 4_2He	${}^0_{-1}\beta$	${}^0_{+1}\beta$	${}^0_0\gamma$
Carga elétrica	+2	-1	+1	0
Ionização linear	alta	baixa	baixa	muito baixa
Penetração no ar	poucos cm	vários cm	vários cm	vários m
Velocidade (*)	1/30 a 1/15	$\approx c$	$\approx c$	$=c$
Radio-fluorescência	ZnS(Ag)	antraceno e difeniloxazol	antraceno e difeniloxazol	NaI(Tl)
Filme fotossensível		impressiona	impressiona	impressiona
Trajectoria em geral	reta	irregular	irregular	irregular
Campos elétricos e magnéticos	desviado	desviado	desviado	não desviado

(*) velocidade relativa à velocidade da luz no vácuo (c)

Fonte: Kelecom, Gouvea e Santos, 1998.

Quadro 3. Alcance das Radiações Nucleares em diversos meios materiais (cm)

radiação	Energia (MeV)	Ar	Tecido humano	Al	Pb
α (alfa)	3	1,67	0,01	0,0098	-
β (beta)	3	1260	1,5	0,56	-
γ (gama)	0,662	?	7,9	3,5	0,64

Fonte: Kelecom, Gouvea e Santos, 1998.

O número de nêutrons no núcleo pode ser variável, pois não tem carga elétrica; então um mesmo elemento químico pode ter massas diferentes. Átomos de um mesmo elemento químico com massas diferentes são denominados *isótopos* ou mais

adequadamente *nuclídeos*¹. Diferem entre si pela constituição do núcleo: são nuclídeos diferentes. O carbono, que possui 6 prótons no núcleo, existe na natureza na forma de 3 isótopos (=nuclídeos), o ¹²C, com 6 nêutrons, o ¹³C, com 7 nêutrons e o ¹⁴C, com 8 nêutrons no núcleo (ibid). Destes, apenas o ¹⁴C é radioativo. É um *radioisótopo* ou *radionuclídeo* (KELECOM, GOUVEA E SANTOS, 1998).

2.3 ATIVIDADE, TRANSMUTAÇÃO E MEIA-VIDA FÍSICA DE UMA AMOSTRA.

Numa amostra radioativa, os núcleos instáveis de uma mesma espécie (mesmo elemento químico) não realizam todas suas transições ao mesmo tempo. As emissões de radiação são feitas de modo imprevisível e não se pode prever o momento em que um determinado núcleo irá emitir sua radiação. Entretanto, considerando a grande quantidade de átomos existentes em uma amostra, é razoável esperar-se que certo número de emissões ocorra em cada segundo. Essa “taxa” de emissões é denominada *atividade* de uma amostra e é medida em Becquerel (Bq), *i.e.* uma desintegração por segundo (d.p.s.), ou na unidade antiga, Curie (Ci), que corresponde aproximadamente à atividade de um grama de rádio-226 (²²⁶Ra), e é igual a $3,7 \times 10^{10}$ Bq (CARDOSO et al., 2002). Deve-se preferir a unidade Bq por ela ser uma grandeza absoluta.

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ d.p.s. (desintegração por segundo)} \quad \text{e} \quad 1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

A emissão de partícula resulta numa variação do número de prótons no núcleo, isto é, do número atômico e logo o elemento se transforma em outro químico, com propriedades físico-químicas diferentes. Chama-se essa transformação de *transmutação* (ibid, 2002). Assim sendo, o número de átomos de uma amostra radioativa vai diminuindo ao longo do tempo e, paralelamente, a atividade da amostra também diminui. É o *decaimento radioativo*.

Cada radionuclídeo, seja ele natural ou obtido artificialmente, decai a uma velocidade que lhe é característica e exclusiva. Define-se como tempo de *meia-vida*

¹ Deve-se preferir a palavra *nuclídeo* que aponta para propriedades do núcleo do átomo e não *isótopo* que se refere à posição ocupada na Tabela Periódica (do grego *iso*, mesmo + *topo*, lugar) a qual não é usada em Física Nuclear, sendo substituída pela Tabela dos Nuclídeos.

física ($t_{1/2}$) de um radionuclídeo, o tempo que ele leva para ter sua atividade reduzida à metade de sua atividade inicial, por decaimento. Isso significa que, para cada meia-vida que passa, a atividade vai sendo reduzida à metade da anterior, até atingir um valor insignificante, da mesma ordem de grandeza da atividade ambiental. Deste modo, o decaimento radioativo segue um perfil de exponencial negativo, descrito pela equação 1.3. que indica que a atividade de uma amostra radioativa, após certo tempo t , depende apenas de três fatores: a atividade original da amostra (A_0), o tempo que passou (t) e a natureza do radionuclídeo (expressa pelo seu $t_{1/2}$, ou seu correspondente a constante de decaimento λ):

$$\boxed{A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda t}} \quad (\text{eq. 1.3})$$

onde A_t é a atividade da amostra após o tempo t

A_0 é a atividade inicial da amostra

t o tempo decorrido

λ é a constante de decaimento característica da fonte radioativa e está relacionada à meia-vida física pela relação :

$$\lambda = \ln 2 / t_{1/2} = 0,693 / t_{1/2}$$

Após 10 meias-vidas, a atividade cai aproximadamente ao milésimo da atividade original (*i.e.* $2^{-10} = 1/1024$). O tempo de meia-vida física é uma característica de cada fonte radioativa, algo como uma impressão digital do radionuclídeo considerado (KELECOM, GOUVEA E SANTOS, 1998).

2.4 AS FAMÍLIAS RADIOATIVAS

O decaimento de um radionuclídeo A leva a um nuclídeo B (chamado de “filho”) que pode ou não ser radioativo. Sendo assim, B decairá a outro filho, C, neto de A, que outra vez poderá ser radioativo, ou não. Forma-se deste modo uma família (ou série) radioativa cujo último membro sempre é estável. Existem apenas três famílias radioativas naturais, conhecidas como: Série do Urânio, Série do Actínio e Série do Tório. A Série do Actínio, na realidade inicia-se com o Urânio-235 e tem esse nome, pois se pensava que ela começava pelo actínio-227. As três séries naturais terminam em isótopos estáveis do chumbo, respectivamente, chumbo-206, chumbo-207 e chumbo-208. Os principais elementos das séries acima mencionadas são apresentados no quadro

4. Observa-se que a família do urânio reúne nuclídeos de número de massa igual a $4n + 2$; já a série do actínio e do tório reúne nuclídeos de número de massa igual a $4n + 3$ e $4n$ respectivamente (CARDOSO et al.,2002).

Alguns elementos radioativos possuem meias-vidas muito longas, como, por exemplo, os elementos iniciais de cada série radioativa natural (urânio-235, urânio-238 e tório-232). Dessa forma é possível explicar porque há uma porcentagem tão baixa de urânio-235 em relação ao urânio-238. Como a meia-vida do urânio-235 é de 713 milhões de anos e a do urânio-238 é de 4,5 bilhões de anos, o urânio-235 decai muito mais rapidamente e, portanto, é muito mais “consumido” que o urânio-238 (ibid).

Quadro 4. As três séries radioativas naturais.

SÉRIE DO URÂNIO	SÉRIE DO ACTÍNIO	SÉRIE DO TÓRIO
Urânio-238 4,5 bilhões de anos $\alpha \downarrow$	Urânio-235 713 milhões de anos $\alpha \downarrow$	
Tório-234 24,6 dias $\beta \downarrow$	Tório-231 24,6 horas $\beta \downarrow$	Tório-232 13,9 bilhões de anos $\alpha \downarrow$
Protactínio-234 1,4 minuto $\beta \downarrow$	Protactínio-231 32.000 anos $\alpha \downarrow$	Rádio-228 5,7 anos $\beta \downarrow$
Urânio-234 270.000 anos $\alpha \downarrow$	Actínio-227 13,5 anos 13,5 anos $\alpha \swarrow$ $\beta \searrow$	Actínio-228 6,13 horas $\beta \downarrow$
Tório-230 83.000 anos $\alpha \downarrow$	Frâncio-223 Tório-227 21 min. 18,9 dias $\beta \swarrow$ $\alpha \swarrow$	Tório-228 1,9 anos $\alpha \downarrow$
Rádio-226 1.600 anos $\alpha \downarrow$	Rádio-223 11,4 dias $\alpha \downarrow$	Rádio-224 3,6 dias $\alpha \downarrow$
Radônio-222 3,8 dias $\alpha \downarrow$	Radônio-219 3,9 segundos $\alpha \downarrow$	Radônio-220 54,5 segundos $\alpha \downarrow$
*** \downarrow	*** \downarrow	*** \downarrow
Polônio-210 138,4 dias	Polônio-211 0,005 segundos	Polônio-212 0,000003 segundos

$\alpha\downarrow$	$\alpha\downarrow$	$\alpha\downarrow$
Chumbo-206 Estável	Chumbo-207 Estável	Chumbo-208 Estável

Fonte: Kelecom, Gouvea e Santos, 1998.

Com o desenvolvimento de reatores nucleares e máquinas aceleradoras de partículas, muitos radioisótopos puderam ser “fabricados” (produzidos), utilizando-se isótopos estáveis como matéria prima. Com isso, surgiram as Séries Radioativas Artificiais, algumas de curta duração.

2.5 RADIONUCLÍDEOS NOS ECOSISTEMAS AQUÁTICOS MARINHOS

A presença de radionuclídeos naturais no ambiente marinho é anterior ao surgimento da vida na Terra. Resulta da distribuição dos membros das famílias radioativas naturais (Quadro 5) na crosta terrestre, na atmosfera e na hidrosfera, em função das suas propriedades físico-químicas, de fenômenos de transporte, mobilidade, retenção, quelação, concentração, etc.(CARDOSO et al., 2002).

Os radionuclídeos naturais mais importantes no meio marinho estão relacionados no quadro 5, adaptado de Woodhead, 1973.

Quadro 5. Radionuclídeos naturais mais comuns no ambiente marinho (concentrações em Bq L⁻¹).

Radionuclídeo	Concentração
³ H	22-111
¹⁴ C	6-7
⁴⁰ K	11.840
⁸⁷ Rb	107
²¹⁰ Pb	<2,5
²¹⁰ Po	< 1,6
²²² Rn	0,74
²²⁶ Ra	156
²²⁸ Th	<1,1
²³⁰ Th	0,003
²³² Th	<0,3
²³⁵ U	1,85

^{235}U	48
^{238}U	44

Fonte: Woodhead, 1973

O ecossistema aquático ocupa uma extensa área da superfície da terra o que torna extremamente complexo, quase impossível, elaborar um modelo para prever o equilíbrio físico-químico dos radionuclídeos no ambiente marinho (PARFENOV, 1974). O comportamento de micro quantidades das substâncias em solução é afetado por leis específicas de adsorção, formação de colóides e outros processos. A água apresenta um importante papel, pois contém materiais orgânicos dissolvidos e na forma coloidal, bactérias, hidrobiontes e materiais com propriedades e origens diferentes. Além disso, o estado do polônio, na água, é afetado não somente por suas propriedades, mas também por processos de adsorção sobre material em suspensão e pela formação de complexos com ligantes orgânicos.

Bourg (1988) descreve que os radionuclídeos poderão estar presentes tanto na forma dissolvida, como na forma coloidal ou na particulada. Segundo este autor existem fatores determinantes para que ocorra a suspensão ou a deposição dos radionuclídeos em sedimentos aquáticos que são o pH, a riqueza em hidróxidos de Fe e Mn, o conteúdo de matéria orgânica, o potencial de oxi-redução, propriedades das superfícies em relação à capacidade de troca iônica, natureza e concentração dos constituintes da fase aquosa e a quantidade e razão do fluxo das soluções que se movem através dos sistemas aquáticos e terrestres.

Como a composição do material em suspensão e do material orgânico, assim como os outros fatores descritos variam de local para local e com a profundidade, o nível de acumulação do ^{210}Po em organismos marinhos varia enormemente, apesar da relativa uniformidade da distribuição de radionuclídeos no oceano (PARFENOV, 1974).

Por se tratar de um radionuclídeo natural pertencente à série do ^{238}U , e por possuir um ascendente no estado gasoso (^{222}Rn), o ^{210}Po tem garantido uma grande dispersão nos ambientes naturais (ibid, 1974).

O ^{210}Po presente no oceano resulta então do decaimento do radônio (^{222}Rn) existente na atmosfera e do rádio (^{226}Ra) existentes no mar. O ^{222}Rn , é um gás que se dissemina na atmosfera e alcança equilíbrio radioativo com seus descendentes, o ^{210}Pb , ^{210}Bi e o ^{210}Po , em aproximadamente 2 horas. A progênie, de curta meia vida, como o ^{218}Po e ^{214}Po , emite partículas alfa de alta energia que contribui substancialmente para indução de neoplasias e câncer de pele em pessoas expostas (SANTOS, GOUVEA e

DUTRA, 1995). Segundo Gouvea et al., (1988), esses radionuclídeos são introduzidos no oceano através dos rios ou da atmosfera – por deposição seca ou úmida –, ou ainda, através dos processos de decaimento nas terras imersas sob os oceanos. Na figura 3 pode ser observada a distribuição do polônio no meio ambiente.

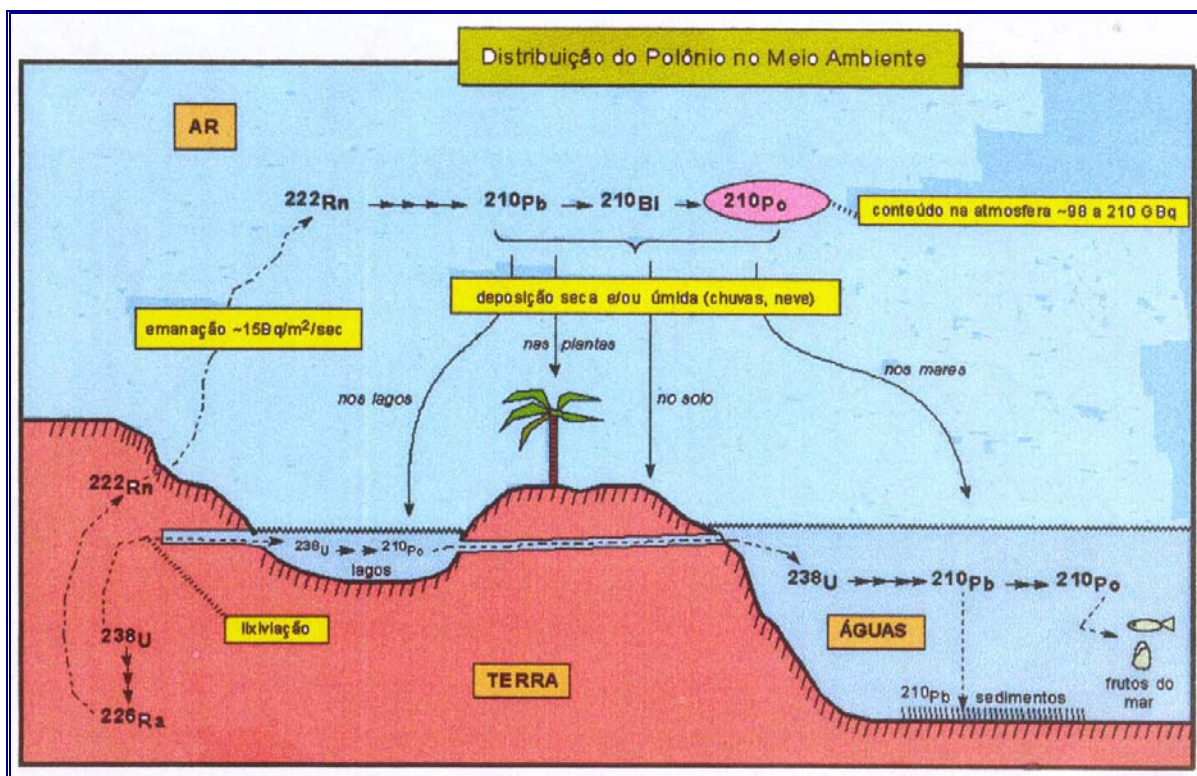


Figura 3: Distribuição do polônio no meio ambiente
 Fonte: Kelecom, Gouvêa e Santos, 1998.

Stepnowski e Skwarzec (2000a) ainda descrevem que o ^{210}Po no ambiente marinho é largamente produzido do decaimento do ^{210}Pb depositado a partir da atmosfera e, Kostner (1994) enfatiza o impacto dos resíduos industriais, em particular as descargas de fábricas que produzem ácido fosfórico, utilizados na manufatura dos fertilizantes fosfatados, aumentando localmente a concentração de ^{210}Po .

2.6 BIOACUMULAÇÃO DO ^{210}Po e ^{210}Pb EM ALIMENTOS

Sabe-se que os alimentos constituem-se na principal fonte de ^{210}Pb e ^{210}Po para o corpo humano (JAWOROSWKI, 1969; PARFENOV, 1974). A concentração de radionuclídeos em produtos agrícolas foi estimada por Carvalho (1995) que constatou níveis entre 0,02 e 0,78 Bq kg⁻¹ para ^{210}Po e 0,03 a 0,71 Bq kg⁻¹ para chumbo em trigo, arroz, milho, grãos, batatas e verduras folhosas e frutas. O autor evidenciou menores concentrações em produtos com maior teor de umidade. Dentro destes produtos, valores consideravelmente altos e dignos de nota foram verificados para o agrião (0,3 ± 0,03 Bq kg⁻¹ para ^{210}Po e 9,7 ± 0,8 Bq kg⁻¹ para ^{210}Pb) e para o cogumelo silvestre (2,6 ± 0,3 Bq kg⁻¹ para ^{210}Po e 4,1 ± 0,3 Bq kg⁻¹ para ^{210}Pb), apesar destes produtos não apresentarem altas taxas de consumo. Segundo Santos et al.(1990) o uso de fertilizantes fosfatados pode contribuir para aumento de radionuclídeos da série do urânio para o solo que, desta forma, contribuirá para o aumento do

nível nas plantas. Ainda sobre este fato, Vasconcellos et al. (1987) descrevem que apesar das evidências sugerindo que plantas se desenvolvendo em solos com alta radioatividade exibam maiores concentrações de radionuclídeos, também existem dados que reiteram esta afirmação e sugerem que a acumulação poder depender do tipo de solo (matéria orgânica, pH...).

Na maioria dos produtos agrícolas analisados por Carvalho (1995) a proporção $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ foi muito menor que a unidade.

A concentração destes radionuclídeos em carnes, ovos, leite e queijo também foi avaliada por Carvalho (1995) que evidenciou maiores níveis de ^{210}Po que de ^{210}Pb e uma relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ entre 1 a 1,8.

Em vísceras de bovina, como o fígado e os rins, Bunzl, Kracke e Kreuzer (1979) relataram uma relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ entre 2 e 4, bem maiores que na porção muscular e em outros produtos de origem animal.

É importante salientar que alguns métodos de conservação de alimentos, como o congelamento, poderão ocasionar uma redução na atividade do ^{210}Po em relação ao ^{210}Pb devido ao decaimento durante o período de estocagem (CARVALHO, 1995). Segundo Beasley, Jokela e Eagle (1971) a elaboração do concentrado protéico de peixe poderá, ao contrário, aumentar a concentração de radionuclídeos, por unidade de peso, devido a remoção da umidade do produto.

2.7 BIOACUMULAÇÃO DO ^{210}Po e ^{210}Pb EM ORGANISMOS MARINHOS

A avaliação da exposição humana à radioatividade tem proporcionado impulso para um grande número de estudos, os quais são especialmente motivados pelas modificações artificiais da radiação natural ambiental e pelos efeitos biológicos potenciais de baixos níveis de exposição (UNSCEAR, 1993).

Os seres vivos estão expostos aos radionuclídeos através da cadeia alimentar (PARFENOV, 1974; PENTREATH, 1977), através da água (GOUVEA et al., 1988) e através do sedimento e das partículas em suspensão (ANCELLIN, 1973). Em função da possibilidade de que quantidades elevadas de ^{210}Po possam ser transferidas aos seres humanos via dieta, existe uma nítida necessidade de investigação do acúmulo deste nuclídeo por peixes comestíveis (SKWARZEC, 1988).

Uma análise detalhada de vários alimentos (CARVALHO, 1995) indicou que os alimentos marinhos contribuem com cerca de 70% da taxa de ingestão de ^{210}Po , enquanto

cereais, vegetais e carnes juntos contribuem com 79% da taxa de ingestão do ^{210}Pb . Desta forma, o consumo de alimentos marinhos, tanto em termos de quantidade como preferência no consumo de algumas espécies, é a causa da quantidade ingerida relativamente alta de ^{210}Po e da alta relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ na dieta, fato considerado para os países com alto consumo de pescado.

Utilizando dados relacionados a vários estudos, foi sugerido que uma quantidade média ingerida de $0,15 \text{ Bq d}^{-1}$ de ^{210}Po e $0,09 \text{ Bq d}^{-1}$ de ^{210}Pb poderia ser aplicável para média individual em regiões de radioatividade normais. As exceções conhecidas para esta quantidade são casos como o da Lapônia, onde é alta a ingestão de carne de rena e caribu com altos índices de ^{210}Po e ^{210}Pb , assim como para populações moradoras de áreas com alta radioatividade. Além disso, é reconhecido que para as populações que consomem altas quantidades de frutos do mar é esperado que possuam uma taxa de ingestão mais alta que a média (UNSCEAR, 1982, 1993).

Dentre os radionuclídeos de ocorrência natural no oceano, os alfa emissores são considerados os mais importantes com respeito ao potencial de exposição à radiação, dentro os quais uma vasta contribuição de exposição para fauna marinha é devida ao ^{210}Po , tendo sua distribuição no ambiente dependente também do ^{226}Ra e do ^{210}Pb . O ^{210}Po é conhecido como provedor de cerca de 90% da dose de radiação oriunda de radionuclídeos alfa emissor (STEPNOWSKI e SKWARZEC, 2000b; ALONSO-HERNANDEZ et al., 2002) e é o mais comum dentre os 27 isótopos do polônio na natureza (WILDGUST, McDONALD e WHITE, 1998). Shannon e Cherry (1967) descrevem que a maior parte do ^{210}Po acumulado pela biota marinha está sob a forma “não suportada”, ou seja, não provêm do decaimento do ^{210}Pb , indicando que o ^{210}Po é seletivamente acumulado em comparação ao seu precursor.

Segundo Pentreath (1977) os organismos marinhos removem elementos químicos da água do mar e os introduzem na cadeia alimentar através de processos de ingestão de partículas em suspensão e de elementos pré-concentrados, por complexação de metais com moléculas orgânicas, incorporação de íons metálicos através de sistemas fisiológicos e por fixação por carga. Apesar do processo de bioacumulação ter sido conhecido através do estudo do metal mercúrio e do pesticida DDT, Margalef (1982) comenta que este fenômeno foi primeiramente descrito para os radionuclídeos, entretanto, segundo Seymour (1959) também pode ocorrer o processo inverso, com a redução da bioacumulação ao longo da cadeia trófica ou, segundo outros autores, não possuir nenhuma interdependência, como é o caso do ^{210}Po relatada por Pentreath (1977), que salienta que apesar de não demonstrar influência, os grandes carnívoros bioacumulam mais eficientemente este radionuclídeo.

Segundo Alonso-Hernández et al. (2002) existe uma desproporção significativa da atividade de ^{210}Po entre os componentes da biota aquática. Os autores analisaram 16 espécies de peixe, 8 espécies de moluscos e 4 espécies de crustáceos e evidenciaram o mais alto valor nas amostras de crustáceo ($50\text{-}125 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ w.w}$), embora as médias observadas para os peixes ($19,5 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ w.w}$) e moluscos ($25 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ w.w}$) tenham sido altas quando comparadas aos dados reportados por UNCEAR (1993). Ainda com relação aos crustáceos, Heyraud et al. (1988) demonstram uma evidente relação entre a dieta e os níveis de ^{210}Po em camarões das famílias Penaeidae e Careidae capturados no atlântico norte. Shaheed et al. (1997) consideram que tanto o músculo como os exoesqueletos de camarões exibem alta atividade de ^{210}Po , salientam para o fato de que a composição do exoesqueleto em crustáceos difere da composição das conchas nos moluscos, por constituírem-se de substâncias orgânicas como a quitina.

Parfenov (1974) e Pentreath (1977) relatam que o ^{210}Po não se distribui uniformemente nos organismos, apresentando maior grau de concentração em certos órgãos como, por exemplo, o hepatopâncreas de invertebrados (BEASLEY et al., 1971; SKWARZEC e FALKOWSKI, 1988; HEYRAUD et al., 1988; GOUVEA, SANTOS e DUTRA, 1992; STEPNOWSKI e SKWARZEC, 2000a; STEPNOWSKI e SKWARZEC, 2000b), os cecos pilóricos de peixes (PENTREATH, 1977), o fígado (PARFENOV, 1974; HEYRAUD e CHERRY, 1979; CARVALHO, 1988; BELLAMY e HUNTER, 1997) e, de uma forma geral, todos os órgãos do sistema digestório (PENTREATH, 1977), particularmente os intestinos (SKWARZEC, 1988). Shaheed et al. (1997) observaram que, de uma forma geral, os tecidos moles concentram um nível maior de polônio que as partes como os ossos e as conchas. O fígado segundo Bellamy e Hunter (1997), pela função que exerce na remoção de toxinas corporais é conhecido como um reservatório de elementos metálicos e espera-se que possua maior concentração de ^{210}Po que outros tecidos como músculo e brânquias. Entretanto, em organismos filtradores, que utilizam as brânquias para capturar seus alimentos, altas concentrações são relatadas para este órgão (STEPNOWSKI e SKWARZEC, 2000a). Um fato interessante salientado pelos autores supra citados é que a predominância dos órgãos digestivos como locais de acumulação não é tão grande para o ^{210}Pb como é para o ^{210}Po , o que sugere que o mecanismo de acumulação dos dois elementos seja diferente.

O hepatopâncreas dos invertebrados marinhos exerce um importante papel na acumulação de elementos estáveis, onde é provável que proteínas sulfuradas como as metalotioneínas exerçam papel crucial no processo de ligação (STEPNOWSKI e SKWARZEC, 2000b). Esses autores apresentam os resultados da determinação de ^{210}Po e da

relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em tecidos e órgãos do crustáceo *Saduria entomon* do mar Báltico, assim como a localização subcelular deste radionuclídeo no hepatopâncreas. O maior valor foi observado no hepatopâncreas ($543,5 \text{ Bq kg}^{-1}$), assim como a maior relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ (10,6) e, a maior parte (60%) deste ^{210}Po nas células hepatopancreáticas, foi encontrada na fração citosol. Heyraud et al. (1988) descrevem um resultado encontrado em hepatopâncreas em *Gennadas tinayrei* (penídeo) de $4070 \pm 85 \text{ pCi g}^{-1}$ ou $150,6 \pm 6,8 \text{ Bq g}^{-1}$ (base seca) que acreditam ser o mais alto nível de ^{210}Po já descrito em uma amostra biológica.

Carvalho (1988) descreve que os cecos pilóricos e o intestino contribuem com cerca de 99 % para a dose total de radiação absorvida em sardinhas. As menores concentrações segundo Heyraud et al. (1988) ocorrem na porção muscular, contudo, pode alcançar níveis elevados em pequenos peixes epipelágicos como o peixe saltador (*Scomberesox*). Baixas atividades também são observadas no coração, olhos e cérebro (SKWARZEC, 1988).

A acumulação de ^{210}Po em peixes é considerada superior às das plantas e outros animais. A concentração deste elemento no músculo de peixes varia de $0,41$ a 100 pCi kg^{-1} ($15,17$ a $3.700 \text{ mBq kg}^{-1}$ ou $0,015$ a $3,7 \text{ Bq kg}^{-1}$) (PARFENOV, 1974). O autor ainda comenta que mais da metade do conteúdo de ^{210}Po no peixe é depositado nas vísceras, com maior concentração no fígado e que altas concentrações são observadas nas ovas (80 pCi kg^{-1} ou $2,96 \text{ Bq kg}^{-1}$) e no sêmem do peixe (60 pCi kg^{-1} ou $2,22 \text{ Bq kg}^{-1}$). Segundo Pereira (1995) os órgãos são geralmente citados na literatura como permitindo um melhor nível de análise de bioacumulação devido à menor variabilidade dos dados, sendo bons indicadores da forma de entrada do radionuclídeo nos sistemas biológicos (PENTREATH, 1977), embora a contribuição proporcional dos órgãos digestivos para o acúmulo total do ^{210}Po esteja correlacionada com o grau de repleção do estômago e que este fator diminui na falta de alimento (SKWARZEC, 1988).

Bellamy e Hunter (1997) determinaram a concentração de ^{210}Po no fígado de 81 espécimes de três espécies de peixes capturados na Nova Zelândia, encontrando $4,2 \pm 1,8 \text{ Bq kg}^{-1}$ para o cação espinho (*Squalus acanthias*), $1,36 \pm 39 \text{ Bq kg}^{-1}$ para as amostras referentes ao peixe elefante (*Callorhinchus milii*) e $38 \pm 13 \text{ Bq kg}^{-1}$ para as amostras de cabra vermelho (*Chelodonichthys kumu*). Os autores ainda relataram que apenas uma parte negligível do ^{210}Po era suportada pelo decaimento do ^{210}Pb . A relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ foi de 15, 134 e 59 respectivamente para as três espécies. A dose de radiação por ^{210}Po no fígado foi calculada entre 88 e 99% da dose interna absorvida por estas espécies.

A distribuição subcelular do ^{210}Po foi investigada por Durand et al. (1999) no fígado de *Scomber scombrus* que evidenciaram que a maior parte deste radionuclídeo estava localizada no citosol das células hepáticas, particularmente nas proteínas ferritina e metalotionina, fato também constatado por Stepnowski e Skwarzec, 2000a. O mesmo não foi constatado para o ^{210}Pb , fato que Durand et al. (1999) consideram com explicativo para as altas proporções de ^{210}Po em fígados de peixes em relação aos níveis de ^{210}Pb . Durand et al. (2002) estudando o nível de ligação do ^{210}Po com a ferritina de peixe (*Scomber scombrus*), molusco (*Crassostrea gigas*) e crustáceo (*Homarus gammarus*) confirmaram a alta afinidade do polônio com estas proteínas, entretanto, foi evidenciado que a fração ferritina do hepatopâncreas de lagostas, continha mais ^{210}Po que a ferritina pura de peixes e ostras e, também constataram que a fração ferritina hepatopancreática de lagostas continha hemocianina, posteriormente revelada como importante contribuidor para fixação do ^{210}Po em lagostas e outros grandes crustáceos. Heyraud, Cherry e Dowdle (1987) afirmam que o sítio de ligação do ^{210}Po é uma proteína, em uma ligação covalente com proteínas com grupamento sulfidrila e sugerem uma possível ligação com metalotioninas.

Skwarzec e Bojanowski (1988) descrevem que na água o polônio é absorvido pelo plâncton e forma complexos com a matéria orgânica, enquanto o chumbo revela uma forte tendência a ser absorvido sobre a matéria mineral suspensa. A intensa habilidade do plâncton para acumular ^{210}Po significa que estes estão expostos a uma extensa dose de radiação ionizante.

Skwarzec (1997) considera e conclui em seus estudos com alguns representantes da biota aquática do ecossistema sul-báltico que os peixes constituem uma importante fonte de ^{210}Po para seres humanos. Lazorenko, Polikarpov e Boltachev (2002b) descrevem que os níveis de ^{210}Po nos peixes estão na dependência do grupo ecológico aumentando na seguinte série: peixes de fundo, peixes demersais e peixes pelágicos e, ainda salientam, que entre as espécies pelágicas, a anchova e o arenque demonstraram as mais elevadas concentrações. Sobre este aspecto, Shannon (1973) demonstrou que peixes pelágicos acumulam melhor o ^{210}Po quando comparados aos demersais, entretanto Carvalho (1988) afirma que os demersais teleósteos apresentam altas concentrações de ^{210}Po . O autor acima citado comenta que os elasmobrânquios, como as raias e tubarões, concentram menos ^{210}Po que os peixes ósseos e que baixas atividades são encontradas no marlin azul (*Makaira* sp) e no “oilfish” (*Ruvettus* sp) assim como nos tunídeos. Lazorenko, Polikarpov e Boltachev (2002a) descrevem que, entre os órgãos, o fígado é o órgão que mais acumula ^{210}Po .

Quanto mais raso é o habitat, mais elevada é a concentração do polônio nos peixes e, a concentração, também depende significativamente dos hábitos alimentares e da desova. Os peixes que concentram maiores quantidades de ^{210}Po são os que se alimentam de plâncton (ibid, 2002b).

Segundo Heyraud et al. (1994), a variação da concentração de ^{210}Po em organismos marinhos está na dependência de fatores como grupo taxonômico, peso individual do espécime estudado e da latitude do local de coleta. Aarkrog et al. (1997) consideram a diferença na concentração de ^{210}Po mais notável entre as espécies do que entre as regiões, e também salientam para o fato de que os hábitos alimentares das espécies marinhas diferem entre si, e que os indivíduos de menor tamanho, que se alimentam de plâncton demonstram mais altas concentrações.

Outro fator de relevância é a relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ que de acordo com resultados apresentados por McDonald et al. (1991) apud² Wildgust, McDonald e White (1998) com amostras da biota aquática da costa UK, é de 5-40, indicando um evidente excesso de ^{210}Po em relação ao ^{210}Pb .

Com relação à influência relacionada ao comprimento dos peixes, a relação é bastante confusa. Nevissi e Schell (1975) não descrevem tal relação como verdadeira e Hoffman, Hodge e Folson (1974) afirmam exatamente o oposto, descrevendo que a relação entre estas variáveis é direta. A influência relacionada à idade é descrita por Heyraud (1979) que observa que os níveis decrescem com o aumento da idade.

Altas concentrações de ^{210}Po ocorrem nos moluscos, atingindo as mesmas proporções que as encontradas no plâncton. Esta acumulação é relacionada com o hábito alimentar dos moluscos, que consiste de diatomáceas e fitoplâncton (PARFENOV, 1974), que segundo Wildgust, McDonald e White (1998) são selecionados por tamanho e densidade através de sulcos nas lamelas branquiais. Ugur, Yener e Bassari (2002) consideram que as diferentes espécies do gênero *Mytillus* possuem habilidade considerável em acumular e concentrar metais e radionuclídeos. A maior parte do ^{210}Po acumulado pelos organismos filtradores localiza-se nas glândulas digestivas, mesmo após processo de depuração, e respondem por aproximadamente 10% do peso corporal total, embora contenha entre 15 e 36% do total do ^{210}Po tecidual, segundo relatam Wildgust, Donald e White (1998). Os resultados obtidos por Shaheed et al. (1997) os embasaram a concluir que os mexilhões de água doce podem ser utilizados como efetivos bioindicadores ambientais. Por outro lado Al-Masri, Mamish e

² McDonald, P., Cook, G.T., Baxter, M.S. Natural and artificial radioactivity in coastal regions of the UK. In: Kershaw PJ, Woodhead, D.S., editors. Radionuclides in the study of marine processes, 1991: 329-339.

Budeir (2002) sugerem em seus estudos sobre o impacto das atividades de carregamento de fosfato nas cercanias do ambiente marinho, que a utilização de representantes da biota aquática como algas, peixes e caranguejos, não são recomendados como bioindicadores ambientais.

Em outros organismos marinhos, como baleias, lulas, focas, caranguejos e lagostas, o nível de ^{210}Po é similar ao que ocorre no músculo de peixes (PARFENOV, 1974).

Um estudo bastante interessante foi desenvolvido por Beasley, Jokela e Eagle (1971) que avaliaram a concentração de vários elementos traço e de radionuclídeos em concentrado protéico marinho utilizado como suplemento de proteína na dieta humana e produzido com as espécies inteiras com a finalidade de minimizar os custos da produção. A maior parte dos concentrados é produzida com peixes bentônicos como a abrótea e o linguado e os autores consideram importante e relevante comparar a concentração de radionuclídeos desses produtos com produtos produzidos a partir de peixes de superfície. Os resultados evidenciaram que os níveis de ^{210}Pb e ^{210}Po são comparados a outros resultados anteriormente reportados com a notável exceção do concentrado de anchova capturada na costa sul da Califórnia cujo valor foi de $0,96 \pm 0,1 \text{ Bq g}^{-1}$ em base seca. Em função deste resultado, os autores analisaram vários órgãos separadamente, tanto da anchova (*Engraulis mordax*) como do “saury” (*Cololabis saira*), espécies que representam peixes pelágicos cuja alimentação consiste basicamente de crustáceos planctônicos. Nestes peixes a maior parte da atividade do ^{210}Pb e ^{210}Po é encontrada nos órgãos internos, principalmente o fígado, os ossos (vértebras), conteúdo de estômago e vísceras (coração, intestino, rim, estômago, gônadas e baço). Com os resultados obtidos os valores determinados no concentrado já não surpreendeu tanto. Os autores sugerem que o processo de evisceração dos peixes antes da elaboração de subprodutos como o concentrado protéico iria auxiliar na redução da concentração de Pb , ^{210}Pb e ^{210}Po no produto final.

2.8 EFEITO DO ^{210}Po e ^{210}Pb SOBRE A SAÚDE HUMANA

Segundo Parfenov (1974) as fontes de ^{210}Po para o organismo humano são: ① a entrada de ^{226}Ra e seu subsequente decaimento; ② o decaimento radioativo do ^{222}Rn inalado da atmosfera e também de seus produtos de decaimento que possuem pequenas meias-vidas; ③ inalação de aerossóis atmosféricos contendo ^{210}Po e ^{210}Pb ; ④ absorção através do trato gastrointestinal a partir da água e de alimentos. As duas primeiras fontes não apresentam grande importância no processo de acumulação do ^{210}Po no organismo humano, sendo a fonte

principal, a entrada do ^{210}Po e seus radionuclídeos através do sistema respiratório e do trato gastrointestinal.

