

ESTIMATIVA DO RISCO QUANTO A INGESTÃO DE As, Cd e Pb
VIA CONSUMO DE CARNE POR UMA POPULAÇÃO ADULTA NO
NORTE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, BRASIL

DAYANA CALDAS CARDOSO SARDINHA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO
CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
OUTUBRO – 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do Centro de Biociências e Biotecnologia
da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

616 / 2015

Sardinha, Dayana Caldas Cardoso

Estimativa do risco quanto a ingestão de As, Cd e Pb via consumo de carne por uma população adulta no norte do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. / Dayana Caldas Cardoso Sardinha. -- Campos dos Goytacazes, 2015.

xiv, 56 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Biociências e Biotecnologia. Laboratório de Ciências Ambientais.

Área de concentração: Ecologia de Ecossistemas

Orientador: Souza, Cristina Maria Magalhães de

Bibliografia: f. 54-56

1. Arsênio 2. Cádmiio 3. Chumbo 4. Frango 5. Fígado 6. Carne de boi
I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro II. Título

664.9
S244e

ESTIMATIVA DO RISCO QUANTO A INGESTÃO DE As, Cd e Pb
VIA CONSUMO DE CARNE POR UMA POPULAÇÃO ADULTA NO
NORTE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, BRASIL

DAYANA CALDAS CARDOSO SARDINHA

Dissertação apresentada ao Centro de
Biotecnologia e Biociências da
Universidade Estadual do Norte
Fluminense, como parte das exigências
para a obtenção do título de Mestre em
Ecologia e Recursos Naturais.

Orientadora: Prof^a Dr^a Cristina Maria Magalhães de Souza
Coorientador: Prof. Dr. Marcos Sarmet Moreira de Barros Salomão

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
OUTUBRO – 2015

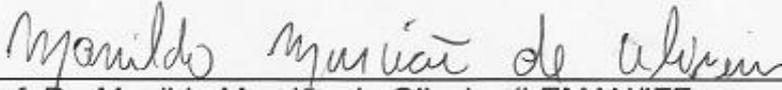
ESTIMATIVA DO RISCO QUANTO A INGESTÃO DE As, Cd e Pb
VIA CONSUMO DE CARNE POR UMA POPULAÇÃO ADULTA NO
NORTE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, BRASIL

DAYANA CALDAS CARDOSO SARDINHA

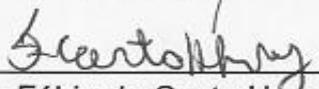
Dissertação apresentada ao Centro de
Biotecnologia e Biotecnologia da
Universidade Estadual do Norte
Fluminense, como parte das exigências
para a obtenção do título de Mestre em
Ecologia e Recursos Naturais.

Aprovada em: 09/10/15

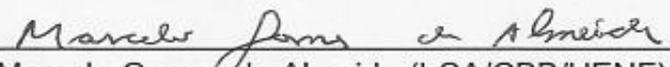
Comissão Examinadora:



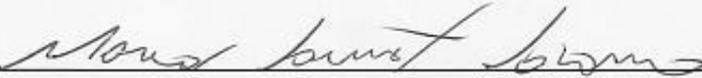
Prof. Dr. Manildo Marcião de Oliveira (LEMAN/IFF campus Cabo Frio)



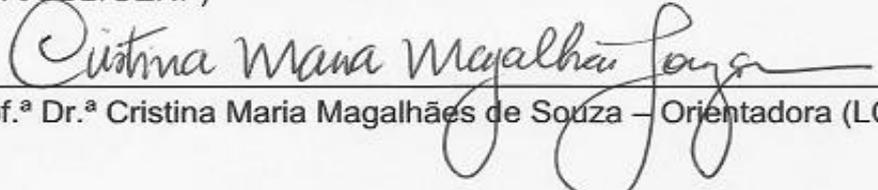
Prof. Dr. Fábio da Costa Henry (LTA/CCTA/UENF)



Dr. Marcelo Gomes de Almeida (LCA/CBB/UENF)



Prof. Dr. Marcos Sarmet Moreira de Barros Salomão – Coorientador
(LCA/CBB/UENF)



Prof.ª Dr.ª Cristina Maria Magalhães de Souza – Orientadora (LCA/CBB/UENF)

“All things are toxic and there is nothing without toxic properties. It is only the dose which makes something a poison”.

- Paracelsus

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe, irmã e irmão por todo apoio que me deram durante o período do curso.

Agradeço a Prof^a. Cristina Maria Magalhães de Souza pela orientação, suporte, dedicação, compreensão, exemplo profissional e pessoal e amizade.

Agradeço ao Prof^o Marcos Sarmet M.de B. Salomão pela coorientação deste estudo.

Agradeço aos amigos de laboratório, Annaliza, Clara e Lucas, por toda ajuda durante o curso e pelos momentos de descontração. Agradeço em especial ao Inácio Pestana pela colaboração essencial neste estudo.

Agradeço aos amigos que me deram força durante o curso, em especial a Adélia e ao Gilson.

À todos que direta ou indiretamente colaboraram com o desenvolvimento deste projeto de pesquisa.

Ao Laboratório de Ciências Ambientais (CBB/UENF) pelo apoio logístico e infraestrutura analítica.

À FAPERJ (Processo E-26/010.001984/2014 – Edital Prioridade Rio) pelo suporte financeiro para desenvolvimento deste projeto.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE FIGURAS	XI
RESUMO.....	XII
ABSTRACT	XIII
ESTE ESTUDO	XIV
1. Introdução Geral	15
1.1. Complexo Mundial de Carnes: Ranking Brasileiro.....	15
1.2. Fontes de As, Cd e Pb para Tecidos Animais	16
1.3. Toxicidade Humana através da Ingestão de Elementos-traço	20
1.3.1 Arsênio.....	20
1.3.2 Cádmio	21
1.3.3 Chumbo	23
“Estimativa do Risco Quanto a Ingestão de As, Cd e Pb Via Consumo de Carne por uma População Adulta no Norte do Estado do Rio de Janeiro, Brasil”	
Resumo.....	26
1. Introdução	27
2. Material e Método	
2.1. Área de Estudo	28
2.2. Coleta e Preparo das Amostras	29
2.3. Solubilização das Amostras de Carnes e Fígados	30
2.4. Solubilização das Amostras de Suplemento Mineral e Ração....	30
2.5. Determinação de Elementos-traço	31
2.6. Controle de Qualidade Analítica	31
2.7. Questionário de Frequência Alimentar	32
2.8. Estimativa da Ingestão Alimentar de Elementos-traço (EDI).....	32
2.9. Estimativa do Risco de Câncer.....	33
2.10. Análises Estatísticas.....	33
3. Resultados e Discussão	
3.1. Dados da População	34
3.2. Níveis Residuais de As, Cd e Pb em Carnes e Fígados	35
3.3. Fontes de As, Cd, Pb para Carnes e Fígados de Boi e Frango.	36
3.4. Estimativa da Ingestão Diária de Elementos-traço	40
3.4.1. Arsênio.....	41
3.4.2. Cádmio.....	41
3.4.2. Chumbo.....	42
3.5. Estimativa do Risco de Câncer	42
4. Conclusão.....	45

5. Agradecimentos	45
6. Referências	45
7. Material Suplementar	
7.1. Material Suplementar 1.....	50
7.2. Material Suplementar 2.....	50
7.3. Material Suplementar 3	51
7.4. Material Suplementar 4	52
2. Considerações Finais	53
3. Referências	54

LISTA DE ABREVIATURAS

AELCR - Annual Excesso Lifetime Cancer Risk

As - Arsênio

CB – Carne Bovina

Cd – Cádmiio

CF – Carne de Frango

EDI - Estimation of Dietary Intake

EROs - Espécies Reativas de Oxigênio

EU Comission – European Comission

FB – Fígado Bovino

FF – Fígado de Frango

H₃BO₃ - Ácido Bórico

HCl - Ácido Clorídrico

HF - Ácido Fluorídrico

HNO₃ - Ácido Nítrico

LCA - Laboratório de Ciências Ambientais

LD - Limite de Detecção

LMR - Limite Máximo de Resíduo

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

NCR - National Research Council

P.S. - Peso Seco

P.U. - Peso Úmido

Pb - Chumbo

QFA - Questionário de Frequência Alimentar

UENF - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

USEPA - United States Environmental Protection Agency

WHO - World Health Organization

LISTA DE TABELAS

Introdução Geral

Tabela 1: Situação do Brasil relativo ao Setor de Produção de Carnes.....	16
--	-----------