O ICRP-61 – INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (1990), recomenda um LIA (limite de incorporação anual), para ^{210}Pb e ^{210}Po por ingestão de alimentos, de 2×10^4 e $9 \times 10^4 \text{ Bq a}^{-1}$, respectivamente. O máximo permitido de ^{210}Po no corpo humano é de $0,03 \mu\text{Ci}$ ou $11,1 \cdot 10^2 \text{ Bq}$ (MERCK, 2001).

Carvalho (1995) observou níveis de ingestão diária de $0,049$ e $0,855 \text{ Bq}$ de ^{210}Pb e ^{210}Po respectivamente por consumo de alimentos marinhos pela população portuguesa, contribuindo com cerca de 70% e 10% da entrada diária de ^{210}Po e ^{210}Pb no corpo humano. Saito et al. (2001) estimaram a ingestão, pela população humana do Sistema Cananéia-Iguapé (Estado de São Paulo, Brasil), de $0,004$ e $0,035 \text{ Bq.d}^{-1}$ para ^{210}Pb e ^{210}Po respectivamente, pelo consumo de organismos estuarinos.

A ingestão de ^{210}Pb e ^{210}Po pelas populações humanas que consomem grandes quantidades de alimentos de origem marinha normalmente é bem maior do que as populações que utilizam outros tipos de alimentos. Ingestões mais elevadas destes radionuclídeos são observadas apenas em populações próximas ao Ártico, que possuem o hábito de consumir carnes de renas e caribus. Estes indivíduos apresentam níveis de ingestão diária de ^{210}Pb e ^{210}Po de $0,38$ e $3,83 \text{ Bq}$, respectivamente (UNSCEAR, 1982).

Um estudo realizado por Lapham, Millard e Samet (1989) avaliou os níveis de radionuclídeos em bovinos criados em áreas próximas a minas de urânio no Novo México. Os autores utilizaram dez animais obtidos destas áreas e dez de áreas distantes, que serviram como grupo controle e analisaram ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po em porções de músculo, fígado, rins e tecido ósseo, assim como amostras ambientais de água, gramíneas e solo. Verificaram que os níveis médios nos tecidos animais e nas amostras ambientais foram maiores nas amostras relativas à área de estudo proposta. Nas amostras de fígado e rins os níveis de ^{226}Ra e ^{210}Po foram particularmente mais altos. Com os resultados obtidos os autores estimaram o risco à saúde pública por consumo por longo período de tempo da carne obtida destes animais e, a partir de um fator de conversão de dose proposto por Dunning (1985) apud³ Lapham, Millard e Samet (1989), observaram que o risco é mínimo, a não ser que altas quantidades, principalmente de rins e fígado, sejam consumidas.

Recentemente atenção especial tem sido dada ao perigo potencial do ^{210}Po como resultado de sua entrada através do trato respiratório pelo hábito de fumar. Desta forma, o

³ DUNNING, D.E. Estimates of internal dose equivalent from inhalation and ingestion of selected radionuclides. Springfield, VA: National Technical Information Service; WIPP-DOE- 176 (Rev.1); 1985.

conteúdo de ^{210}Po do fumo tem sido mensurado por vários pesquisadores. Este radionuclídeo é, aparentemente, uma possível causa de câncer pulmonar como resultado da radiação α sobre o epitélio bronquial. (PARFENOV, 1974) levando a casos classificados na sua maioria por adenocarcinoma (KILTHAU, 1996). Os radionuclídeos presentes na fase gasosa e particulada da fumaça do cigarro são absorvidos pela corrente sanguínea e distribuídos a diferentes órgãos do corpo, aumentando a radiação local e aumentando o risco de câncer devido à deposição nos pulmões (SHABANA et al., 2000). Os autores ainda descrevem dados relativos à investigação dos níveis de ^{210}Po em amostras de sangue em fumantes e não fumantes indicando que cerca de 30% do ^{210}Po no sangue está relacionado ao hábito de fumar.

As marcas de cigarro mais vendidas no Brasil contêm chumbo e polônio radioativos (SANTOS, WEINBERG e FRANCA, 1970). Todas as plantas apresentam estas substâncias em decorrência da absorção do urânio presente no solo, mas principalmente pela absorção foliar de poeiras atmosféricas (SANTOS et al., 1996) e de adubos fosfatados (KELECOM et al., 2002). Diariamente as pessoas absorvem naturalmente pequenas doses radioativas através da ingestão de alimentos, entretanto, esta absorção aumenta em decorrência do uso de cigarros, pois o chumbo e o polônio presentes nas folhas do tabaco passam para fumaça no processo de queima e são inalados tanto pelos usuários como pelos fumantes passivos (KELECOM et al., 2000). Segundo a mesma fonte, a planta do tabaco é a que mais concentra chumbo e polônio radioativos e a consequência da inalação destas substâncias, pode ser o aumento da incidência de câncer de pulmão, doença que no Brasil, mata cerca de 80 mil pessoas anualmente.

Santos, Weinberg e Franca (1970) avaliaram o conteúdo de ^{210}Po em várias marcas de produtos manufaturados no Brasil, como cigarros, cigarrilhas, charuto, fumo de rolo e fumo para cachimbo, de diferentes marcas, assim como cigarros de distintas marcas oriundas de outros países. Os resultados demonstraram não haver correlação entre teor de ^{210}Po em cigarros quando relacionados ao preço do produto e comentam que a variação observada nos resultados de produtos nacionais tem origem de fatores como condições ambientais, envelhecimento e processos de tratamento do tabaco, assim como a origem dos tabacos que entram na mistura utilizada para as diferentes marcas. O valor médio de ^{210}Po observado nas marcas de cigarros brasileiras ($0,304 \text{ Bq g}^{-1}$) é aproximadamente igual aos valores observados nas marcas oriundas dos Estados Unidos, Argentina, Índia e Paquistão, superior aos da Indonésia, Turquia e Grécia e inferior aos da Rodésia, Austrália e de países da América Central.

As concentrações destes radionuclídeos foram determinadas por Santos et al. (1996) em 18 amostras de cigarros brasileiros e comparadas com dados relativos ao conteúdo em urânio, elemento 3 a 4 vezes menos abundante que o ^{210}Po ou ^{210}Pb , respectivamente, não tendo sido observada correlação entre as concentrações de U e de Po ou Pb. A concentração de ^{210}Po variou de $10,09 \text{ Bq.kg}^{-1}$ a $21,09 \text{ Bq.kg}^{-1}$, valor médio bem próximo do valor reportando em 1970 por Santos, Weinberg e Franca, o que caracteriza que a contaminação por ^{210}Po e ^{210}Pb do tabaco em cigarros brasileiros parece permanecer sem alterações durante décadas.

Kelecom, Gouvea e Santos (2002) determinaram a concentração de ^{210}Po e ^{210}Pb em 58 marcas de cigarro produzidas em 11 distintos países sendo dois da América do Norte, cinco da América Central, um da América do Sul e três da Europa constatando variação de ^{210}Po entre $5,0 \text{ mBq.g}^{-1}$ nos cigarros cubanos a 55 mBq.g^{-1} nas marcas mexicanas e, de ^{210}Pb entre $2,0 \text{ mBq.g}^{-1}$ em uma amostra proveniente de Cuba a $26,3 \text{ mBq.g}^{-1}$ em uma amostra brasileira. Os autores observaram que os níveis sofrem variações geográficas e que os cigarros cubanos apresentam média significativamente menor que qualquer outro país, com exceção dos Estados Unidos, onde o cigarro é fabricado com fumo cubano, sendo o fato explicado pelo baixo nível de fosfatos nos fertilizantes cubanos.

Peres e Hiromoto (2002) pesquisando ^{210}Po e ^{210}Pb em cigarros brasileiros, analisaram 8 marcas dentre as mais frequentemente comercializadas no país e evidenciaram níveis entre $11,9$ a $30,2 \text{ mBq g}^{-1}$ para ^{210}Pb e, $10,9$ a $27,4 \text{ mBq g}^{-1}$ para ^{210}Po .

Skwarzec et al. (2001) descrevem que o efeito carcinogênico do ^{210}Pb e do ^{210}Po sobre o pulmão é um problema de grande importância em países com elevado consumo de cigarro e, citam a Polônia como o país com consumo mais elevado de cigarro do mundo. Os autores avaliaram o nível de polônio e chumbo de 14 marcas de cigarro e indicaram que os fumantes poloneses que fumam um maço por dia, inalam de 20 a 215 mBq de ^{210}Po e ^{210}Pb . O valor médio da dose efetiva anual para fumantes, foi estimado como 35 a $70 \mu\text{Sv}$ para ambos os radionuclídeos. Concluem que os cigarros e absorção através do sistema respiratório são as principais fontes e a principal via de entrada do ^{210}Pb e ^{210}Po para os fumantes poloneses. Similarmente, doses de $320 \mu\text{Sv a}^{-1}$ foram estimadas para fumantes de um charuto por dia, sendo a dose relacionada à proveniência do manufaturado (KELECOM et al., 2002). Karali, Olmez e Yener (1996) também descrevem esta estimativa ao avaliar os níveis de ^{210}Po em marcas de cigarro comercializados na Turquia e afirmam que o consumo de um maço/dia estará possibilitando a inalação de $99,6 \text{ mBq }^{210}\text{Po/dia}$.

Khater (2004) analisou amostras das marcas de cigarros mais populares do mercado egípcio e encontrou uma atividade média no tabaco de 16,6 mBq/cigarro. O autor observa que fumantes que consomem 20 cigarros por dia estão inalando 123 mBq/dia de ^{210}Po e ^{210}Pb e, que a dose efetiva média anual estimada é de 193 μSv para ^{210}Po e 251 μSv para ^{210}Pb (0,19 e 0,25 mSv). Este autor ainda comenta que os modernos métodos de processamento utilizados atualmente não se mostram efetivos para redução da atividade média destes radionuclídeos, pois os resultados obtidos são comparáveis aos descritos em 1968 por Black e Bretthausen. Kiltbau (1996) também fez referência a este fato, descrevendo que o conteúdo de outros carcinógenos presentes no cigarro foram extremamente diminuídos pelos métodos de processamento atualmente utilizados pelas indústrias e pelo uso de modernos filtros, mas pouco efeito obtiveram sobre a redução dos radionuclídeos. Karali, Olmez e Yener (1996) desenvolveram um estudo para avaliar a atividade do ^{210}Po tendo como amostras seis marcas de cigarros Turcos e três marcas importadas comercializadas neste país e evidenciaram valores entre 12,58 a 15,95 mBq/cigarro e de 16,10 a 19,76 mBq g^{-1} massa seca. Como o ^{210}Po nas marcas importadas foi maior que nas marcas turcas, os autores justificam o resultando deduzindo que pode ser devido à intensa aplicação de triplo superfosfato nas plantações de tabaco.

É importante salientar que o U e os produtos de seu decaimento como ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po estão presentes nos fertilizantes manufaturados a partir de rochas de fosfato e são extremamente utilizados na plantação do fumo, que concentra ^{210}Po a partir do solo, sofrendo grande incremento com aplicações sucessivas destes fertilizantes (SHEREV, 1967⁴ apud SHABANA et al., 2000).

Existem dados na literatura pontuando que plantações que adotam métodos fertilizantes especiais nos quais o crescimento do fumo se dá em solos com baixos teores de N, o produto final apresenta-se mais flavorizado. A maioria dos fertilizantes é rico em fosfato. Esta porção é feita a partir de uma rocha mineral, a apatita, que é transformada em pó e dissolvida em ácido para posteriormente serem processadas. Estas rochas de apatita contem rádio e a maioria de seus descendentes, incluindo o chumbo e o polônio. Quando este tipo de fertilizante é utilizado constantemente, há depleção do N do solo provendo um fumo mais flavorizado (KILTHAU, 1996).

Al-Masri, Mamish e Budeir (2002) avaliaram o impacto das atividades de carregamento de fosfato adjacentes ao ambiente marinho e verificaram que há um aumento

⁴ Sherev, R.N. 1967. Chemical Process Industries, 3rd ed. McGraw-Hill, New York.

significativo dos níveis de ^{210}Po e ^{210}Pb tanto no sedimento como na superfície da água, mas que os organismos marinhos não são recomendados como indicadores potenciais desta poluição. Entretanto, Thomas e Líber (2001) avaliaram a dose de radiação interna e externa para os 14 (quatorze) principais radionuclídeos da série de decaimento do ^{238}U em invertebrados bentônicos coletados em sedimentos de dois locais próximos à minas de urânio e verificaram que a estimativa da dose absorvida estava 20 vezes mais alta nesses locais.

Além do dano ao tecido epitelial dos bronquíolos, o sangue e o fígado dos fumantes contêm significativamente maior concentração de ^{210}Po que os dos indivíduos não fumantes. O tecido ósseo também recebe avidamente o ^{210}Po disponível e, desta forma, a radiação ionizante distribuída à medula óssea, mesmo em doses relativamente baixas, tem sido reportada como indutor de leucemia (KILTHAU, 1996). Ferri e Baratta (1966) reportam níveis de ^{210}Po mais elevados no fígado, rins e coração de fumantes, quando comparados a não fumantes.

Segundo Parfenov (1974), em função das altas concentrações de ^{210}Po , o cabelo pode ser um bom indicador da quantidade deste radionuclídeo presente no corpo humano, fato demonstrado por Kelecom et al., (2000). Quantidades similarmente altas também são observadas nas unhas (PARFENOV, 1974).

O ^{210}Po é excretado do corpo humano fundamentalmente através das fezes e, de 10 a 20 vezes menos, através da urina (SANTOS, GOUVEA e DUTRA, 1995).

Um outro fator também reportado na literatura faz referência ao risco ocupacional, pois devido à presença de urânio em vários minérios, é possível detectar ^{210}Pb e ^{210}Po na atmosfera de minas de tungstênio, chumbo, molibdênio, carvão e rochas de fosfato, sendo este último extensivamente utilizado em fertilizantes químicos. Então, como resultado de risco ocupacional, as pessoas envolvidas com atividades agrícolas que utilizam estes tipos de fertilizantes, poderão estar expostas a inalação da poeira contendo urânio e seus descendentes. Santos, Gouvea e Dutra (1995) estimaram a concentração de ^{210}Pb e ^{210}Po na sujeira da pele, na urina e em amostras de cabelo de pessoas envolvidas com a aplicação destes fertilizantes. A sujeira da pele proveniente da deposição de fertilizantes durante a manipulação mostrou atividade detectável de ambos os radionuclídeos, com níveis de 0,8 e 3,6% da atividade do fertilizante utilizado. A relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ foi aproximadamente um, indicando equilíbrio radioativo destes dois elementos. Os autores comentam estes resultados, atribuindo-lhes um risco radiológico, pois partículas alfa com natural penetração ($> 50 \mu\text{m}$) em tecidos, podem afetar as células basais da epiderme constituindo-se um risco para indução de câncer de pele.

2.9 ASPECTOS DA BIOLOGIA MARINHA E A IMPORTÂNCIA DA PESCA NO MUNDO

Desde épocas muito remotas a pesca faz parte das culturas humanas, não só como fonte de alimento, mas também como modo de vida, fornecendo identidade a inúmeras comunidades, assim como objeto artístico. A Bíblia tem várias referências à pesca e o peixe tornou-se um símbolo dos cristãos desde os primeiros tempos.

De acordo com "O Estado das Pescarias e da Aquacultura no Mundo", uma publicação da FAO (<http://www.fao.org/fi>) (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura), a produção de pescado no mundo em 2002 foi superior a 94 milhões de toneladas pela atividade extrativa e mais 50 milhões pela aquacultura. Estima-se que o pescado supra atualmente cerca de 16% da proteína consumida pelo homem. As pescas são igualmente um enorme fornecedor de emprego, contribuindo enormemente para a economia mundial.

Uma vez que a pesca depende de recursos naturais renováveis, é de esperar que haja uma série de aspectos ambientais que a afete. O principal diz respeito à própria disponibilidade do recurso que se pretende pescar – a pesca pretende ser uma atividade económica sustentável e portanto ela deve ser regulada de modo que se assegure a renovabilidade dos recursos, ou seja, se evite a sobrepesca. Este é o objetivo da gestão das pescarias. No entanto, uma vez que os recursos pesqueiros – as espécies aquáticas – vivem num determinado ecossistema, a sua renovabilidade também depende da integridade do ecossistema, ou seja, de um conjunto de relações equilibradas entre as várias espécies presentes e entre estas e o seu habitat. Por isso, todos os fatores que prejudicam a “saúde” do ecossistema, como a poluição e as alterações da biodiversidade, põem em causa a sustentabilidade das pescarias que aí se desenvolvem.

Alguns destes fatores têm causas externas às próprias pescarias, como a poluição causada pela descarga de esgotos urbanos ou industriais ou dos navios que circulam próximo da zona de pesca. As alterações na orla costeira, tais como a desflorestação que pode causar erosão, promovendo o assoreamento dos fundos marinhos (ou dos rios ou lagos) ou a exploração de areias ou rochas para fins de construção, também prejudicam os ecossistemas

aquáticos. Por essa razão, hoje fala-se muito da necessidade de uma gestão integrada da zona costeira, em que se evitem todas as ações que prejudiquem, não só a costa, as praias, a navegação, mas também os ecossistemas aquáticos e as pescas que dele dependem.

Em todos os oceanos, rios e lagos - e até nas águas que ficam permanentemente cobertas de gelo - se encontra a atividade da pesca. O homem explora um grande número de espécies de peixes, crustáceos, moluscos e até muitas outras espécies aquáticas, como algumas algas e mamíferos marinhos (embora a sua captura seja banida em quase todo o mundo) e outros seres. No entanto, o número de espécies que compõem a grande maioria das capturas pesqueiras do mundo é relativamente pequeno. As principais são a anchoveta do Peru, com cerca de 10 milhões de toneladas capturadas em 2002, o bacalhau e espécies da mesma família, que ultrapassaram os 8 milhões, os atuns que alcançaram 6 milhões, e os cefalópodes (chocos, lulas e polvos) e os camarões que atingiram cada um cerca de 3 milhões. Portanto, estes 5 grupos de espécies (se juntarmos a anchoveta com as sardinhas, temos um total de 22 milhões de toneladas) correspondem a quase 50% das capturas mundiais da pesca.

Segundo Szpilman (2000) o formato do corpo dos peixes é variável possuindo íntima relação com seus habitats, hábitos, modo de natação e comportamento. Em função dessas características, os peixes podem ser divididos em três grupos básicos:

- Pelágicos: nadam continuamente na superfície ou a meia-água nas áreas abertas, como o alto-mar, não possuindo local específico de moradia e nem relação com o substrato marinho (fundo). São normalmente fusiformes, migratórios e grandes nadadores. Podem ser subdivididos em:
 - * Epipelágicos: que habitam a faixa da superfície até 200 metros;
 - * Mesopelágicos: entre 200 e 1.000 metros
- Batipelágicos: entre 1.000 e 4.000 metros (a maioria dos peixes abissais).
- Nectônicos: são os peixes que, embora nadem ativamente na massa d'água, mantêm uma relação com o substrato marinho, onde fazem suas moradia (toca). São normalmente compridos lateralmente e vivem próximas às águas costeiras.

- Bentônicos: são os peixes que habitam e dependem do fundo, em uma estreita relação com o substrato marinho. Não são bons nadadores, mas costumam compensar esta “falha” através de um excelente mimetismo com o fundo.

2.10 CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES ESTUDADAS:

2.10.1 Congro rosa- *Genypterus brasiliensis* (Regan, 1903)

Pertencem à família Ophidiidae.

Possui corpo alongado e roliço, do tipo anguiliforme de cor róseo-claro (FIGUEIREDO e MENEZES, 1978). Região supratemporal com apenas 1 poro. A origem da dorsal está bem acima da extremidade posterior das nadadeiras peitorais, que possuem de 15 a 17 raios moles. Poros da linha lateral em número de 44 a 46 até a linha vertical que passa pelo ânus.

Ocorrem na costa atlântica da América do Sul. No Brasil são mais comuns no Sudeste e no Sul.

Trata-se de espécies bentônicas costeiras de águas rasas, sendo encontrados em áreas coralinas e/ou rochosas.

Possuem hábitos noturnos, quando caçam suas presas. Alimentam-se de peixes, camarões, caranguejos e moluscos.

2.10.2 Sardinha - *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879)

Pertence à família Clupeidae, sendo vulgarmente denominada sardinha-verdadeira.

Apresentam corpo alongado, levemente comprimido lateralmente, ventre arredondado, com uma quilha mediana formada por escamas modificadas, boca pequena e inclinada.

Ocorrem na costa atlântica da América do Sul, no Brasil, em todo o litoral.

Trata-se de uma espécie pelágica costeira de águas rasas e altamente migratórias, costumam, muitas vezes, aproximar-se bastante do litoral. Preferem águas com temperatura mínima de 22°C.

São encontrados em grandes cardumes nadando próximo à superfície. Através de seus numerosos e longos rastros branquiais, filtra o zooplâncton, principalmente os copépodos, do

qual se alimentam. Os juvenis vivem nas áreas de berçário, como os manguezais, e se alimentam de fitoplâncton.

Apresentam fundamental importância para a indústria da pesca, representando aproximadamente 30% do peso dos peixes comerciais pescados anualmente, embora este montante venha demonstrando diminuição constante.

2.10.3 Pescada bicuda - *Cynoscion microlepidotus* (Cuvier, 1830)

Pertencem à família Sciaenidae.

Possuem corpo alongado, baixo e comprido lateralmente. Boca grande e oblíqua.

Ocorrem em águas tropicais e subtropicais da costa atlântica das Américas Central e do Sul. No Brasil ocorrem do norte ao sudeste.

Com relação ao habitat, são nectônicas demersais costeiras de águas relativamente rasas, habitam os fundos de areia e/ou lama. São mais freqüentes nas águas mais afastadas, em profundidade entre 6 e 70 metros, porém sempre próximo das áreas de desembocadura de rios (MENEZES e FIGUEIREDO, 1980). Os espécimes juvenis costumam ser encontrados nos estuários durante o verão. São encontrados em pequenos a grandes cardumes nadando próximo ao fundo durante o dia e, à noite, movendo-se para superfície. Alimentam-se principalmente de camarões e ocasionalmente de pequenos peixes.

Sua carne é considerada excelente, possuindo grande valor comercial.

2.10.4 Atum - *Thunnus atlanticus* (Lesson, 1831),

Os atuns são um dos grupos de espécies mais importantes do ponto de vista pesqueiro. Em 2002, foram capturadas, em todo o mundo, mais de seis milhões de toneladas de atuns e "espécies-afins" (de acordo com as estatísticas da FAO (<http://www.fao.org/fi>)). São também muito populares na pesca desportiva.

São peixes que vivem nas regiões tropicais e subtropicais de todos os oceanos. Têm o corpo alongado e fusiforme, boca grande, duas barbatanas dorsais bem separadas e ajustáveis a um sulco no dorso, seguidas por grupos de lepidotríquias (também na região ventral) a barbatana caudal é bifurcada e, no seu pedúnculo ostenta duas quilhas de queratina. Os atuns e espécies vizinhas têm um sistema vascular especializado em trocas de calor, podendo elevar a temperatura do corpo acima da água onde nadam - são endotérmicos. Por esta razão, são

grandes nadadores, podendo realizar migrações ao longo de um oceano. Normalmente formam cardumes só de peixes da mesma idade. São predadores ativos. Do ponto de vista da reprodução, são dióicos e não mostram dimorfismo sexual. As fêmeas produzem grandes quantidades de ovos planctônicos que se desenvolvem em larvas pelágicas.

Pertencem à família Scombridae classe Actinopterygii, sendo vulgarmente conhecidos como albacorinha.

São cosmopolitas nos mares tropicais, subtropicais e temperados. No Brasil ocorrem por toda a costa.

Com relação ao habitat, habitam as zonas epi e mesopelágicas oceânicas e nadam próximo da superfície nas águas com temperatura entre 16 e 20°C. Os indivíduos de grande porte costumam nadar a grandes profundidades, abaixo das termoclinas, em águas entre 13 e 25°C.

Possuem hábitos migratórios e periódicos sendo encontrados solitários ou em pequenos grupos. Alimentam-se principalmente de peixes, crustáceos e lulas.

A palavra atum origina-se do latim *thunnus* - *Thunnus* spp - Scombridae - A designação "ATUM" é genérica, abrangendo cerca de 40 espécies da família dos Tunídeos, que habitam todos os mares do mundo. Trata-se de um peixe marinho de grande porte, comestível.

Todos os tunídeos distinguem-se dos demais peixes pelo corpo fusiforme, meio arredondado dos lados. Caracterizados pela nadadeira caudal falciforme sustentada por um pedúnculo estreito e pelas pínulas dorsais e ventrais.

Na grande família dos atuns encontramos desde os atuns de barbatana azul, que chegam a mais de 400 kg, até pequenos bonitos, baquaras e albacoras.

São predadores extremamente vorazes, enquanto jovens, alimentam-se de zooplâncton e capturam presas cada vez maiores - cavalinhas, sardinhas, anchovas, arenques, serrinhas e lulas - na medida em que se vão desenvolvendo. Não têm preferência por nenhuma das presas acima citadas, devorando avidamente qualquer uma que se encontre nas suas proximidades.

Freqüentam o mar aberto em grandes cardumes, normalmente acompanhados por golfinhos e baleias.

Está ameaçado de extinção devido ao grande valor na culinária oriental.

2.10.5 Camarão (*Litopenaeus braziliensis*- Latreille, 1817)

Os crustáceos pertencem a ordem decápoda que reúne 1.200 gêneros e 10.000 espécies distribuídas no mundo todo. As famílias Penaidae (camarões marinhos) e Palaemonidae (camarões de água doce) agrupam as espécies mais abundantes e de maior interesse econômico. A costa brasileira possui 28 espécies de camarões marinhos de maior interesse econômico para pesca (IWAI, 1973).

O gênero *Penaeus* foi revisado e alguns subgêneros tiveram modificação de categoria, assim conforme descrevem D'Incao, Valentini e Rodrigues (2002) o gênero *Penaeus* passou a ser chamado de *Litopenaeus*.

Segundo Perez Farfante (1970) e Iwai (1973) esta espécie é conhecida como camarão-rosa, tendo distribuição geográfica que se estende desde o Cabo Hatteras (Carolina do Norte, USA), Flórida, Bermudas, Bahamas, Antilhas e ao longo da costa Atlântica da América do Sul até o Rio Grande do Sul, no Brasil. Na costa brasileira, as regiões sudeste e sul destacam-se como áreas de maior produtividade.

Os camarões se alimentam principalmente de restos de animais ou vegetais mortos e detritos, podendo sua dieta incluir insetos aquáticos, larvas e pequenos peixes. Na maioria das espécies ocorre canibalismo. As larvas se alimentam continuamente de micro crustáceos, vermes muito pequenos e estágios larvais de outros invertebrados aquáticos. As pós-larvas alimentam-se de pedaços maiores de material orgânico, tanto de origem animal quanto vegetal (NATURAL SUL, 2001).

São animais bentônicos e reptantes (além de nadar, caminham sobre o substrato). Possuem o corpo dividido em cefalotórax, abdômen e telso. São revestidos por uma casca denominada cutícula, constituída por quitina e sais de cálcio. Na cauda estão os pleópodes, ou patas natatórias. Na seqüência vem o leque caudal, responsável pelo rápido deslocamento do animal para trás. Os órgãos vitais como o coração, cérebro, estômago e brânquias situam-se no cefalotórax, onde também se localiza o hepatopâncreas, um órgão peculiar, encarregado de secretar enzimas digestivas e armazenar substâncias úteis de reserva. O intestino e parte do estômago atravessam toda a cauda, pelo dorso, terminando junto ao leque caudal (D'INCAO, 1985).

O sangue dos camarões possui a coloração azul em função da hemocianina, um pigmento responsável pelo transporte de oxigênio. Estas espécies passam periodicamente pelo fenômeno da muda, quando o revestimento do corpo e dos apêndices é substituído por um novo (exúvia). Esta casca poderá ser utilizada como alimento pelo próprio animal que dela

aproveita os sais minerais. O animal recém mudado fica com o exoesqueleto mole e flexível e, para fugir dos predadores e mesmo de camarões maiores, permanece, durante a muda, escondido em abrigos até o endurecimento do tegumento, que demora em média 30 horas. Algumas espécies de água salgada se enterram no substrato e deixam apenas os olhos para fora (NATURAL SUL, 2001).

O camarão é uma excelente fonte protéica sendo utilizado como alimento tanto pelo homem como pela biota aquática, como peixes carnívoros, robalo, pescada, corvina, etc.constituindo-se um elo importante de uma cadeia alimentar complexa ao absorver entre outros organismos, detritos e matéria orgânica em decomposição (IWAI, 1973).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS

Os peixes e crustáceos utilizados para este estudo foram obtidos em um mercado varejista de peixes situado na cidade de Niterói-RJ, denominado “Mercado São Pedro”. A obtenção das espécies utilizadas se deu no momento do desembarque e, dados relativos a origem e data da captura foram tomados. A escolha das espécies utilizadas baseou-se tanto na importância econômica dos peixes para população como na diferença entre a composição morfológica de cada espécie, seus hábitos alimentares e posição na cadeia trófica. Foram estudados de 9 a 10 exemplares de cada uma das seguintes espécies: Atum - *Thunnus atlanticus* (Lesson, 1831), Sardinha - *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879), Congro rosa - *Genypterus brasiliensis* (Regan, 1903), Pescada bicuda - *Cynoscion microlepidotus* (Cuvier), 1830, Camarão - *Litopenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817).

3.2 DISSECÇÃO, PESAGEM E OBTENÇÃO DE BASE SECA

Após a obtenção, os peixes e os crustáceos foram acondicionados em recipientes isotérmicos com gelo e encaminhados ao Laboratório de Controle Físico-Químico de Alimentos da Faculdade de Veterinária da Universidade Federal Fluminense, onde foram identificados, pesados, mensurados e eviscerados (Figuras 4 e 5), separando-se fragmentos de cada órgão após pesagem individual dos mesmos (Figura 6).



Figura 4: Mensuração de um exemplar de pescada bicuda (*Cynoscion microlepidotus*, Cuvier, 1830)



Figura 5: Evisceração de um exemplar de pescada bicuda (*Cynoscion microlepidotus*, Cuvier, 1830) para separação dos órgãos.



Figura 6: Separação em cápsulas de porcelana de fragmentos de órgãos e tecidos estudados

Para cada peixe e cada órgão estudado foi proposta uma codificação alfa numérica, onde E= Eliane, seguida por um número de dois algarismos, referente ao número da amostra e uma terceira numeração que variou entre 1 e 11, onde 1 = amostras de fragmentos do coração, 2= amostras de fragmentos de estômago, 3= amostras de fragmentos de fígado, 4= amostras de fragmentos de guelras, 5= amostras de fragmentos de intestino, 6= amostras de fragmentos da porção muscular “in natura”, 7= amostras de olhos, 8= amostras de fragmentos da porção muscular após processo de cozimento (suprimido após avaliação dos dados), 9= amostras referentes a fragmentos de porção muscular vermelha, 10= amostras de conteúdo gástrico e 11= amostras de fragmentos de cecos pilóricos. Nos exemplares de camarão 1= carapaça, 2= pleópodes, 3=olhos, 4= amostras de fragmentos da porção muscular após processo de cozimento (suprimido após avaliação dos dados), 5= amostras de fragmentos da porção muscular “in natura”, 6= hepatopâncreas e 7= conteúdo de cabeça.

Após este processo, os fragmentos codificados foram colocados em cápsulas de porcelana e levados à estufa sob temperatura de até 80°C, por um período de aproximadamente 24 horas para obtenção de base seca (figura 7).



Figura 7: Preparo da base seca das porções estudadas em estufa com temperatura controlada em 80°C.

Na etapa posterior as amostras foram retiradas da estufa, pesadas individualmente em balança com precisão de $\pm 0,0001\text{g}$ e acondicionadas em papel alumínio com identificação através da codificação proposta. Após este procedimento este material foi encaminhado ao Laboratório de Radiobiologia e Radiometria do Setor de Bio-análítica do Departamento de

Biologia Geral do Instituto de Biologia da Universidade Federal Fluminense para mineralização e radiometria.

3.3 MINERALIZAÇÃO

O processo de mineralização foi realizado usando-se alíquotas de 0,2 a 2 gramas em base seca de cada órgão estudado. Para o desenvolvimento desta etapa, as amostras em base seca foram pesadas, colocadas em erlenmeyer de 125 mL, boca larga, e tratadas com 10 mL de HNO_3 concentrado e 0,5 mL de HClO_4 concentrado aquecendo-se sob temperatura não superior a 80°C , em capela de exaustão forçada de gases até destruição total da porção orgânica (figura 8). Na etapa seguinte, adicionou-se ao resíduo sólido, 2 mL de HCl 12 N, reauecendo-se até formação de resíduo úmido, o qual foi posteriormente dissolvido em 100 mL de HCl 0,5 N fornecendo-se uma solução clorídrica (SANTOS et al., 1990, KELECOM et al., 2002).



Figura 8: Processo de mineralização das amostras estudadas em uma mistura de HNO_3 e HClO_4 em capela de exaustão de gases sob temperatura de 120°C .

3.4 DEPOSIÇÃO ELETROQUÍMICA DO ^{210}Po EM DISCOS DE AÇO

À solução clorídrica obtida foram adicionados 250 mg de ácido L-ascórbico, para evitar a interferência de íons ferro. Posteriormente foi inserido no interior do erlenmeyer um disco de aço inoxidável cuidadosamente lixado antes do uso em um dos lados e revestido do outro por

uma resina (figura 9), tendo o cuidado de manter a face recoberta para baixo. A solução foi mantida durante um período de duas horas e meia sob agitação contínua sobre placas de aquecimento com temperatura variando entre 80 e 85°C (figuras 10 e 11) com objetivo de permitir a eletrodeposição espontânea do ^{210}Po no disco, que foi retirado do erlenmeyer, devidamente lavado com água destilada e seco à temperatura ambiente.



Figura 9: Discos de aço inoxidável para eletrodeposição do ^{210}Po (lado revestido de resina)



Figuras 10 e 11: Dissolução das amostras mineralizadas em HCl 0,5 N para fornecimento de uma solução clorídrica em vista a eletrodeposição.

3.5 RADIOMETRIA ALFA DO ^{210}Po

Nesta etapa do processo analítico, os discos de aço foram submetidos a uma radiometria alfa em equipamento Alpha Analyst da Canberra Inc., equipado com quatro câmaras de detecção e quatro detectores de barreira de superfície do tipo PIPS, funcionando sob vácuo inferior a 0,08 Torr (figura 12). Foram consideradas contagens aquelas distribuídas numa janela de exclusão de ± 150 keV em torno da energia nominal da α do ^{210}Po que é de 5,3 MeV. Outras contagens fora desta faixa foram consideradas espúrias.



Figura 12: Equipamento de radiometria Alpha Analyst da Canberra Inc.

A contagem foi acompanhada e controlada através de uma tela de controle (figura 13) e, a duração das contagens foi dependente das atividades das amostras analisadas, variando entre 1 hora até 18 horas. As contagens α totais obtidas foram convertidas em milibecqueréis (mBq, *i.e.* contagens por segundo. 10^{-3}) usando-se a fórmula de decaimento radioativo (eq. 1.3, p. 36) que permite o cálculo da atividade do ^{210}Po na amostra no dia da coleta (A_0), determinando a atividade do ^{210}Po na amostra no dia da contagem (A_t) e de onde se tira:

$$A_0 = A_t \cdot e^{\lambda t}$$

Sendo:

$$A_t = [(contagem \alpha \text{ total}/tempo \text{ de contagem})/massa \text{ da amostra}]/F_c$$

com F_c = fator de correção (=0,0214, nas nossas condições operatórias) que leva em consideração:

- o rendimento químico da mineralização ácida e da eletrodeposição (98%),
- o rendimento radiométrico do equipamento (36,4%),
- a conversão contagens por minuto (c.p.m) em mBq (0,06).

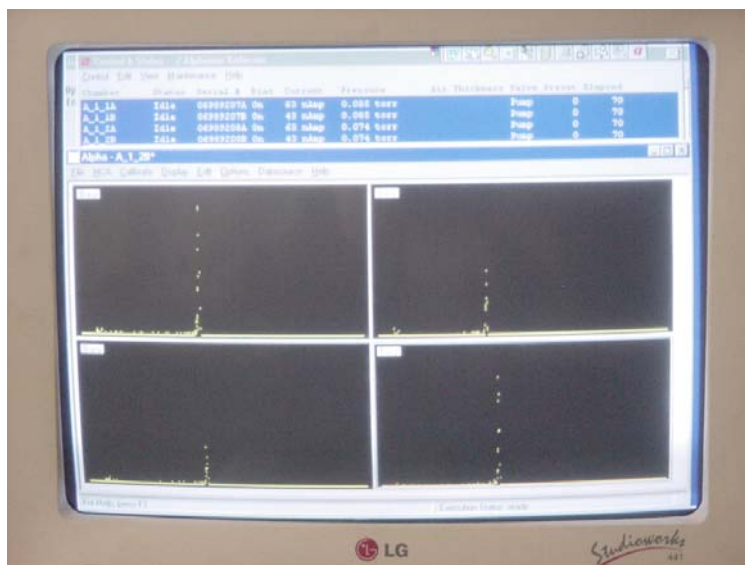


Figura 13: Tela de acompanhamento e controle das contagens do ^{210}Po nas câmaras de detecção

3.6 DETERMINAÇÃO INDIRETA DO ^{210}Pb

As soluções ácidas resultantes foram armazenadas em frascos de poliestireno tampados com tampa rosca para possibilitar a análise indireta do ^{210}Pb , após um período de aproximadamente seis meses, tempo necessário ao crescimento do ^{210}Po a partir do ^{210}Pb .

Após este tempo, as soluções ácidas foram submetidas à nova eletrodeposição espontânea. O volume das soluções foi primeiramente ajustado a 100mL com HCl 0,5N. As soluções foram colocadas em erlenmeyers de 125mL, boca larga. Foram então adicionados 250mg de ácido L-ascórbico e um disco de aço inoxidável. Procedeu-se à eletrodeposição do ^{210}Po como descrito acima, nova radiometria alfa para determinação do teor de ^{210}Po formado. As concentrações de ^{210}Pb foram calculadas usando a fórmula de Holtzman et al. (1979):

$$A_0(\text{Pb}) = (\lambda_2 - \lambda_1) / \lambda_1 \times [e^{-\lambda_1(t_1 - t_2)} - e^{-\lambda_2(t_1 - t_2)}]^{-1} \frac{A_2(\text{Po}) - A_1(\text{Po}) \cdot (1-y)e^{-\lambda_1(t_1 - t_2)}}{e^{-\lambda_1 t_0}}$$

- Sendo:
- $A_0(\text{Pb})$: a atividade do ^{210}Pb
 - $A_1(\text{Po})$: a atividade do ^{210}Po remanescente após a 1ª deposição
 - $A_2(\text{Po})$: a atividade do ^{210}Po no tempo t_2
 - t_0 : o tempo decorrido entre a coleta e o 1º plaqueamento
 - t_1 : o tempo decorrido entre a coleta e o 1ª contagem.
 - t_2 : o tempo decorrido entre e o 1º plaqueamento e o 2º plaqueamento
 - λ_1 : a constante de decaimento do ^{210}Pb
 - λ_2 : a constante de decaimento do ^{210}Po
 - y : a fração de ^{210}Po remanescente após a 1ª deposição

4 RESULTADOS

4.1 CONGRO ROSA (*G. brasiliensis*)

4.1.1 ²¹⁰Polônio

Os resultados obtidos neste estudo serão apresentados por espécie estudada através de tabelas e figuras. A espécie *G. brasiliensis* foi estudada em função de sua importância comercial e seu hábito alimentar. Foram estudados 10 (dez) exemplares analisando-se tecidos e órgãos após pesagem de cada exemplar e de cada órgão. Na tabela 1 relacionam-se os dados relativos aos pesos (base úmida), comprimentos, origem de cada exemplar. O comprimento dos exemplares variou entre 51 e 82 cm e, o peso, entre 757 e 3504 gramas. 80% dos exemplares foram capturados na costa dos estados do Rio de Janeiro e 20%, nas costa de Santa Catarina.

Tabela 1. Origem, peso total e distribuição das massas em órgãos e tecidos, comprimento e valores mínimos, máximos e desvio padrão destes parâmetros em exemplares de congro rosa (*G. brasiliensis*) analisados:

Espécie	Amostras										Valor	Valor.	M ± DP
Congro Rosa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mín	Máx	
Origem	SC	SC	RJ	RJ	RJ	RJ	RJ	RJ	RJ	RJ			-----
Comprimento (cm)	62	56	72	63	70	51	82	64	79	77	51	82	67,6±10,1
Peso total (g)	1.300	964	2882	985	2015	757	3282	1674	3504	3017	757	3504	2.038±1.051
Coração	1,00	1,00	2,36	1,18	1,86	0,75	3,31	1,52	3,30	2,71	0,75	3,31	1,89±0.96
Estômago	8,80	8,79	64,70	17,62	18,87	11,00	69,17	30,73	94,80	48,79	8,79	94,80	37,32±30,35
Fígado	57,31	37,00	116,50	43,00	96,34	20,78	138,74	36,10	86,93	133,20	20,78	138,74	76,59±43,43
Brânquias	27,84	20,45	40,42	25,67	40,65	13,99	83,84	34,54	68,74	62,44	13,99	83,84	41,85±22,75
Intestino	21,00	20,33	31,52	12,13	30,92	10,82	43,00	30,30	33,43	28,73	10,82	43,00	26,21±10,02
Músculo	670,00	522,8	1487,6	735,0	1089,2	444,2	1609,3	946,6	2003,9	1770,6	444,2	2003,9	1.127,92±555,13
Olho	3,34	3,19	7,26	4,89	4,60	1,77	12,71	4,89	8,86	7,10	1,77	12,71	5,86±3,21
Resíduos	510,7	350,4	1131,3	145,1	732,5	253,7	1322,3	589,7	1233,5	963,1	145,1	1322,3	723,23±421,65

Os dados relativos às massas em base úmida dos exemplares desta espécie demonstram, conforme se observam na figura 14, que 55,3% do peso total está relacionado ao tecido muscular, 0,3% aos olhos, 1,3% ao intestino, 2,1% as brânquias, 3,8 ao fígado, 1,8% ao estômago, 0,1% ao coração e 35,4% aos resíduos não estudados como vértebras, pele, nadadeiras, cabeça, etc..

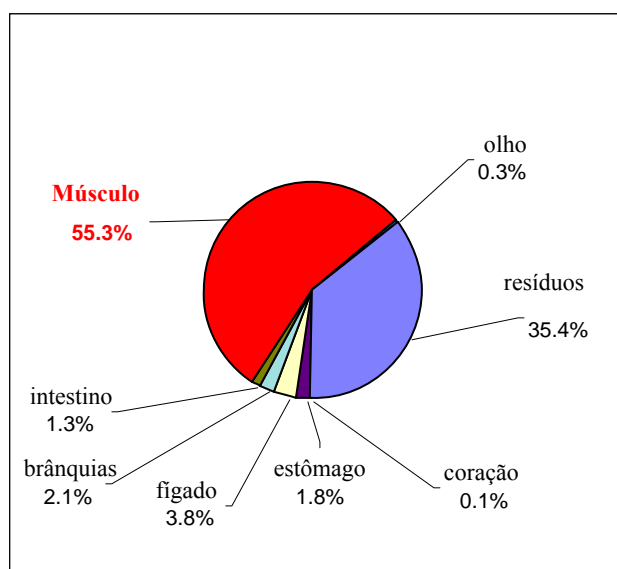


Figura 14. Distribuição das massas nos exemplares de congro rosa (*G. brasiliensis*).

A distribuição do ^{210}Po nos órgãos e na porção muscular do congro rosa não é uniforme e apresenta ampla dispersão, com variação entre $0,9 \text{ mBq g}^{-1}$ (tecido muscular), a $528,5 \text{ mBq g}^{-1}$ no intestino. Os valores individuais obtidos para cada órgão ou tecido analisado podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2. Concentração individual, valores mínimos, máximos e médios e desvio padrão de ^{210}Po em órgãos e tecido muscular de congro rosa (*G. brasiliensis*)

Espécie	Amostras										Valor	Valor.	M ± DP
Congro Rosa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mín	Máx	
Coração	39,52	75,09	23,08	9,50	36,09	26,16	13,89	27,67	18,42	23,73	9,50	75,09	29,32±18,49
Estômago	49,87	134,60	27,21	39,32	40,05	29,80	16,35	38,71	16,14	28,14	16,14	134,60	42,02±34,23
Fígado	182,02	184,51	83,13	267,07	161,10	157,96	65,13	229,17	73,00	67,14	65,13	267,07	147,02±72,08
Brânquias	49,53	21,20	13,68	29,28	34,89	17,53	14,18	28,95	9,23	25,17	9,23	49,53	24,36±11,99
Intestino	528,45	285,90	64,93	210,45	299,27	279,84	275,36	271,00	122,43	154,71	64,93	528,45	249,23±126,66
Músculo	3,27	3,25	1,34	2,31	2,43	2,56	0,91	0,93	1,30	1,90	0,91	3,27	2,02±0,88
Olho	52,00	54,27	18,30	21,01	42,44	35,20	10,40	-----	11,87	10,57	10,40	54,27	28,45±17,82
Conteúdo gástrico	-----	-----	-----	182,30	67,84	-----	-----	-----	13,20	-----	13,20	182,30	87,78±86,30

De acordo com os dados obtidos nas contagens das atividades nos diferentes órgãos estudados em base seca, obteve-se, para o coração, uma média de $29,32 \text{ mBq g}^{-1}$, para as brânquias, de $24,36 \text{ mBq g}^{-1}$, para os olhos, $28,45 \text{ mBq g}^{-1}$ para as amostras de estômago, $42,02 \text{ mBq g}^{-1}$, para as amostras de intestino observou-se o maior valor, correspondente a $249,23 \text{ mBq g}^{-1}$, para o conteúdo estomacal, $87,78 \text{ mBq g}^{-1}$ e, para o tecido muscular, foi evidenciada a menor atividade, correspondente a $2,02 \text{ mBq g}^{-1}$ (Figura 15).

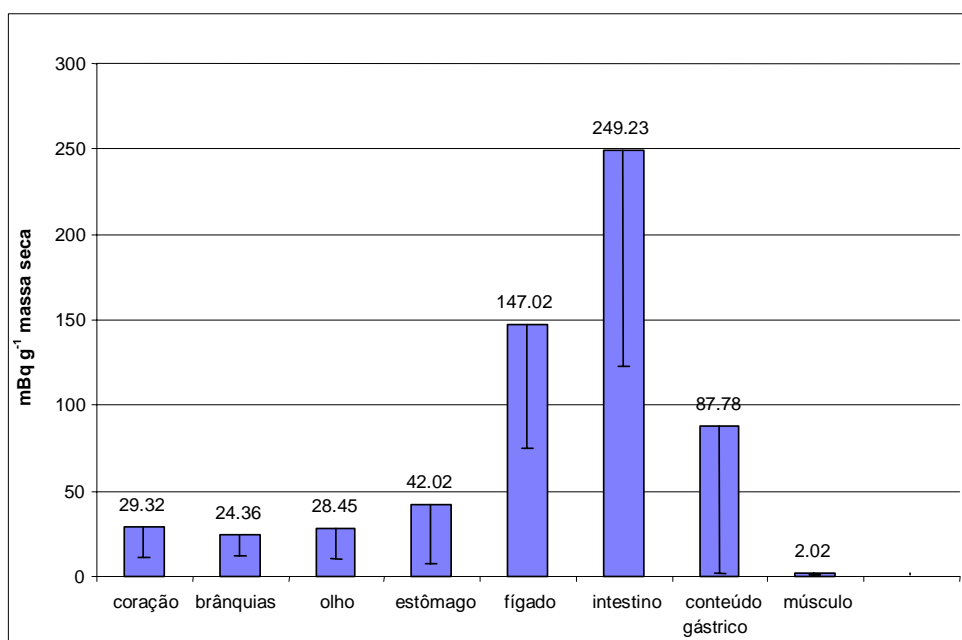


Figura 15. Distribuição da atividade do ^{210}Po (mBq g^{-1}) em órgãos e tecido muscular de congro rosa (*G. brasiliensis*)

Os dados obtidos para atividade do ^{210}Po foram transformados em porcentagem com objetivo de conhecer a distribuição deste nuclídeo no congro rosa em base seca (Figura 16) e em base úmida (Figura 17). Observa-se, na figura 16, que 26,1% da atividade do ^{210}Po em base seca se encontra no intestino e, a parte comestível representada pelo tecido muscular, detém 9,1 %. Os valores obtidos para base úmida indicam que o tecido muscular contribui com 5,4% da atividade, entretanto, para o intestino a contribuição é de 15,8% e o órgão que contribui com a maior porcentagem é o fígado, com 66,6%, conforme pode ser observado na figura 14.

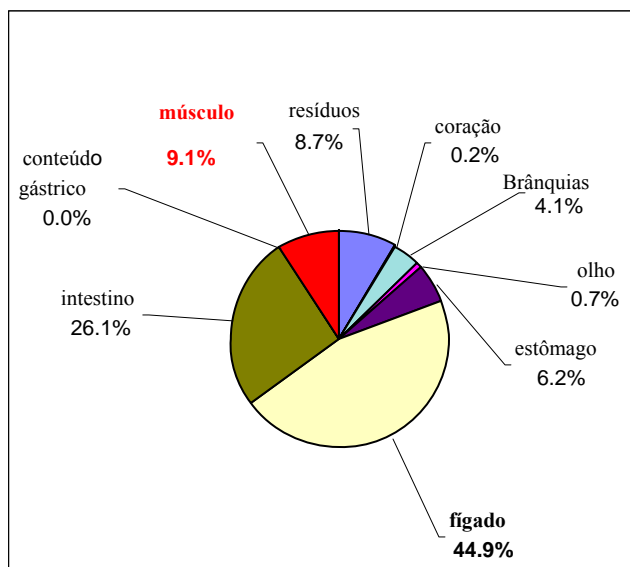


Figura 16. Distribuição da atividade do ^{210}Po em base seca em exemplares de congro rosa (*G. brasiliensis*)

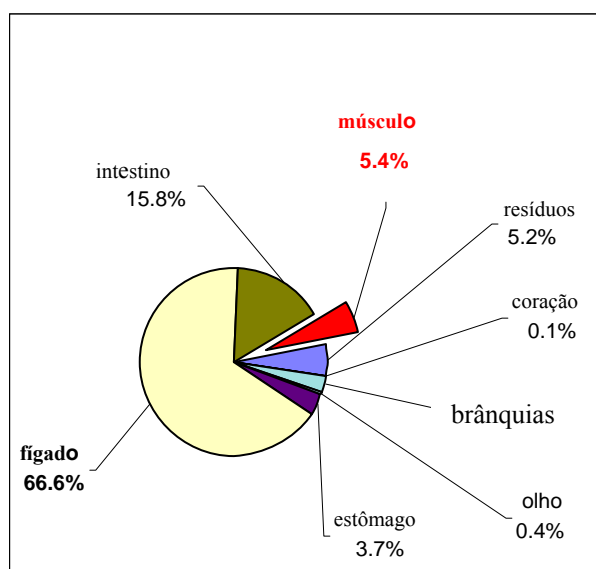


Figura 17. Distribuição da atividade do ^{210}Po em base úmida em exemplares de congro rosa (*G. brasiliensis*)

Também foi possível obter o cálculo relativo à atividade total por porções de 100g do peixe cujo valor encontrado foi de 410.92 mBq g⁻¹ o que caracteriza uma atividade de 4.11 mBq g⁻¹ por grama de peixe fresco.

Na tabela 3 demonstram-se os dados relativos às atividades médias de ^{210}Po em cada órgão e tecido estudado, assim como os valores máximos e mínimos e desvio padrão e as distribuições percentuais das massas dos órgãos e das atividades nos peixes.

Tabela 3. Atividades médias (desvio padrão, DP), valores mínimos e máximos (min-máx) de ^{210}Po (mBq g^{-1} base seca), distribuições percentuais das massas em órgãos e tecidos do congro rosa (*G. brasiliensis*)

Congro rosa Órgãos e tecidos	n	Atividade média \pm DP (mBq g^{-1})	dispersão mín-máx (mBq g^{-1})	Distribuição das massas* (%)	Distribuição das atividades* (%)
Coração	10	29,3 \pm 18,5	9,5-75,1	0,1	0,1
Estômago	10	42,0 \pm 34,2	16,1-134,6	1,8	3,7
Fígado	10	147,0 \pm 72,1	65,1-267,1	3,8	66,6
Brânquias	10	24,4 \pm 12,0	9,2-49,5	2,1	2,8
Intestino	10	249,2 \pm 126,7	64,9-528,5	1,3	15,8
Olho	10	28,4 \pm 17,8	10,4-54,3	0,3	0,4
Músculo	10	2,0 \pm 0,9	0,9-3,3	55,3	5,4
Resíduos**	10	3,0	-	35,3	5,2
Conteúdo estomacal	10	87,8 \pm 86,3	13,2-182,3	-	-
Peixe inteiro		4,1*	-	100	100

*calculadas em base úmida; **nadadeiras, vértebras, pele, escamas, cabeça

Com relação à atividade média segundo a variação geográfica evidenciada entre as amostras estudadas, apesar do pequeno número de exemplares oriundos do litoral de Santa Catarina (2), observou-se que as amostras capturadas em Cabo Frio, litoral do Rio de Janeiro, demonstraram atividades mais baixas, como pode ser observado na tabela 4.

Tabela 4. Atividade média do ^{210}Po segundo a origem das amostras estudadas (variação geográfica) de congro rosa (*G. brasiliensis*)

	Variação geográfica						
	Coração	Estômago	Fígado	Brânquias	Intestino	Olho	Tecido muscular
Origem							
Santa Catarina	57,31	92,24	183,27	35,37	407,18	53,14	3,26
Rio de Janeiro	22,32	29,47	137,96	21,61	209,75	21,40	1,71
$\Delta\%$	157	213	33	64	94	148	91

As atividades médias dos “resíduos”, que corresponde a nadadeiras, espinha, pele, escamas, cabeça, rins etc. foi estimada a partir de trabalhos anteriores (PEREIRA et al., 2001), assim como de informações da literatura (PARFENOV, 1974; PENTREATH, 1977; SKWARZEC, 1988). Nesta espécie, a porção muscular concentra c.a 5,5% da atividade total, embora represente 55,3 % da massa total do congro rosa. A maior contribuição para a atividade total de ^{210}Po foi do fígado, com 66,6%, para apenas 15,8% do intestino. A atividade de ^{210}Po calculada para o peixe inteiro foi de 4,1 Bq Kg⁻¹(tabela 3).

A relação das atividades ^{210}Po tecido/ ^{210}Po músculo pode ser observada na figura 18, onde fica evidenciada que o coração apresenta atividade 15 vezes maior que o tecido muscular, as brânquias, 12 vezes, o olho 14 vezes, o estômago 21 vezes, o fígado 73 vezes e o intestino, 123 vezes. Nesta espécie também foi possível avaliar a atividade do ^{210}Po no conteúdo gástrico, que apresentou atividade 43 vezes superior àquelas observadas no tecido muscular.

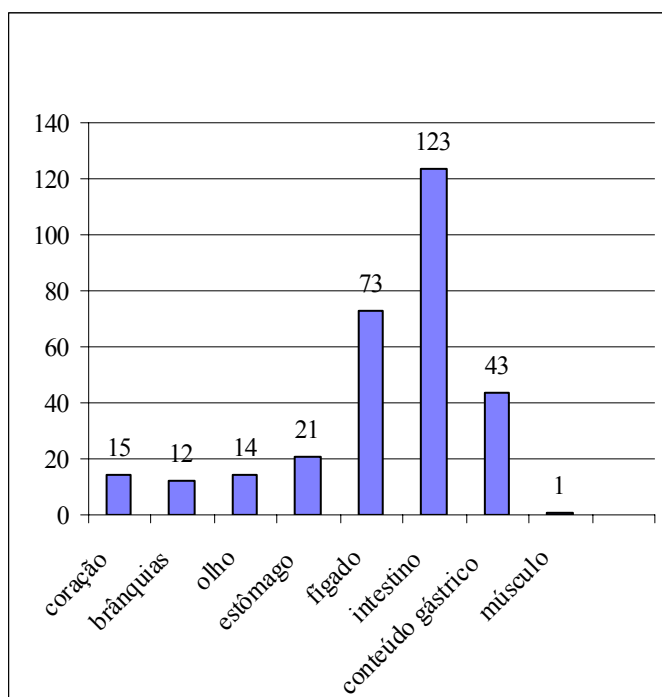


Figura 18: Relação ^{210}Po nos órgãos/ ^{210}Po no tecido muscular em amostras de congro rosa (*G. brasiliensis*)

4.1.2 ^{210}Pb Chumbo

O ^{210}Pb foi determinado, de maneira indireta, pelo decaimento a ^{210}Po cinco meses após o primeiro plaqueamento. Os dados individuais para as amostras de coração demonstraram amplitude entre 1,46 e 19,54 mBq g^{-1} ; nas amostras de estômago entre 1,08 e 5,49 mBq g^{-1} ; nas amostras de fígado analisadas foi evidenciada a maior média ($11,52 \pm 9,31$ mBq g^{-1}) com dispersão entre 2,46 e 34,37 mBq g^{-1} , assim como o maior valor individual; nas brânquias entre 1,37 e 9,04 mBq g^{-1} ; para as amostras de intestino evidenciou-se dispersão entre 4,14 e 23,26 mBq g^{-1} com o segundo maior teor médio ($11,22 \pm 6,75$ mBq g^{-1}), assim como o segundo maior valor individual (23,26 mBq g^{-1}), mais baixo que o maior valor

observado para as amostras de fígado; para as amostras de músculo foi observado tanto o menor valor mínimo ($0,41 \text{ mBq g}^{-1}$) quanto o maior valor máximo ($4,55 \text{ mBq g}^{-1}$) com conseqüente menor teor médio ($1,68 \pm 1,23 \text{ mBq g}^{-1}$); a dispersão para as amostras de olho foi tabulada entre $1,24$ e $12,42 \text{ mBq g}^{-1}$ e, para as amostras de conteúdo gástrico, entre $1,41$ e $7,41 \text{ mBq g}^{-1}$ (tabela 6). A amplitude total observada considerando todas as amostras estudadas foi tabulada entre $0,41 \text{ mBq g}^{-1}$ no tecido muscular a $34,37 \text{ mBq g}^{-1}$ no fígado, órgão que apresentou a maior atividade média ($11,52 \pm 9,31 \text{ mBq g}^{-1}$) e que contribui com 15,7% da atividade total de ^{210}Pb no organismo do congro rosa. Em função da porcentagem que a porção muscular representa nesta espécie (55,3%), calculou-se que, apesar da baixa atividade média ($1,68 \pm 1,23 \text{ mBq g}^{-1}$), 33,8% da atividade total concentra-se nesta porção. Estes valores podem ser observados na tabela 5, onde também são demonstrados as atividades médias e os desvios padrão para cada órgão, a distribuição das massas e a dispersão dos valores obtidos. Os resultados individuais relativos à concentração de ^{210}Pb em cada porção estudada são demonstrados na tabela 5.

Tabela 5. Atividades médias (desvio padrão, DP), valores mínimos e máximos (min-máx) de ^{210}Pb (mBq g^{-1} base seca), distribuições percentuais das massas e distribuição das atividades em órgãos e tecidos do congro rosa. (*G. brasiliensis*)

Congro rosa Órgãos e tecidos	n	Atividade média \pm DP (mBq g^{-1})	Dispersão mín-máx (mBq g^{-1})	Distribuição das massas* (%)	Distribuição das atividades* (%)
Coração	10	$7,00 \pm 6,37$	1,46 - 19,54	0,1	0,2
Estômago	10	$3,34 \pm 1,33$	1,08 - 5,49	1,8	2,2
Fígado	10	$11,52 \pm 9,31$	2,46 - 34,37	3,8	15,7
Brânquias	10	$4,75 \pm 2,89$	1,37 - 9,04	2,1	3,5
Intestino	10	$11,22 \pm 6,75$	4,14 - 23,26	1,3	5,3
Olho	10	$5,28 \pm 3,63$	1,24 - 12,42	0,3	0,6
Músculo	10	$1,68 \pm 1,23$	0,41 - 4,55	55,3	33,8
Conteúdo estomacal	3	$4,63 \pm 3,02$	1,41 - 7,41	35,4	38,6

Tabela 6. Concentração individual, valores mínimos, máximos e médios e desvio padrão de ^{210}Pb em órgãos e tecido muscular de congro rosa (*G. brasiliensis*)

Espécie	Amostras										Valor Mín	Valor. Máx	M \pm DP	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Congro Rosa														
Coração	12,18	15,66	3,27	3,10	2,59	19,54	3,63	3,87	4,66	1,46	1,46	19,54	7,00 \pm 6,37	
Estômago	3,34	4,73	3,45	3,32	2,37	4,35	5,49	3,51	1,08	1,80	1,08	5,49	3,34 \pm 1,33	
Fígado	9,94	8,37	9,07	8,45	15,29	34,37	2,46	17,86	5,19	4,22	2,46	34,37	11,52 \pm 9,31	
Brânquias	3,76	3,14	1,37	9,04	7,79	8,04	3,34	6,93	2,45	1,60	1,37	9,04	4,75 \pm 2,89	
Intestino	23,26	21,10	4,14	16,45	9,40	9,58	6,04	10,43	5,74	6,04	4,14	23,26	11,22 \pm 6,75	
Músculo	4,55	1,88	2,53	1,05	0,41	0,58	2,22	0,72	1,27	1,63	0,41	4,55	1,68 \pm 1,23	
Olho	7,67	6,88	1,24	8,66	5,49	12,42	2,81	3,93	1,63	2,10	1,24	12,42	5,28 \pm 3,63	
Conteúdo gástrico	-----	-----	-----	7,41	-----	5,07	-----	-----	1,41	-----	1,41	7,41	4,63 \pm 3,02	

Os dados relativos à distribuição de ^{210}Pb nesta espécie de peixe podem ser visualizados na figura 19 onde o órgão que apresenta maior atividade, é o fígado (11,52 mBq g^{-1}), seguido pelo intestino (11,22 mBq g^{-1}), coração (7,00 mBq g^{-1}), olhos (5,28 mBq g^{-1}), brânquias (4,75 mBq g^{-1}), conteúdo gástrico (4,63 mBq g^{-1}), estômago (3,34 mBq g^{-1}) e tecido muscular (1,68 mBq g^{-1}).

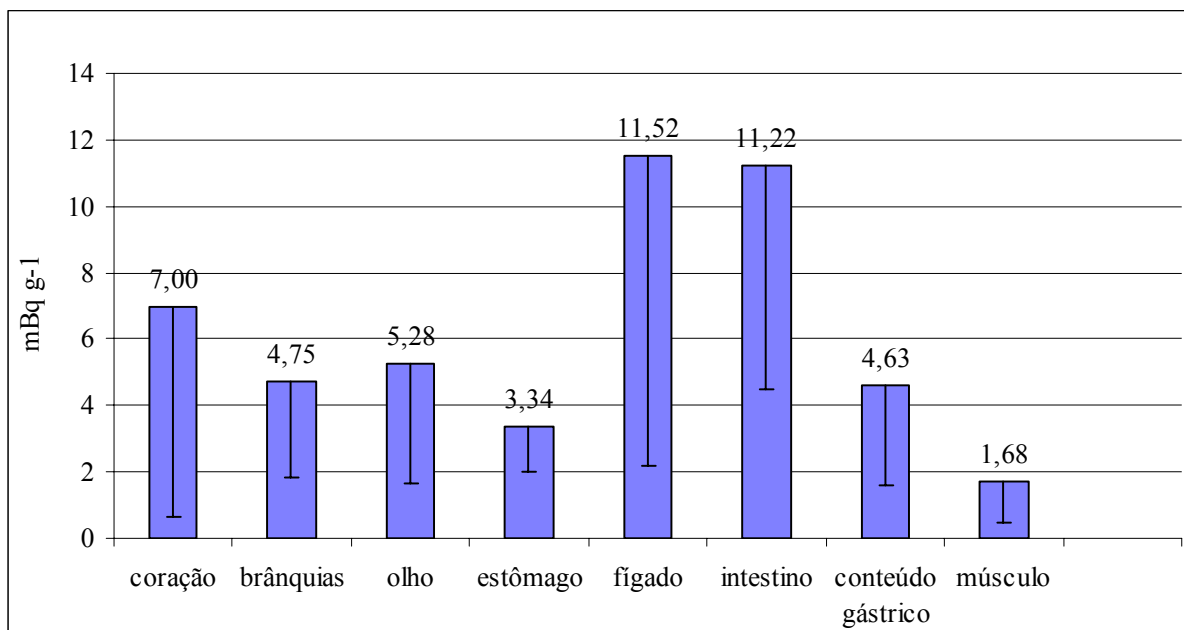


Figura 19. Distribuição da atividade de ^{210}Pb (mBq g^{-1}) em órgãos e tecido muscular de congro rosa (*G. brasiliensis*)

Na figura 20 observa-se a distribuição percentual da atividade de ^{210}Pb no congro rosa de cada porção estudada incluindo-se os resíduos representados pelas partes não estudadas, que contribuem com 38,6% para a atividade total nesta espécie.

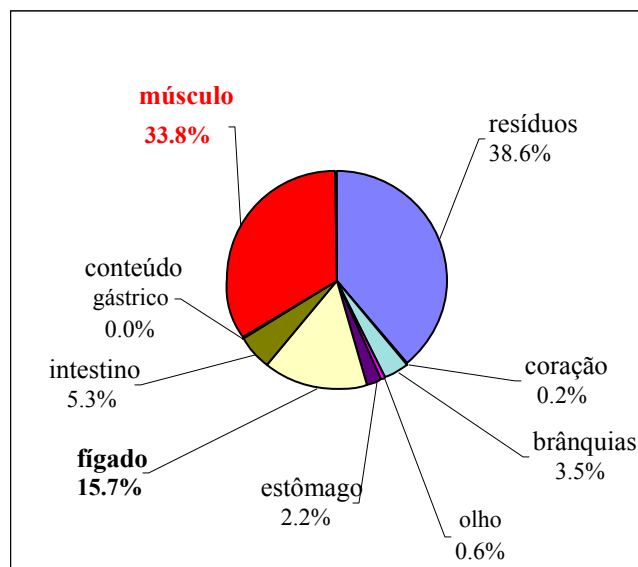


Figura 20: Distribuição percentual da atividade do ^{210}Pb (base seca) no congro rosa (*G. brasiliensis*)

Uma informação relevante diz respeito à relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ evidenciada em cada porção estudada e demonstrada na figura 21 onde se verifica uma relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ variando entre 1,2 na porção muscular a 22,2 no intestino. A concentração de ^{210}Po foi bastante maior que as de ^{210}Pb em todos os casos estudados.

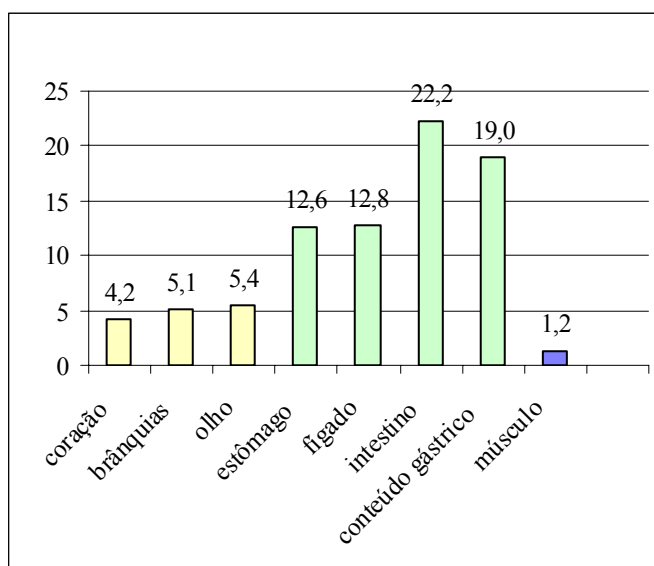


Figura 21: Relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em órgãos e tecido de congro rosa (*G. brasiliensis*)

Quando comparamos a preferência de acumulação do ^{210}Po em relação ao ^{210}Pb nos órgãos em relação ao tecido muscular (considerado como padrão), observamos que os órgãos do sistema digestório concentram preferencialmente mais ^{210}Po numa relação de 18 vezes mais para o intestino, 16 vezes para o conteúdo gástrico, 11 vezes para o fígado e 10 vezes para o estômago. Estes valores são demonstrados na figura 22.

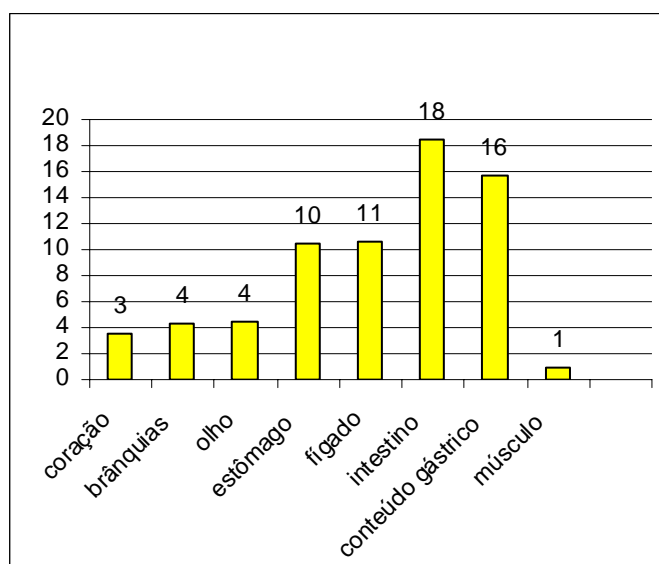


Figura 22. Tendência de acumulação do ^{210}Po em relação ao ^{210}Pb em relação ao tecido muscular (considerado como padrão) em congro rosa (*G. brasiliensis*)

A relação entre ^{210}Pb nos órgãos *versus* ^{210}Pb no tecido muscular também merece destaque e é bem caracterizada através da figura 23 onde se observa para fígado e o intestino comparado ao tecido muscular, uma relação $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Pb}$ de 7:1, para o coração de 4:1, para as brânquias, os olhos e o conteúdo gástrico, 3:1 e, para o estômago 2:1 vezes.

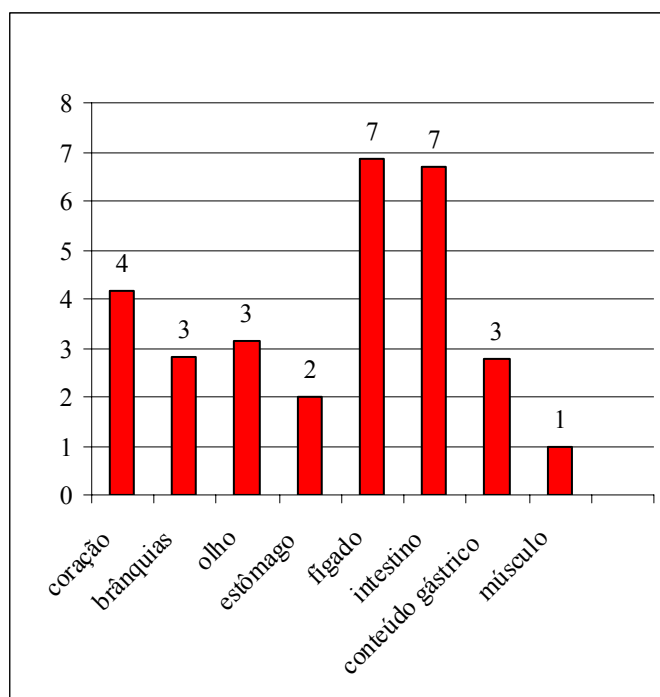


Figura 23. Relação entre ^{210}Pb nos órgãos e ^{210}Pb no tecido muscular em congro rosa (*G. brasiliensis*)

Um perfil bastante significativo da distribuição do polônio e do chumbo no organismo desta espécie de peixe, da relação entre estes radionuclídeos no peixe inteiro, entre cada órgão e do polônio presente na porção muscular em relação ao presente em cada porção estudada pode ser observado na tabela 7.

Tabela 7. Distribuição e relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$, $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Po}$ (músculo x órgãos) $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Pb}$ (músculo x órgão) e $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ (mBq g⁻¹) em cada órgão e tecido em peixes da espécie *G. brasiliensis*.

Tecido/orgãos	^{210}Po	^{210}Pb	$^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$	A $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Po}_{\text{músc}}$	B $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Pb}_{\text{músc}}$	Relação coluna A/coluna B
Coração	29,32	7,00	4,2	14,5	4,2	3,5
Brânquias	24,36	4,75	5,1	12,1	2,8	4,3
Olho	28,45	5,28	5,4	14,1	3,1	4,5
Estômago	42,02	3,34	12,6	20,8	2,0	10,5
Fígado	147,02	11,52	12,8	72,8	6,9	10,6
Intestino	249,23	11,22	22,2	123,4	6,7	18,5
Conteúdo gástrico	87,78	4,63	19,0	43,5	2,8	15,8
Músculo	2,02	1,68	1,2	1,0	1,0	1,0

4.2 PESCADA BICUDA (*C. microlepidotus*)

4.2.1 ²¹⁰Polônio

Os resultados relativos a esta espécie serão também apresentados através de tabelas e figuras. A espécie pescada bicuda (*C. microlepidotus*) apresenta grande importância comercial e é um importante predador. Dos 10 (dez) exemplares pesquisados, analisaram-se tecidos e órgãos após pesagem de cada exemplar e de cada órgão. Na tabela 8 relacionam-se os dados relativos aos pesos (base úmida), comprimento, origem de cada exemplar e de cada órgão. O comprimento dos exemplares estudados variou entre 41 e 63 cm e, o peso, entre 692,0 e 1595,3 gramas. 20% dos exemplares foram capturados na costa do Rio de Janeiro, 40% em Itacuruçá, 20% em Cabo Frio e 20% em Angra dos Reis.