Artigo

Tabela 1. Frequência de consumo e taxa de ingestão de carne e fígado pela população. Valores médios, desvio padrão e intervalos para concentrações de As, Cd e Pb em carne e fígado de bovino e de frango e para a Estimativa Diária de Ingestão (EDI). n>LD indica a percentagem de amostras com As, Cd e Pb acima do limite de detecção.....	37
---	-----------

Tabela 2. Concentração de As, Cd e Pb reportados na literatura para vários países.....	38
---	-----------

Tabela 3. Concentração média \pm desvio padrão de elementos-traço em diferentes marcas de ração para frango (n=4) e suplemento mineral para bovinos de corte (n=4).....	39
--	-----------

Material Suplementar

Tabela1. Valores certificados (média \pm desvio padrão) do material de referência DORM-3 (proteína de peixe, NRC, Canada) e Limite de detecção (LD).....	50
---	-----------

LISTA DE FIGURAS

Artigo

Figura 1. Mapa da Área de Estudo.....29

Figura 2. Percentual da contribuição relativa a carne e fígado de cada animal para a ingestão diária total (EDI) de As, Cd e Pb pela população adulta de Campos dos Goytacazes. CB= Carne Bovina; FB= Fígado Bovino; CF= Carne de Frango; FF= Fígado de Frango.....40

Figura 3. Risco de câncer quanto a ingestão de As e Cd associado ao consumo de carne e fígado bovino e de frango. Letras minúsculas diferenciam o risco de câncer entre os produtos animais, considerando testes independentes para cada elemento. FB = Fígado Bovino; FF = Fígado de Frango; CB = Carne Bovina; CF = Carne de Frango. Os círculos representam amostras com valores atípicos (outliers).....43

Material Suplementar

Figura 1. Questionário de Frequência Alimentar.....50

Figura 2. Porções de Carne de Frango e de Boi51

Figura 3. Porções de Fígado de Frango e de Boi52

RESUMO

Este estudo avaliou a presença e os níveis de As, Cd e Pb em carne e fígado bovino e de frango e as fontes de contaminação desses elementos-traço para os animais. O risco associado ao consumo desses itens foi estimado para população adulta de uma cidade de médio porte no sudeste do Brasil, no que tange ingestões toleráveis e a probabilidade de ocorrência de neoplasias. Amostras de carne e fígado (boi e frango) foram coletadas em açougues, abatedouros e supermercados da cidade (n=250). Amostras de suplemento mineral para bovino (n=4) foram coletadas em propriedades rurais e a ração para frango (n=4), em lojas agropecuárias. As amostras de carne e fígado, suplementos minerais e ração foram solubilizadas em meio ácido oxidante e determinadas em ICP-OES. A ingestão diária de carne e fígado foi estimada utilizando um questionário de frequência alimentar aplicado a 602 pessoas adultas residentes. A estimativa da ingestão diária ($\mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}\text{kg}^{-1}$) de elementos-traço pela população através do consumo de carne bovina, fígado bovino, carne de frango e fígado de frango foi baixa, correspondendo a 3,3%, 0,5%, 2,4% e 2,3% da ingestão diária tolerável recomendada por WHO para As; 1,2%, 0,3%, 0,5%, e 0,2% para Cd; e 2,8%, 0,1%, 0,7% e 0,3% para Pb. A estimativa de desenvolvimento de câncer ficou abaixo da probabilidade natural e aleatória de 5 em 100.000 pessoas por ano, ou $5 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$, definida pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica. Os resultados indicam que o consumo de carne e fígado representa uma fonte potencial de As, Cd e Pb para a população urbana adulta estudada. O fígado de frango, embora menos consumido, apresentou valores excedentes na ingestão diária tolerável e na probabilidade de produção de neoplasmas, no que tange a ingestão do As, servindo de alerta ao consumo desse item. A suplementação mineral persiste como fonte de exposição a As, Cd e Pb para bovinos de corte e frango, mesmo após a regulamentação da concentração desses elementos.

ABSTRACT

This study evaluated the levels of As, Cd and Pb in meat and liver beef and chicken and the sources of contamination of trace elements for animals. The risk associated with the consumption of the items was estimated for the adult population of a medium-sized city in southeastern Brazil, in terms tolerable daily intakes and the probability of occurrence of cancer. Meat and liver samples (beef and chicken) were collected in butcher shops, slaughterhouses and supermarkets (n = 250). Mineral supplement samples for bovine (n = 4) were collected from farms and feed for chicken (n = 4) in agricultural stores. Samples of meat and liver, mineral supplements and feed chicken were solubilized in oxidizing acid and determined in ICP-OES. The daily intake of meat and liver was estimated using a food frequency questionnaire applied to 602 adult people. The estimated daily intake ($\mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1} \text{ kg}^{-1}$) of trace elements by the population through the consumption of beef meat, bovine liver, chicken meat and chicken liver was lower than the tolerable daily intake recommended by WHO, corresponding to 3.3%, 0.5 %, 2.4% and 2.3% for As; 1.2%, 0.3%, 0.5% and 0.2% for Cd; and 2.8%, 0.1%, 0.7% and 0.3% for Pb. The cancer development estimated was below the natural and random probability of 5 in 100,000 people by year, or $5 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$, defined by the International Commission on Radiological Protection. The results indicate that the consumption of meat and liver are a source of As, Cd and Pb for adult urban population studied. The chicken liver, although less consumed, was the only item that showed values higher than the tolerable daily intake and cancer production probability, regarding the intake of As, serving as an alert to the consumption of this item. Mineral supplementation persists as a source of exposure to As, Cd and Pb for beef cattle and chicken, even after the legislation established for these elements.

ESTE ESTUDO

O objetivo deste estudo foi avaliar a presença e os níveis de As, Cd e Pb em carne e fígado bovino e de frango, assim como a fonte de contaminação desses elementos-traço para os animais. Além disso, foi avaliado o risco associado ao consumo de cada um desses itens para a população humana adulta de uma cidade de médio porte no sudeste do Brasil, no que tange as ingestões toleráveis e a probabilidade de ocorrência de neoplasias.

Essa dissertação é composta de (1) uma introdução geral, onde é abordado o tema da contaminação de carnes, importante fonte de proteína na dieta da população brasileira, por arsênio, cádmio e chumbo e os riscos à saúde associados a ingestão humana desses elementos-traço e (2) um artigo científico, submetido à revista *Chemosphere*, que contém os resultados desse trabalho.

1. Introdução Geral

Como resultado de atividades industriais, agrícolas e de mineração, somadas as atividades naturais, o enriquecimento por metais pesados em ecossistemas terrestres e aquáticos configura uma ameaça ambiental em todo o mundo (Roggeman *et al.*, 2014). Nos últimos anos, tem havido uma atenção maior à transferência de elementos-traço não essenciais aos produtos que compõem a dieta humana, uma vez que o consumo de alimentos tem sido considerado como a principal via de exposição humana a esses contaminantes, em comparação com outras vias de exposição como a inalação e o contato dérmico (Loutfy *et al.*, 2006).

Em termos de efeitos adversos a saúde humana, o arsênio, o cádmio e o chumbo são os elementos que têm causado maior preocupação, devido a toxicidade, persistência e bioacumulação desses elementos-traço ao longo da cadeia alimentar (Demirezen & Uruc, 2006). A exposição humana crônica a estes elementos-traço acima do limite de segurança pode resultar em efeitos adversos sobre uma variedade de processos bioquímicos e fisiológicos (Zheng *et al.*, 2007).

Conhecendo o conteúdo de elementos-traço não essenciais em alimentos destinados ao consumo humano e as preferências alimentares de uma população, é possível inferir sobre os riscos associados ao consumo desses itens alimentares e estimar probabilidades de desenvolvimentos de doenças, como câncer.

1.1. Complexo Mundial de Carnes: Ranking Brasileiro

O Brasil ocupa uma posição de destaque na produção mundial de proteína animal, com ênfase na produção de carne bovina, de frango e suína. Atualmente, o Brasil faz parte dos 4 maiores produtores do setor do Complexo de Carnes responsáveis por 60% da produção mundial, perdendo apenas para os Estados Unidos e seguido pela União Europeia e China (ABDI, 2011).

Junto com a Austrália, EUA e Índia, o Brasil lidera o grupo dos 4 maiores exportadores de carne bovina, com 70% do mercado mundial. Na exportação de carne de frango, o Brasil ocupa a primeira posição no ranking mundial, com

33,9% das exportações, seguido pelos EUA (31,6%) e A União Européia (10,8%). O mercado brasileiro é quase em sua totalidade suprido pela produção interna e apenas 0,5% é suprido pelo Uruguai (43%), Argentina (33%) e Paraguai (24%) (ABDI, 2011; USDA, 2011).

A relação entre a produção nacional e o consumo nacional é de equilíbrio, predominando a frequência de consumo de frango na dieta dos brasileiros (Tabela 1). De acordo com a FAO (Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação), esta é a tendência do mercado internacional, cuja perspectiva é que o consumo mundial de frango ultrapasse a carne suína. Essa ascendência no mercado internacional é favorecida pelo menor custo de produção do alimento e também porque é uma carne que não apresenta restrições religiosas quanto ao seu consumo, ao contrário das carnes bovina e suína.

Tabela 1: Situação do Brasil relativo ao Setor de Produção de Carnes

2012	Consumo de Carnes no Mundo	Coefficiente de Exportação brasileiro	Consumo de Carnes no Brasil	Produção Nacional
Bovina	22,8 %	19,6%	39,9 %	36,8 %
Frango	33,6 %	28,0%	46,2 %	50,0 %
Suína	43,6 %	16,8%	13,9 %	13,2 %

Referência: USDA, 2011

As exportações de carne bovina, suína e de frango devem aumentar, respectivamente, 2,8%, 1,6% e 2,0% por ano durante o período de 2014-2023, que representa um aumento de 2,2 milhões de toneladas de carne bovina, 1 milhão de toneladas de carne suína e 2 milhões de toneladas de carne de frango (USDA, 2014).

Em virtude do aumento na produção, consumo e exportação de carnes, cresce a preocupação com a inocuidade desses produtos, que pode ser comprometida em decorrência da exposição de animais à pesticidas, drogas veterinárias e contaminantes ambientais (Brasil,1999).

1.2. Fontes de As, Cd e Pb para Tecidos Animais

No grupo de substâncias que são identificadas como resíduos em carnes estão os elementos-traço. Esse grupo consiste em elementos químicos que, de

um modo geral, ocorrem na natureza em baixas concentrações, na ordem de partes por milhão (ppm) a partes por bilhão (ppb), e são altamente persistentes, uma vez que não podem ser degradados ou destruídos (Adriano, 1986).

Dentre eles, o As, o Cd e o Pb despertam grande preocupação, tanto por uma questão econômica, na medida que a presença desses contaminantes em carnes constitui uma barreira para a exportação do produto, quanto pela toxicidade desses resíduos a saúde do consumidor, classificados como carcinogênicos humano pela Agência Internacional para Pesquisa sobre o Câncer – IARC (IARC, 1987; Brasil, 1999).

Alguns processos naturalmente incrementam as concentrações de elementos-traço no ambiente, como o intemperismo e erupções vulcânicas. Por outro lado, o acelerado processo de industrialização e urbanização das últimas décadas e o desenvolvimento da agricultura, tem contribuído para o aumento expressivo na concentração natural desses elementos no ambiente, como consequências de atividades antropogênicas (Alloway, 1990).

As indústrias, principalmente as relacionadas a mineração e fundição de metais são as principais fontes antropogênicas de elementos-traço para o ambiente. Outras fontes antrópicas incluem a aplicação de fertilizantes no solo, queima de combustíveis fósseis e a incineração de resíduos e produtos que contenham metais pesados (Silva *et al.*, 2005).

A mineração de zinco, cobre, ouro e chumbo, por exemplo, está associada com a disseminação de As pela pedosfera, uma vez que esse elemento possui uma alta afinidade geoquímica com os demais (EFSA, 2009a).

No que tange o Cd, grande parte desse elemento presente no ambiente é liberado para a atmosfera na forma de partículas em suspensão por meio do processamento e da queima de produtos que contêm Cd, como plásticos, tintas, borrachas e baterias (EFSA, 2009b).

As emissões atmosféricas provenientes do tráfego rodoviário, de fábricas, de baterias e indústrias químicas são responsáveis também pela precipitação de Pb sobre plantações e áreas de pastagem. Apesar da tendência de redução no uso, o Pb ainda é utilizado como aditivo na gasolina e também está presente em baterias usadas em veículos automotores (UNEP, 2006).

Uma vez presente no solo, seja por ocorrência natural ou por ação antrópica, os elementos-traço acumulam-se nos tecidos das plantas, o que resulta em um enriquecimento em culturas vegetais e rações utilizadas na alimentação animal e subsequente, em elevados níveis em carne bovina e de aves, especialmente no fígado e nos rins (Silva et al., 2005).

Mendes *et al* (2006) avaliaram os níveis de Cd e Pb em diferentes fertilizantes fosfatados e encontraram concentrações de Pb no intervalo de 45 – 238 $\mu\text{g.g}^{-1}$ e para para Cd entre 11 e 61 $\mu\text{g.g}^{-1}$. Os autores observaram um aumento na absorção, principalmente de Cd por plantas de mucuna preta cultivadas em casa-de-vegetação em solo submetido a diferentes doses desses fertilizantes.

Vários estudos relatados na literatura visam relacionar a influência de rodovias na contaminação por elementos-traço em solos e plantas. Com a perspectiva de avaliarem os níveis de Cd e Pb em amostras de solo e gramíneas sob a influência de uma rodovia com tráfego intenso na França, Viard e colaboradores (2004) observaram uma contaminação em um raio de até 320 m, com teores máximos entre 5 m e 20 m da rodovia. As concentrações medidas nas gramíneas na vizinhança da rodovia foram 2,1 $\mu\text{g.g}^{-1}$ para Pb e 0,06 $\mu\text{g.g}^{-1}$ para Cd.

Incrementos na concentração de Pb também foram observados por Broska *et al.*, (2009), em solo próximos a trechos de rodovias que passam pelas cidades de Curitiba e São José dos Pinhais, quando comparados a solos de referência.

Akbar *et al.*, (2006) conduziram um estudo a fim de avaliarem os níveis de contaminação por metais pesados em solos de beira de estrada do norte da Inglaterra. A concentração de Pb foi a mais alta no solo e variou entre 25-1.198 $\mu\text{g.g}^{-1}$, com valor médio de 232,7 $\mu\text{g.g}^{-1}$. A concentração de Cd foi a menor no solo, variou de 0,3-3,8 $\mu\text{g.g}^{-1}$ (média de 1,4 $\mu\text{g.g}^{-1}$).

Na criação de bovinos, os elementos-traço têm sua principal via de entrada associada à suplementos minerais, indispensáveis para a nutrição desses animais. Isso ocorre porque o sistema preponderante de criação de bovinos no Brasil é o extensivo, em que o boi é criado solto no pasto alimentado a base de forrageiras que não suprem todas as necessidades minerais do animal, especialmente de fósforo (EMBRAPA, 2001).

O fósforo é o elemento de maior custo nas misturas minerais no Brasil e a fonte mais comum utilizada no país é o fosfato bicálcico, produto de excelente qualidade, mas que chega a ser responsável por até 85% do custo final da mistura. Com o intuito de reduzir os custos na produção dos suplementos minerais, o governo brasileiro liberou (Portaria SRD n.º 20 de 06/07/1997 do MAPA) a substituição do fosfato bicálcico por fontes alternativas de fósforo a partir de fosfato de rocha ou rocha fosfática, que é simplesmente a rocha fosfatada, de origem ígnea ou sedimentar, moída (EMBRAPA, 2001).

A contaminação dos suplementos minerais por elementos tóxicos pode estar associada a utilização de matéria prima de baixa qualidade pelas indústrias produtoras da mistura mineral a fim de baratear os custos da produção e atingir competitividade de mercado (Gonçalves *et al.*, 2010).

Alguns estudos mostraram concentrações de elementos-traço não essenciais acima do limite máximo permitido pela legislação em suplementos minerais comercializados em diversos Estados brasileiros. Gaste *et al.*, (2002) analisaram os níveis de Pb em diferentes formulações de misturas minerais comercializadas no Estado do Paraná e observaram concentrações entre 2,7 $\mu\text{g.g}^{-1}$ e 256,4 $\mu\text{g.g}^{-1}$. Dentre 37 diferentes marcas comercializadas nos Estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, 33 tiveram concentrações maiores do que o limite máximo permitido para Cd (Marçal *et al.*, 2003).

No caso da produção de aves, compostos orgânicos de As, como o ácido arsanílico e o ácido-3-nitro-4-hidroxifenilarsônico, são usados como aditivos na ração, apesar da tendência de redução da utilização desses compostos após proibição pelo Ministério da Agricultura pesca e Abastecimento (Portaria Nº 31, de 29 de janeiro de 2002) (Brasil, 1999; Brasil 2000).

Esses compostos organoarsênicos apresentam propriedades estimulantes, agindo como aceleradores do crescimento das aves, promovendo aumento de peso, além de garantirem a eliminação de parasitas causadores de doenças (Brasil 2000).