Tabela 8. Origem e distribuição das massas em órgãos, tecidos e nos exemplares inteiros de pescada bicuda (*C. microlepidotus*):

Espécie	Amostras										Valor Mín	Valor. Máx	M ± DP	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Pescada bicuda														
Origem	R.J	R.J	Itacuruçá	Itacuruçá	Itacuruçá	Itacuruçá	C.Frio	C.Frio	Angra dos Reis	Angra dos Reis				
Comprimento (cm)	51	56	56	57	60	58	41	62	57	63	41	63	56,1 ± 6,3	
Peso total (g)	956	1194	1165	1026	1352	1168	692	1588	1346	1595	692,0	1595,3	1208,4 ± 279,1	
Coração	1,11	1,00	1,00	1,74	0,59	1,47	0,92	1,55	1,20	2,69	0,59	2,69	1,3 ± 0,6	
Estômago	6,40	8,68	6,67	9,03	18,65	11,00	4,74	16,00	9,31	12,25	4,74	18,65	10,3 ± 4,4	
Fígado	13,01	14,69	10,00	13,01	8,00	8,08	5,38	9,00	11,57	14,56	5,38	14,56	10,7 ± 3,1	
Brânquias	11,61	12,02	14,95	13,48	17,31	16,89	8,85	22,74	15,41	21,58	8,85	22,74	15,5 ± 4,4	
Intestino	6,65	6,80	7,00	5,83	1,10	10,56	6,87	20,48	10,07	15,17	1,1	20,48	9,1 ± 5,4	
Músculo	663,80	804,70	761,46	794,30	905,60	757,00	470,20	996,40	917,00	1095,00	470,2	1095,0	816,5 ± 175,9	
Olho	13,22	10,64	6,80	13,11	12,43	12,59	7,39	15,57	13,38	13,53	6,8	15,57	11,9 ± 2,8	
Resíduos	240,20	335,50	357,50	175,50	388,60	359,80	187,70	506,70	367,90	420,50	175,5	506,7	334,0 ± 104,3	

Os dados relativos às massas em base úmida dos exemplares desta espécie demonstram, conforme observados na figura 24, que 67,5% do peso total está relacionado ao tecido muscular, 1% ao olho, 0,7% ao intestino, 1,3% as brânquias, 0,9% ao fígado, 0,8% ao estômago, 0,1% ao coração e 27,6% aos resíduos não estudados como espinhas, pele, nadadeiras, cabeça, etc..

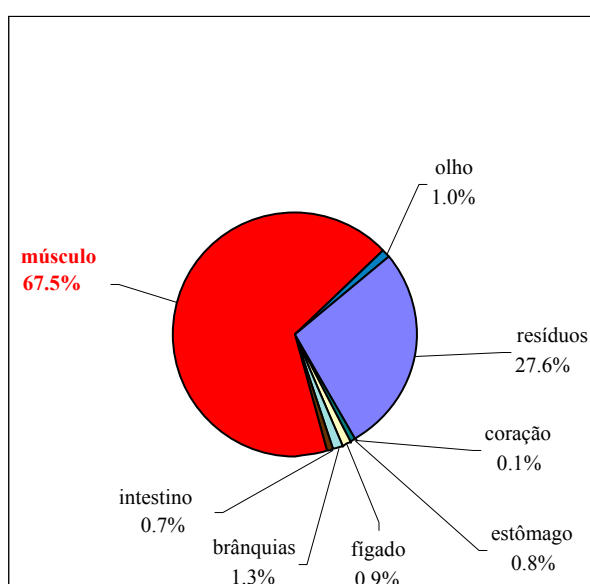


Figura 24. Distribuição das massas nos dez exemplares de pescada bicuda (*C. microlepidotus*)

A distribuição do ^{210}Po nos órgãos e na porção muscular da pescada bicuda seguiu o mesmo comportamento descrito para os exemplares de congro rosa, no entanto com médias bastante superiores. A distribuição também não é uniforme apresentando ampla dispersão, com variação entre $1,3 \text{ mBq g}^{-1}$ (tecido muscular), a $25.181,1 \text{ mBq g}^{-1}$ no intestino. Os valores individuais obtidos para cada amostra estudada podem ser observados na tabela 9.

Tabela 9. Concentração individual, valores mínimos, máximos e médios e desvio padrão de ^{210}Po em órgãos e tecido muscular de pescada bicuda (*C. microlepidotus*):

Espécie	Amostras										Valor Mín	Valor. Máx	M ± DP
Pescada bicuda	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Coração	152,55	113,20	131,21	27,57	130,41	61,13	324,20	50,70	169,70	62,09	27,57	324,20	122,28±85,39
Estômago	978,57	624,89	287,98	608,56	924,58	210,82	586,53	30,24	573,60	74,26	30,24	978,57	490,00±329,83
Fígado	424,99	288,01	108,46	614,50	470,89	270,89	672,07	72,00	646,95	164,98	72,00	672,07	373,37±225,24
Brânquias	56,59	61,39	67,49	37,36	131,80	34,17	405,07	86,93	133,42	48,93	34,17	405,07	106,32±110,69
Intestino	444,06	1270,92	430,69	141,35	25181,10	1267,78	9869,00	381,01	13723,46	2688,55	141,35	25181,10	5539,79±8326,16
Músculo	4,42	6,48	8,72	3,29	5,93	3,18	9,99	1,30	14,62	2,49	1,30	14,62	6,04±4,08
Olho	32,19	91,31	40,14	33,06	64,22	50,84	169,59	5,23	167,55	32,64	5,23	169,59	68,68±57,30
Conteúdo gástrico	-----	62,63	173,58	-----	199,41	99,22	-----	8,62	34,79	-----	8,62	1199,41	96,38±76,44

De acordo com os dados obtidos nas contagens das atividades nos diferentes órgãos estudados em base seca, obteve-se, para o coração, uma média de 122,28 mBq g⁻¹, para as brânquias, de 106,32 mBq g⁻¹, para os olhos, 68,68 mBq g⁻¹ para as amostras de estômago, 490,00 mBq g⁻¹, para as amostras de intestino estudadas observou-se o maior valor, correspondente a 5539,79 mBq g⁻¹, para o conteúdo estomacal, 96,38 mBq g⁻¹ e, para o tecido muscular, foi evidenciada a menor atividade, correspondente a 6,04 mBq g⁻¹ (figura 25).

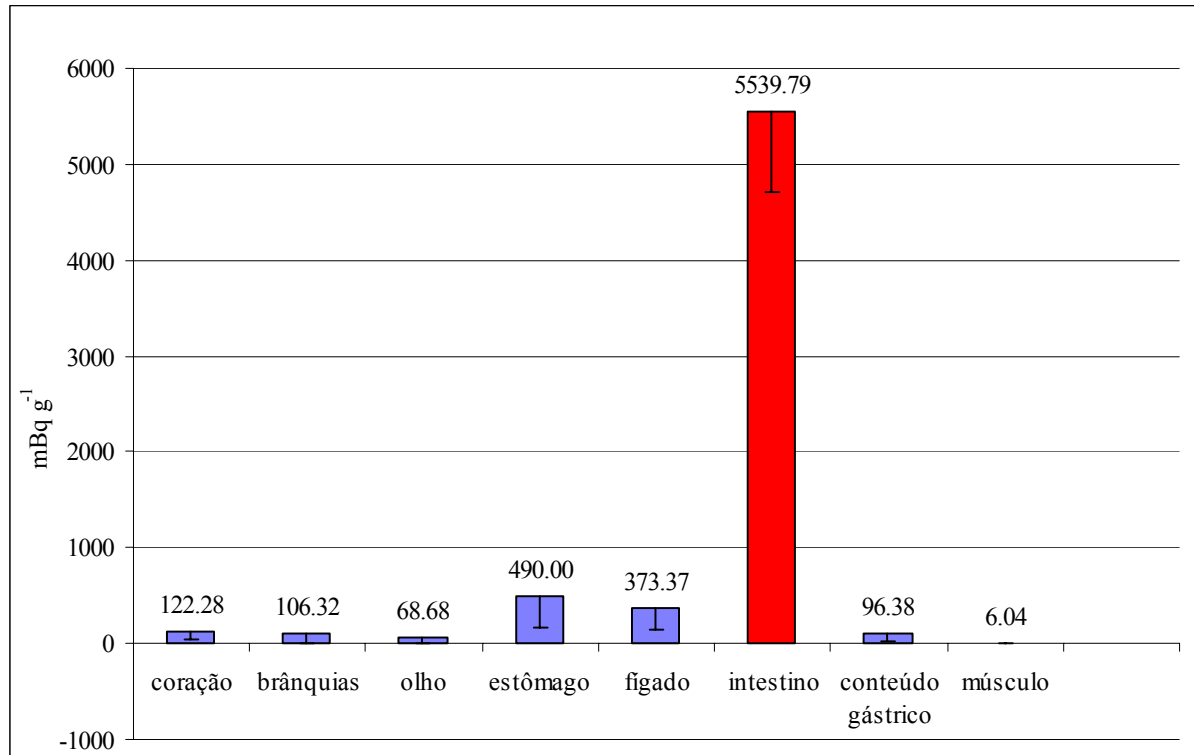


Figura 25. Distribuição da atividade do ²¹⁰Po (mBq g⁻¹) em órgãos e tecido muscular de pescada bicuda (*C. microlepidotus*)

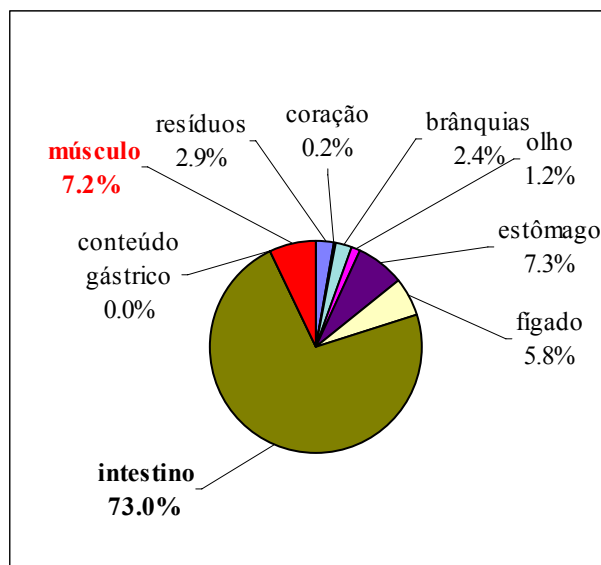


Figura 26. Distribuição da atividade do ^{210}Po em base seca na pescada bicuda (*C. microlepidotus*)

Os dados obtidos para atividade do ^{210}Po foram transformados em porcentagem com objetivo de conhecer a distribuição deste nuclídeo na pescada bicuda em base seca (Figura 26) e em base úmida (Figura 27). Observa-se, na figura 26, que 73% da atividade do ^{210}Po em base seca se encontra no intestino e, a parte comestível representada pelo tecido muscular, detém 7,2 %. Os valores obtidos para base úmida indicam que o tecido muscular contribui com 5,7% da atividade, entretanto, para o intestino a contribuição é de 74% representando o órgão que contribui com a maior porcentagem nesta espécie.

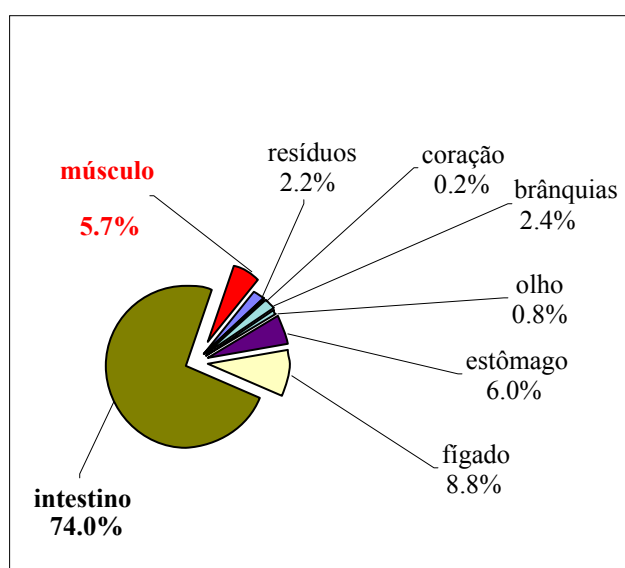


Figura 27. Distribuição da atividade do ^{210}Po em base úmida na pescada bicuda (*C. microlepidotus*)

O cálculo relativo à atividade total por porções de 100g do peixe foi de 1683.68 mBq g⁻¹ o que caracteriza uma atividade de 16.84 mBq g⁻¹ por grama de peixe fresco.

Na tabela 10 demonstram-se os dados relativos às atividades médias de ²¹⁰Po em cada órgão e tecido estudado, assim como os valores máximos e mínimos e desvio padrão, as distribuições percentuais das massas dos órgãos e das atividades nos peixes.

Tabela 10. Atividades médias (desvio padrão, DP), valores mínimos e máximos (min-máx) de ²¹⁰Po (mBq g⁻¹ base seca) e distribuições percentuais das massas e das atividades em órgãos e tecidos da pescada bicuda (*C. microlepidotus*)

Pescada bicuda Órgãos e tecidos	n	Atividade média ±DP (mBq g ⁻¹)	Dispersão mín- max (mBq g ⁻¹)	Distribuição das massas* (%)	Distribuição das atividades* (%)
Coração	10	122,3 ±85,4	27,6-324,2	0,1	0,2
Estômago	10	490,0 ± 329,8	30,2-978,6	0,8	6,0
Fígado	10	373,4 ± 225,2	72,0-672,1	0,9	8,8
Brânquias	10	106,3 ± 110,7	34,2-405,1	1,3	2,4
Intestino	10	5539,8 ± 8226,1	141,4-25.181,1	0,7	73,9
Olho	10	68,7 ± 57,3	5,23-169,6	1,0	0,8
Músculo	10	6,0 ± 4,1	1,3-14,6	67,6	5,7
Resíduos**	10	6,0	-	27,6	2,2
Conteúdo gástrico	10	96,4 ± 76,4	8,6-199,4	-	-
Peixe inteiro		16,8*	-	100	100

* calculadas em base úmida; ** nadadeiras, vértebras, pele, escamas, cabeça

A relação entre ²¹⁰Po tecido/²¹⁰Po músculo pode ser observada na figura 28, onde se evidencia que o coração apresenta atividade 20 vezes maior que o tecido muscular, as brânquias, 18 vezes, o olho 11 vezes, o estômago 81 vezes, o fígado 62 vezes, o intestino 915 vezes e, o conteúdo gástrico, 16 vezes. É importante ressaltar que o valor tabulado para o intestino apresentado na figura, deve ser multiplicado por cinco, para se obter o valor real, recurso gráfico utilizado para evitar o achatamento do gráfico.

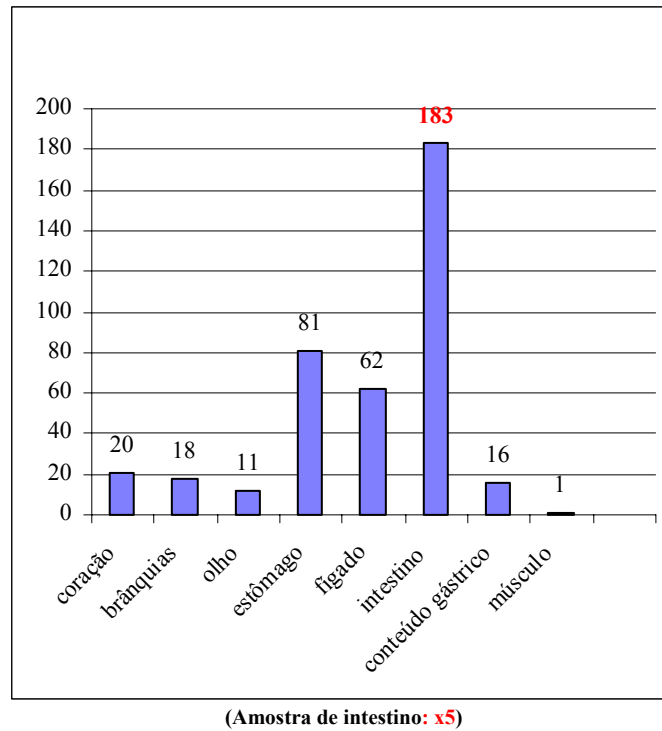


Figura 28. Relação ^{210}Po nos órgãos/ ^{210}Po no tecido muscular em amostras de pescada bicuda (*C. microlepidotus*)

4.2.2 ^{210}Pb Chumbo

O ^{210}Pb foi determinado também de maneira indireta, pelo decaimento do ^{210}Pb a ^{210}Po cinco meses após o primeiro plaqueamento. Os valores individuais podem ser observados na tabela 11.

Tabela 11. Concentração individual, valores mínimos, máximos e médios e desvio padrão de ^{210}Pb em órgãos e tecido muscular de pescada bicuda (*C. microlepidotus*)

Espécie	Amostras										Valor Mín	Valor. Máx	M \pm DP	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Pescada bicuda														
Coração	29,21	57,93	9,75	4,71	10,22	13,50	15,17	8,88	4,35	3,60	3,60	57,93	15,73 \pm 16,60	
Estômago	135,01	44,08	12,38	17,85	25,41	23,73	24,61	1,85	37,90	8,19	1,85	135,01	33,10 \pm 38,02	
Fígado	10,68	29,84	5,11	29,15	17,90	10,89	52,48	1,93	18,03	7,84	1,93	52,48	18,39 \pm 15,22	
Brânquias	4,23	7,28	4,05	2,70	---	7,62	11,58	0,85	5,78	2,94	0,85	11,58	5,23 \pm 3,24	
Intestino	5,47	115,09	23,78	5,63	685,78	55,28	279,34	21,26	284,08	131,32	5,47	685,78	160,70 \pm 212,24	
Músculo	1,56	3,77	1,66	1,85		1,77	0,43	0,90	2,82	1,16	0,43	3,77	1,77 \pm 1,01	
Olho	2,96	4,96	2,32	5,02	3,53	2,73	7,11	2,13	3,21	2,43	2,13	7,11	3,64 \pm 1,59	
Conteúdo gástrico	---	5,51	11,09	9,20	4,45	---	2,01	2,52	---	---	2,01	11,09	5,80 \pm 3,65	

A amplitude observada variou entre 0,43 mBq g⁻¹ no tecido muscular a 685,78 mBq g⁻¹ no intestino, órgão que apresentou a maior atividade média (160,70 ± 212,24 mBq g⁻¹) e que contribui com 26,1% da atividade total de ²¹⁰Pb. Em função da porcentagem que a porção muscular representa nesta espécie (67,5%), calculou-se que, apesar da baixa atividade média (1,77 ± 1,01 mBq g⁻¹), 25,8% da atividade total concentra-se nesta porção. Estes valores podem ser observados na tabela 12, onde também são demonstrados as atividades médias e os desvios padrão para cada órgão, a distribuição das massas e a dispersão dos valores obtidos.

Tabela 12. Atividades médias (desvio padrão, DP), valores mínimos e máximos (min-máx) de ²¹⁰Pb (mBq g⁻¹ base seca), distribuições percentuais das massas e distribuição das atividades em órgãos e tecidos da pescada bicuda (*C. microlepidotus*):

Pescada bicuda Órgãos e tecidos	n	Atividade média ±DP (mBq g ⁻¹)	Dispersão mín-máx (mBq g ⁻¹)	Distribuição das massas* (%)	Distribuição das atividades* (%)
Coração	10	15,73 ± 16,60	3,60 -57,93	0,1	0,4
Estômago	10	33,10 ± 38,02	1,85-135,01	0,8	6,1
Fígado	10	18,39 ± 15,22	1,93 - 52,48	0,9	3,5
Brânquias	9	5,23 ± 3,24	0,85 - 11,58	1,3	1,4
Intestino	10	160,70±212,24	5,47 - 685,78	0,7	26,1
Olho	10	3,64 ± 1,59	2,13 - 7,11	1,0	0,8
Músculo	9	1,77 ± 1,01	0,43 - 3,77	67,5	25,8
Resíduos**	10	4,63 ± 3,02	1,41 - 7,41	-	35,9
Conteúdo gástrico	6	5,80±3,65	2,01 - 11,09	-	0,0

Os dados relativos à distribuição de ²¹⁰Pb nesta espécie de peixe podem ser visualizados na figura 29 onde o órgão que apresenta a maior atividade, é o intestino (160,70 mBq g⁻¹), seguido pelo estômago (33,10 mBq g⁻¹), o fígado (18,39 mBq g⁻¹), o coração (15,73 mBq g⁻¹), conteúdo gástrico (5,80 mBq g⁻¹), brânquias (5,23 mBq g⁻¹), os olhos (3,64 mBq g⁻¹) e tecido muscular (1,77 mBq g⁻¹).

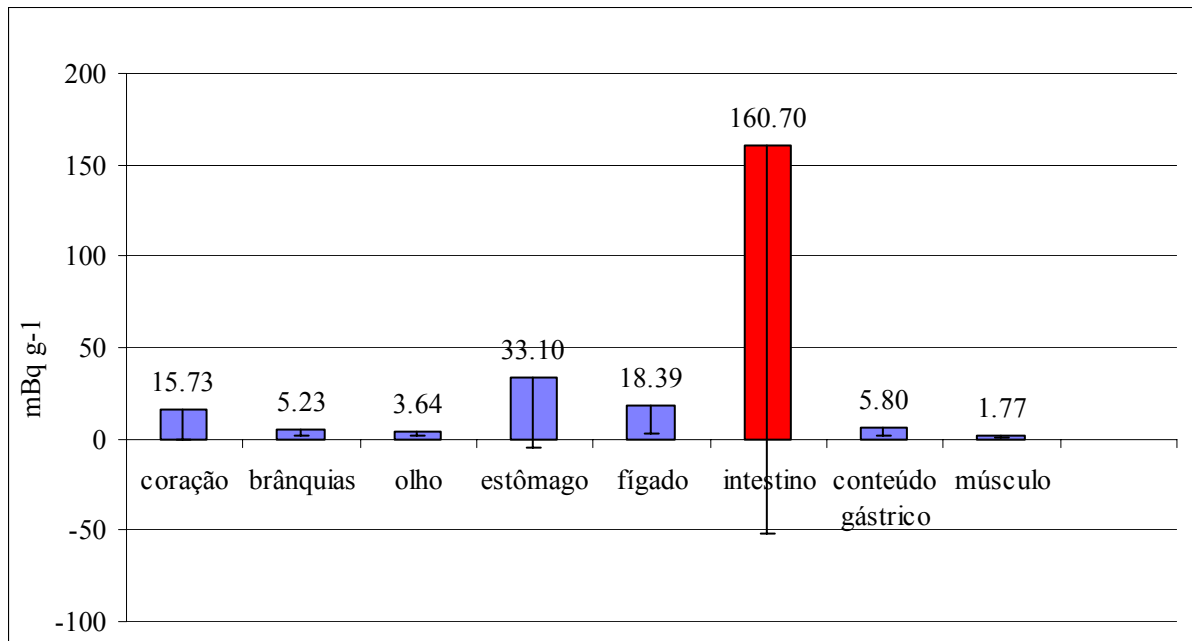


Figura 29. Distribuição da atividade do ^{210}Pb (mBq g⁻¹) em órgãos e tecido muscular de pescada bicuda (*C. microlepidotus*)

Na figura 30 observa-se a distribuição percentual da atividade do ^{210}Pb na pescada bicuda incluindo-se os resíduos representados pelas partes não estudadas, que contribuem com 35,9% para a atividade total nesta espécie.

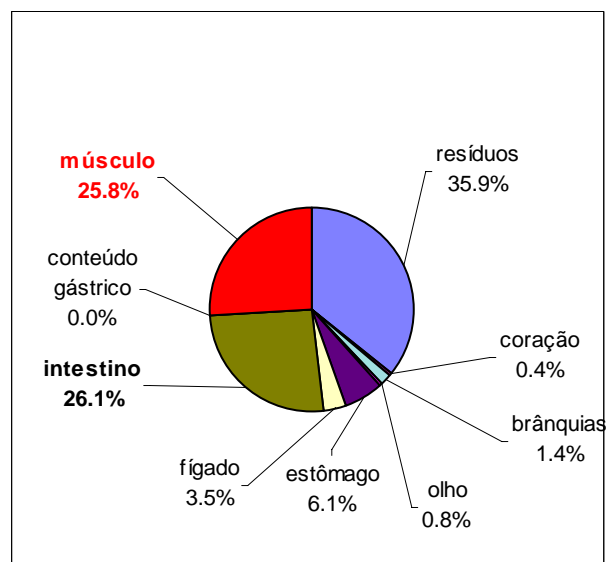


Figura 30. Distribuição percentual da atividade do ^{210}Pb na pescada bicuda (*C. microlepidotus*)

A relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ verificada em cada porção estudada é demonstrada na figura 31 . A variação encontra-se na faixa de 3,4 na porção muscular a 34,5 no intestino. Como verificado para as amostras de congro rosa, a concentração de ^{210}Po foi bastante maior que a de ^{210}Pb em todos os casos estudados.

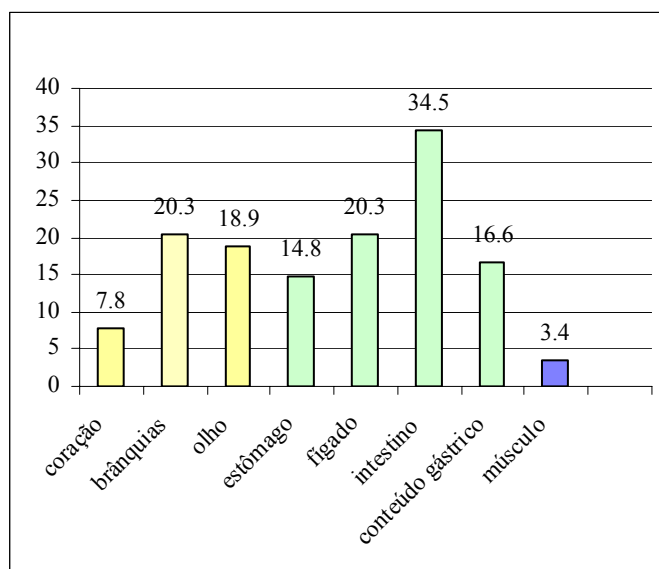


Figura 31: Relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em órgãos e tecidos de pescada bicuda (*C. microlepidotus*)

Ao comparar a tendência de acumulação do ^{210}Po em relação ao ^{210}Pb nos órgãos em relação ao tecido muscular, tido como padrão observa-se que o intestino concentra dez (10) vezes mais ^{210}Po que a porção muscular. Entretanto, os demais órgãos do sistema digestório não apresentam o mesmo perfil demonstrado para o congro rosa, visto que o fígado, as brânquias e os olhos encontram-se na mesma faixa, concentrando seis (6) vezes mais ^{210}Po que o músculo, valor mais alto que o evidenciado para o estômago, cuja concentração é quatro vezes mais que o tecido muscular, mas duas vezes menos que as brânquias e os olhos (figura 32).

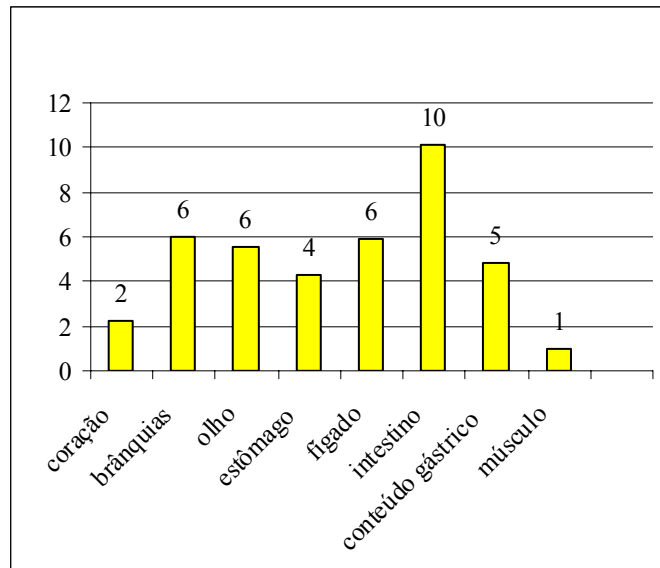


Figura 32. Tendência de acumulação do ^{210}Po em relação ao ^{210}Pb em relação ao tecido muscular de pescada bicuda (*C. microlepidotus*)

A relação entre ^{210}Pb nos órgãos *versus* ^{210}Pb no tecido muscular é demonstrada na figura 33 onde se observa um perfil bastante heterogêneo com o intestino concentrando 91 vezes mais ^{210}Pb que o tecido muscular, o estômago 19 vezes mais, o fígado 10m vezes, o coração 9 vezes, as brânquias e o conteúdo gástrico apresentando a mesma relação (3:1) e os olhos duas vezes mais.

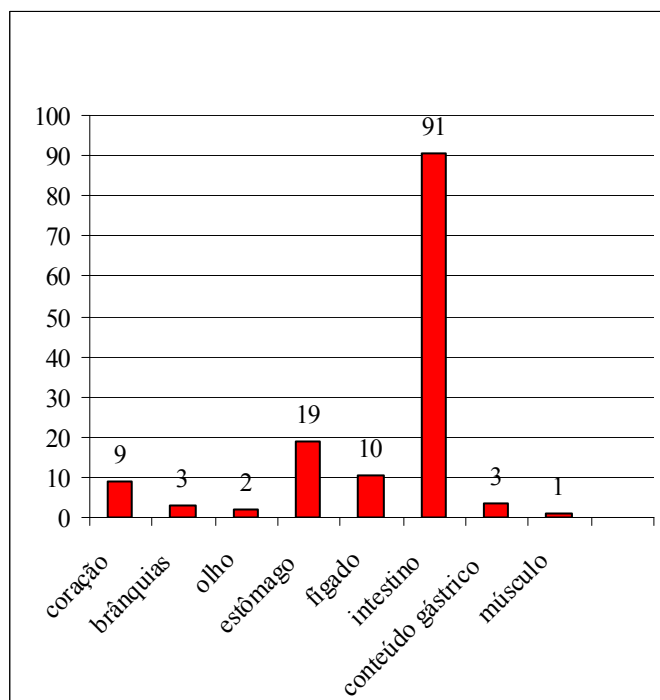


Figura 33. Relação entre ^{210}Pb nos órgãos e ^{210}Pb no tecido muscular de pescada bicuda (*C. microlepidotus*)

4.3 SARDINHA (*S. brasiliensis*)

4.3.1 ^{210}Po Polônio

Os resultados obtidos para os exemplares de sardinha também serão apresentados através de tabelas e figuras. A sardinha foi estudada em função de sua importância comercial e seu hábito alimentar. Foram pesquisados 10 (dez) exemplares analisando-se tecidos e órgãos após pesagem de cada exemplar e de cada órgão. Na tabela 13 relacionam-se os dados relativos aos pesos (base úmida), comprimento, origem de cada exemplar e de cada órgão. O comprimento dos exemplares variou entre 15 e 19 cm e, o peso, entre 47 e 77,2 gramas. Todos os exemplares foram provenientes de pesca comercial no litoral do Rio de Janeiro.

Nos espécimes de sardinha utilizados neste estudo, 65,5% do peso total correspondem à musculatura branca, 11,9% ao músculo vermelho, 8,2% aos cecos pilóricos, 5,4% aos resíduos não estudados, 3,2% as brânquias, 2,4% ao intestino, 1,2% ao estômago, 1,0% aos olhos e 0,5% ao coração. Estes valores podem ser visualizados na figura 34.

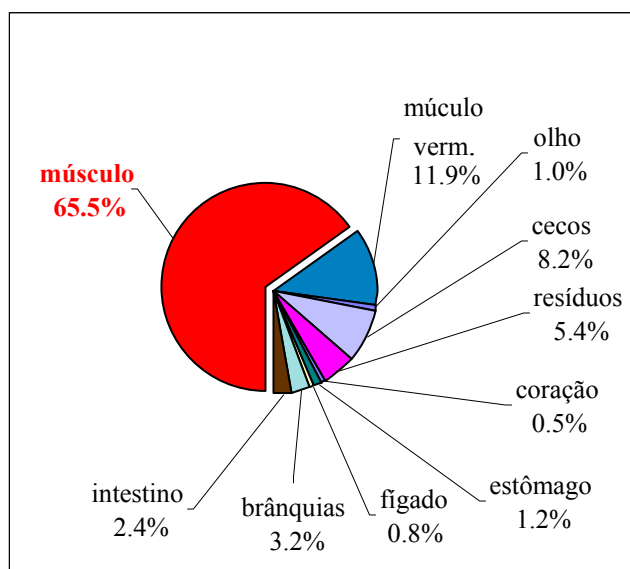


Figura 34. Distribuição das massas nos exemplares de sardinha (*S. brasiliensis*)

A distribuição do ^{210}Po nos órgãos e na porção muscular da sardinha não é uniforme e apresenta ampla dispersão, com variação entre 9,61 mBq g⁻¹ (tecido muscular), a 2.595,97 mBq g⁻¹ no intestino. Os valores individuais podem ser observados na tabela 14.

Tabela 13. Origem, peso total e distribuição das massas em órgãos e tecidos, comprimento e valores mínimos, máximos e desvio padrão destes parâmetros em exemplares de sardinhas (*S. brasiliensis*):

Espécie	Amostras										Valor Mín	Valor. Máx	M ± DP
	Sardinha	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Origem	RJ	RJ	RJ	RJ	RJ	RJ	RJ	RJ	RJ	RJ			
Comprimento (cm)	15	16	16,5	15,5	16	16	16	19			15	19	16,3±1,2
Peso total (g)	49,0	52,0	56,0	50,0	47,0	57,0	76,0	77,2	76,1	76,4	47,0	77,2	61,7±13,0
Coração	0,29	0,31	0,30	0,39	0,28	0,20	0,33	0,38	0,37	0,38	0,2	0,4	0,3±0,1
Estômago	0,63	0,65	0,70	0,72	0,62	0,69	1,05	1,03	0,99	1,02	0,6	1,1	0,8±0,2
Fígado	0,43	0,45	0,51	0,34	0,44	0,61	0,51	0,66	0,63	0,65	0,3	0,7	0,5±0,1
Brânquias	2,03	2,12	2,06	2,15	2,00	2,24	2,24	2,29	2,23	2,28	2,0	2,3	2,2±0,1
Intestino	0,88	0,94	1,21	1,06	0,89	1,73	1,73	2,73	2,40	2,46	0,9	2,7	1,6±0,7
Músculo	34,10	36,30	40,31	35	33,00	41,83	54,77	55,6	54,09	55,0	33,0	55,6	44,0±9,7
Músculo vermelho	6,9	7,0	7,3	6,9	6,5	7,0	9,5	9,5	9,4	9,7	6,5	9,7	8,0±1,4
Olho	0,51	0,54	0,42	0,78	0,59	0,56	0,78	0,80	0,81	1,00	0,4	1,0	0,7±0,2
Cecos pilóricos						5,56		5,49			5,5	5,6	5,5±0,05
Resíduos	3,2	3,7	3,2	2,66	2,7	2,1	5,1	4,23	5,2	3,9	2,1	5,2	3,6±1,0

Tabela 14. Concentração individual, valores mínimos, máximos e médios e desvio padrão de ^{210}Po em órgãos e tecido muscular de sardinha (*S. brasiliensis*)

Espécie	Amostras										Valor Mín	Valor. Máx	M ± DP	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Sardinha														
Coração	82,87	147,25	327,25	294,40	513,20	133,38	114,91	187,07	261,57	81,10	81,10	513,2	214,30±136,39	
Estômago	37,84	34,95	650,22	584,30	395,32	244,99	336,18	366,20	327,62	191,91	34,95	650,22	316,95±202,71	
Fígado	120,28	124,14	1295,62	2100,16	1780,54	339,97	545,14	977,55	716,54	505,53	120,28	2100,16	850,55±682,52	
Brânquias	71,72	34,75	94,41	52,71	158,70	126,75	66,81	156,98	75,78	56,43	34,75	158,70	89,50±43,74	
Intestino	501,92	591,89	1514,98	2159,75	499,65	2595,97	2275,40	2065,40	2033,58	2107,37	499,65	2595,97	1634,59±806,33	
Músculo	13,77	14,35	21,26	17,60	24,01	13,46	12,60	-----	17,33	9,61	9,61	24,01	16,00±4,51	
Músculo vermelho	16,63	15,32	-----	95,54	39,59	24,41	26,17	-----	24,90	15,78	15,32	95,54	32,29±26,76	
Olho	57,71	61,97	71,21	150,79	277,80	172,14	119,47	173,42	98,40	154,06	57,71	277,80	133,70±67,33	
Cecos pilóricos	-----	-----	-----	-----	-----	1332,13	1045,36	1308,15	-----	-----	1045,36	1332,13	1228,55±159,10	

De acordo com os dados obtidos nas contagens das atividades nos diferentes órgãos em base seca, obteve-se, para o coração, uma média de $214,30 \text{ mBq g}^{-1}$, para as brânquias, de $89,50 \text{ mBq g}^{-1}$, para os olhos, $133,70 \text{ mBq g}^{-1}$ para as amostras de estômago, $316,95 \text{ mBq g}^{-1}$, para as amostras de intestino observou-se o maior valor, correspondente a $1.634,59 \text{ mBq g}^{-1}$, para os cecos pilóricos, $1228,55 \text{ mBq g}^{-1}$ e, para a porção de músculo branco foi evidenciada a menor atividade, correspondente, $16,00 \text{ mBq g}^{-1}$, a porção muscular vermelha apresentou $32,29 \text{ mBq g}^{-1}$ (Figura 35).

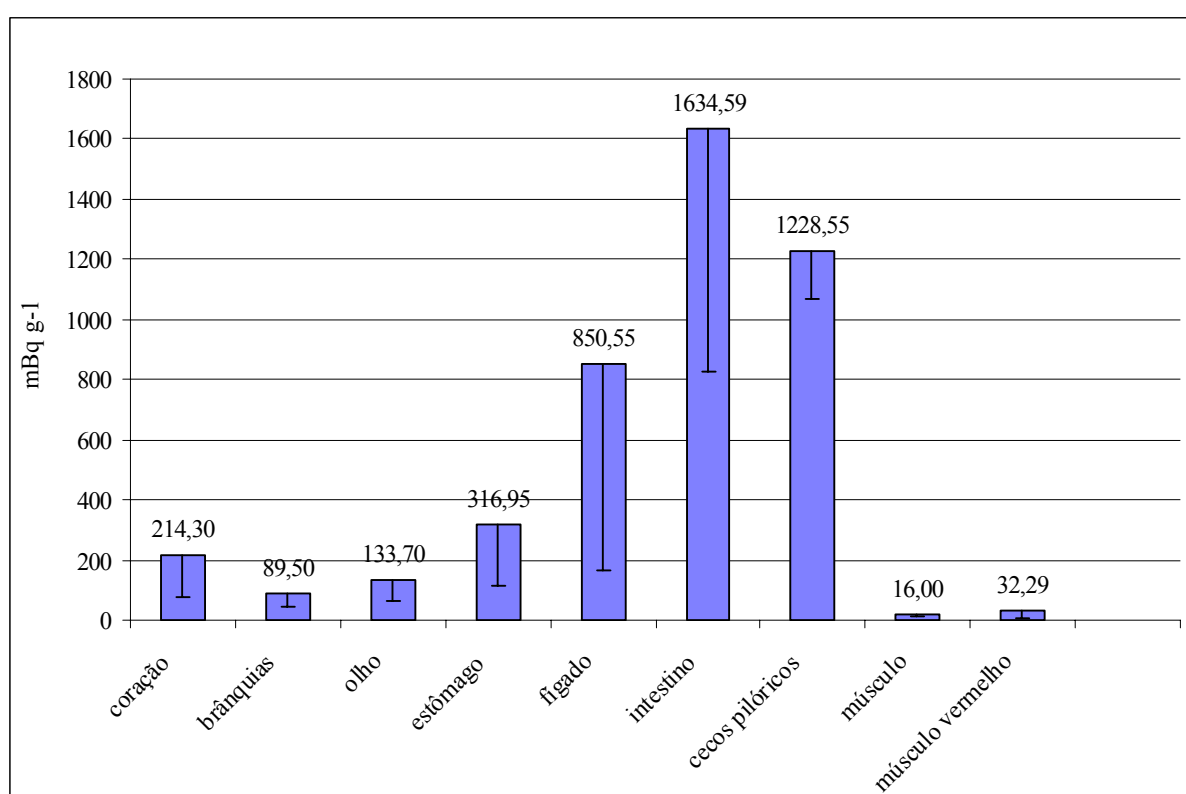


Figura 35. Distribuição da atividade do ^{210}Po (mBq g^{-1}) em órgãos e tecido muscular de sardinha (*S. brasiliensis*)

Os dados obtidos para atividade do ^{210}Po foram transformados em porcentagem com objetivo de conhecer a distribuição deste nuclídeo na sardinha em base seca (Figura 36) e em base úmida (Figura 37). Observa-se na figura 37, que 22,8% da atividade do ^{210}Po em base seca se encontra no intestino e, a parte comestível representada pelo tecido muscular, detém 6,1%. Os valores obtidos para base úmida indicam que o tecido muscular contribui com 4,8% da atividade, entretanto, para o intestino a contribuição é de 25,7% e o órgão que contribui

com a maior percentagem são os cecos pilóricos, com 59,7%, conforme pode ser observado na figura 37.

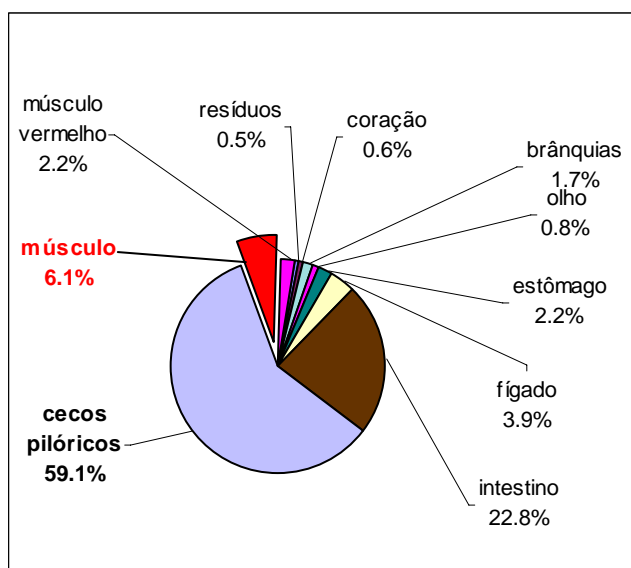


Figura 36. Distribuição da atividade do ^{210}Po em base seca em exemplares de sardinha (*S. brasiliensis*)

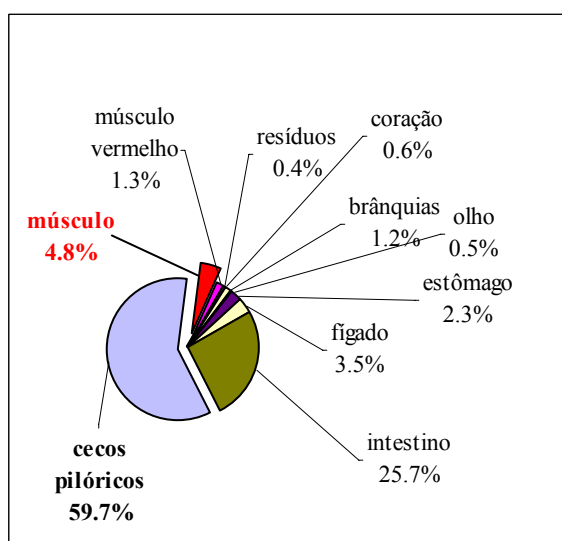


Figura 37. Distribuição da atividade do ^{210}Po em base úmida em exemplares de sardinha (*S. brasiliensis*)

O cálculo relativo à atividade total por porções de 100g do peixe foi de 6457.42 mBq g^{-1} o que caracteriza uma atividade de 64.57 mBq g^{-1} por grama de peixe fresco.

Na tabela 15 demonstram-se os dados relativos às atividades médias de ^{210}Po em cada órgão e tecido estudado, assim como os valores máximos e mínimos e desvio padrão, as

distribuições percentuais das massas dos órgãos e das atividades nos peixes, bem como os fatores aparentes de concentração (Fc) do ^{210}Po a partir da água do mar.

Tabela 15. Atividades médias (desvio padrão, DP), valores mínimos e máximos (min-máx) de ^{210}Po (mBq g^{-1} base seca) e distribuições percentuais das massas e das atividades em órgãos e tecidos de sardinha (*S. brasiliensis*)

Sardinha Órgãos e tecidos	n	Atividade média \pm DP (mBq g^{-1})	dispersão mín-máx (mBq g^{-1})	Distribuição das massas* (%)	Distribuição das atividades* (%)
Coração	10	214,30 \pm 136,39	81,10-513,2	0,52	0,7
Estômago	10	316,95 \pm 202,71	34,95-650,22	1,31	2,4
Fígado	10	850,55 \pm 682,52	120,28-2100,16	0,85	4,2
Brânquias	10	89,50 \pm 43,74	34,75-158,70	3,51	1,8
Intestino	10	1634,59 \pm 806,33	499,65-2595,97	2,60	24,9
Olho	10	133,70 \pm 67,33	57,71-277,80	1,10	0,9
Músculo	10	16,00 \pm 4,51	9,61-24,01	71,35	6,7
Músculo vermelho	9	32,29 \pm 26,76	15,32-95,54	12,92	2,4
Resíduos**	10	15,00	---	5,83	0,5
Cecos pilóricos	2	1228,55 \pm 159,10	1045,36-1332,13	8,96	64,5
Peixe inteiro		4*	-		

*calculadas em base úmida; **nadadeiras, vértebras, pele, escamas, cabeça.

A relação ^{210}Po tecido/ ^{210}Po músculo pode ser observada na figura 38, onde fica evidenciada que o coração apresenta atividade 13 vezes maior que o tecido muscular, as brânquias, 6 vezes, o olho 8 vezes, o estômago 20 vezes, o fígado 53 vezes e o intestino, 102 vezes, os cecos pilóricos, 74 vezes, . Nesta espécie também foi possível avaliar a atividade do ^{210}Po na musculatura vermelha, que apresentou atividade 5 vezes superior àquelas observadas na musculatura branca.

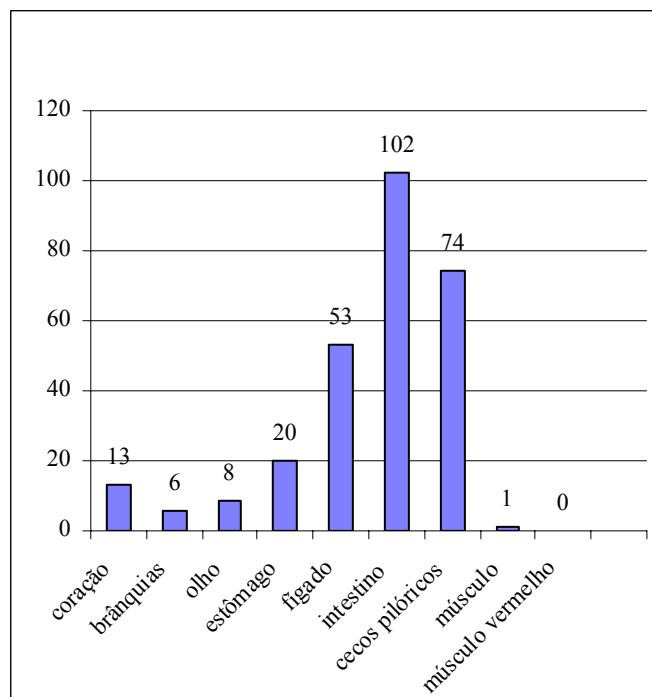


Figura 38. Relação ^{210}Po nos órgãos/ ^{210}Po no tecido muscular de amostras de sardinha (*S. brasiliensis*)

4.3.2 ^{210}Pb Chumbo

Este elemento foi calculado da mesma forma que nas espécies anteriores demonstrando amplitude variando entre $0,53 \text{ mBq g}^{-1}$ no tecido muscular a $106,28 \text{ mBq g}^{-1}$ no intestino, órgão que apresentou também a maior atividade média ($66,99 \pm 22,98 \text{ mBq g}^{-1}$), contribuindo com 19,7% da atividade total de ^{210}Pb nesta espécie. Em função da distribuição das massas nesta espécie, demonstrado através da figura 34, observou-se que, apesar da baixa atividade verificada para porção muscular ($2,18 \pm 2,93 \text{ mBq g}^{-1}$), esta contribui com 17,6% da atividade total de ^{210}Pb , pois 65,5% da massa total é representada pelo porção muscular.

Os resultados individuais relativos à concentração de ^{210}Pb em cada porção estudada são demonstrados na tabela 16.

Comparando-se a concentração de ^{210}Po na porção muscular branca e vermelha, verifica-se que a porção vermelha concentra taxas mais elevadas que a porção de músculo branco e que a diferença entre estas porções é significativa ao nível de 5%.

Tabela 16. Concentração individual, valores mínimos, máximos e médios e desvio padrão de ^{210}Pb em órgãos e tecido muscular de sardinha (*S. brasiliensis*)

Espécie	Amostras										Valor Mín	Valor. Máx	M \pm DP	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Sardinha														
Coração	3,81	14,77	23,41	10,83	49,45	5,73	5,16	-----	27,62	4,13	3,81	49,45	16,10 \pm 15,20	
Estômago	13,03	7,91	42,49	18,34	33,47	14,39	8,37	33,10	11,37	5,69	5,69	42,49	18,82 \pm 12,86	
Fígado	4,91	2,12	66,41	92,57	50,52	21,77	12,71	7,45	24,62	16,26	2,12	92,57	29,93 \pm 30,11	
Brânquias	5,48	6,24	16,77	13,14	9,21	5,55	5,70	4,51	4,41	4,98	4,41	16,77	7,60 \pm 4,19	
Intestino	70,43	33,22	57,81	96,26	106,28	88,26	54,70	57,19	49,84	55,86	33,22	106,28	66,99 \pm 22,98	
Músculo	0,66	9,37	4,25	0,90	1,09	1,09	0,64	-----	0,53	1,06	0,53	9,37	2,18 \pm 2,93	
Músculo vermelho	4,25	4,22	38,17	2,20	2,75	1,25	0,77	-----	1,57	0,59	0,59	38,17	6,20 \pm 12,07	
Olho	5,39	12,89	16,07	9,32	6,01	8,33	4,11	9,64	7,92	3,73	3,73	16,07	8,34 \pm 3,90	
Cecos pilóricos	-----	-----	-----	-----	-----	28,21	-----	37,04	-----	-----	28,2	37,0	32,63 \pm 6,24	

Na tabela 17 demonstra-se as atividades médias, a dispersão, a distribuição das massas e das atividades de ^{210}Pb para as amostras de sardinha utilizadas neste estudo.

Tabela 17. Atividades médias (desvio padrão, DP), valores mínimos e máximos (min-máx) (mBq g^{-1} base seca), distribuições percentuais das massas e distribuição das atividades de ^{210}Pb em órgãos e tecidos da sardinha (*S. brasiliensis*)

Sardinha Órgãos e tecidos	n	Atividade média \pm DP (mBq g^{-1})	Dispersão mín-máx (mBq g^{-1})	Distribuição das massas* (%)	Distribuição das atividades* (%)
Coração	9	16,10 \pm 15,20	3,81 -49,45	0,5	1,3
Estômago	10	18,82 \pm 12,86	5,69-42,49	1,2	3,8
Fígado	10	29,93 \pm 30,11	2,12 - 92,57	0,8	3,9
Brânquias	10	7,60 \pm 4,19	4,41 - 16,77	3,2	4,1
Intestino	10	66,99 \pm 22,98	33,22 - 106,28	2,4	26,9
Olho	10	8,34 \pm 3,90	3,73 - 16,07	1,0	1,4
Músculo	9	2,18 \pm 2,93	0,53 -9,37	65,5	24,0
Músculo vermelho	9	6,20 \pm 12,07	0,59 - 38,17	11,9	12,4
Resíduos**	10	4,63 \pm 3,02	1,41 - 7,41	5,4	-----
Cecos pilóricos	2	32,63 \pm 6,24	28,2 - 37,00	8,2	45,1

Os dados relativos à distribuição de ^{210}Pb nesta espécie de peixe podem ser visualizados na figura 39 onde pode ser observado que o órgão que apresenta maior atividade média é o intestino ($66,99 \text{ mBq g}^{-1}$), seguido pelos cecos pilóricos ($32,63 \text{ mBq g}^{-1}$), fígado ($29,93 \text{ mBq g}^{-1}$), estômago ($18,82 \text{ mBq g}^{-1}$), coração ($16,10 \text{ mBq g}^{-1}$), olhos ($8,34 \text{ mBq g}^{-1}$), brânquias ($7,60 \text{ mBq g}^{-1}$), músculo vermelho ($6,20 \text{ mBq g}^{-1}$) e músculo branco ($2,18 \text{ mBq g}^{-1}$).

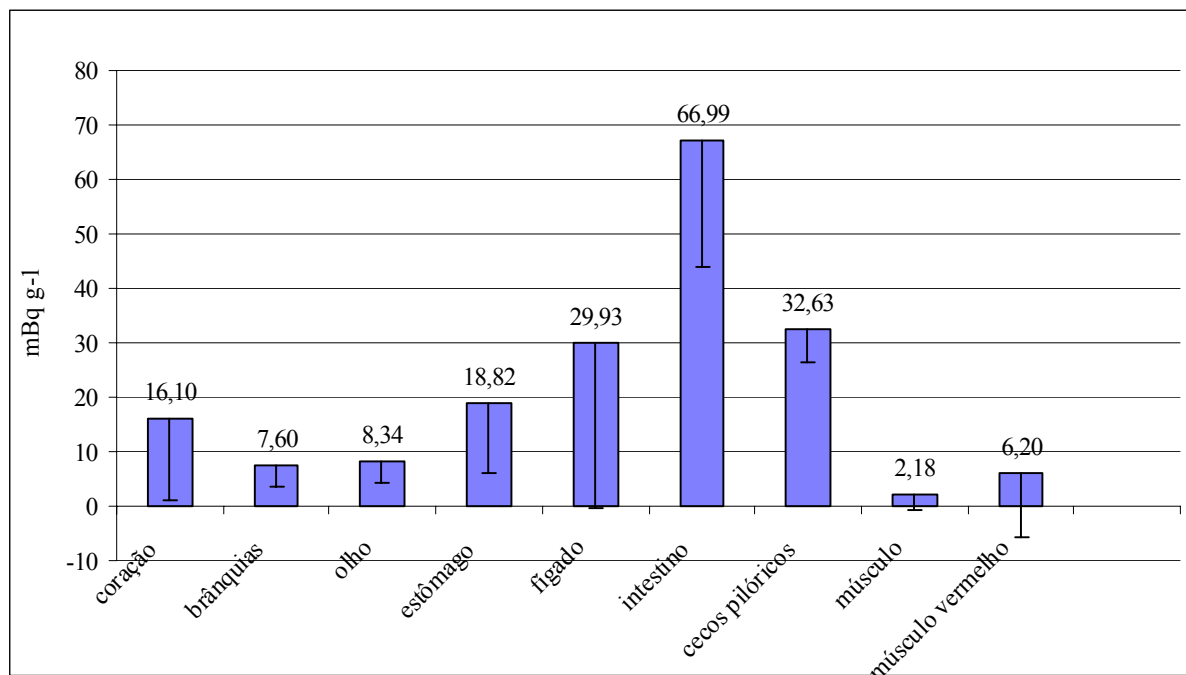


Figura 39. Distribuição da atividade do ^{210}Pb (mBq g⁻¹) em órgãos e tecido muscular de sardinha (*S. brasiliensis*)

Considerando a distribuição de cada órgão e tecido analisados, a contribuição para atividade do ^{210}Pb foi calculada e pode ser observada na figura 40. Evidenciou-se que a menor contribuição é verificada para os olhos e o coração (1%), seguido pelo estômago (2,8%), pelo fígado (2,9%), pelas brânquias (3,0%), músculo vermelho (9,1%), resíduos não estudados (9,9%), músculo cru (17,6%), intestino (19,7%) e a maior contribuição verificada foi observada nos cecos pilóricos (33,1%), apesar da pequena amostragem utilizada.

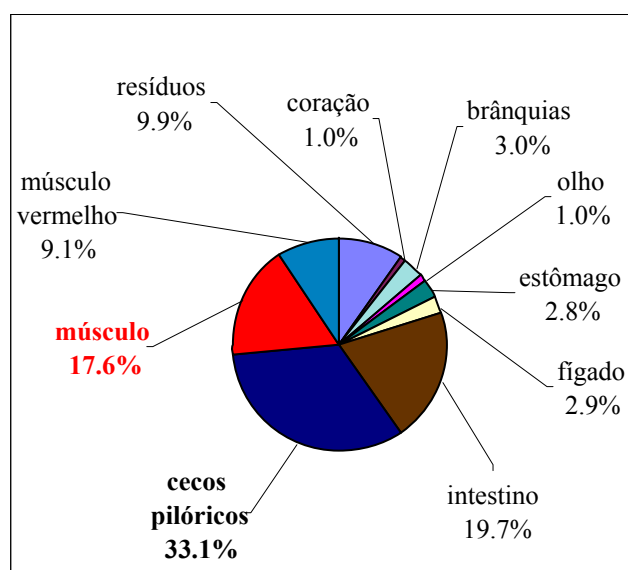


Figura 40. Distribuição percentual da atividade do ^{210}Pb em amostras de sardinha (*S. brasiliensis*)

A relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ observada para cada órgão ou tecido é demonstrada através da figura 41. O menor valor foi verificado na porção de músculo branco (7,3) e o maior, nos cecos pilóricos (36,4). Entretanto, a menor desproporção entre os dois elementos foi constatada nas amostras de brânquias com uma relação de 11,8 ($^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$).

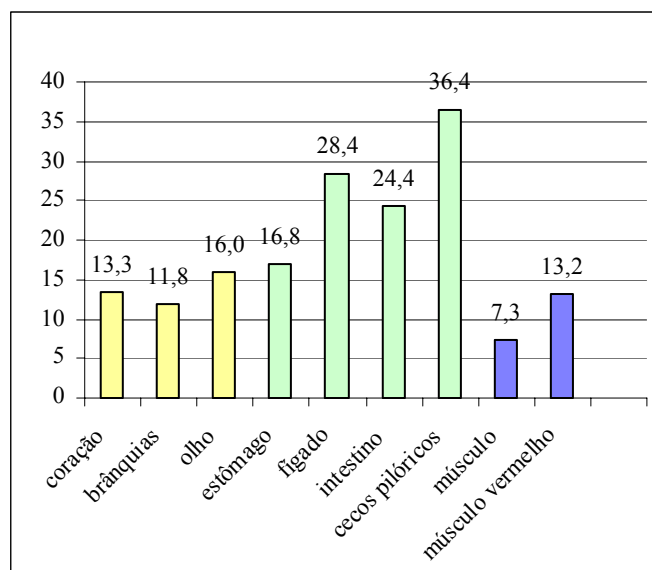


Figura 41. Relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em órgãos e tecidos de sardinha (*S. brasiliensis*)

Quando comparamos a tendência de acumulação do ^{210}Po em relação ao ^{210}Pb nos órgãos em relação ao tecido muscular, observamos como no caso das amostras de congro rosa, que os órgãos do sistema digestório concentram preferencialmente mais ^{210}Po , porém em valores mais baixos. Os cecos pilóricos concentram 5 vezes mais ^{210}Po que ^{210}Pb , o fígado, 3,9 vezes, o intestino 3,3, o estômago 2,3, os olhos 2,2, as brânquias 1,6, o coração 1,8, na porção muscular 1 vez mais e no músculo vermelho, 0,4 vezes. Estes valores são demonstrados através da figura 42.

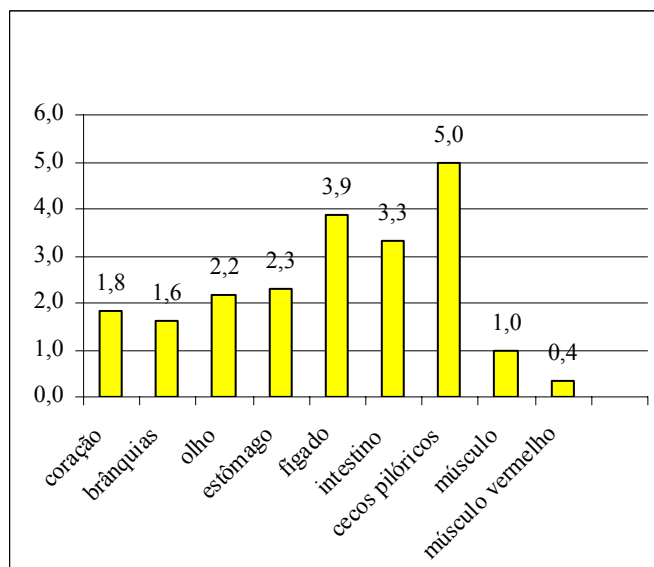


Figura 42. Tendência de acumulação do ^{210}Po em relação ao ^{210}Pb em relação ao tecido muscular (considerado como padrão) em exemplares de sardinha (*S. brasiliensis*)

A relação entre ^{210}Pb nos órgãos e ^{210}Pb no tecido muscular em exemplares de sardinha também merece destaque sendo demonstrada através da figura 43 onde se observa para o intestino em relação ao tecido muscular, uma relação de 31:1, para os cecos pilóricos, de 15:1, para o fígado, de 14:1, para o estômago, de 9:1, para o coração de 7:1, para os olhos de 4:1 e para as brânquias e músculo vermelho de 3:1.

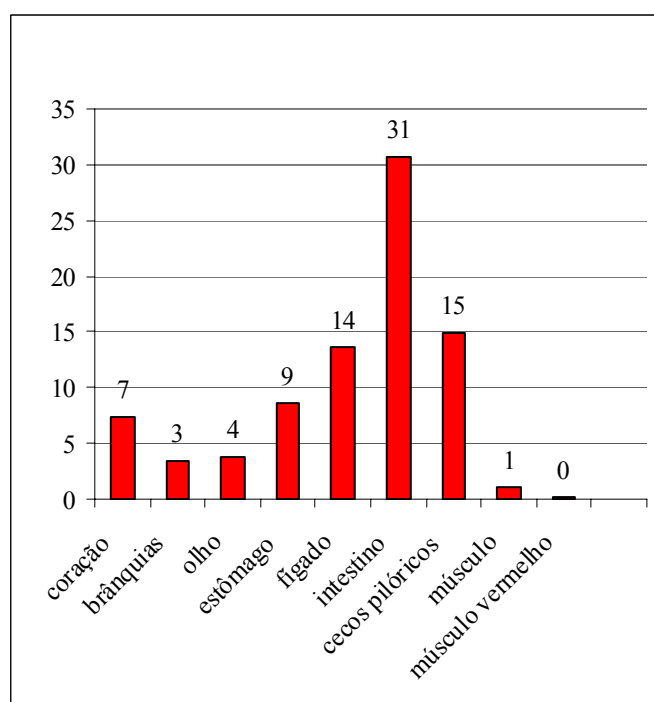


Figura 43. Relação entre ^{210}Pb nos órgãos e ^{210}Pb no tecido muscular de sardinha (*S. brasiliensis*)

4.4 ATUM (*T. atlanticus*)

4.4.1 ²¹⁰Polônio

Esta espécie de peixe foi eleita para este estudo em função de sua enorme importância comercial e seus hábitos alimentares. Foram estudados 9 (nove) exemplares analisando-se tecidos e órgãos após mensuração e pesagem individual de cada indivíduo, evisceração e pesagem de cada órgão. Na tabela 18 relacionam-se os dados relativos aos pesos (base úmida) de cada exemplar e cada órgão, comprimento e origem das amostras. O comprimento dos exemplares variou entre 43 e 56 cm e o peso, entre 2.120 e 3.857,8 gramas. Todos os exemplares foram capturados no litoral do Rio de Janeiro.

Tabela 18. Origem, peso total e distribuição das massas em órgãos e tecidos, comprimento e valores mínimos, máximos e desvio padrão destes parâmetros em exemplares de atum (*T. atlanticus*) analisados:

Espécie	Amostras									Valor Mín	Valor. Máx	M ± DP
	Atum	1	2	3	4	5	6	7	8			
Origem												
Comprimento (cm)	53	56	55	53	46	43	50	46	51	43,0	56,0	50,3±4,5
Peso total (g)	3322,6	3655,3	3545,8	3857,8	2411,4	2120,0	3116,9	2131,3	3651,6	2120,0	3857,8	3090,3±689,9
Coração	12,73	12,90	10,22	17,68	9,32	6,47	13,14	10,09	12,36	6,5	17,7	11,7±3,1
Estômago	53,81	103,00	49,47	46,14	35,73	42,32	50,64	37,00	57,73	35,7	103,0	52,9±20,2
Fígado	39,00	55,50	30,00	36,19	37,72	17,70	30,23	17,48	33,25	17,5	55,5	33,0±11,5
Brânquias	140,90	145,00	123,46	130,37	89,88	79,58	117,69	94,13	128,75	79,6	145,0	116,6±23,4
Intestino	10,00	18,46	9,21	12,73	11,31	6,00	11,30	8,22	14,34	6,0	18,5	11,3±3,6
Músculo	2276,00	2352,10	2135,30	2602,50	1710,10	1440,80	2288,0	1470,4	2351,1	1440,8	2602,5	2069,6±421,5
Olho	44,84	47,75	43,04	53,36	35,89	23,59	42,07	31,24	49,01	23,6	53,4	41,2±9,4
Cecos pilóricos	53,25	63,73	60,58	72,53	41,64	35,58	56,00	38,09	62,19	35,6	72,5	53,7±12,7
Conteúdo gástrico	-----	33,39	47,99	17,35	12,27	57,68	26,64	-----	-----	12,3	57,7	32,6±17,6
Resíduos	745,32	920,59	1145,10	958,83	481,45	503,54	563,83	51,00	1005,06	51,0	1145,1	708,3±341,8

Os dados relativos às massas em base úmida dos exemplares desta espécie demonstram, conforme pode ser observado na figura 44, que 66,1% do peso total está relacionado ao tecido muscular, 1,3% ao olho, 0,4% ao intestino, 3,7% as brânquias, 1,1% ao fígado, 1,7% ao estômago, 0,4 % ao coração, 1,7% aos cecos pilóricos e 22,6% aos resíduos não estudados como espinhas, pele, nadadeiras, cabeça, etc..

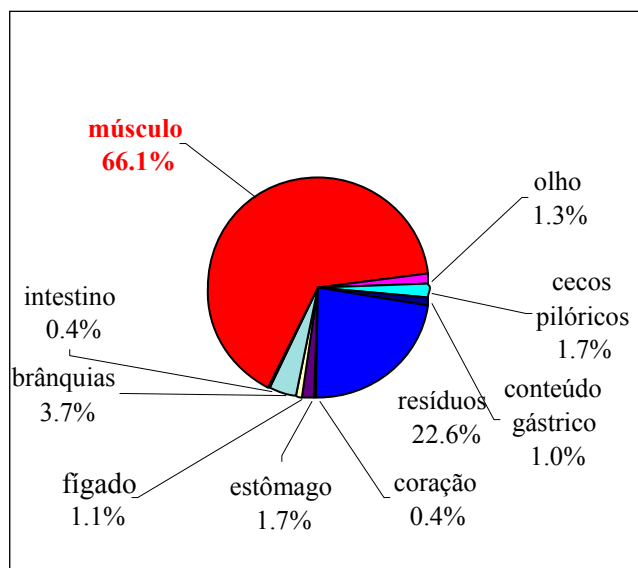


Figura 44. Distribuição das massas nos exemplares de atum (*T. atlanticus*)

Os valores referentes às concentrações individuais, assim como os valores médios, desvio padrão e valores máximos e mínimos de ^{210}Po em cada órgão e tecido de atum estudado podem ser observados na tabela 19.

Tabela 19. Concentração individual, valores mínimos, máximos e médios e desvio padrão de ^{210}Po em órgãos e tecido muscular de atum (*T. atlanticus*)

Espécie	Amostras										Valor Mín	Valor. Máx	M ± DP
	Atum	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Coração	67,76	67,49	79,70	84,07	86,35	253,07	54,92	255,41	179,59	54,92	255,41	125,37±81,47	
Estômago	320,40	562,07	1007,31	355,29	355,79	932,44	420,55	1241,32	570,55	320,40	1241,32	640,64±336,35	
Fígado	468,46	511,80	965,49	549,76	304,40	1138,26	878,96	800,32	987,46	304,40	1138,26	733,88±283,96	
Brânquias	77,81	145,13	86,56	124,14	84,07	173,09	158,53	119,10	142,64	77,81	173,09	123,45±34,55	
Intestino	980,44	959,25	1867,43	1431,01	1377,30	1790,43	2190,89	1400,42	1983,04	959,25	2190,89	1553,36±432,50	
Músculo	9,17	8,23	55,91	34,88	25,28	20,58	24,45	18,71	6,75	6,75	55,91	22,66±15,53	
Olho	18,86	18,87	41,22	56,40	57,51	60,87	25,40	36,86	50,06	18,86	60,87	40,67±16,68	
Conteúdo gástrico	-----	262,23	398,70	168,84	61,10	683,86	-----	378,89	-----	61,10	683,86	325,60±216,83	
Cecos pilóricos	4235,14	2789,47	9733,84	4220,91	1657,66	5791,29	3568,64	4910,23	4997,58	1657,66	9733,84	4656,08±2271,49	

A distribuição do ^{210}Po nos órgãos e na porção muscular do atum, como nas outras espécies, não é uniforme e apresenta ampla dispersão, com variação entre $6,75 \text{ mBq g}^{-1}$ (tecido muscular), a $9733,84 \text{ mBq g}^{-1}$ no intestino.

De acordo com os dados obtidos nas contagens das atividades nos diferentes órgãos estudados em base seca, obteve-se, como pode ser visualizado na figura 45, para o coração, uma média de $125,37 \text{ mBq g}^{-1}$, para as brânquias, de $123,45 \text{ mBq g}^{-1}$, para os olhos, $40,67 \text{ mBq g}^{-1}$, para as amostras de estômago, $640,64 \text{ mBq g}^{-1}$, para as amostras de fígado, $733,88 \text{ mBq g}^{-1}$, para as amostras de intestino $1553,36 \text{ mBq g}^{-1}$, para o conteúdo estomacal, $325,60 \text{ mBq g}^{-1}$ e, para o tecido muscular, foi evidenciada a menor atividade, correspondente a $22,66 \text{ mBq g}^{-1}$. O maior valor observado nesta espécie foi detectado nas amostras de cecos pilóricos onde se observou atividade média de $4656,08 \text{ mBq g}^{-1}$.

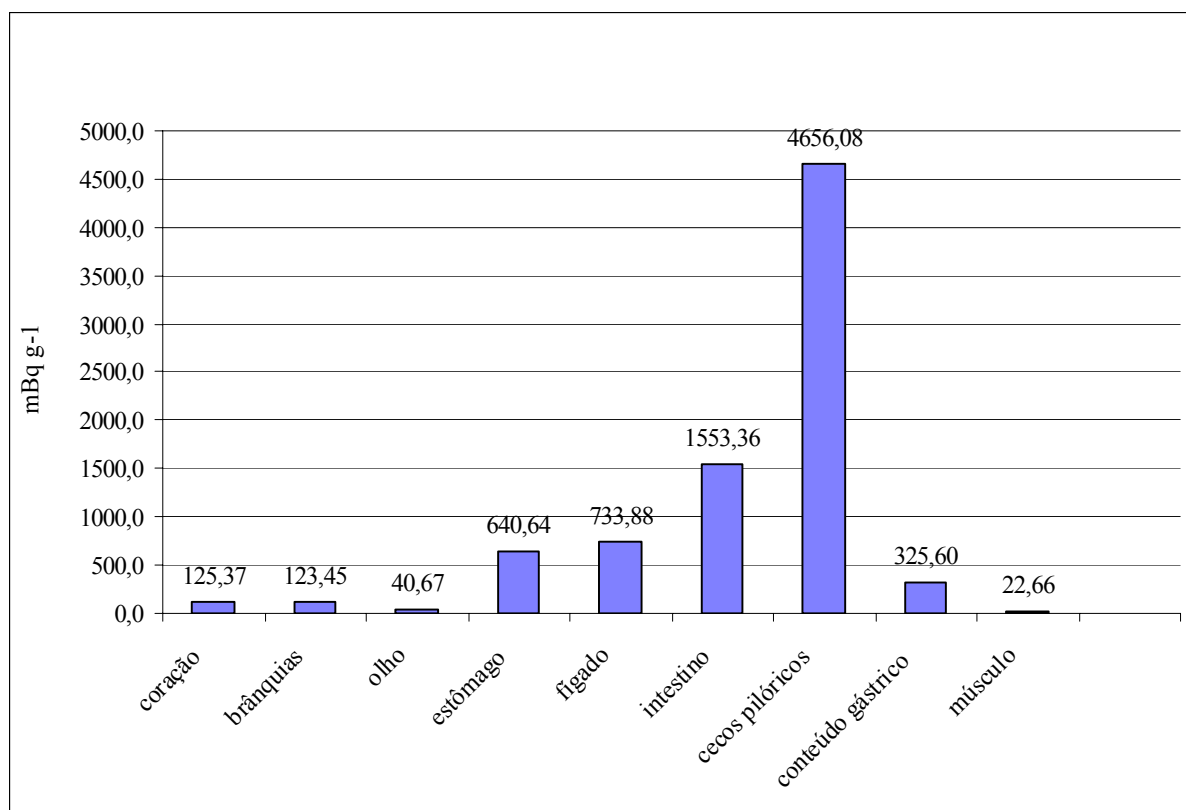


Figura 45. Distribuição da atividade de ^{210}Po (mBq g^{-1}) em órgãos e tecido muscular de atum (*T. atlanticus*)

Os dados obtidos para atividade do ^{210}Po foram transformados em porcentagem com objetivo de conhecer a distribuição deste nuclídeo no em base seca (Figura 40) e em base úmida (Figura 46). Observa-se na figura 40, que 60,3% da atividade do ^{210}Po em base seca se encontra nos cecos pilóricos e, a parte comestível representada pelo tecido muscular, detém 11,3 %. Os valores obtidos para base úmida indicam que o tecido muscular contribui com 13,3% da atividade, entretanto, para os cecos pilóricos, a contribuição é de 59,0% constituindo o órgão que contribui com a maior atividade nesta espécie conforme pode ser observado na figura 47.

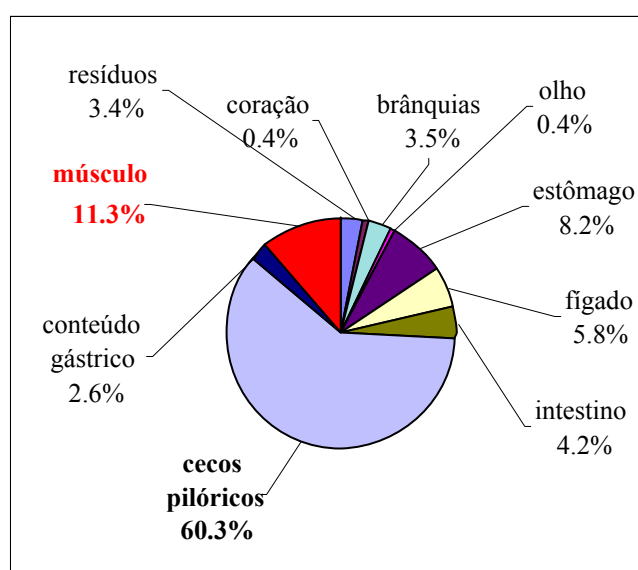


Figura 46. Distribuição da atividade do ^{210}Po em base seca em exemplares de atum (*T. atlanticus*)

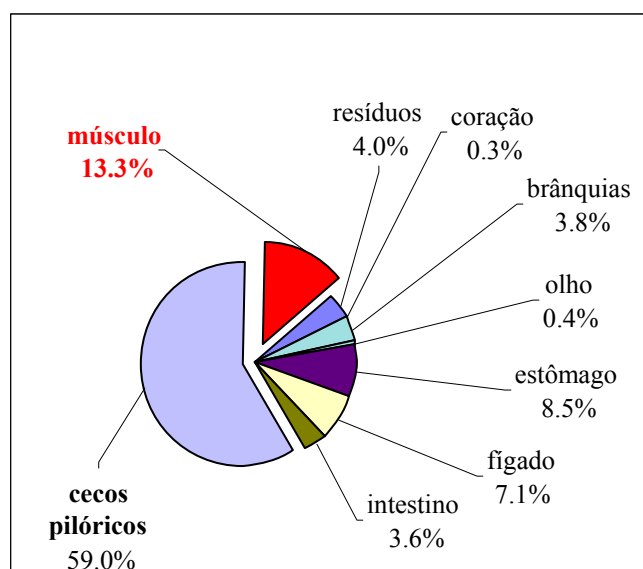


Figura 47. Distribuição da atividade do ^{210}Po em base úmida em atum (*T. atlanticus*)

Na tabela 20 demonstra-se as atividades médias, a dispersão, a distribuição das massas e das atividades de ^{210}Pb para as amostras de sardinha utilizadas neste estudo.