Ao ser metabolizado pelas aves, o composto organoarsênico se transforma em espécie química mais tóxica de arsênio (As inorgânico), que

pode ficar alojada na carne ou ser excretada na cama de frango¹. Apesar do seu uso proibido no Brasil a partir da Instrução Normativa Nº 8, de 25 de Março de 2004, a cama de frango pode ser utilizada na alimentação bovina por conter altos níveis de ureia e também como adubo na agricultura podendo atingir os produtos de culturas vegetais, potencializando a via de contaminação animal (Hilleman, 2007).

Dionísio *et al.* (2011) coletaram diferentes tipos de rações de frango adquiridos no Brasil e no exterior e detectaram presença de arsênio, principalmente nas rações que intercalam o ciclo, como as de crescimento ($0,35- 2,43 \mu\text{g.g}^{-1}$) postura ($0,40-0,46 \mu\text{g.g}^{-1}$) e engorda ($0,42 \mu\text{g.g}^{-1}$), o que pode eventualmente ser explicado pela utilização do estimulante à base de arsênio nessa fase da produção. Teores de arsênio também foram encontrados em todas as amostras de cama de frango e penas de frango analisadas no mesmo estudo, com uma variação de $1,30 \pm 0,1$ a $36,7 \pm 1,96 \mu\text{g.g}^{-1}$.

A associação de elementos tóxicos em alimentos proteicos representa um grande risco à saúde humana induzindo as autoridades sanitárias a estabelecerem limites para ingestão diária tolerável. Em caso de ingestão acima desses valores, efeitos toxicológicos podem ocorrer no organismo humano (WHO, 2002).

1.3. Toxicidade Humana através da Ingestão de Elementos-traço

1.3.1. Arsênio

A ingestão crônica de arsênio por seres humanos tem sido associada a efeitos gastrointestinais (náuseas, vômitos, diarreia e dor abdominal), a danos aos sistemas nervoso central e periférico, e câncer de fígado, rim e bexiga. A exposição prolongada ao arsênio também está associada a efeitos sobre o sistema vascular. O efeito mais dramático é a "Doença Blackfoot", uma doença caracterizada por uma perda progressiva da circulação nas extremidades do corpo (mãos e pés) que conduz a necrose e gangrena. Devido a exposição

¹ Denomina-se cama de frango todo material utilizado para forragem do leito de aves, sendo composto por uma mistura de substrato, restos de ração, fezes e penas de ave. O substrato convencionalmente utilizado na avicultura no Brasil é a maravalha, um material constituído por partículas de tamanho aproximado de 3 cm, produzida pelo beneficiamento de madeiras (Embrapa, 1992).

crônica, também aparecem alterações dermatológicas, como hiperqueratose palmar e plantar e hiperpigmentação. A ingestão aguda de arsênio manifesta-se através de doenças cardiovasculares que incluem arritmias cardíacas e isquemia do coração (EFSA, 2009a).

Após ser absorvido pelo trato gastrointestinal, o As é distribuído pelo corpo através de duas vias: o plasma sanguíneo e os eritrócitos, nos quais o As se liga à hemoglobina, e é principalmente depositado nos rins, fígado e pulmões. Posteriormente, o As é internalizado pelas células através de transportadores de membrana do tipo canais-iônicos (aquaporinas), os mesmos que também internalizam fosfato para as células (EFSA, 2009a; Prajapati *et al.*, 2011).

Uma via mais direta de ação tóxica do As está relacionada com sua ligação em grupamentos tiol de proteínas e enzimas. As proteínas que formam cabelo, unhas e pele (queratina, principalmente) são ricas em grupamentos tiol, dado a presença do aminoácido cisteína. Após algumas semanas da ingestão do As, já é possível verificar sua presença em alguns desses tecidos (EFSA, 2009a).

Outra possibilidade de ação direta, é a substituição de grupamentos estruturalmente similares ao As, como grupamentos fosfatos, o que afetaria a síntese de ATP e a estrutura do DNA, por competição (Gresser, 1981; Flora *et al.*, 2007; Prajapati *et al.*, 2011).

1.3.2. Cádmio

A exposição ao cádmio através da ingestão aguda do elemento provoca sintomas gastrointestinais graves. Os sintomas mais comuns em seres humanos incluem severa irritação do estômago, dor abdominal, náuseas, vômitos, salivação, cólicas, diarreia, e até a morte. Danos pronunciados no fígado também são observados em níveis elevados de exposição oral ao cádmio (ATSDR, 2012).

O rim é o principal órgão alvo da toxicidade do cádmio, após a exposição oral crônica. Baixas doses de ingestão de cádmio durante um longo período de tempo podem conduzir a uma acumulação de cádmio especialmente nas

células tubulares proximais. Se o acúmulo de cádmio for alto, ele irá danificar os rins, causando disfunção renal. A exposição crônica ao cádmio pode causar também desmineralização óssea através de danos diretos ou indiretos como resultados da disfunção renal. Portanto, os órgãos mais sensíveis a toxicidade do cádmio, após ingestão prolongada, são os rins e os ossos (ATSDR, 2012).

Após ingestão, o Cd é absorvido pela corrente sanguínea e inicialmente transportado para o fígado onde induz a síntese de metalotioneínas (MT). O complexo Cd-MT pode ser liberado na corrente sanguínea, a partir da morte dos hepatócitos, redistribuindo o Cd pelo corpo. O Cd é, então, internalizado nas células através de canais iônicos dependentes de voltagem, responsáveis por internalizar Ca^{2+} nas células (Li *et al.*, 2000; Rani, *et al.*, 2013).

Intracelularmente, o Cd pode causar diretamente danos estruturais em proteínas de membrana e enzimas citoplasmáticas ao substituir íons de Fe^{2+} e Cu^{2+} presentes nessas moléculas. Essa substituição tem duas consequências: (1) Primeiramente as moléculas que tiveram os íons substituídos, perdem sua conformação tridimensional e, conseqüentemente, sua função. Além disso, (2) os íons de Fe e Cu que ficam livres na célula desencadeiam uma reação com moléculas de água (Reação de Fenton), que induz a produção de EROs (Casalino *et al.*, 1997; Waisberg *et al.*, 2003).

Além de causar estresse oxidativo através da geração de EROs, o Cd depleciona o sistema de defesa antioxidante da célula. No fígado, o Cd se combina com Se e o composto resultante (CdSe) é excretado do corpo através da bile. Uma vez deplecionado em Se, as células do fígado tornam-se menos eficientes em usar a Glutathiona reduzida (GSH), um dos principais antioxidantes do corpo humano. Com organismo deplecionado em antioxidantes, os efeitos das EROs são intensificados (Klaassen & Liu, 1997).

Uma vez que as EROs danificam a membrana nuclear, o Cd pode agir diretamente nas enzimas responsáveis pelo contínuo reparo do DNA. Candéias *et al.* (2010) mostraram que o Cd pode inibir o reparo de uracilas erroneamente inseridas em uma sequência de DNA. Sem esse mecanismo de reparo, comum em qualquer célula, a ocorrência de eventos que poderiam levar à mutagênese é drasticamente aumentada, podendo desencadear câncer.

O Cd ainda pode causar fragilidade óssea, por dois mecanismos: (1) No fígado, ele é capaz de inativar a enzima responsável pela produção da forma

ativa da Vitamina D₃ e, sem essa vitamina, a absorção de Ca²⁺ pelo sistema gastrointestinal é inviável. Adicionalmente, (2) o Cd pode agir diretamente sobre os mecanismos de osteoclase e osteoblaste, estimulando a reabsorção óssea e/ou inibindo a formação de ossos, respectivamente. Como consequência, a matriz óssea é desfeita e não volta a ser reconstruída (Chertok *et al.*, 1981; Smith *et al.*, 2009; Bodo *et al.*, 2010).

1.3.3. Chumbo

O órgão humano mais sensível a toxicidade ao Pb é o sistema nervoso. A ingestão crônica de Pb pode culminar em tremor muscular, perda de memória e alucinações. Crianças são mais vulneráveis aos efeitos do Pb sobre o sistema nervoso, uma vez que absorvem uma fração maior do metal, podendo causar perda a capacidade de concentração e da memória de curto prazo, causando hiperatividade e irritabilidade. Em gestantes, o metal pode atravessar a barreira placentária e causar danos ao sistema nervoso central do feto em desenvolvimento (Bellinger, 2004; Needleman, 2004).