Também foi possível obter o cálculo relativo à atividade total por porções de 100g do peixe cujo valor encontrado foi de 3445.27 mBq g⁻¹ o que caracteriza uma atividade de 34.45 mBq g⁻¹ por grama de peixe fresco.

Tabela 20. Atividades médias (desvio padrão, DP), valores mínimos e máximos (min-máx) de ^{210}Po (mBq g⁻¹ base seca) e distribuições percentuais das massas e das atividades em órgãos e tecidos de atum (*T. atlanticus*).

Atum Órgãos e tecidos	n	Atividade média ±DP (mBq g ⁻¹)	Dispersão mín- max (mBq g ⁻¹)	Distribuição das massas* (%)	Distribuição das atividades* (%)
Coração	9	125,4±81,5	54,9 - 255,4	0,4	0,4
Estômago	9	640,0±336,3	320,4 - 1241,3	1,7	8,2
Fígado	9	733,9±283,9	304,4 - 1138,3	1,1	5,8
Brânquias	9	123,4±34,5	77,8 - 173,1	3,8	3,5
Intestino	9	1553,4±432,5	959,2 - 2190,9	0,4	4,2
Olho	9	40,7±16,7	18,9 - 60,9	1,3	0,4
Músculo	9	22,7±15,5	6,7 - 55,9	67,0	11,3
Cecos pilóricos	9	4656,1±2271,5	1657,7 - 9733,8	1,7	60,3
Resíduos**	9	20,0±	----	22,9	3,4
Conteúdo gástrico	6	325,6±216,8	61,1 - 683,9	1,1	2,6
Peixe inteiro		34,45		100	100

*calculadas em base úmida; **nadadeiras, vértebras, pele, escamas, cabeça.

A relação ^{210}Po tecido/ ^{210}Po músculo pode ser observada na figura 48, onde fica evidenciada que nos exemplares de atum, o coração apresenta atividade 6 vezes maior que o tecido muscular, as brânquias, 5 vezes, o olho 2 vezes, o estômago 28 vezes, o fígado 32 vezes e o intestino, 69 vezes. Nesta espécie também foi possível avaliar a atividade do ^{210}Po no conteúdo gástrico, que apresentou atividade 14 vezes superior àquelas observadas no tecido muscular e, a relação que merece maior destaque é a referente aos cecos pilóricos, que apresentam atividade 205 vezes maior que a determinada para porção muscular.

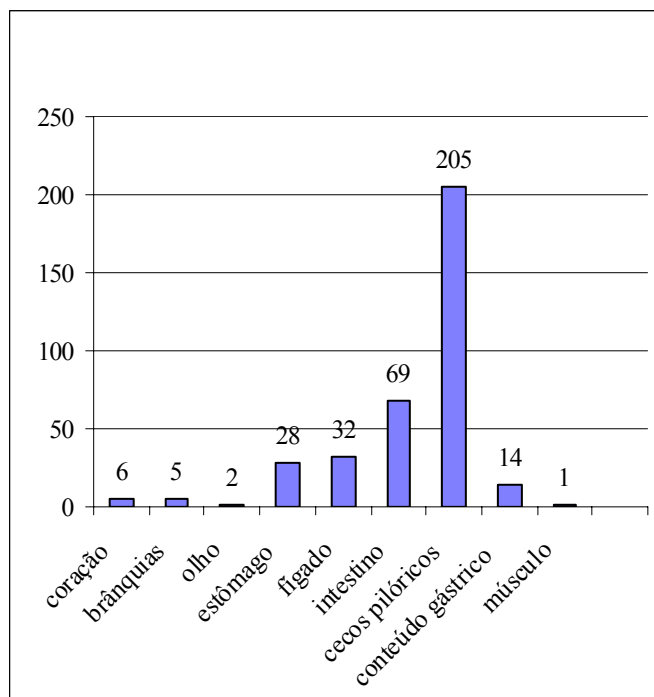


Figura 48. Relação ^{210}Po nos órgãos/ ^{210}Po no tecido muscular de amostras de atum (*T. atlanticus*).

4.4.2 ^{210}Pb

Este elemento foi calculado da mesma forma que nas espécies anteriores demonstrando amplitude variando entre $0,41 \text{ mBq g}^{-1}$ no tecido muscular a $997,85 \text{ mBq g}^{-1}$ nas brânquias, órgão que apresentou também a maior atividade média ($190,21 \pm 361.54 \text{ mBq g}^{-1}$), contribuindo com 39,3% da atividade total de ^{210}Pb nesta espécie. Estes valores são observados na tabela 21, onde também são demonstrados as atividades médias e os desvios padrão para cada órgão, a distribuição das massas e a dispersão dos valores obtidos.

Tabela 21. Atividades médias (desvio padrão, DP), valores mínimos e máximos (min-máx) de ^{210}Pb (mBq g^{-1} base seca), distribuições percentuais das massas e distribuição das atividades em órgãos e tecidos do atum

Atum Órgãos e tecidos	n	Atividade média \pm DP (mBq g^{-1})	Dispersão mín-máx (mBq g^{-1})	Distribuição das massas* (%)	Distribuição das atividades* (%)
Coração	9	5,04 \pm 3,62	1,68-12,82	0,38	0,1
Estômago	9	48,64 \pm 60,24	0,96-172,73	1,82	5,1
Fígado	9	46,80 \pm 47,02	8,00-163,54	1,19	3,2
Brânquias	9	190,21 \pm 361,54	3,55-997,85	3,57	39,3
Intestino	9	72,81 \pm 83,32	6,46-285,03	0,37	1,6
Olho	9	2,26 \pm 1,21	0,55-4,14	1,25	0,2
Músculo	9	1,21 \pm 0,55	0,41-2,19	69,07	4,8
Cecos pilóricos	9	132,65 \pm 79,19	34,11- 287,12	1,81	13,9
Conteúdo gástrico	3	13,63 \pm 10,07	3,44-27,61	1,12	0,9
Resíduos	-----	20,00	-----	26,70	30,9

Os dados relativos à distribuição de ^{210}Pb nesta espécie de peixe podem ser visualizados na figura 49 onde pode ser observado que o órgão que apresenta maior atividade média são as brânquias ($190,21 \text{ mBq g}^{-1}$), seguido pelos cecos pilóricos ($132,65 \text{ mBq g}^{-1}$), intestino ($72,81 \text{ mBq g}^{-1}$), estômago ($48,64 \text{ mBq g}^{-1}$), fígado ($46,80 \text{ mBq g}^{-1}$), conteúdo gástrico ($13,63 \text{ mBq g}^{-1}$), coração ($5,04 \text{ mBq g}^{-1}$), olho ($2,26 \text{ mBq g}^{-1}$) e músculo ($1,21 \text{ mBq g}^{-1}$).

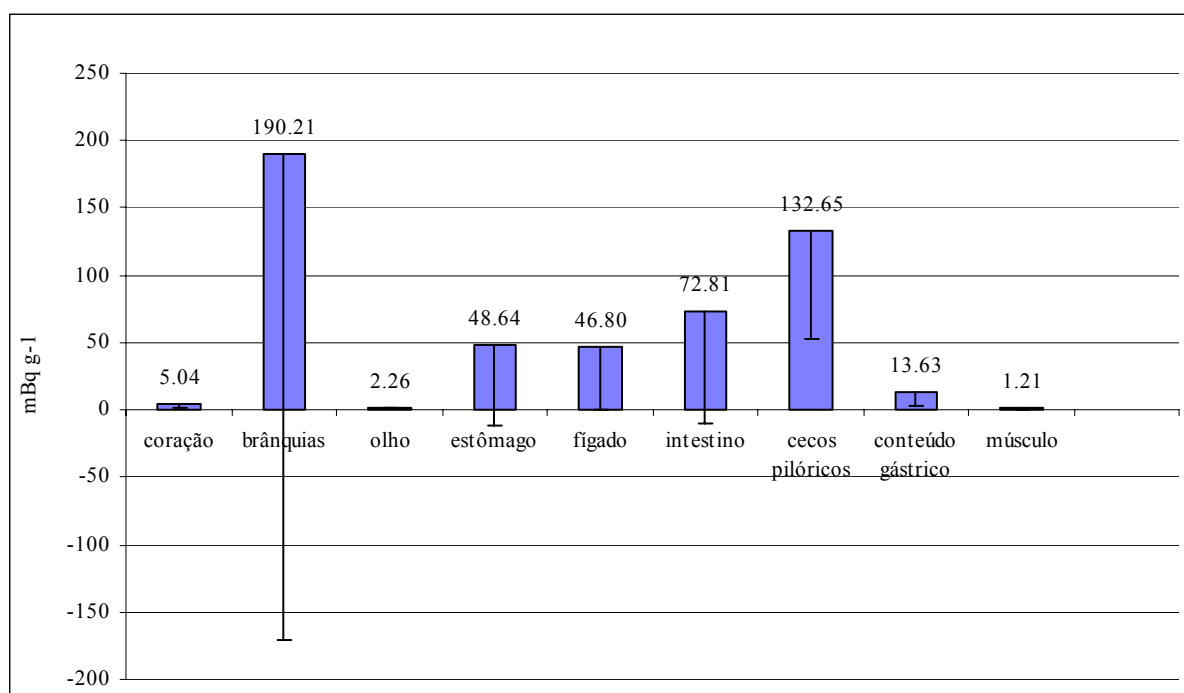


Figura 49. Distribuição da atividade de ^{210}Pb (mBq g^{-1}) em órgãos e tecido muscular de atum (*T. atlanticus*)

Em função da distribuição das massas nesta espécie, demonstrado através da figura 50, observou-se que, apesar da baixa atividade verificada para porção muscular ($1,21 \pm 0,55 \text{ mBq g}^{-1}$), esta contribui com somente 4,8%. Considerando a distribuição de cada órgão e tecido analisados, a contribuição para atividade do ^{210}Pb foi calculada e pode ser observada figura 43. Evidenciou-se que a menor contribuição é verificada para o coração e os olhos (0,1 e 0,2% respectivamente), seguido pelo conteúdo gástrico (0,9%), pelo intestino (1,6%), pelo fígado (3,2%), músculo (4,8%), estômago (5,1%), cecos pilóricos (13,9%), resíduos não estudados (30,9%) e, a maior contribuição verificada foi observada nas brânquias (39,3%).

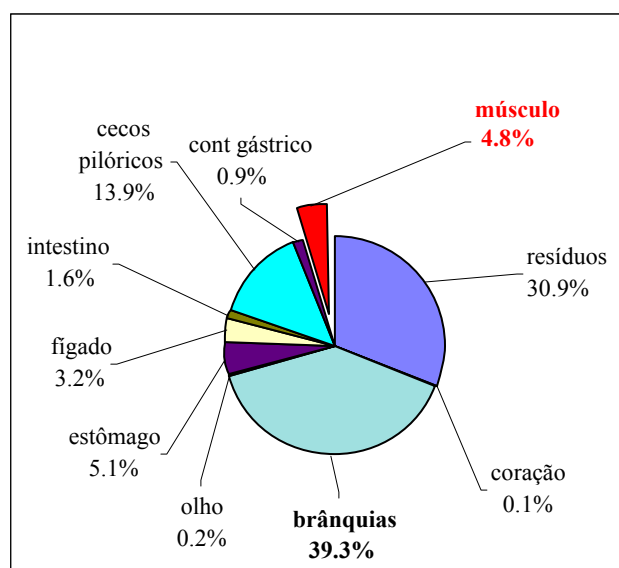


Figura 50. Distribuição percentual da atividade do ^{210}Pb em amostras de atum (*T. atlanticus*).

Os resultados individuais, a dispersão verificada em cada porção analisada, assim como os valores médios e desvio padrão relativos à concentração de ^{210}Pb em cada porção estudada são demonstrados na tabela 22.

A menor atividade de ^{210}Pb verificada para o atum foi de $0,41 \text{ mBq g}^{-1}$, na porção muscular, fato também observado para as demais espécies estudadas. Entretanto, curiosamente e diferente das demais espécies estudadas, a maior atividade foi observada nas brânquias, de $997,85 \text{ mBq g}^{-1}$. A segunda maior atividade também foi observada nas brânquias, de 610 mBq g^{-1} .

Tabela 22. Concentração individual, valores mínimos, máximos e médios e desvio padrão de ^{210}Pb em órgãos e tecido muscular de atum (*T. atlanticus*)

Espécie	Amostras									Valor Mín	Valor. Máx	M ± DP
	Atum	1	2	3	4	5	6	7	8			
Coração	1,68	2,20	2,89	3,06	3,38	5,58	12,82	8,72	5,04	1,68	12,82	5,04±3,62
Estômago	0,96	25,19	47,99	17,14	10,75	25,89	128,00	172,73	9,11	0,96	172,73	48,64±60,24
Fígado	30,66	25,19	32,26	61,67	8,00	40,18	49,50	163,54	10,19	8,00	163,54	46,80±47,02
Brânquias	5,60	610,00	3,55	52,91	6,35	6,79	997,85	23,31	5,57	3,55	997,85	190,21±361,54
Intestino	34,16	49,18	285,03	6,46	46,62	42,12	100,20	55,99	35,55	6,46	285,03	72,81±83,32
Músculo	1,03	0,41	1,37	2,19	1,23	0,67	0,97	1,87	1,17	0,41	2,19	1,21±0,55
Olho	2,60	0,55	1,42	2,41	1,98	4,14	4,11	1,63	1,50	0,55	4,14	2,26±1,21
Conteúdo gástrico	-----	5,05	21,00	6,16	3,44	18,50	-----	27,61	-----	3,44	27,61	13,63±10,07
Cecos pilóricos	79,15	113,37	287,12	123,47	34,11	126,59	123,31	231,80	74,94	34,11	287,12	132,65±79,19

Um perfil bastante significativo da distribuição do polônio e do chumbo no organismo desta espécie de peixe, da relação entre estes radionuclídeos no peixe inteiro, entre cada órgão e do polônio presente na porção muscular em relação ao presente em cada porção estudada pode ser observado na tabela 23.

Tabela 23. Distribuição e relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$, $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Po}$ (músculo x órgãos) $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Pb}$ (músculo x órgão) e $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ (mBq g⁻¹) em cada órgão e tecido em peixes da espécie *T. atlanticus*.

Atum Tecido/órgãos	^{210}Po	^{210}Pb	$^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$	$^{210}\text{Po}/^{210}\text{Po}_{\text{músc}}$	$^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Pb}_{\text{músc}}$	^{210}Po vs ^{210}Pb músc.
Coração	125,37	5,04	24,9	5,5	4,2	1,3
Brânquias	123,45	190,21	0,6	5,4	157,2	0,03
Olho	40,67	2,26	18,0	1,8	1,9	1,0
Estômago	640,64	48,64	13,2	28,3	40,2	0,7
Fígado	733,88	46,80	15,7	32,4	38,7	0,8
Intestino	1553,36	72,81	21,3	68,6	60,2	1,1
Conteúdo gástrico	325,60	13,63	23,9	14,4	11,3	1,3
Músculo	22,66	1,21	18,7	1,0	1,0	1,0
Cecos pilóricos	4656,08	132,65	35,1	205,5	109,6	1,9

A representação gráfica da relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ no atum pode ser observada na figura 51, em cada porção estudada onde se verifica uma relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ variando entre 0,6 nas brânquias a 35,1 nos cecos pilóricos.

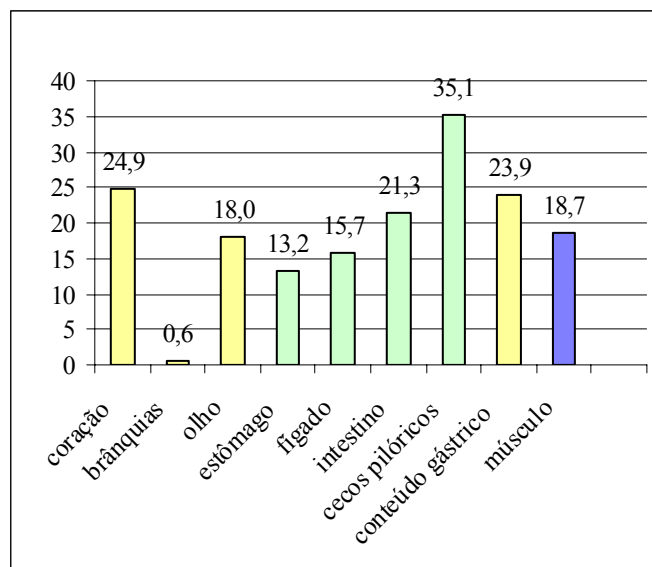


Figura 51. Relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em órgãos e tecido de atum (*T. atlanticus*)

Quando comparamos a preferência de acumulação do ^{210}Po em relação ao ^{210}Pb nos órgãos em relação ao tecido muscular, considerado como padrão, observamos que os órgãos do sistema digestório concentram preferencialmente mais ^{210}Po numa relação de 1,9 vezes para os cecos pilóricos, 1,1 vez mais para o intestino, 1,3 vezes para o conteúdo gástrico, 0,8 vezes para o fígado e 0,7 vezes para o estômago. 1,3 vezes para o coração, 0,03 vezes para as brânquias e, no músculo e no olho a relação é de 2:1, ou seja, estes órgãos concentram o dobro do polônio com relação ao chumbo. Estes valores são demonstrados na figura 52.

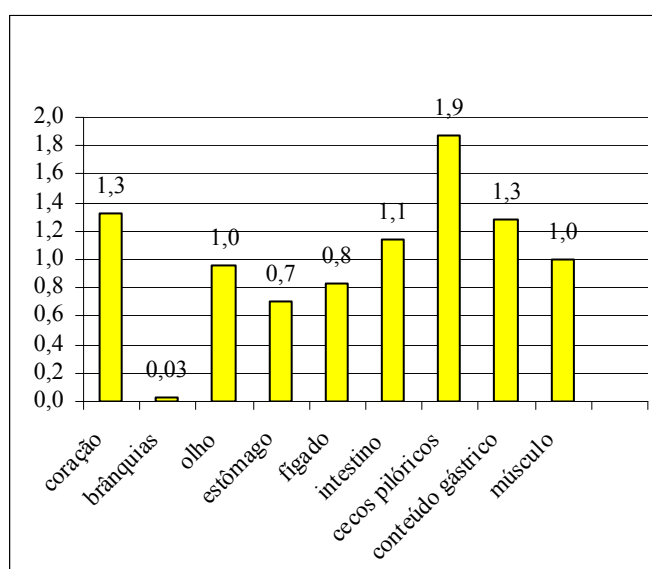


Figura 52. Tendência de acumulação do ^{210}Po em relação ao ^{210}Pb em relação ao tecido muscular (considerado como padrão) de atum (*T. atlanticus*)

A relação entre ^{210}Pb nos órgãos e ^{210}Pb no tecido muscular também merece destaque e é bem caracterizada através da figura 53 onde se observa para os olhos, uma relação de 2:1, para o coração, de 4:1, para o fígado, de 39:1, para o estômago, de 40:1, para o intestino, de 60:1, para os cecos pilóricos, de 110:1 e a maior relação foi observada nas brânquias, onde evidenciou-se uma atividade 157 vezes maior que no tecido muscular.

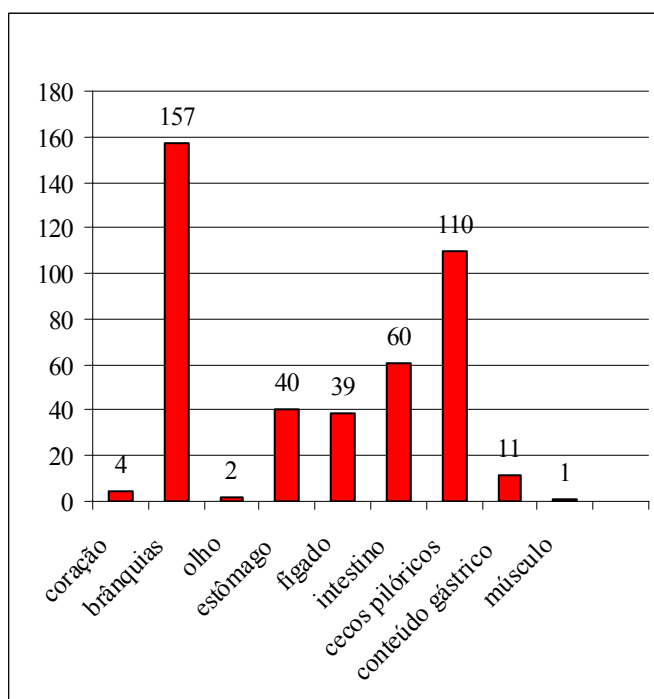


Figura 53. Relação entre ^{210}Pb nos órgãos e ^{210}Pb no tecido muscular de atum (*T. atlanticus*)

4.5. CAMARÃO (*L. brasiliensis*)

4.5.1 ^{210}Po

Os dados relativos às massas em base úmida dos exemplares desta espécie demonstram, que 45,7% do peso total está relacionado ao tecido muscular, 5,5% aos pleópodes, 5,4% ao hepatopâncreas, 3,2% a carapaça, 2,4% ao conteúdo da cabeça, 1,4% aos olhos e 36,4% aos resíduos não estudados (figura 54).

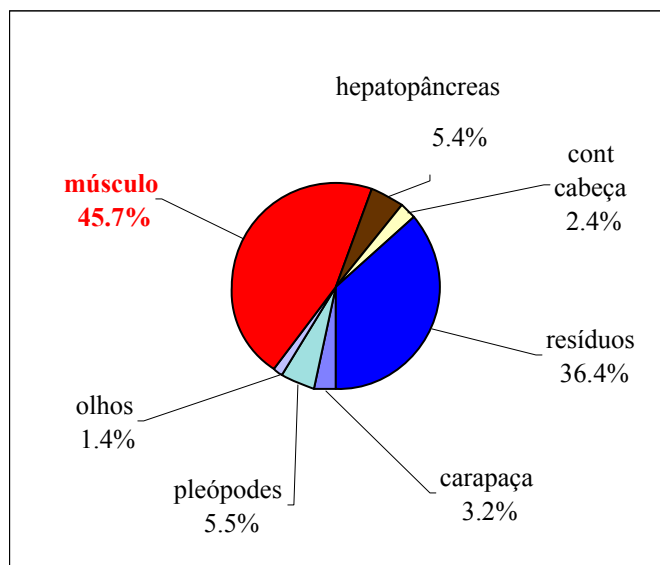


Figura 54. Distribuição das massas nos exemplares de camarão (*L. brasiliensis*)

Os valores referentes às concentrações individuais, assim como os valores médios, desvio padrão e valores máximos e mínimos de ^{210}Po em cada órgão e tecido do camarão podem ser observados na tabela 24.

Tabela 24. Concentração individual, valores mínimos, máximos e médios e desvio padrão de ^{210}Po em órgãos e tecido muscular de camarão (*L. brasiliensis*)

Espécie	Amostras									Valor Mín	Valor. Máx	M ± DP
	Atum	1	2	3	4	5	6	7	8			
Carapaça	4,71	20,58	17,67	75,84	32,26	38,75	135,55	149,28	15,02	4,71	149,28	54,41±53,96
Pleópodes	14,57	16,74	20,44	41,72	26,90	38,77	83,30	283,91	55,60	14,57	283,91	64,66±85,06
Olhos	28,19	4,93	50,91	38,39	71,92	62,53	57,31	157,90	94,70	4,93	157,90	62,98±43,96
Músculo	3,47	2,32	8,72	11,08	16,85	18,35	21,65	105,05	91,97	2,32	109,37	31,05±38,93
Hepatopâncreas	111,58	10,82	1242,47	1414,93	1668,45	1200,23	994,24	994,47	5507,41	10,82	5507,41	1460,51±1616,08
Conteúdo cabeça	768,75	587,98	647,61	457,90	416,28	748,72	4652,36	284,89		284,89	4652,36	1070,56±1456,83

De acordo com os dados obtidos nas contagens das atividades nos diferentes órgãos estudados em base seca, obteve-se, para a carapaça, uma média de $54,41 \text{ mBq g}^{-1}$, para os pleópodes, de $64,66 \text{ mBq g}^{-1}$, para os olhos, $62,98 \text{ mBq g}^{-1}$, para as amostras de hepatopâncreas, $1460,51 \text{ mBq g}^{-1}$, para as amostras relacionadas ao conteúdo da cabeça, o correspondente a $1070,56 \text{ mBq g}^{-1}$, para a porção muscular, foi evidenciada a menor atividade, correspondente a $31,05 \text{ mBq g}^{-1}$ (figura 55).

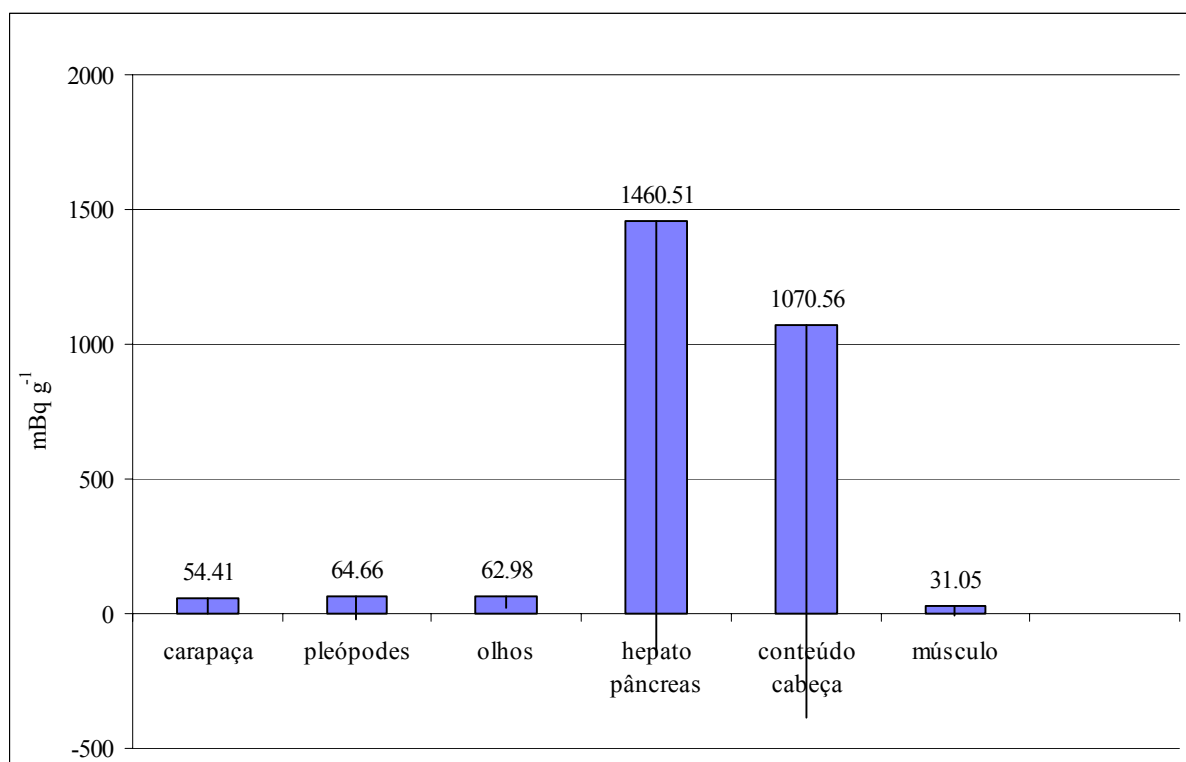


Figura 55. Distribuição da atividade do ^{210}Po (mBq g^{-1}) em órgãos e tecido muscular de camarão (*L. brasiliensis*)

Os dados obtidos para atividade do ^{210}Po foram transformados em porcentagem com objetivo de conhecer a distribuição deste elemento no camarão. Observa-se na figura 56, que 62,4% da atividade do ^{210}Po em base seca se encontra no hepatopâncreas e 20,6% no conteúdo da cabeça. Estas duas porções juntas detêm 83% da atividade total do ^{210}Po no camarão. A parte comestível representada pelo tecido muscular, detém 11,3 %.

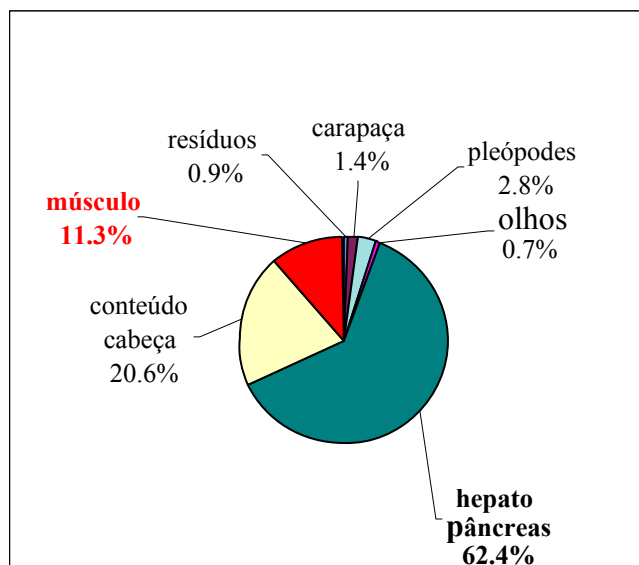


Figura 56. Distribuição da atividade do ^{210}Po em base seca em exemplares de camarão (*L. brasiliensis*)

Com objetivo de traçar um perfil das atividades em massa seca e massa fresca do ^{210}Po no camarão, determinou-se o teor de umidade da cada porção estudada e com estes dados, calcularam-se as atividades médias em massa fresca e seca e as atividades totais, também em massa fresca e seca, cujos resultados são demonstrados na tabela 25.

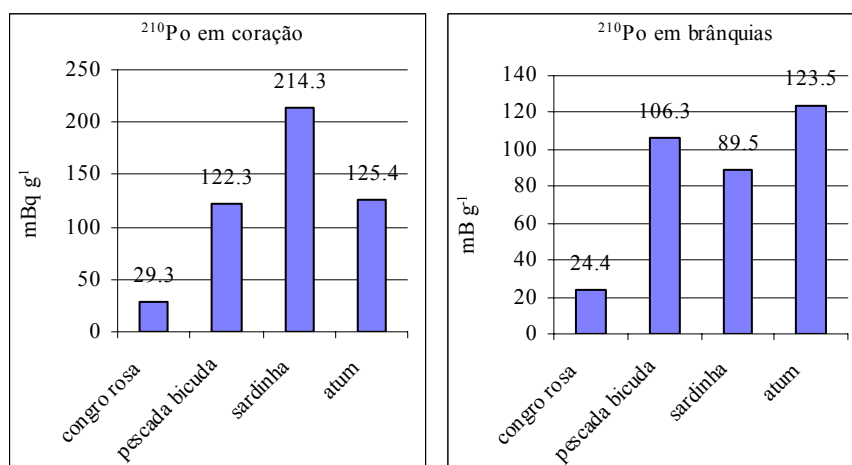
Também foi possível obter o cálculo relativo à atividade total por porções de 100g do camarão cujo valor encontrado foi de 3947,16 mBq g⁻¹ o que caracteriza uma atividade de 39.47 mBq g⁻¹ por grama de camarão fresco.

Tabela 25. Atividades médias (desvio padrão, DP), valores mínimos e máximos (min-máx) de ^{210}Po (mBq g^{-1} base seca), distribuições percentuais das massas e das atividades em órgãos e tecidos de camarão (*L. brasiliensis*)

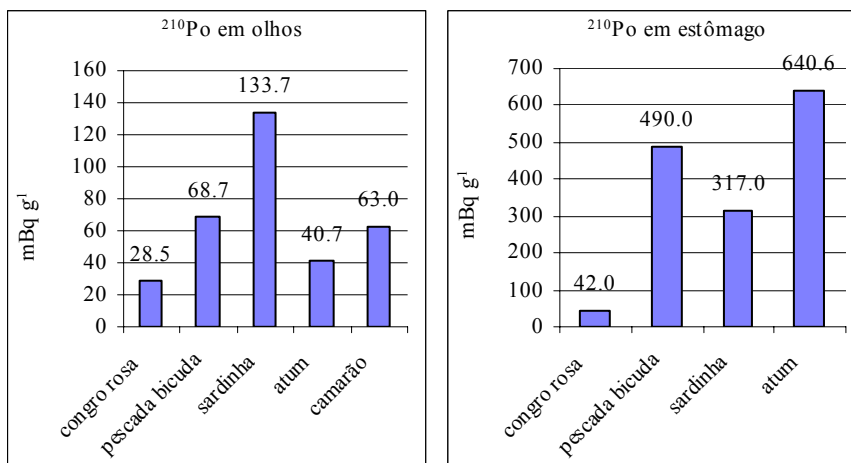
Camarão Órgãos e tecidos	n	Atividade média \pm DP (mBq g^{-1}) (massa seca)	Atividade média (mBq g^{-1}) (massa fresca)	Distribuiçã o das massas* (%)	Distribuição das atividades* (%)	Atividade total (mBq g^{-1}) (massa seca)	Atividade total (mBq g^{-1}) (massa fresca)
Carapaça	9	54,41 \pm 53,96	24,29	3,24	2,0	176,5	78,71
Pleópodes	9	64,66 \pm 85,1	10,24	5,64	4,1	364,6	57,77
Olhos	9	62,98 \pm 44,0	13,91	1,4	1,0	88,4	19,48
Hepatopâncreas	9	1460,51 \pm 161, 1	420,04	5,53	91,6	8074,3	2322,84
Conteúdo de cabeça	8	1070,56 \pm 1456 ,83	315,92	2,49	30,2	2663,6	786,65
Músculo	9	31,05 \pm 38,9	7,37	46,92	16,5	1456,9	345,57
Resíduos	9	3,00	9	37,35	1,3	112,1	33,62
Organismo inteiro		39,5					

4.6 APRESENTAÇÃO GRÁFICA COMPARATIVA DO TEOR DE ^{210}Po ENTRE OS TECIDOS DAS ESPÉCIES DE PEIXES ESTUDADAS

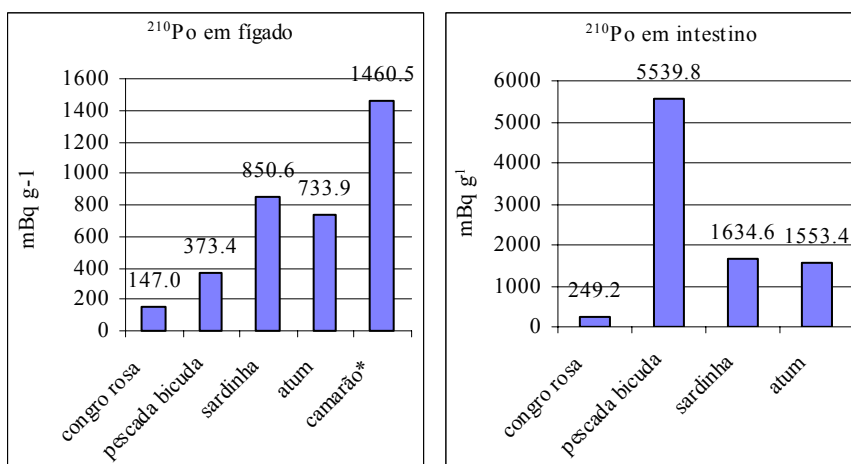
Para facilitar a análise comparativa dos resultados obtidos nas análises, apresentamos abaixo as figuras relativas ao teor de ^{210}Po entre os tecidos e órgãos das espécies analisadas (figuras 57 a 65).