O mecanismo de toxicidade do Pb no sistema nervoso jaz na sua capacidade de substituir íons bivalentes, como Ca²⁺, Mg²⁺ e Fe²⁺, afetando a estrutura de proteínas e enzimas que possuem esses elementos essenciais. Quando o Pb substitui o Ca²⁺ em moléculas orgânicas que são transportadas pelo plasma sanguíneo, ele se torna competente para atravessar a barreira hematoencefálica, estrutura de permeabilidade altamente seletiva que protege o sistema nervoso central contra substâncias tóxicas. Após atravessar a barreira, o Pb se acumula nos astrócitos, células do sistema nervoso central com várias funções, desde a regulação da homeostase iônica à produção de neurotransmissores. Esse acúmulo se deve a presença de proteínas com alta afinidade ao Pb nos astrócitos. Como efeito, há retardamento na produção da bainha de mielina, causando danos generalizados no sistema motor (Bressler *et al.*, 1999; Lidsky & Schneider, 2003; Garza *et al.*, 2006).

A toxicidade ao chumbo também está relacionada a danos ao sistema hematopoiético pela inibição de determinadas etapas da biossíntese da heme. Nesse processo, as duas principais enzimas inibidas são a ácido delta-aminolevulínico desidratase (ALA-D) e a ferroquelatase. A interferência na

síntese da heme resulta na redução dos níveis de hemoglobina no sangue que leva ao surgimento de uma anemia normocítica hipocrômica com reticulocitose, ou seja, aumento do número de eritrócitos imaturos (ATSDR, 1999).

Assim como descrito para As e Cd, o Pb é simultaneamente capaz de causar estresse oxidativo através da geração de EROs e deplecionar o organismo em antioxidantes como a GSH, intensificando os danos causados pelas EROs (Flora *et al.*, 2011).

Artigo

Estimativa do Risco Quanto a Ingestão de As, Cd e Pb Via
Consumo de Carne por uma População Adulta no Norte do Estado
do Rio de Janeiro, Brasil

Estimativa do risco quanto a ingestão de As, Cd e Pb via consumo de carne por uma população adulta no norte do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

D.Caldas⁽¹⁾, I.A. Pestana⁽¹⁾, M.G. de Almeida⁽¹⁾, F.C. Henry⁽²⁾, M.S.M.B. Salomão⁽¹⁾, C.M.M. de Souza⁽¹⁾

⁽¹⁾Laboratório de Ciências Ambientais, Centro de Biociências e Biotecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, CEP: 28013-602

⁽²⁾Laboratório de Tecnologia de Alimentos, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, CEP: 28013-602

RESUMO

Este estudo avaliou a presença e os níveis de As, Cd e Pb em carne e fígado bovino e de frango e as fontes de contaminação desses elementos-traço para os animais. O risco associado ao consumo de carne e fígado bovino e de frango foi estimado para população adulta de uma cidade de médio porte no sudeste do Brasil, no que tange a ingestões toleráveis e a probabilidade de ocorrência de neoplasias. Amostras de carne e fígado (boi e frango) foram coletadas em açougues, abatedouros e supermercados da cidade (n=250). Amostras de suplemento mineral para bovino (n=4) foram coletadas em propriedades rurais e a ração para frango (n=4), em lojas agropecuárias. As amostras de carne e fígado, suplementos minerais e ração foram solubilizadas em meio ácido oxidante e determinadas em ICP-OES. A ingestão diária de carnes e fígados foi estimada utilizando um questionário de frequência alimentar aplicado a 602 pessoas adultas residentes. A estimativa da ingestão diária ($\mu\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) de elementos-traço pela população através do consumo de carne bovino, fígado bovino, carne de frango e fígado de frango foi baixa, correspondendo a 3,3%, 0,5%, 2,4% e 2,3% da ingestão diária tolerável recomendada por WHO para As; 1,2%, 0,3%, 0,5%, e 0,2% para Cd; e 2,8%, 0,1%, 0,7% e 0,3% para Pb. A estimativa de desenvolvimento de câncer ficou abaixo da probabilidade natural e aleatória de 5 em 100.000 pessoas por ano, ou $5 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$, definida pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica. Os resultados indicam que o consumo de carne e fígado de boi e frango representa uma fonte potencial de As, Cd e Pb para a população urbana adulta estudada. O fígado de frango, embora menos consumido, apresentou valores excedentes na ingestão diária tolerável e na probabilidade de produção de neoplasmas, no que tange a ingestão do As, servindo de alerta ao seu consumo. A suplementação mineral persiste como fonte de exposição a As, Cd e Pb para bovinos de corte e frango, mesmo após a regulamentação da concentração desses elementos.

Palavras Chave: arsênio, cádmio, chumbo, frango, fígado, carne de boi

1. Introdução

A exposição humana à As, Cd e Pb por meio do consumo de alimentos tem despertado preocupação quanto aos riscos à saúde. As carnes possuem altos índices de ingestão diária dado principalmente à grande proporção de proteínas e aminoácidos essenciais presentes em sua composição, além de vitaminas, minerais e ácidos graxos poli-insaturados (Pussa, 2013). A eventual falha de um dos elos da cadeia produtiva de carnes pode aumentar o risco de exposição a esses elementos, o que tornam os estudos de avaliação extremamente relevantes no que tange a saúde pública da população consumidora final. Somado a isso, há uma expectativa de aumento no consumo de carne bovina, de frango e suína de 1,9% por ano durante o período de 2014-2023 e um crescimento em torno de 22% no comércio nesse período, segundo projeções mundiais do USDA (2014).

A presença de elementos-traço não essenciais para o funcionamento celular, como As, Cd e Pb, em tecidos animais destinados ao consumo humano pode ser devido a ocorrência natural desses elementos no solo, como consequência do intemperismo da rocha matriz, ou a processos antropogênicos, pelo uso de fertilizantes e pesticidas, deposição atmosférica de resíduos provenientes de queima de combustíveis fósseis e/ou atividades de mineração.

As plantas constituem o primeiro elo de transferência de contaminação do sistema solo-animal, que pode ocorrer a partir do consumo direto ou por meio de rações compostas de matrizes vegetais, como milho e soja (Adriano, 1986; Alloway, 1990).

Suplementos minerais oferecidos a bovinos de corte associados a matérias primas de baixa qualidade, com resíduos de elementos-traço, caracterizam uma importante fonte de contaminação para os tecidos dos animais de maneira geral. Alguns elementos, entretanto, podem apresentar concentrações mais críticas em determinadas criações. O uso de compostos orgânicos de As na avicultura, por exemplo, na promoção de crescimento e ação anticoccidiana, pode acarretar em danos relevantes e irreversíveis em uma população com preferência alimentar e/ou cultural voltada para carnes e miúdos de frango (Hilleman, 2007; Gonçalves *et al.*, 2010).

No organismo humano, a maioria dos elementos-traço não essenciais tem afinidade por grupos tiol e sulfidrilas de proteínas causando a inativação de uma variedade de enzimas que resultam em lise celular e danos a diversos tecidos como o hepático, renal e o neurológico. A inativação de enzimas relacionadas à síntese e reparo do DNA é responsável pela carcinogenicidade desses elementos, reconhecida pela Agência Internacional para Pesquisa sobre o Câncer (IARC, 1987).

O objetivo deste estudo foi avaliar a presença e os níveis de As, Cd e Pb em carne e fígado bovino e de frango, assim como a fonte de contaminação desses elementos-traço para os animais. Além disso, foi avaliado o risco associado ao consumo de cada um desses produtos alimentares para a população humana adulta de uma cidade de médio porte no sudeste do Brasil, no que tange a ingestões toleráveis e a probabilidade de ocorrência de neoplasias.

2. Material e Métodos

2.1. Área de Estudo

O Estado do Rio de Janeiro localiza-se na região sudeste do Brasil, que apresenta o maior índice populacional (42%) e de urbanização (89,3%) do país. A economia da região é a mais desenvolvida e industrializada dentre as demais regiões, com destaque para as indústrias petroquímicas, siderúrgicas, metalúrgicas e automobilísticas. Apresenta significativa produção agrícola, que inclui principalmente o cultivo de cana-de-açúcar, laranja e café (IBGE, 2010; IPEA, 2014).

Este estudo foi realizado em uma cidade de médio porte, Campos dos Goytacazes (21°45'15"S,41°19'28"W), predominantemente urbana com cerca de 77,8% da população de 463.731 habitantes vivendo na área central (Figura 1). A cidade é a maior produtora de petróleo do Brasil e detentora do maior número de estabelecimentos industriais na região norte do Estado do Rio de Janeiro, com destaque para as indústrias sucroalcooleiras, de produtos alimentares, química, transformação de produtos minerais não metálicos e

mecânica. Na agropecuária destacam-se a criação de bovinos e o cultivo da cana de açúcar (SEBRAE, 2011; TCE, 2011; CEPERJ, 2015).

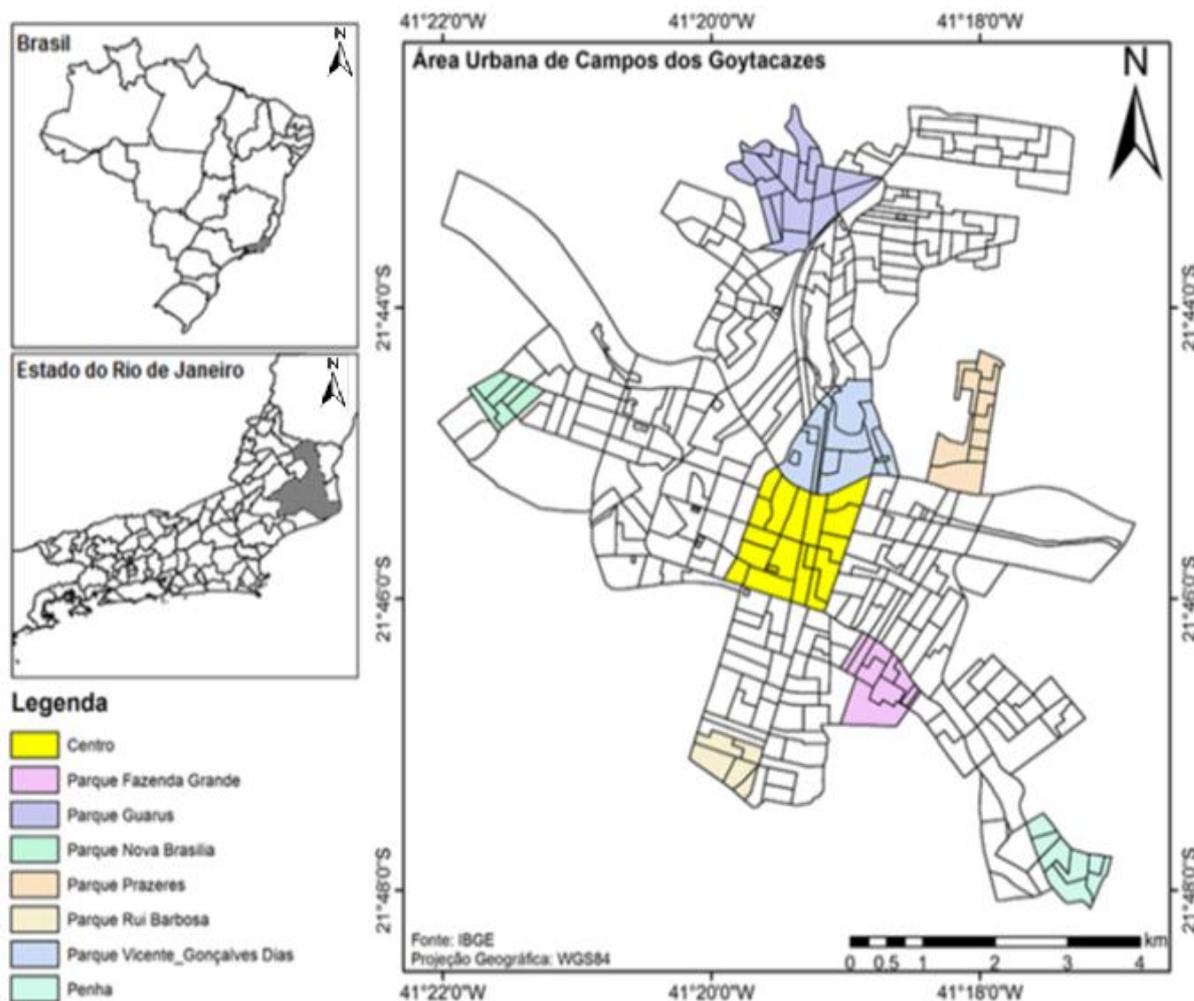


Figura 1. Mapa da Área de Estudo.

2.2. Coleta e Preparo das Amostras

Um total de 250 amostras, dentre elas carne bovina (n=73), fígado bovino (n=69), carne de frango (n=75) e fígado de frango (n=33) foram coletadas no período de julho a dezembro de 2014 em estabelecimentos comerciais (açougues, abatedouros e supermercados) distribuídos por oito bairros pertencentes a área central urbana da cidade que recebem produtos advindos de diferentes regiões do país. Os cortes de carne bovina (paleta) e de frango (peito sem osso) foram escolhidos de acordo com os tipos mais consumidos e acessíveis a população.

Imediatamente após a coleta as amostras de carne e fígado foram acondicionadas em caixas isotérmicas refrigeradas e individualmente transferidas para sacos plásticos hermeticamente fechados, identificados e mantidos sob refrigeração. Uma alíquota de cada amostra foi pesada, liofilizada e homogeneizada com auxílio de gral e pistilo.

Amostras de suplemento mineral para bovino de corte (n=4) e ração para frango (n=4) foram avaliadas neste estudo como possíveis vias de contaminação dos elementos-traços para os itens proteicos. Os suplementos minerais foram adquiridos de propriedades rurais em Campos dos Goytacazes e nos municípios vizinhos de São Fidélis (21°38'46"S, 41°44'49"W) e São Francisco de Itabapoana (21°18'07"S, 40°57'41"W), e as amostras de ração para frango foram adquiridas em lojas agropecuárias no Município.

Ambas as matrizes foram armazenadas em sacos plásticos hermeticamente fechados e identificados. Alíquotas foram trituradas em moinho de facas para melhor solubilização.

2.3. Solubilização das Amostras de Carnes e Fígados

Para cada 0,500g±0,001g de amostra liofilizada foram adicionados 10mL de HNO₃ 65%, em bloco digestor à 60°C até a total solubilização. Na etapa seguinte o volume da solução foi reduzido a 1mL, à 150°C, e o extrato retomado com 10mL de HNO₃ 0,5N. O extrato final foi filtrado em papel *Whatman* 40 e o volume final aferido a 20 mL com HNO₃ 0,5N (Adaptado de Paez-Osuna *et al.*, 1995).

2.4. Solubilização das Amostras de Suplemento Mineral e Ração

A partir de 0,750g±0,001g de alíquotas trituradas e acondicionadas em tubos de teflon (X-press), o processo de digestão foi realizado em duas etapas em forno microondas modelo Mars X-press (CEM): (1) 8mL de HNO₃ 65% + 2mL de HF 48%, 40 minutos (15min-Ramp e 25min-Hold) a temperatura de 175°C e (2) 12mL de H₃BO₃ 4% por 25 minutos (15min-Ramp e 10min-Hold) a 175°C. Após resfriamento, cada extrato foi filtrado em papel *Whatman* 40 e

aferido a um volume final de 30 mL com HNO₃ 0,5 N (Adaptado de Hoeniga *et al.*, 1998; Capelo *et al.*, 1999; Lavilla *et al.*, 1999).

2.5. Determinação de Elementos-traço

A determinação de As, Cd e Pb foi realizada utilizando-se um Espectrofotômetro de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES) modelo Varian-720 ES. As concentrações dos elementos-traço foram expressas em $\mu\text{g.g}^{-1}$ P.U. para todos os tecidos. Os pesos secos foram calculados conforme os teores de água nos diferentes tecidos (MB= 74,5±2,3; FB = 69,7±1,6; MF e FF= 74,0±1,6) e apresentados na Tabela 2, a fim de aumentar a abrangência de comparação dos teores dos elementos-traço encontrados com outros trabalhos no mundo. Todas as amostras de ração e suplemento mineral foram expressas em $\mu\text{g.g}^{-1}$ P.S.

2.6. Controle de Qualidade Analítica

A precisão e a exatidão do método foram testadas utilizando-se triplicatas da amostra certificada DORM-3 (Proteína de peixe, National Research Council, Canada) e de brancos adicionados a cada bateria de análises (conjunto de 80 amostras). A taxa de recuperação do DORM-3 para As, Cd e Pb foi, respectivamente, 90%, 96% e 90% (**Material suplementar 1**).

O limite de detecção (LD) para cada um dos elementos foi estimado utilizando-se a intensidade do sinal relativa a três vezes o desvio padrão (3σ) de 20 brancos dividida pela inclinação da curva de calibração (Skoog, 1994). Os valores em base volumétrica foram multiplicados pelo volume final utilizado em cada método e divididos pela massa média úmida das amostras. Os valores obtidos para As, Cd e Pb foram, respectivamente, $0,06\mu\text{g.g}^{-1}$, $0,01\mu\text{g.g}^{-1}$ e $0,03\mu\text{g.g}^{-1}$ e estão abaixo dos limites máximos de cada um destes elementos-traço toleráveis em carnes.