Figuras 57 e 58. Atividade de ^{210}Po em amostras de coração e brânquias de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*)



Figuras 59 e 60. Atividade de ^{210}Po em amostras de olhos e estômago de congros rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*)



Figuras 61 e 62. Atividade de ^{210}Po em amostras de fígado e intestino de congros rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*)

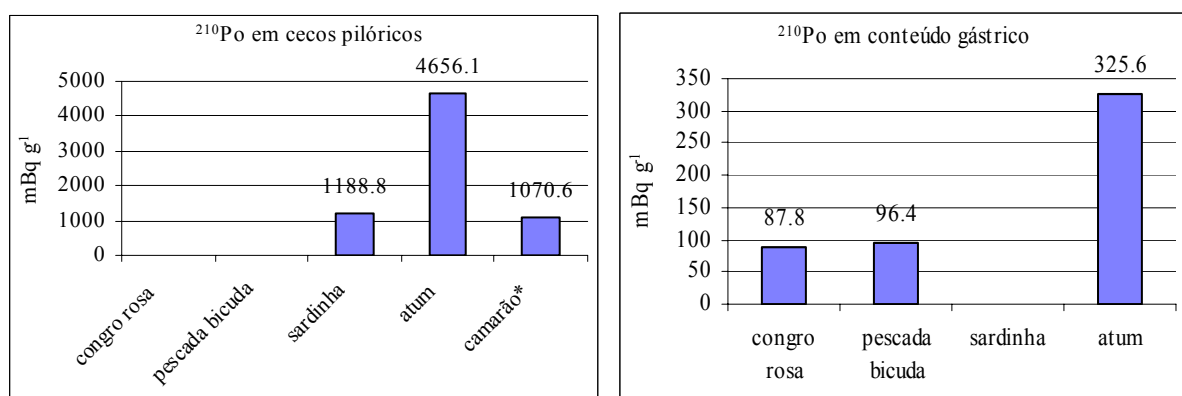


Figura 63 e 64. Atividade de ^{210}Po em amostras de cecos pilóricos e conteúdo gástrico de congros rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*)

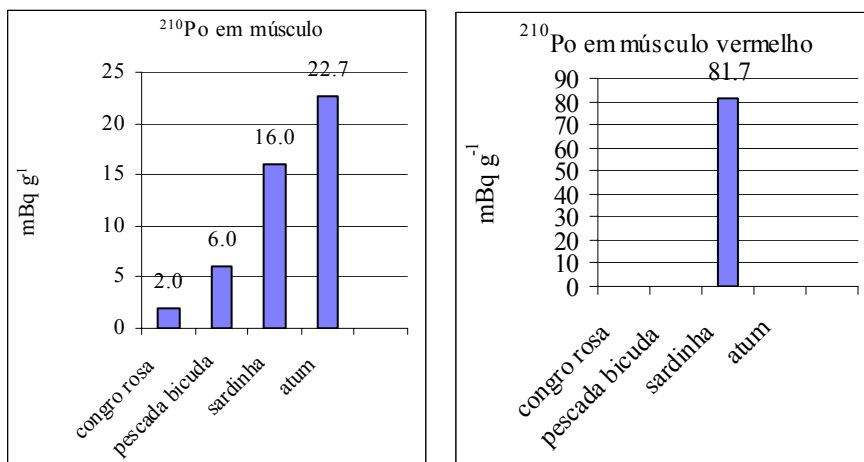


Figura 65 e 66. Atividade de ^{210}Po em amostras de músculo branco e músculo vermelho (somente sardinha) de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*)

4.7 APRESENTAÇÃO GRÁFICA COMPARATIVA DO TEOR DE ^{210}Pb ENTRE OS TECIDOS DAS ESPÉCIES DE PEIXES ESTUDADAS

O mesmo parâmetro de comparação foi realizado para o ^{210}Pb nos tecidos das espécies de peixe estudadas cujos resultados também são demonstrados através de figuras (figuras 66 a 74).

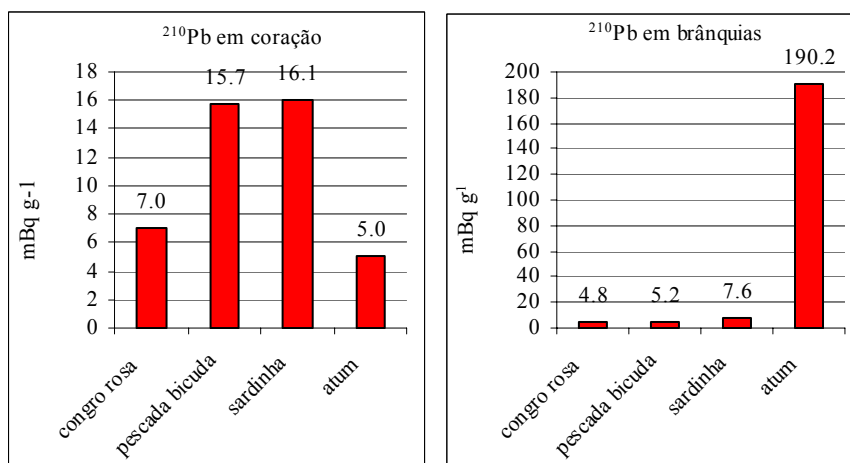


Figura 67 e 68. Atividade de ^{210}Pb em amostras de coração e brânquias de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*).

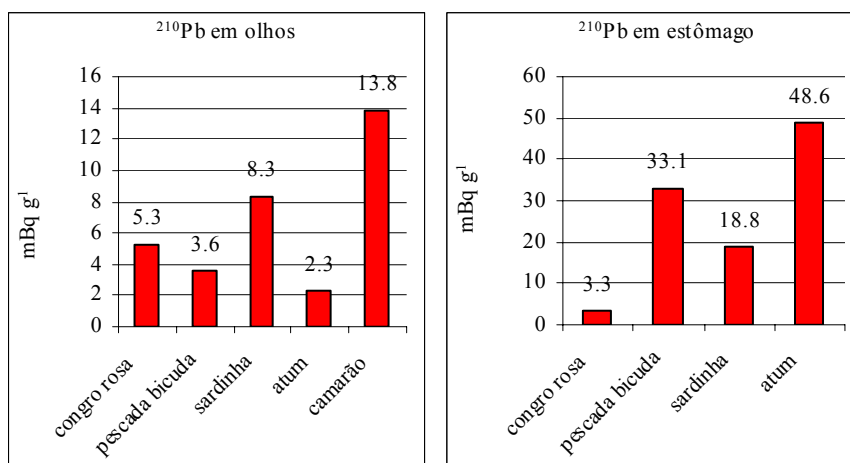
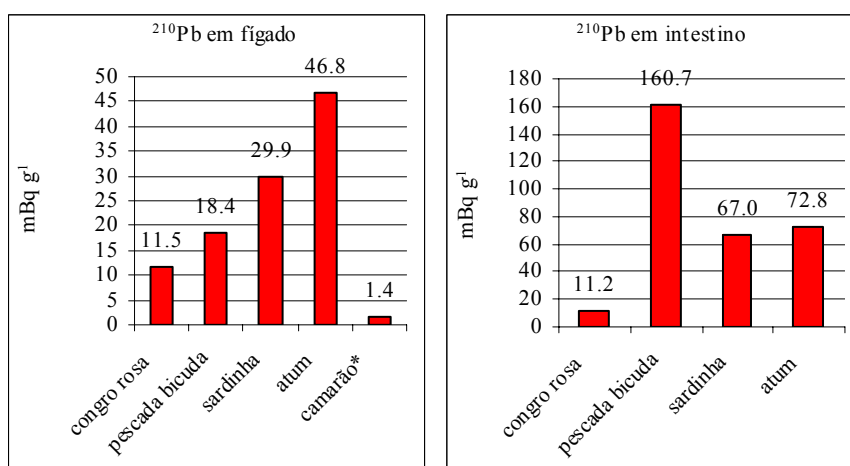
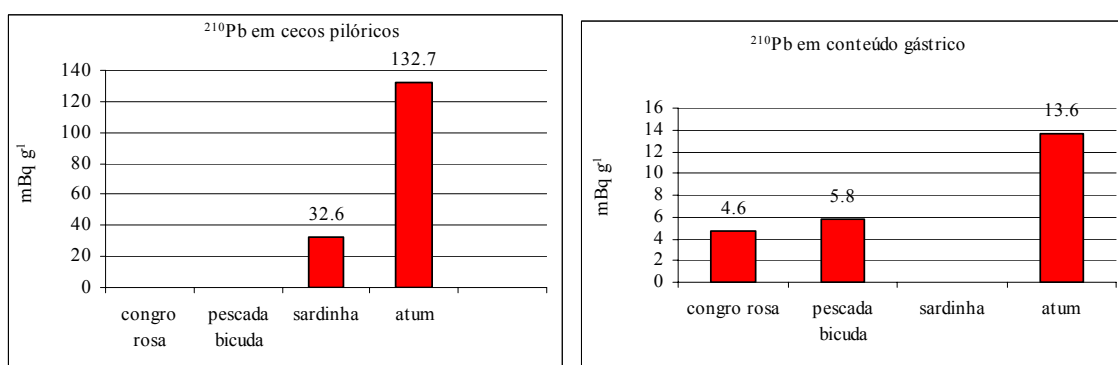


Figura 69 e 70. Atividade de ^{210}Pb em amostras de olho e estômago de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*)



Figuras 71 e 72. Atividade de ^{210}Pb em amostras de fígado e intestino de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*)



Figuras 73 e 74. Atividade de ^{210}Pb em amostras de cecos pilóricos e conteúdo gástrico de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*)

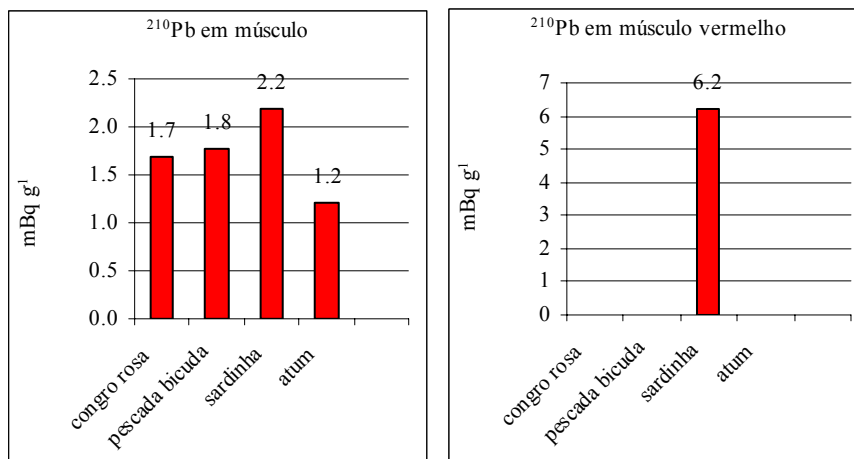
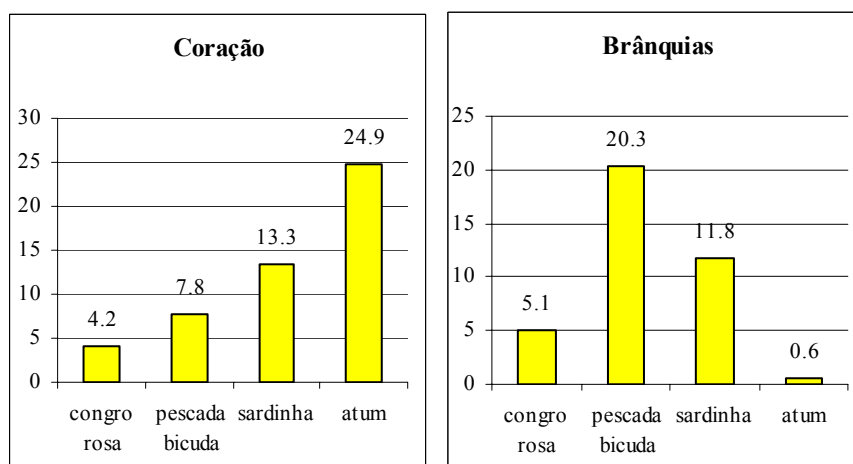


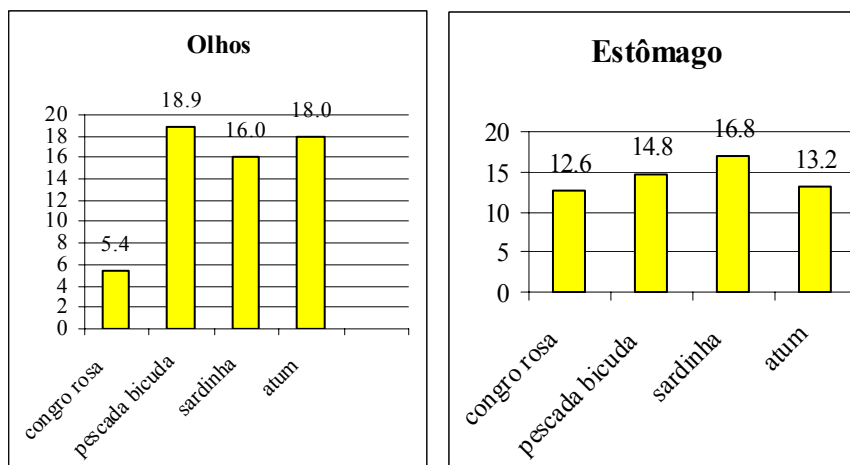
Figura 75 e 76. Atividade de ^{210}Pb em amostras de músculo branco e músculo vermelho de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*)

4.8 COMPARAÇÃO DAS RELAÇÕES $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ NOS TECIDOS DOS PEIXES

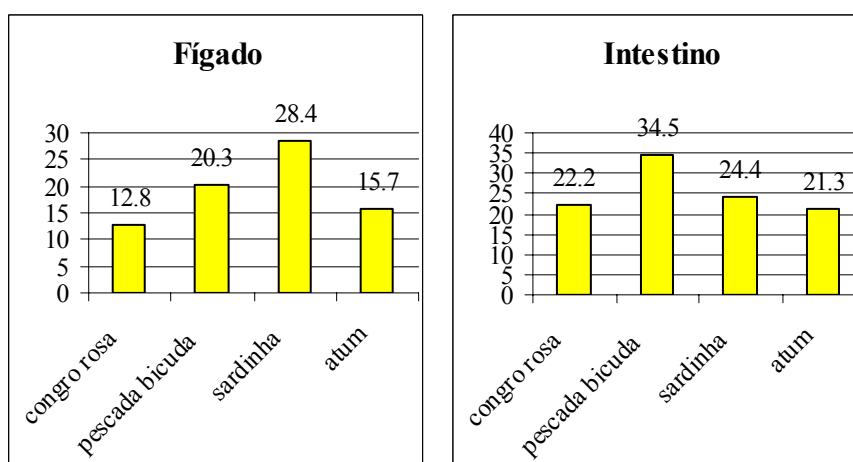
Realizou-se uma comparação gráfica das relações $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ nos tecidos dos peixes cujos resultados podem ser observados nas figuras (75 a 84) a seguir.



Figuras 77 e 78. Relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em amostras de coração e brânquias de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*)



Figuras 79 e 80. Relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em amostras de olhos e estômago de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*)



Figuras 81 e 82. Relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em amostras de fígado e intestino de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*)

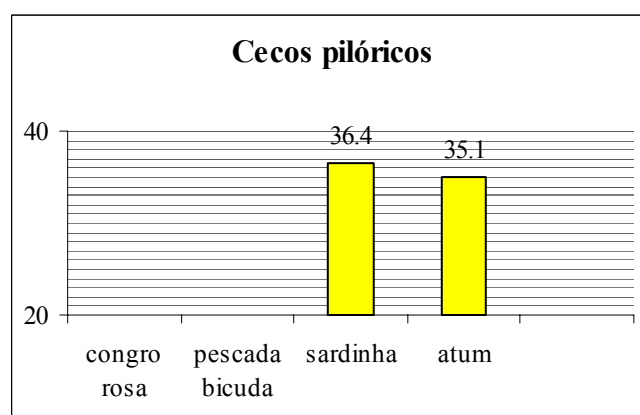


Figura 83. Relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em amostras de cecos pilóricos de sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*)

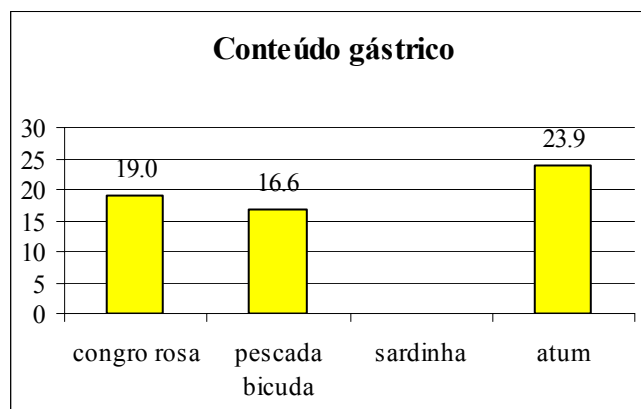
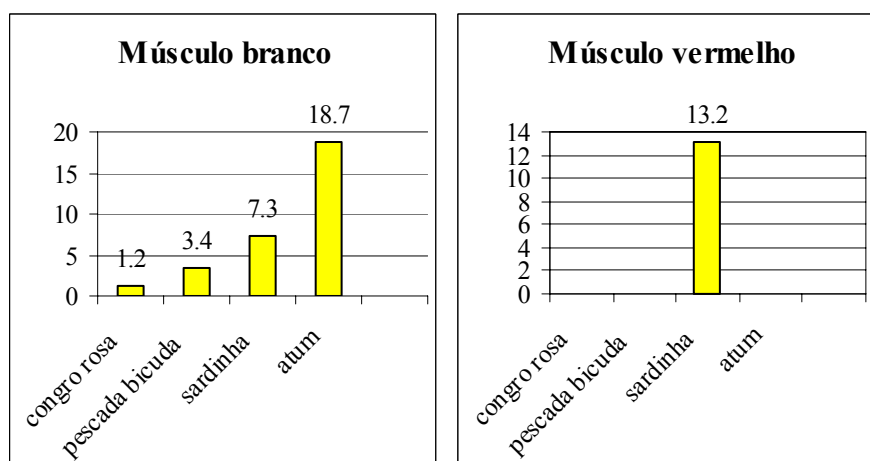


Figura 84. Relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em amostras de conteúdo gástrico de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*) e atum (*T. atlanticus*)



Figuras 85 e 86. Relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ em amostras de músculo branco e vermelho (somente sardinha) de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*).

4.9 FATORES DE CONCENTRAÇÃO (F_c) APARENTES DE ^{210}Po A PARTIR DA ÁGUA DO MAR NAS ESPÉCIES ESTUDADAS

O fator de concentração (F_c) de polônio foi calculado estimando uma concentração média de ^{210}Po na água do mar de $0,9 \text{ mBq dm}^{-3}$ (PARFENOV, 1974; SKWARZEC, 1988; BELLAMY e HUNTER, 1977; AARKROG et al., 1997). Considerando os F_c para cada órgão e tecido no congro rosa, o menor valor foi obtido para tecido muscular ($F_c = 449$) e, o maior, para o fígado (80.828) seguido pelo intestino (55.772). A pescada bicuda foi a espécie mais ativa demonstrando o menor valor para tecido muscular ($F_c = 1574$) e, o maior, para o intestino (1.845.366) seguido pelo fígado (184.279), valores bem superiores àqueles descritos para os exemplares de congro rosa. Nas amostras de sardinha o fator de

concentração foi calculado em 71.749 para o peixe inteiro, 709.230 para o intestino, 4.848 para as porções de músculo branco e 7.341 para o músculo vermelho. O resultado calculado para o atum levou a um fator aparente de concentração (Fc) de 38.281 para o peixe inteiro, de 1296977 para os cecos pilóricos e o valor mais baixo também foi observado na porção muscular, de 7.594. No camarão o resultado foi de 43.857 para o organismo inteiro, de 466.714 no hepatopâncreas e de 8.183 para a porção muscular. Estes valores podem ser observados nas tabelas 26 e 27.

Tabela 26. Fatores de concentração (Fc, base úmida) em órgãos e tecidos de congro rosa (*G. brasiliensis*), pescada bicuda (*C. microlepidotus*), sardinha (*S. brasiliensis*) e atum (*T. atlanticus*)

Espécies de peixes	Congro rosa	Pescada bicuda	Sardinha	Atum
Órgãos e tecidos	Fc* (x10³)	Fc* (x10³)	Fc* (x10³)	Fc* (x10³)
Coração	6,7	37,7	77,2	30,6
Estômago	9,2	131,4	125,9	189,8
Fígado	80,2	184,3	296,5	255,8
Brânquias	6,3	34,4	24,9	38,7
Intestino	55,8	1845,4	709,2	375,4
Olhos	6,3	16,2	32,3	11,5
Músculo	0,4	1,6	4,8	7,5
Peixe inteiro	4,6	18,7	71,8	38,3

Tabela 27. Fatores de concentração (Fc, base úmida) em órgãos e tecidos de camarão (*L. brasiliensis*)

Camarão	n	Fc* (x10³)
Órgãos e tecidos		
Carapaça	9	27,0
Pleópodes	9	11,4
Olhos	9	15,5
Hepatopâncreas	9	466,7
Conteúdo de cabeça	8	351,0
Músculo	9	8,1
Organismo inteiro		43,8

O fator de concentração do ^{210}Po nos organismos inteiros a partir da água do mar pode ser observado na figura 85. O fator estimado para a porção muscular demonstrou valores crescentes de 449 (congro rosa), 1574 (pescada bicuda), 4848 (sardinha), 7594 (atum) e, o mais alto valor (8183) para o camarão (figura 86).

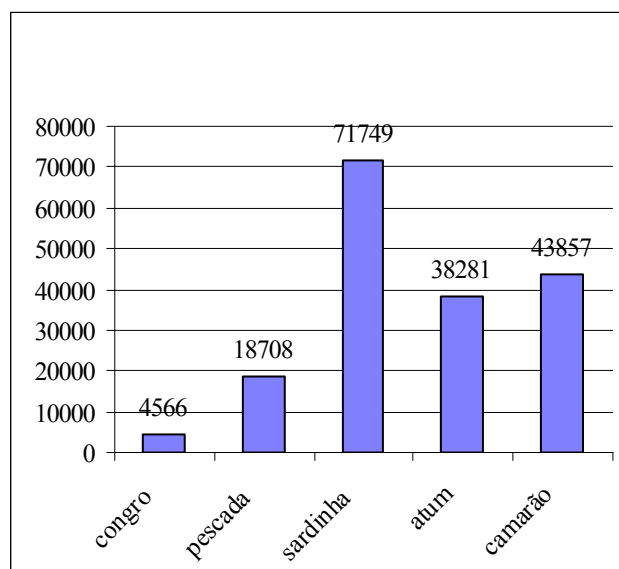


Figura 87. Fator de concentração (Fc) do ^{210}Po nos organismos inteiros a partir da água do mar

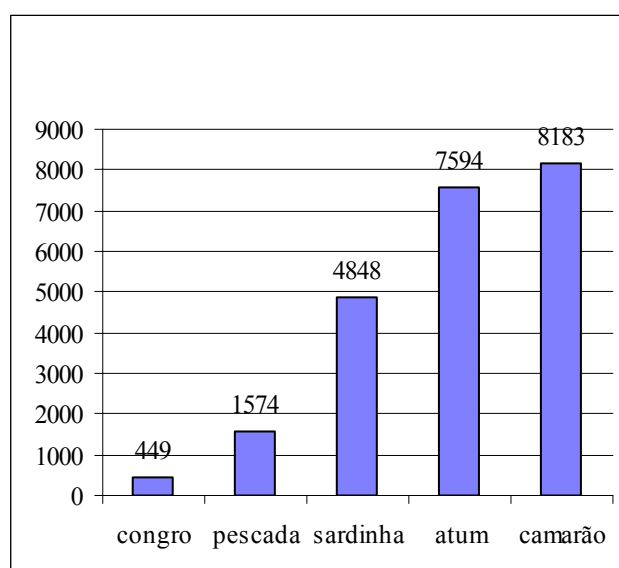


Figura 88. Fator de concentração do ^{210}Po no músculo a partir da água do mar para as espécies estudadas.

O fator de concentração (Fc) para o órgão mais ativo de cada espécie pode ser observado na figura 87. É importante salientar que para as amostras de congro o órgão mais

ativo foi o fígado, para as amostras de pescada e sardinha foi o intestino, para as amostras de atum os cecos pilóricos e, para o camarão, o hepatopâncreas.

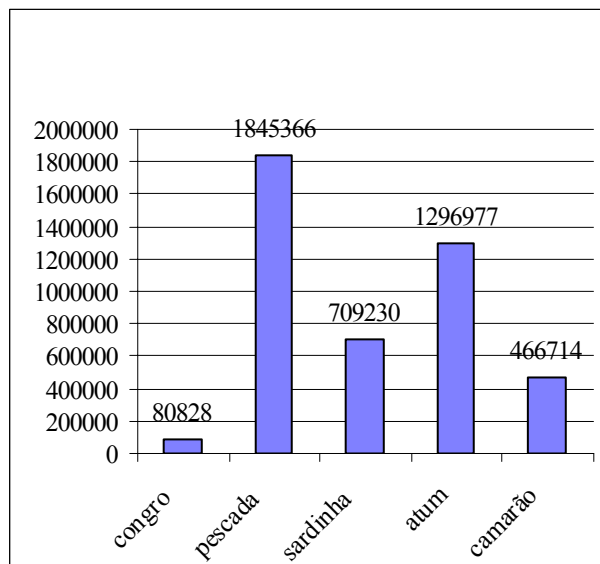


Figura 89. Fator de concentração (Fc) do ^{210}Po no órgão mais ativo de cada espécie, a partir da água do mar.

Os fatores de concentração do ^{210}Po em cada órgão e para cada espécie estudada são demonstrados nas figuras que se seguem (88 a 93).

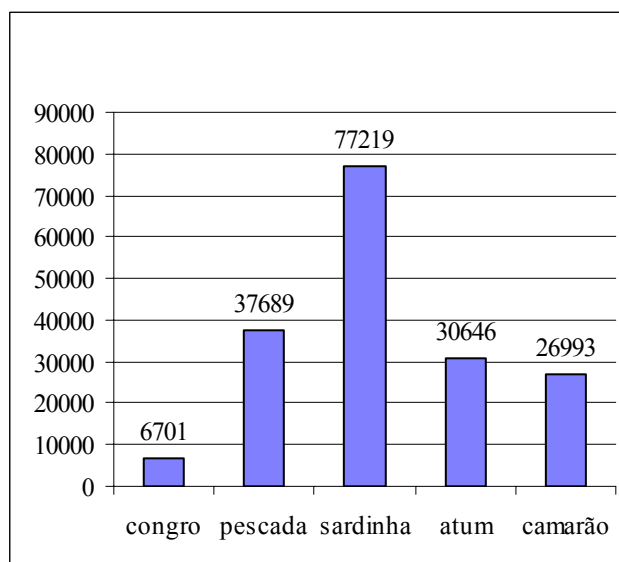
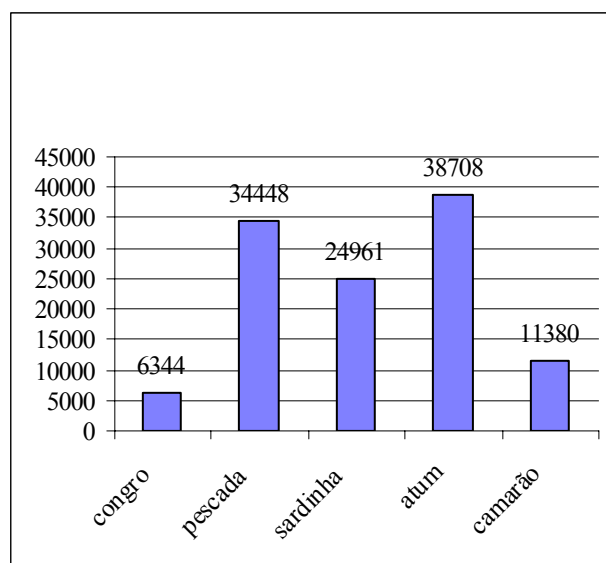


Figura 90. Fator de concentração do ^{210}Po no coração, a partir da água do mar.



Para o camarão = pleópodes.

Figura 91. Fatores de concentração do ^{210}Po nas brânquias, a partir da água do mar.

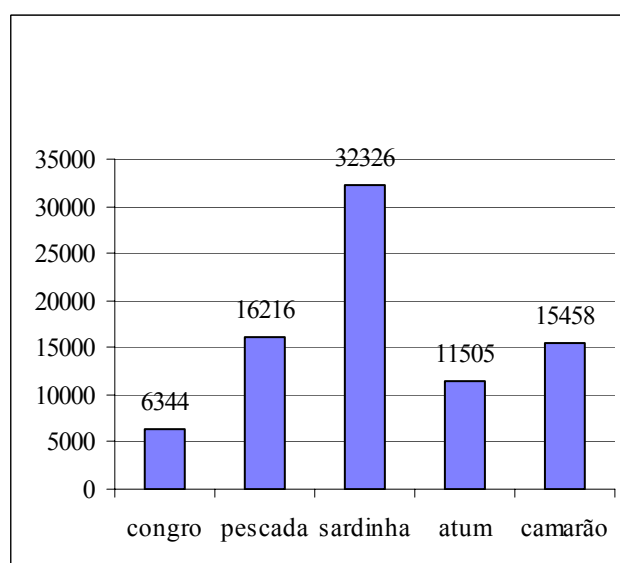


Figura 92. Fator de concentração do ^{210}Po no olho, a partir da água do mar.

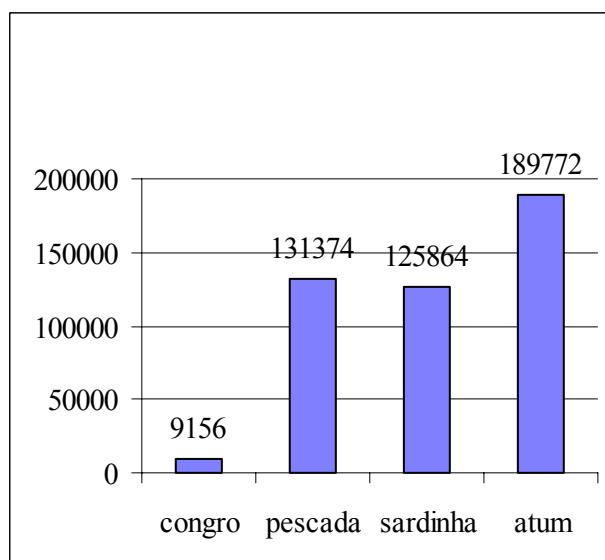


Figura 93. Fator de concentração do ^{210}Po no estômago, a partir da água do mar.

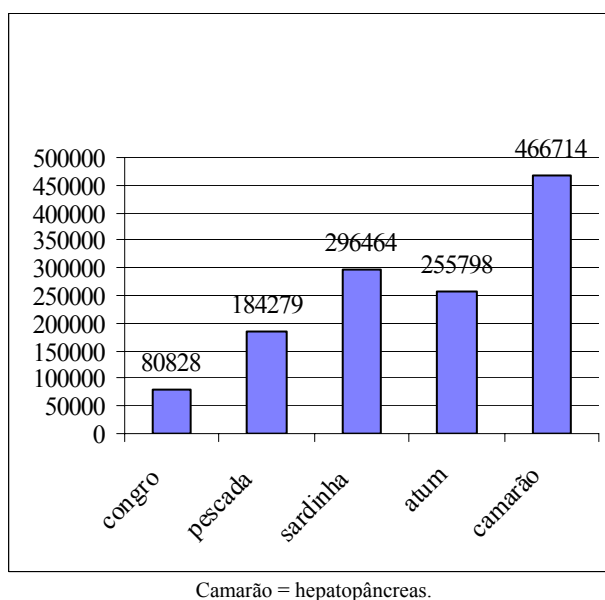
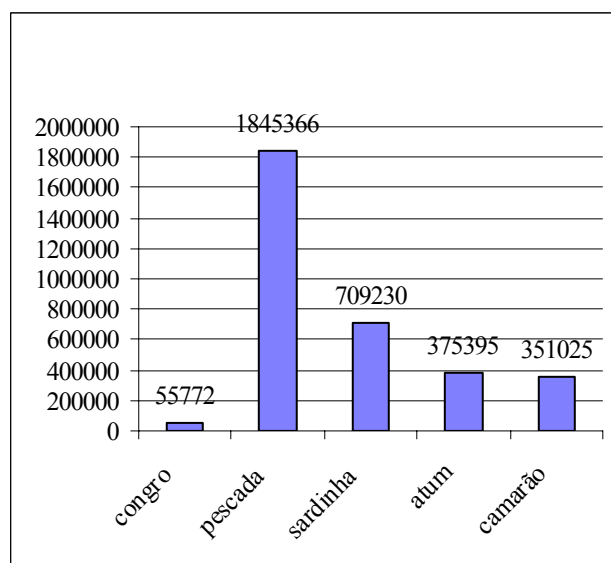


Figura 94. Fator de concentração do ^{210}Po no fígado, a partir da água do mar.



Camarão = conteúdo de cabeça.

Figura 95. Fator de concentração do ^{210}Po no intestino, a partir da água do mar.

5 DISCUSSÃO

O estudo da atividade de ^{210}Po e ^{210}Pb em organismos marinhos se reveste de grande importância visto que o maior influxo destes elementos para o ser humano se dá a partir do consumo de peixes. Pietrzak-Flis, Chrzanowski e Dembinska (1997) estimaram em aproximadamente 34% do influxo de ^{210}Po se dá via consumo de organismos marinhos, ao contrário do ^{210}Pb , cujas principais vias são a farinha de trigo e carnes. Um relatório da UNSCEAR (1982) descreve que a ingestão de ^{210}Po e ^{210}Pb pelas populações humanas consumidoras de grandes quantidades de alimentos de origem marinha normalmente é bem maior do que as populações que utilizam outros tipos de alimentos, com exceção das populações próximas ao Ártico que consomem carnes de renas e caribus (SAITO et al., 2001).

^{210}Po constitui a maior fonte de radiação natural recebida por seres humanos através do consumo de alimentos e é fortemente acumulado por organismos marinhos (CHERY e SHANNON, 1974). Carvalho (1995) atribui que 70% do influxo diário de ^{210}Po na população portuguesa seja a partir do consumo de frutos do mar. Um consumidor habitual de alimentos de origem marinha recebe uma dose efetiva estimada em $85 \mu\text{Sv a}^{-1}$, quantidade 3,5 vezes maior que os indivíduos não consumidores habituais.

A distribuição do ^{210}Po nos órgãos e na porção muscular de congro rosa e de pescada bicuda não é uniforme e apresenta ampla dispersão de $0,9 \text{ mBq g}^{-1}$ (músculo de congro) até $25181,1 \text{ mBq g}^{-1}$ (intestino de pescada). As maiores atividades médias foram observadas nos órgãos do aparelho digestório principalmente no intestino e as menores, no músculo. Resultados similares foram relatados por Heyraud e Cherry (1979) e Skwarzec (1988) que descreveram uma baixa atividade no músculo, variando de $6,0$ a $23,0 \text{ mBq g}^{-1}$ de massa

fresca. As atividades encontradas para o fígado de congro ($147,0 \text{ mBq g}^{-1}$) e pescada ($373,4 \text{ mBq g}^{-1}$) foram menores que no intestino, de acordo com Skwarzec (1988) que cita o intestino como órgão possuidor das mais altas atividades em exemplares de *Clupea harengus*, *Gadus morrhua* e *Pleuronectes flesus*, mas diferindo das observações relatadas por Bellamy e Hunter (1997) que evidenciaram em *Squalus dogfish* e *Callorhinchus milii* as mais altas concentrações no fígado, assim como Carvalho (1988) que também constatou que as concentrações são sempre maiores em fígado do que em outros tecidos. Coração, brânquias e olho apresentaram atividades intermediárias, tanto no congro rosa quanto na pescada, de acordo com Skwarzec (1988).

Observou-se que, no congro rosa, a maior contribuição para a atividade total de ^{210}Po foi no fígado com 66,6%, para apenas 15,8% do intestino. Já na pescada, o intestino, além de demonstrar a maior atividade média, apresentou também a maior contribuição à atividade total (73,9%), contra 8,8% para o fígado. Esses dados indicam que a acumulação e distribuição de ^{210}Po nesses peixes obedecem a mecanismos diferentes para cada espécie, ou seja, que o tropismo deste radionuclídeo para órgãos e tecidos é espécie-específico, configurando um transporte ativo. As atividades de ^{210}Po calculadas para os peixes inteiros foram de 4,1 (congro) e 16,8 Bq kg^{-1} (pescada). Esses valores coadunam com dados descritos para peixes de águas temperadas do hemisfério norte: *G. morrhua* 18 Bq kg^{-1} , *C. harengus* 6 Bq kg^{-1} e *P. flesus* 3 Bq kg^{-1} (SKWARZEC, 1988).

Foi efetuada uma comparação do teor de ^{210}Po nos tecidos das espécies de peixe estudadas. Observou-se que a espécie que assimila maior concentração de ^{210}Po no coração é a sardinha ($214,3 \text{ mBq g}^{-1}$) que também concentra o maior teor nos olhos ($133,7 \text{ mBq g}^{-1}$) (figura 53) e no fígado ($850,6 \text{ mBq g}^{-1}$) (figura 55); nas brânquias ($123,5 \text{ mBq g}^{-1}$), no estômago ($640,6 \text{ mBq g}^{-1}$) nos cecos pilóricos ($4.656,1 \text{ mBq g}^{-1}$) e no conteúdo gástrico ($325,6 \text{ mBq g}^{-1}$) o atum é a espécie que domina; no intestino a pescada bicuda foi a espécie que apresentou a maior concentração ($5.539,8 \text{ mBq g}^{-1}$) seguida pela sardinha com um teor bastante mais baixo ($1.634,6 \text{ mBq g}^{-1}$); na porção muscular o camarão foi o pescado que mais apresentou ^{210}Po demonstrando um teor médio de $31,1 \text{ mBq g}^{-1}$, seguido pelo atum ($22,7 \text{ mBq g}^{-1}$), pela sardinha ($16,0 \text{ mBq g}^{-1}$), pescada ($6,0 \text{ mBq g}^{-1}$) e por último, o congro ($2,0 \text{ mBq g}^{-1}$).

Os fatores de concentração (Fc) de polônio nos peixes foram calculados estimando uma concentração média de ^{210}Po na água do mar de $0,9 \text{ mBq dm}^{-3}$ (AARKROG et al., 1997; BELLAMY e HUNTER, 1997; PARFENOV, 1974; SKWARZEC, 1988). Os valores obtidos para congro rosa (4600) e pescada (18700) são próximos daqueles descritos para *G. morrhua*

36000, *C. harengus* 13000 e *P. flesus* 7000 (SKWARZEC, 1988). Considerando os Fc para órgão e tecidos, os menores valores foram obtidos para músculo de congro rosa (Fc=400) e de pescada (Fc=1600) e o maior valor para intestino de pescada que atinge um Fc de *c.a.* 1.845.000, sendo que a amostra mais ativa alcançou o Fc de $8,4 \cdot 10^6$.