Todos os frascos e vidrarias foram previamente descontaminados em soluções contendo reagentes de grau analítico em 3 etapas consecutivas, cada uma delas por um período de 24h: Extran 5%, HCl 5% e HNO₃ 5%. A lavagem foi concluída após enxague, por 3 vezes, com água produzida em sistema Milli-

Q. Reagentes de grau analítico (Merck) foram utilizados em todas as etapas dos procedimentos adotados.

2.7. Questionário de Frequência Alimentar

Um questionário foi aplicado a residentes maiores de 18 anos com o objetivo de reunir informações sobre idade, sexo, peso corporal e hábito alimentar, este baseado na frequência e na quantidade de consumo de carne e fígado bovino e de frango pela população (**Material Suplementar 2**).

A proporção de carne e fígado consumidos por semana foi considerada em categorias distintas para carne de boi (CB) e de frango (CF) e para fígado de boi (FB) e de frango (FF): **CB** e **CF** – 5 a 7 dias; 1 a 4 dias; nunca; e **FB** e **FF** – 1 a 2 dias; < 1 dia; nunca.

Para ajudar os entrevistados a estimarem a proporção de carne e fígado consumida foram preparadas imagens de diferentes porções para cada item cozido, com o peso mensurado (**Material Suplementar 3 e 4**). As porções foram classificadas como pequena (P), média (M) e grande (G) e a quantidade de cada item diferenciada nas seguintes proporções: **CB** - P=29,5g, M=88,5g, G=128g; **CF**- P=22,4, M=39,4g, G=85,9g; **FB** – P=25,8g, M=44,6g, G=67,8g; **FF** – P=23,9g, M=41,7g; G=74,3g.

Uma balança digital foi utilizada para aferir o peso dos entrevistados.

2.8. Estimativa da Ingestão Alimentar de Elementos-traço (EDI)

A estimativa da ingestão alimentar (do inglês *Estimation of Dietary Intake* – EDI) de elementos-traço pela população adulta em estudo por meio do consumo de carne e fígado bovino e de frango foi determinada de acordo com a equação:

$$EDI = \frac{MI.MC}{BW}$$

Onde: *EDI* = estimativa da ingestão alimentar dos elementos-traço ($\mu\text{g.g}^{-1}.\text{BW}.\text{dia}^{-1}$); *MI* = é a concentração média dos elementos-traço nos diferentes tipos de alimento (carne bovina, carne de frango, fígado bovino, fígado de

frango, em $\mu\text{g.g}^{-1}$ P.U.); MC = média da taxa de ingestão diária do alimento (g.pessoa.dia^{-1}) e BW = peso corporal do indivíduo (Kg) (Ihedioha & Okoye, 2013).

2.9. Estimativa do Risco de Câncer

O potencial de risco de câncer associado a ingestão de As e Cd pelo consumo de carne e fígado bovino e de frango foi calculado para a população adulta em estudo de acordo com as diretrizes da Agencia de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 1997), através da equação:

$$AELCR = [1 - \exp(-CDI \cdot SF)]/DL$$

Onde: AELCR = representa a estimativa média para o desenvolvimento de câncer ao longo de um tempo médio de vida devido a exposição oral a contaminantes (a^{-1}); CDI = estimativa da ingestão diária alimentar (EDI), dividida por 1000; SF= coeficiente angular resultante de estudos toxicológicos ($\mu\text{g.g}^{-1}.\text{BW.dia}^{-1}$); DL= média da longevidade humana, estimada pelo IBGE (2012) em 74,08 anos; Foi assumido SF= $6,1 \mu\text{g.g}^{-1}.\text{BW.dia}^{-1}$ para Cd e $1,5 \mu\text{g.g}^{-1}.\text{BW.dia}^{-1}$ para As, segundo dados obtidos a partir do Sistema Integrado de Informação de Risco da USEPA (2015a; 2015b). A EPA considera inadequado o desenvolvimento de um SF para Pb, ao concluir, com base na literatura toxicológica do elemento, que há dúvidas quanto a relação entre a exposição oral ao Pb e efeitos cancerígenos ao ser humano USEPA (2015c).

2.10. Análises Estatísticas

Os testes estatísticos foram realizados no programa R© (R Core Team, 2013). Para a comparação da concentração dos elementos-traço em tecidos diferentes (carne e fígado) de cada animal (boi e frango), os dados foram transformados usando uma função de verossimilhança máxima (Box Cox), a fim de atender as premissas da ANOVA. As diferenças entre médias foram analisadas com o teste de Tukey, *a posteriori*, e a significância dessas diferenças foi reportada (p). Cálculos básicos de estatística descritiva (média

aritmética, desvio padrão, valores máximos e mínimos) também foram utilizados.

3. Resultados e Discussão

3.1. Dados da População

A consolidação do consumo de carnes no hábito alimentar do brasileiro como item essencial, principalmente pelo seu valor nutricional, está de acordo com o relatado pela OCDE-FAO (2015) no mundo, que prevê uma demanda mais acelerada desses itens, dado a tendência de aumento da população urbana e do poder aquisitivo, quando comparada com produtos agrícolas. Segundo a Organização, 70% da produção nacional de carnes é consumida internamente, com um crescimento anual previsto de 2,15% para carne de boi e de 3,64% para carne de frango até 2023.

De um total de 602 entrevistados maiores de 18 anos, 240 são homens e 362 mulheres. A média de idade da população é de 38 ± 16 anos para homens (18-86 anos) e 40 ± 16 anos para mulheres (18-88 anos). O peso médio da população é de 72 kg, sendo 80 ± 14 kg para homens (50-132 kg) e 68 ± 12 kg para mulheres (40-112 kg).

A frequência de consumo da população estudada mostra uma preferência pela carne de frango (98%) e carne de boi (95%). No entanto, devido ao consumo de carne bovina em maiores quantidades, a taxa de ingestão diária de carne bovina é significativamente maior do que a carne de frango (Tabela 1). Por outro lado, mais da metade da população não consome fígado de boi (55%) e fígado de frango (63%). Esses dados do QFA expressam um hábito alimentar que está de acordo com os dados relatados pelo USDA (2014) para a população brasileira. Segundo estimativa, entre 2001 e 2010 a carne de frango teve um aumento de 44% em relação ao consumo da carne bovina no país. Já o consumo de carne bovina permaneceu estável.

A taxa de ingestão alimentar da população mostra um consumo de CB significativamente maior que os demais tecidos ($p < 0,0001$). Consideradas as principais porções (M e G), o consumo de CB chega a 1,6 vezes maior (216,5g) comparativamente a carne de frango (125,3g), dada as diferenças no peso

respectivo das porções entre os tecidos. Não houve diferença significativa na taxa de ingestão entre FB e FF.

Não houve diferenças significativas na porção consumida e na frequência de consumo diária entre homens e mulheres, para todos os itens alimentares.

3.2. Níveis Residuais de As, Cd e Pb em Carnes e Fígados

Dentre os elementos-traço determinados neste estudo, o As foi o contaminante com maior frequência de detecção, quantificado em 58% do total de amostras, seguido do Pb (43,6%) e do Cd (39,2%) (Tabela 1). O Cd foi detectado em 85% do total de fígados bovino e abaixo de 35% para os demais tecidos.

Em relação as respectivas carnes, maiores concentrações de As e Cd foram observadas em fígado bovino ($p=0,04$ e $p=0,05$, respectivamente) e de As em fígado de frango ($p<0,001$), fato que pode ser atribuído ao caráter acumulador deste órgão (Alonso *et al.*, 2000). Alguns autores discutem a absorção do Cd em particular pelo tecido hepático devido a sua afinidade com proteínas de baixo peso molecular, as metalotioneínas (Alonso *et al.*, 2000; Roggeman *et al.*, 2014). O fígado de frango apresenta concentrações de As significativamente maiores do que o fígado bovino ($p<0,001$). Não houve diferença nas concentrações de Pb entre os tecidos.

Embora o uso do ácido 3-nitro-4-hidroxiifenilarsônico na alimentação de aves esteja proibido no Brasil (Portaria 31 de 29/01/2002 do Ministério da Agricultura pesca e Abastecimento) foi constatado a permanência do composto na produção nacional, usado como anticoccidiano, resultando em resíduos do elemento (ANVISA, 2005).

Estudos em larga escala mostram a circulação desses elementos na dieta alimentar de populações no Brasil e em outros países (Tabela 2). Filho (2011), em estudo realizado em 20 estados brasileiros ao longo de 6 anos (2001 a 2008) e estudando os mesmos tecidos deste estudo, detectou níveis de As em 3, dos 4 tipos de tecidos, com exceção da CB e com destaque para o FF. Os teores de As neste estudo foram comparativamente mais elevados que do autor citado; as concentrações de Cd em FB e FF estão inseridas no

intervalo do autor e os níveis de Pb foram menores em FB e semelhantes no FF. Esses resultados confirmam a persistência de uso de substâncias a base de As na produção de frango no país.