Merece destaque o fato das amostras de pescada apresentarem atividades médias mais altas para todas as amostras, quando comparadas com congro rosa. É também um predador mais voraz que o congro rosa, o que pode sugerir que ^{210}Po é acumulado, principalmente, a partir da dieta. Tal hipótese já vem sendo formulada na literatura como descreve Skwarzec (1988) e aponta para a biomagnificação do ^{210}Po ao longo das cadeias alimentares.

Os dados mostram uma diferença significativa ao nível de 1% da atividade de ^{210}Po entre os grupos analisados, sendo o mais alto valor observado nas amostras de camarão ($31,05 \text{ mBq g}^{-1}$). Alonso-Hernandez et al. (2002) analisaram a porção comestível de 16 espécies de peixes, 8 de molusco e 4 de crustáceos e também evidenciaram o mais alto valor nas amostras de crustáceos, entretanto com teor médio bem superior ($103,75 \text{ mBq g}^{-1}$). O teor médio verificado para o gênero *Penaeus* também foi bastante superior (107 mBq g^{-1}). A concentração média de ^{210}Po em amostras de peixes ($11,68 \text{ mBq g}^{-1}$) são semelhantes aos resultados reportados pelos autores supra citados, mas altas quando comparados aos dados da UNCEAR (1993) ($2,4 \text{ mBq g}^{-1}$). Estes dados, entretanto, coadunam com os valores obtidos por Carvalho (1990) em um estudo com uma larga variedade de peixes marinhos.

Considerando que os peixes deste estudo são comestíveis e que numa refeição normal consome-se, no mínimo, 200 g de filé de peixe, a contaminação humana por ^{210}Po numa refeição única de congro ou pescada chegaria a 81 ou 283 mBq g^{-1} respectivamente, o que, para pessoas que consomem freqüentemente peixe, pode representar doses apreciáveis que deverão contribuir substancialmente para a dose de radiação interna, dependendo da eficácia da eliminação desse poluente radioativo natural do organismo.

Um resultado que merece destaque faz referência à alta variabilidade dos dados obtidos relativos à acumulação biológica do ^{210}Po e ^{210}Pb , o que foi um fator complicador na análise da bioacumulação dos radionuclídeos nas espécies estudadas, fato já relatado anteriormente (PENTREATH, 1977), especialmente para o ^{210}Po (PEREIRA, 1995).

Cherry, Heyraud e Rindfuss, (1994) sugerem que parte da variação observada na concentração de ^{210}Po no peixe pode ser explicada pela diferenças de tamanho entre as espécies e reportam ainda que a família Clupeidae acumula mais ^{210}Po . Neste estudo somente as amostras de coração e olho obtiveram concentrações mais elevadas que as outras espécies e não houve diferença estatística na concentração de ^{210}Po entre os tamanhos e pesos das

espécies. Entretanto, para o ^{210}Pb as amostras de porção muscular de sardinha demonstraram o teor mais elevado quando comparados às outras espécies estudadas.

Ugur, Yener e Bassari (2002) comentam que o comportamento do ^{210}Po no oceano difere do comportamento do ^{210}Pb , especialmente em função da alta afinidade do polônio pela matéria orgânica.

A espécie que assimila maior concentração de ^{210}Pb no coração é a sardinha ($16,1 \text{ mBq g}^{-1}$); nas brânquias a espécie que concentra o maior teor é o atum ($190,2 \text{ mBq g}^{-1}$) cujo valor é substancialmente mais elevado que o valor determinado para as outras espécies, que apresentaram $7,6 \text{ mBq g}^{-1}$, $5,2 \text{ mBq g}^{-1}$ e $4,8 \text{ mBq g}^{-1}$, para sardinha, pescada bicuda e congro rosa respectivamente. O atum também foi a espécie que apresentou a maior atividade no estômago ($48,6 \text{ mBq g}^{-1}$), no fígado ($46,8 \text{ mBq g}^{-1}$), nos cecos pilóricos ($132,7 \text{ mBq g}^{-1}$) e no conteúdo gástrico ($13,6 \text{ mBq g}^{-1}$); no intestino a pescada bicuda foi a espécie que apresentou a maior concentração ($160,7 \text{ mBq g}^{-1}$); nos olhos o camarão foi a espécie que apresentou maior atividade dentre os tipos de organismos marinhos estudados ($13,8 \text{ mBq g}^{-1}$) seguido pela sardinha com um teor levemente mais baixo ($8,3 \text{ mBq g}^{-1}$); na porção muscular a sardinha foi a espécie que mais apresentou ^{210}Pb demonstrando um teor médio de $2,2 \text{ mBq g}^{-1}$, seguida pela pescada ($1,8 \text{ mBq g}^{-1}$), pelo congro rosa ($1,7 \text{ mBq g}^{-1}$), atum ($1,2 \text{ mBq g}^{-1}$) e por último, o camarão ($0,3 \text{ mBq g}^{-1}$).

Os dados evidenciados no hepatopâncreas de camarões ($1460,51 \text{ mBq g}^{-1}$) confirmam os resultados relatados por Heyraud et al. (1976) que demonstram que este órgão contem a mais alta concentração de ^{210}Po , detendo 62,4% da atividade total no camarão, teor bastante superior ao relatado por Skwarzec e Falkowski (1988) em outras espécies de crustáceos. Heyraud et al (1976) descrevem que um percentual de 52% do ^{210}Po acumulado em crustáceos, reside no hepatopâncreas. Stepnowski e Skwarzec (2000) estudando tecidos e órgãos do crustáceo *Saduria entomom* evidenciaram a mais alta concentração de ^{210}Po no hepatopâncreas ($543,5 \pm 9,9 \text{ mBq g}^{-1}$), assim como a mais alta relação $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$, valores entretanto bastante inferiores aos relatados neste estudo. Uma pesquisa que envolveu o estudo de 31 espécies de camarão (CHERRY e HEYRAUD, 1982) relata que as diferenças entre as espécies estão relacionadas a fatores biológicos e ambientais. O conteúdo de ^{210}Po aumentou na seguinte ordem: estuarinos < costeiros < pelágicos < pelágicos mais profundos. Este autor relata um fator de concentração (Fc) para este órgão de $377 \times 10^3 \text{ mBq g}^{-1}$ vindo ao encontro do resultado obtido neste estudo, de $40.495,8 \text{ mBq g}^{-1}$.

Em camarões Shaheed et al. (1997) evidenciaram as maiores atividades na porção muscular e no exoesqueleto. A atividade observada em nosso estudo não confirma os dados

relatados por estes autores, pois os níveis mais baixos dentre as amostras analisadas foram justamente detectados nestas estruturas. O exoesqueleto de camarões é constituído fundamentalmente por substâncias orgânicas como a quitina e estudos anteriores elaborados por Cherry e Shannon (1974) consideram que possa haver uma afinidade na ligação do ^{210}Po em direção a moléculas orgânicas como a quitina, o que justificaria estudos mais aprofundados para esta espécie.

É importante salientar que o hepatopâncreas de invertebrados marinhos exerce um importante papel na acumulação de elementos estáveis como Ag, Cd, Cu e Zn, onde é provável que as proteínas sulfuradas como as metalotioneínas exerçam papel crucial no processo de ligação. Uma outra razão mencionada por Heyrand, Cherry e Dowdle, (1987) indicam uma forte ligação do ^{210}Po com proteínas sulfuradas as quais estão presentes em grande proporção no hepatopâncreas.

As altas atividades evidenciadas nos órgãos digestivos desta espécie confirmam o papel preponderante dos órgãos digestivos no controle da absorção e eliminação do ^{210}Po . Também fundamentam a necessidade da eliminação da cabeça no processo de preparo desta fonte de proteína na alimentação, visto que tais doses são consideradas bastante altas para o padrão humano. O homem segundo Bowen et al. (1971) está entre os mais radiosensitivos dentre os organismos.

Existem vários países que investem em programas de suplementação protéica a partir de concentrados protéicos de peixes utilizados tanto na alimentação animal como humana. Beasley et al. (1971) atribuem ao processo de concentração um fator de intensificação na concentração de radionuclídeos. Esses autores relatam que a maior parte dos concentrados protéicos são produzidos a partir de peixes bentônicos e consideraram interessante comparar a concentração destes radionuclídeos com um produto elaborado com peixes de superfície. Neste estudo, dados considerados de relevância foram reportados para anchova (*Engraulis mordax*), espécie pelágica cuja dieta consiste principalmente em crustáceos planctônicos. Neste peixe, a maior parte da atividade do ^{210}Po e ^{210}Pb estável é encontrada nos órgãos internos, principalmente o fígado, vértebras, conteúdo gástrico e vísceras (coração, intestino, rim, estômago, gônadas e baço). Visto que o valor encontrado no concentrado protéico foi bastante alto, os valores observados nos órgãos fazem com que o resultado seja menos surpreendente, sugerindo que o processo de evisceração de peixes antes da elaboração de subprodutos como o concentrado protéico iria auxiliar na redução da concentração de $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ no produto final, fator de relevância para indústria pesqueira.

Carvalho (1995) analisando porções da musculatura lateral de sardinhas da espécie *Sardina pilchardus* do mesmo lote observou uma variação bastante ampla (3,5 a 16,1 Bq Kg⁻¹) com valor médio de $6,8 \pm 3,7$ Bq Kg⁻¹. Esta variação não foi observada neste estudo cujos valores variaram entre 33 a 55,6 mBq g⁻¹ com média de $44,0 \pm 9,7$ mBq g⁻¹, superiores ao teor médio observado na amostragem de Carvalho (1995). Este autor ainda comenta que pequenos peixes pelágicos planctônicos como é o caso das sardinhas tendem a acumular mais ²¹⁰Po que os grandes predadores como o atum. Comparando-se estas duas espécies, este fato foi constatado neste estudo nas amostras de coração, olho, fígado e intestino de sardinha, que demonstraram teores mais elevados que as amostras de atum.

Outro fator de relevância na questão relacionada ao processo de industrialização faz referência ao processo de congelamento, bastante aplicado para espécies comerciais de peixes marinhos e que, segundo Carvalho (1995) resulta em um decréscimo na atividade do ²¹⁰Po em relação ao ²¹⁰Pb devido ao decaimento do ²¹⁰Po durante período de estocagem. Desta forma produtos estocados por longo período poderão apresentar uma relação ²¹⁰Po/²¹⁰Pb mais baixa que os produtos analisados frescos.

Annala (1994) apud⁵ Belamy e Hunter (1997) menciona o fato dos peixes teleósteos demonstrarem altas concentrações de ²¹⁰Po. Hoffman, Hodge e Folson, (1974) descrevem que nestes peixes geralmente a atividade no fígado varia entre 0,13 a 845 Bq kg⁻¹ dependendo da espécie, da dieta, da profundidade e localização geográfica da pesca. Belamy e Hunter (1997) estudaram a concentração de ²¹⁰Po no fígado de 81 espécimes de 3 espécies de peixes coletados na Nova Zelândia evidenciando teor médio de $4,2 \pm$ Bq kg⁻¹ para o cação espinho, $1,36 \pm 39$ Bq kg⁻¹ para uma espécie de elasmobrânquio e 38 ± 13 Bq kg⁻¹ para uma um teleósteo. As maiores atividades foram relatadas para o fígado, contudo a distribuição mais uniforme foi evidenciada para cação espinho, quando não se computa o teor observado no músculo axial. Medidas separadas demonstraram que apenas uma parte negligível do ²¹⁰Po era suportada pelo decaimento do ²¹⁰Pb. A dose de radiação por ²¹⁰Po no fígado foi computada entre 88 e 99% da dose interna absorvida por estas espécies.

O fígado, pela função que exerce na remoção de toxinas do corpo é conhecido como um reservatório de elementos metálicos e espera-se que tenha maior concentração de ²¹⁰Po que outros tecidos como músculo e brânquias. Bagnal (1966) menciona que o ²¹⁰Po emite uma partícula altamente energética e apresenta uma forte afinidade com moléculas protéicas e com aminoácidos.

5 ANNALA, J.H. Report from the Fishery Assesment Plenary, May (1994); stock assesment and yield estimates (MAF Fisheries: Auckland, NZ)20pp.

É interessante que a predominância dos órgãos digestivos como locais de acumulação não é tão grande para ^{210}Pb como é para o ^{210}Po , o que sugere que o mecanismo de acumulação dos dois elementos seja diferente.

Nas espécies de peixes analisadas, com exceção do atum, o mais alto conteúdo foi evidenciado nas amostras de intestino ($249,23 \text{ mBq g}^{-1}$) para o congro, contribuindo com 26,1% da atividade total, $5539,79 \text{ mBq g}^{-1}$ para pescada bicuda onde a contribuição é substancialmente maior (73%), $1634,59 \text{ mBq g}^{-1}$ para sardinha, com maior valor e entretanto com contribuição de 22,8%, contra 59,1% para os cecos pilóricos. Para o atum o mais alto valor foi observado nas amostras de cecos pilóricos ($4.656,08 \text{ mBq g}^{-1}$) que também contribui com a maior parte da atividade total do ^{210}Po (60,3 %). Todos estes valores relacionados à percentagem de contribuição são mais elevados que aqueles descritos por Skwarzec (1988).

Em todas as amostras analisadas a concentração de ^{210}Po foi maior que a de ^{210}Pb . Na porção muscular a relação entre os dois elementos variou entre $1,2 \text{ mBq g}^{-1}$ para o congro a $18,7 \text{ mBq g}^{-1}$ para o atum, que entre os peixes analisados foi o que apresentou a maior relação $^{210}\text{Po}:\text{}^{210}\text{Pb}$, inferiores aos valores encontrados por Carvalho (1995) cuja variação foi entre 3 a 66 mBq g^{-1} .

No caso das amostras de guelras uma relação digna de nota foi evidenciada no atum, onde a atividade do ^{210}Pb foi bem mais elevada ($190,21 \text{ mBq g}^{-1}$) que para o ^{210}Po ($123,45 \text{ mBq g}^{-1}$), fato não verificado para as outras espécies de peixes estudados, cujos valores de ^{210}Pb foram sempre significativamente mais baixos ao nível de 1% quando comparados aos valores evidenciados para o ^{210}Po . Skwarzec (1988) comenta que o envolvimento das brânquias para o acúmulo de ^{210}Po é muito menor que o envolvimento observado para amostras de intestino ou fígado e está na dependência do habitat e hábito alimentar. O alto valor observado nas guelras foi documentado para moluscos cujas mais altas atividades foram evidenciadas no hepatopâncreas e nas brânquias (STEPNOWSKI e SKWARZEC, 2000), organismos que se alimentam por mecanismo de filtração usando esta estrutura para captura de alimentos.

Morfologicamente o pescado é composto de músculo branco e escuro (vermelho) e, pela ótica bioquímica, as fibras musculares vermelhas apresentam maior vascularização e maior conteúdo de mioglobina, glicogênio, lipídios, taurina e Fe. Também são mais ricos em vitaminas lipossolúveis A e D e hidrossolúveis B_1 , B_2 , B_{12} e ácido pantotênico (OGAWA e MAIA, 1999). Em peixes marinhos as fibras vermelhas estão concentradas ao longo da linha lateral. Peixes da família Scombridae e Clupeidae possuem alta proporção de músculo vermelho e, neste estudo, foram as espécies que apresentaram as mais altas atividades, 16,0 e

22,7 mBq g⁻¹ para atum e sardinha respectivamente, concordando com os achados de Cherry, Heyrand e Rindfuss (1994). Estes autores descrevem a evidência da associação entre ²¹⁰Po e proporção de musculatura escura, sugerindo “um provável comportamento bioquímico do polônio, ainda bastante desconhecido em sistemas vivos”. Uma associação entre ²¹⁰Po e grupamento sulfidril de proteínas é uma provável possibilidade (HILL, 1965), embora Cherry, Heyrand e Rindfuss (1994) considerem que nenhuma dessas razões explique em bases científicas a maior concentração de ²¹⁰Po na porção muscular vermelha.

6 CONCLUSÕES

A análise da atividade do ^{210}Po em órgãos e tecidos dos peixes estudados demonstra que não há uma distribuição uniforme nestes peixes; que os órgãos dos sistemas digestório (intestino, estômago e fígado) apresentam as mais altas concentrações, embora o intestino demonstre ser o órgão com atividades mais altas. Nas amostras de camarão a não homogeneidade na distribuição do ^{210}Po entre os tecidos pôde ser bem demonstrada no alto teor evidenciado no hepatopâncreas.

Como altas concentrações ocorrem em crustáceos quando comparados aos peixes, pode ser esperado uma maior contribuição à exposição humana via consumo desta espécie, visto que em algumas situações, camarões são consumidos inteiros, sem retirada da cabeça e do exoesqueleto. No caso dos peixes, somente a porção muscular é consumida com tendência a uma pequena dose de transferência para o homem.

As atividades médias de ^{210}Po para peixe inteiro e os fatores de concentração foram semelhantes a dados da literatura para peixes de águas temperadas do hemisfério norte.

Em todas as espécies analisadas o ^{210}Po não está uniformemente distribuído.

A notável diferença evidenciada para os órgãos do sistema digestório caracterizam o papel dominante destes órgãos no controle da absorção e eliminação do ^{210}Po e indicam que a dose de radiação interna é mais alta nestes órgãos.

Existem fortes evidências entre os elevados níveis de ^{210}Po e o conteúdo de músculo vermelho das espécies estudadas, fato observado nas amostras de atum e sardinha.

Os resultados indicam a necessidade de estudos mais abrangentes sobre a presença de radionuclídeos em organismos marinhos, face à importância desta fonte de proteína, tanto

para a população costeira, como para obtenção de subprodutos a partir de resíduos oriundos da indústria pesqueira.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AARKROG, A.; BAXTER, M.S.; BETTENCOURT, A.O.; BOJANOWSKI, R.; BOLOGA, A.; CHARMASSON, S.; CUNHA, I.; DELFANTI, R.; DURAN, E.; HOLM, E.; JEFFREE, R.; LIVINGSTON, H.D.; MAHAPANYAWONG, S.; NIES, H.; OSVATH, I.; PINGYU, Li.; POVINEC, P.P.; SANCHEZ, A.; SMITH, J.N.; SWIFT, D. A Comparison of Doses from ^{137}Cs and ^{210}Po in Marine Food: A Major International Study, *J. Environ. Radioactivity*, v. 34, n.1, p. 69-90, 1997.

AL-MASRI, M.S., MAMISH, S., BUDEIR, Y. The impact of phosphate loading activities on near marine environment: the Syrian coast. *Journal of Environmental Radioactivity*, v. 58, n.1, p. 35-44, 2002.

ALONSO-HERNANDEZ, C., DIAZ-ASENCIO, M., MUNOS-CARAVACA, A., SUAREZ-MORELL, E., AVILA-MORENO, R. ^{137}Cs and ^{210}Po dose assessment from marine food in Cienfuegos Bay (Cuba). *Environmental Radioactivity*, v. 61, p. 203-211, 2002.

ANCELLIN, J.; AVARGUÈ, M.; BOVARD, P.; GUYÉGUÉNID, P.; VILQUIN, A. Aspects biologiques et physico-chimiques de la contamination radioactive d'espèces et de sédiments Marins. *Radioactive Contamination of the Marine Environment*, I.A.E.A., SM-158, Viena, p.225-242, 1973.

BAGNALL, K.W. The Chemistry of selenium, tellurium and polonium. Amsterdam:Elsevier, 1966.

BAGNALL, K.W. The Chemistry of polonium. *Radiochimica Acta*, v.32, p.151-161, 1983.

BEASLEY, T.M.; JOKELA, T.A., EAGLE, R.J. Radionuclides and selected trace elements in marine protein concentrates, *Health Physics*, v.21, p. 815-820, 1971.

BELAMY, P., HUNTER, K.A. Accumulation of ^{210}Po by spiny dogfish (*Squalus acanthias*), elephant fish (*Callorhinchus milii*) and red gurnard (*Chelodanichthys kumu*) in New Zealand shelf waters. *Marine Freshwater Research*, v. 48, p. 229-34, 1997.

BLACK, S.C.; BRETTHAUSER, E.W. *Radiological Health*, Data Rep., v.91, p.145, 1968.

BOURG, A.C.M. Metals in aquatic and terrestrial systems: Sorption, speciation and mobilization. In: Chemistry and biology of solid waste (Salomons, W. & Forstner, U., eds), Springer-Verlag: Berlin, 1988.

BOWEN, V.T.; OLSEN, J.S.; OSTERBERG, C.L.; RAVERA, J. *Radioactivity in the marine Environment*. National Academy of Sciences, Washington D.C, 1971, 200p.

BUNZL, K.; KRACKE, W.; KREUZER, W. ^{210}Po in liver and kidneys of cattle – I. Animals from an area with little traffic or industry. *Health Physics*, v.37, p.323-330, 1979.

CARDOSO, E.M.; ALVES, I.P.; LIMA, J.M.; TAHUATA, L.; HEILBRON FILHO, P.F.; BRAZ, C.; PESTANA, S. Nós e a Radiação, 2002.. Disponível em : <http://www.nuclear.radiologia.nom.br/diversos/apradioa.htm>.

CARVALHO, F.P. ^{210}Po in marine organisms: a wide range of natural radiation dose domains, *Radiation Protection Dosimetry*, v. 24, n.1/4, p. 113-117, 1988.

_____. Contribution a a l'étude du cycle du polonium-210 et du plomb-210 dans l'environnement. These de Doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, 1990.

_____. ^{210}Po and ^{210}Pb intake by the Portuguese population: the contribution of seafood in the dietary intake of ^{210}Po and ^{210}Pb . *Health Physics*, v.69, n.4, p.469-480, 1995.

CDCC-USP. Polônio. Disponível em <http://www.cdcc.sc.usp.br/elementos/polonio.html>, Acessado em 01 de dezembro de 2001.

CHERRY, R.D.; SHANNON, L.V. The alpha radioactivity of marine organisms. *Atomic Energy Review*, v.12, p.1-45, 1974.

_____ ; HEYRAUD, M. Evidence of high natural radiation doses in certain mid-water oceanic organisms. *Science*, v.218, p.54-56, 1982.

_____ .; _____ .; RINDFUSS, R. Polonium-210 in Teleost Fish and in Marine Mammals: Interfamily Differences and a Possible Association between Polonium-210 and Red Muscle Content. *Journal of Environmental Radioactivity*, v.24, p.273-291, 1994.

D'INCAO, F. Camarões de alto valor comercial do Rio Grande do Sul. *Cadernos de Pesca Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul*, v.5, p. 1-10, 1985.

_____ .; VALENTINI, H.; RODRIGUES, L.F. Avaliação da pesca de camarões nas regiões sudeste e sul do Brasil. *Atlântica*, Rio Grande, v.24, n.2, p. 103-116, 2002.

DURAND, J.P.; CARVALHO, F.P.; GOUDARD, F.; PIERI, J.; FOWLER, S.W. COTRET, O. ^{210}Po binding to metallothioneins and ferritin in the liver of teleost marine fish. *Marine Ecology Progress Series*, v. 177, p.189-196, 1999.

_____ .; GOUDARD, F.; BARBOT, C.; PIERI, J.; FOWLER, S.W.; COTRET, O. Ferritin and hemocyanin: ^{210}Po molecular traps in marine fish, oyster and lobster. *Marine Ecology Progress Series*, v. 233, p.199-205, 2002.

ENGENHANDO.Polônio. Disponível em:<http://www.engenhando.hpg.lg.com.br/tabela/polonio.htm>. Acesso em 01 de dezembro de 2001.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Disponível em:<http://www.fao.org/fi>. Acesso em 30 de setembro de 2003.

FENTON, G.E.; SHORT, S.A. Fish age validation by radiometric analysis of otoliths. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, v. 43, p.913-922, 1992.

FERRI, E.S.; BARATTA, E.J. Polonium 210 in Tobacco, Cigarette Smoke, and Selected Human Organs. *Public Health Reports*, v.81, n.2, p. 121-127, 1966.

FIGUEIREDO, J.L.; MENEZES, N.A. Manual de Peixes Marinhos do Sudeste do Brasil. Museu de Zoologia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1978. 110p.

GOUVEA, R.C.; SANTOS, P.L.; GOUVEA, V.A. Contribution to the study of radioactivity in marine organisms: dosage of ^{210}Po in *Perna perna*, L. *The Science of the Total Environment*, v.61, p. 117-120, 1987.

—————; CASTELO BRANCO, M.E.; SANTOS, P.L.; GOUVEA, V.A. Accumulation of ^{210}Po by benthic marine algae. *Environmental Technology Letters*, v.9, p. 891-897, 1988.

—————.; SANTOS, P.L.; DUTRA, I.R. Lead-210 and Polonium-210 concentration in some species of marine molluscs. *The Science of the Total Environment*, v.112, p.263-267, 1992.

GREENPEACE RESEARCH LABORATORIES. Report on the World's Oceans, 1998. Disponivel em <http://archive.greenpeace.org/~oceans/globaloverfishing/reportworldsoceans.html>. Acessado em 22 de outubro de 2002.

HEYRAUD, M.; FOWLER, S.W.; BEASLEY, T.M.; CHERRY, R.D. Polonium-210 in Euphausiids: A Detailed Study, *Marine Biology*, v.34, p.127-136, 1976.

—————. Food ingestion and digestive transit time in the euphasiid *Meganyctiphanes norvegica* as a function of animal size. *J. Plankton Res.*, v. 1, p. 301-11, 1979.

—————.; CHERRY, R.D. Polonium-210 and Lead-210 in marine food chains, *Marine Biology*, v.52, p.227-236, 1979.

—————.; CHERRY, R.D.; DOWDLE, E.B. The Subcellular Localization of Natural ^{210}Po in the Hepatopancreas of the Rock Lobster (*Jasus lalandii*). *J. Environ. Radioactivity*, v. 5, p. 249-260, 1987.

—————.; DOMANSKI, P.; CHERRY, R.D.; FASHAM, M.J.R. Natural tracers in dietary studies: data for ^{210}Po and ^{210}Pb in decapod shrimp and other pelagic organisms in the Northeast Atlantic Ocean. *Marine Biology*, v.97, p.507-519, 1988.

—————.; CHERRY, R.D.; OSCHADLEUS, H.D.; AUGUSTYN, C.J.; CHERRY, M.I.; SEALY, J. Polonium-210 and Lead-210 in Edible Molluscs from near Cape of Good Hope: Sources of Variability in Polonium-210 Concentrations. *J. Environ. Radioactivity*, v.24, p. 253-272, 1994.

HILL, C.R. Polonium-210 in man. *Nature*, v.208, p.423-428, 1965.

HOFFMAN, F.L.; HODGE, V.F.; FOLSON, T.R. *Health Phys.*, v.26, p.65-70, 1974.

HOLTZMAN, R.B.; URNEZIS, P.W.; PADOVA, A.; BOBULAQ III, C.M. Contamination of the human food chain by uranium mill tailings piles. Argonne National Laboratory prepared for Division of safeguards and Environmental Research Office, U.S. Nuclear Regulatory Commission Washington DC, NUREG/cr-0758, ANL/ES-69, 46 P, 1979.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION – ICRP. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Pergamon Press, 11/1990. (ICRP-61).

IWAI, M. O camarão no Centro Sul do Brasil. São Paulo, SUDELPA-IOUSP, 71 p., 1973.

JAWOROWSKI, Z. Radioactive lead in the environment and in the human body. *Atomic Energy Review*, v.7, p. 3-45, 1969.

JONES, D.B. Factors for converting percentages of nitrogen in foods and feeds into percentage of protein. United States Department of Agriculture, 22 ed. Ref. 1941.

KARALI, T., OLMEZ, S., YENER, G. Study of Spontaneous Deposition of ^{210}Po on Various Metals and Application for Activity Assessment in Cigarette Smoke. *Applied Radiation Isotopes*, v.47, n.4, p. 409-411, 1996.

KELECOM, A.; GOUVEA, R.C.; SANTOS, P.L. Apostila de Radiobiologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ, 1998.

KELECOM, A., GOUVEA, R.C.S., SANTOS, P.L. Levels of ^{210}Po and ^{210}Pb in cigars. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v.253, n.1, p.129-133, 2002.

KELECOM, A.; GOUVEA, R.C.S.; SANTOS, P.L. Teores de polônio-210 no cabelo da população brasileira. In: V Encontro Nacional de Aplicações Nucleares, 2000, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro : ABEN, 2000

KHATER, A.E.M. Polonium-210 budget in cigarettes. *Journal of Environmental Radioactivity*, n.71, p.33-41, 2004.

KILTHAU, G.F. Cancer risk in relation to radioactivity in tobacco. *Radiologic Technology*, v.67, n.3, p.217-222, 1996.

KOSTNER, H.W. Radionuclides in phosphorus industries; input-output balances, environmental emissions, characteristics and enhancements. In: GARCIA, L.M; GARCIA, T.R. Low level measurements of radioactivity in the environment; techniques and applications. Singapore:World Scientific, p. 327-340, 1994.

LAPHAM, S.C, MILLARD, J.B., SAMET, J.M. Health implications of radionuclide levels in cattle raised near U mining and milling facilities in Ambrosia Lake, New Mexico. *Health Physics*, v.56, n.3, p. 327-340, 1989.

LACASSAGNE, A.; LATTÈS, J. *Bull. d'Hist.Appliquée à la Physiol. Et à la Pathol.*, v.1, p.279, 1924.

LAZORENKO, G.E. ; POLIKARPOV, G.G.; BOLTACHEV, A.R. Natural Radioelement in primary ecological groups of Black Sea fishes. *Russian Journal of Marine Biology*, v. 28, n.1, p. 52-56, 2002a.

Natural Radioelement Polonium in the main ecological groups of fish of the Black Sea. *Biologiya Morya*, v.28, n.1, p. 61-65, 2002b.

MARGALEF, R. *Ecologia*. Omega: Barcelona, 1982, 951 p.

MENEZES, N.A.; FUIGUEIREDO, J.L. *Manual de Peixes Marinhos do Sudeste do Brasil*. Museu de Zoologia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1980. 96p.

MERCK. *Segurança em Laboratório*.2001. Disponível em: <http://www.merck.com.br>. Acessado em 01 de dezembro de 2001.

MORGAN, K.Z.; SNYDER, W.S.; FORD, M.R. Relative hazard of various materials. *Nature*, v.187, p.208-212, 1964.

NARITA, H.; HARADA, K.; BURNET, C.W.; TSUNOGAI, S.; McCABE, W.J. Determination of ^{210}Pb , ^{210}Bi and ^{210}Po in natural water and other materials by electrochemical separation. *Talanta*, v.36, n. 9, p. 925-929, 1989.

NATURAL SUL. Agência NaturalSul/info-guia:camarão.2001. Disponível em: <http://www.naturalsul.com.br/camarão1.htm>. Acesso em 4 de abril de 2005.

NEVISSI, A.; SCHELL, W.R. *Nature*, v.255, p.321-323, 1975.

OGAWA, M.; MAIA, E.L. *Manual de Pesca. Ciência e tecnologia do Pescado*. São Paulo: Varela, 430 p., 1999.

PARFENOV, Y.D. Polonium-210 in the environment and in the human organism. *Atomic Energy Review*, v.12, n.1, p.75-143, 1974.

PENTREATH, R.J. Radionuclides in marine fish. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Ver.* v.15, p.365-460, 1977.

PEREIRA, W.S. Distribuição corpórea de polonium-210 em três espécies de peixes da Baía de Sepetiba. Monografia de Especialização em Biologia Marinha, Universidade Federal Fluminense, Instituto de Biologia, 62 p., 1995.

PERES, A.C., HIROMOTO, G. Evaluation of Pb-210 and Po-210 in cigarette tobacco produced in Brazil. *Journal of Environmental Radioactivity*, v.62, n.1, p. 115-119, 2002.

PEREZ FARFANTE, I. Diagnostic characters of juveniles of the shrimps *Penaeus aztecus*, *P. duorarum duorarum*, and *P. brasiliensis* (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). U S Fish. Wildl. Serv., *Special Scientific Report-Fisheries*, v.599, p. 1-26, 1970.

PIETRZAKFLIS, Z.; CHRZANOWSKI, E.; DEMBINSKA, S. Intake of Ra-226, Pb-210 and Po-210 with food in Poland. *Science of the Total Environment*, v.203, n.2, p.157-165, 1997.

RADIOATIVA. Tipos de Radiação . Disponível em: http://br.geocities.com/radioativa_br/pagina6.htm. Acessado em de 01 de dezembro de 2001.

SAITO, R.T.; FIGUEIRA, R.C.L.; TESSLER, M.G.; CUNHA, I.I.L. Ingestão de ^{210}Pb e ^{210}Po pelo consumo de peixes no sistema Cananéia-Iguape, São Paulo, Brasil. In: International Nuclear Atlantic Conference – INAC, 2002.

SANTOS, P.L.; GOUVEA, R.C.; DUTRA, I.R. GOUVEA, V.A. Accumulation of ^{210}Po in foodstuffs cultivated in farms around the Brazilian mining and milling facilities on Poços de Caldas plateau, *Journal of Environmental radioactivity*, v. 11, p. 141-149, 1990.

SANTOS, P.L., GOUVEA, R.C., DUTRA, I.R. Human occupational radioactive contamination from the use of phosphated fertilizers. *The Science of total Environment*, v.162, p. 19-22, 1995.

_____, WEINBERG, E.M., FRANCA, E.P. Determinação de ^{210}Po em cigarros e tabaco. *Revista de Biologia y Medicina Nuclear*, v.11, n.2-3, p.73-77, 1970.

_____, KELECOM, A., GOUVEA, R.C.S., DUTRA, I.R. Levels of ^{210}Pb and ^{210}Po in Brazilian Cigarettes, *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento*, v.1, n.3, p. 99-102, 1996.

SEYMOUR, A.H. *Pubbl. Staz. Zool. Napoli*, v.31, p.21-33, 1959.

SHABANA, E.I., ABD ELAZIZ, M.A., AL-ARIFI, M.N., AL-DHAWAILIE, A.A., AL-BOKARI, M.M.A. Evaluation of the contribution of smoking to total blood polonium-210 in Saudi population. *Applied Radiation Isotopes*, n.52, p.23-26, 2000.

SHAHEED, K., SOMASUNDARAM, S.S.N., SHAHUL HAMEED, P., IYENGAR, M.A.R. A study of polonium-210 distribution aspects in the riverine ecosystem of Kaveri, Tiruchirappalli, India. *Environmental pollution*, v.95, n.3, p. 371-377, 1997.

SHANNON, L.V. *Investl. Rep. Div. Sea Fish. S.Afr.*, n.100, 34 pp., 1973.

_____; CHERRY, R.D. polonium-210 in marine plankton. *Nature*, v.216, p. 352-353, 1967.

SKWARZEC, B. Accumulation of ^{210}Po in selected species of baltic fish, *J. Environ. Radioact.*, v. 8, n. 2, p. 111-118, 1988.

_____, BOJANOWSKI, R. ^{210}Po content in sea water and its accumulation in southern Baltic plankton. *Marine Biology*, v. 97, p. 301-307, 1988.

_____, FALKOWSKI, L. Accumulation of ^{210}Po in Baltic Invertebrates. *J. Environ. Radioactivity*, v. 8, p. 99-109, 1988.

_____. Polonium, uranium and plutonium in the Southern Baltic Sea. *Ambio*, v. 26, n. 2, p. 113, 1997.

_____; ULATOWSKI, J.; BORYLO, A.; STRUMINSKA, D.I. Inhalation of ^{210}Po and ^{210}Pb from cigarette smoking in Poland. *Journal of Environmental Radioactivity* (in press), 2001.

STEPNOWSKI, P., SKWARZEC, B. Tissue subcellular distributions of ^{210}Po in the crustacean *Saduria entomon* inhabiting the southern Baltic Sea. *Environmental Radioactivity*, v.49, p. 195-199, 2000a.

. A comparison of ^{210}Po accumulation in mollusks from the southern Baltic, the coast of Spitsbergen and Sasek Wielki Lake in Poland. *Environmental Radioactivity*, v. 49, p. 201-208, 2000b.

SZPILMAN, M. Peixes Marinhos do Brasil: guia prático de identificação. Rio de Janeiro. Instituto Ecológico Aqualung. Ed. Cochrane, 288p.2000.

TABELA PERIODICA. Polônio. Disponível em: <http://www.tabelaperiodica.hpg.lg.com.br/po.htm>. Acessado em 01 de dezembro de 2001

THOMAS, P., LIBER, K. An estimation of radiation doses to benthic invertebrates from sediments collected near a Canadian uranium mine. *Environment International*, v.27, p. 341-353, 2001.

UGUR, A., YENER, G., BASSARI, A. Trace metals and ^{210}Po (^{210}Pb) concentrations in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) consumed at western Anatolia. *Applied Radiation and Isotopes*, v.57, p. 565-571, 2002.

UNCEAR- UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION (UNCEAR). Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Report, New York, USA, 1982.

UNCEAR. UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION. Ionizing radiation: Sources and biological effects. United Nations, New York, 1993.

WILDGUST, M.A., McDONALD, P., WHITE, K.N. Temporal changes of ^{210}Po in temperate coastal waters. *The Science of the Total Environment*, v.215, p. 1-10, 1998.

WOODHEAD, D.J. Levels of radioactivity in the marine environment and the dose commitment in marine organisms. In: Symposium on the Interaction of Radioactive Contaminants with the Constituents of the Marine Environment, Seattle USA, 10-14 July, 1972. Proceed. Vienna I.A.E.A., 1973.

VASCONCELLOS, L.M.H.; AMARAL, E.C.S.; VIANNA, M.E.; PENNA FRANCA, E. Uptake of ^{226}Ra and ^{210}Pb by food crops cultivated in a region of high natural radioactivity in Brazil. *Journal of Environmental Radioactivity*, v.5, p. 287-302, 1987.