Os níveis médios de As neste estudo para todos os tecidos (0,06 a 1,78 $\mu\text{g.g}^{-1}$ P.U.) são maiores que os níveis reportados na Espanha (Alonso *et al.*, 2000; Miranda *et al.*, 2005), Jamaica (Nriagu *et al.*, 2009), Gana (Bortey-Sam *et al.*, 2015) e Austrália (Kramer *et al.*, 1983) (Tabela 2). Teores de Pb em CB e CF foram superiores a estudos desenvolvidos na China (Lei *et al.*, 2013) e em Gana (Bortey-Sam *et al.*, 2015), e para CB na Nigéria (Ihedioha & Okoye, 2013), Marrocos (Sedki *et al.*, 2003) e Cazaquistão (Farmer & Farmer, 2000). Comparativamente aos estudos citados, os níveis de Cd são menores em CB e CF. De uma forma geral, níveis de Cd e Pb em FB e FF foram semelhantes aos estudos citados.

Dentre as várias agências ao redor do mundo que estabelecem limites para a inspeção e fiscalização de resíduos, o MERCOSUL (2011), EU Comissão (2001) e ANVISA (2013), consideram teores iguais para As, Cd e Pb na avaliação do risco de consumo de carne e fígado, respectivamente (em $\mu\text{g.g}^{-1}$): As (0,5 e 1,0), Cd (0,05 e 0,5) e Pb (0,1 e 0,5). A porcentagem de amostras que ultrapassaram os limites estabelecidos para os elementos estudados em relação a amostragem foi: As – 9% de FF; Cd – 1,3% de CB; 1,4% de FB e Pb – 1,3% de CB, o que ressalta deficiências no elo da cadeia produtiva, principalmente para o CB que aparece como o um dos itens preferenciais de consumo, somado a maior quantidade ingerida.

3.3. Fontes de As, Cd e Pb para Carnes e Fígados

Dentre as 4 marcas de ração comercial para frango e as 4 marcas de suplemento mineral, todas apresentaram resíduos de Cd, Três de cada matriz foram quantificadas para As, e o Pb foi detectado apenas nas amostras de suplemento mineral (Tabela 3). A associação natural desses elementos em rochas fosfáticas contribui para uma importante via de enriquecimento em solos (Alloway, 1990; Campos *et al.*, 2007) uma vez que a matriz é muito usada para a produção de fertilizantes na agricultura e suplementos minerais para alimentação de bovinos de corte (EMBRAPA, 2001).

Tabela 1. Frequência de consumo e taxa de ingestão de carne e fígado pela população. Valores médios, desvio padrão e intervalos para concentrações de As, Cd e Pb em carne e fígado de bovino e de frango e para a Estimativa Diária de Ingestão (EDI). n>LD indica a porcentagem de amostras com As, Cd e Pb acima do limite de detecção.

Tipos de Carne	Dados da População (N=602)			Amostras Analisadas	As			Cd			Pb		
	% Frequência de Consumo ⁽¹⁾	Taxa de Ingestão do alimento (g.dia ⁻¹) ⁽²⁾			n>LD ⁽³⁾ (%)	Concentração ± DP ⁽⁴⁾ (Intervalo) (µg.g ⁻¹) P.U. ⁽⁵⁾	EDI ± DP ⁽⁶⁾ (Intervalo) (µg.dia ⁻¹ .kg ⁻¹)	n>LD ⁽³⁾ (%)	Concentração ± DP ⁽⁴⁾ (Intervalo) (µg.g ⁻¹) P.U. ⁽⁵⁾	EDI ± DP ⁽⁶⁾ (Intervalo) (µg.dia ⁻¹ .kg ⁻¹)	n>LD ⁽³⁾ (%)	Concentração ± DP ⁽⁴⁾ (Intervalo) (µg.g ⁻¹) P.U. ⁽⁵⁾	EDI ± DP ⁽⁶⁾ (Intervalo) (µg.dia ⁻¹ .kg ⁻¹)
	(*)	(**)	(***)										
Carne de Boi (CB)	19	76	5	73	37 (50,7%)	0,11±0,04 ^{bA} (0,06-0,21)	0,066±0,060 ^a (0,005-0,946)	8 (11%)	0,02±0,023 ^{bA} (0,01-0,08)	0,012±0,011 ^a (0,001-0,168)	34 (46,6%)	0,17±0,63 ^{aA} (0,03-3,71)	0,099±0,090 ^a (0,007-1,418)
Fígado de Boi (FB)	22	23	55	69	32 (46,4%)	0,15±0,05 ^{aB} (0,07-0,25)	0,009±0,008 ^d (0,001-0,049)	59 (85,5%)	0,04±0,08 ^{aA} (0,01-0,57)	0,003±0,002 ^c (0,001-0,015)	37 (53,6%)	0,06±0,02 ^{aA} (0,04-0,15)	0,004±0,003 ^d (0,001-0,020)
Carne de Frango (CF)	27	71	2	75	52 (69,3%)	0,13±0,05 ^{bA} (0,06-0,31)	0,047±0,040 ^b (0,005-0,725)	26 (34,7%)	0,01 ±0,004 ^{aA} (0,01-0,02)	0,005±0,005 ^b (0,001-0,082)	30 (40,0%)	0,07±0,05 ^{aA} (0,03-0,30)	0,025±0,022 ^b (0,003-0,393)
Fígado de Frango (FF)	19	18	63	33	24 (72,7%)	0,53±0,45 ^{aA} (0,09-1,78)	0,046±0,213 ^c (0,004-3,15)	5 (15,2%)	0,01 ±0,007 ^{aA} (0,01 -0,03)	0,002±0,007 ^d (0,001-0,083)	8 (24,2%)	0,10±0,13 ^{aA} (0,04-0,42)	0,009±0,042 ^c (0,001-0,616)
TOTAL				250	145 (58%)			98 (39,2%)			109 (43,6%)		
LD ⁽⁷⁾						0,06			0,01			0,03	
LMR ⁽⁸⁾						0,5 ^(M) e 1,0 ^(F)			0,05 ^(M) e 0,5 ^(F)			0,1 ^(M) e 0,5 ^(F)	
EDI Tolerável ⁽⁹⁾							2,0			1,0			3,6

Legenda: ⁽¹⁾ Frequência de Consumo para Carne de Boi e Carne de Frango: (*)= 5 a 7 dias; (**) 1 a 4 dias; (***) Nunca

Frequência de Consumo para Fígado de Boi e Fígado de Frango: (*)= 1 a 2 dias; (**) < 1 dia; (***) Nunca

⁽²⁾ A taxa de ingestão média de cada item alimentar pela população foi estimada segundo a frequência e a quantidade de consumo por pessoa.

⁽³⁾ n>LD indica o número de amostras e, entre parênteses a % acima do limite de detecção para As, Cd e Pb

⁽⁴⁾ Letras minúsculas (a e b) comparam concentrações nos tecidos diferentes do mesmo animal;

Letras maiúsculas (A e B) comparam concentrações nos tecidos iguais de animais diferentes

⁽⁵⁾ P.U. =Peso Úmido

⁽⁶⁾ Letras minúsculas (a, b, c e d) comparam os valores de EDI do mesmo elemento entre tecidos diferentes.

⁽⁷⁾ LD = Limite de Detecção (µg.g⁻¹)

⁽⁸⁾ LMR = Limite Máximo de Resíduo (µg.g⁻¹), segundo ANVISA (2013) e MERCOSUL (2011)

⁽⁹⁾ EDI Tolerável = Ingestão diária tolerável (µg.dia⁻¹.Kg⁻¹), segundo WHO (2002)

^(M) = Músculo

^(F) = Fígado

Tabela 2. Concentração de As, Cd e Pb reportados na literatura para vários países

Elemento	Animal	Produtos Animais	Concentração ($\mu\text{g.g}^{-1}$)		Intervalo de Concentração ($\mu\text{g.g}^{-1}$)		Local de Estudo	Referência
			Peso Úmido	Peso Seco	Peso Úmido	Peso Seco		
As	Boi	Carne	0,11	0,45	0,06 - 0,21	0,24 - 0,85	Brasil	Este Estudo
			0,004		ND - 0,01		Espanha	Alonso <i>et al.</i> (2000)
			0,004		ND - 0,02		Espanha (Área Industrial)	Miranda <i>et al.</i> (2005)
		0,003		ND - 0,02		Espanha (Área Rural)	Miranda <i>et al.</i> (2005)	
		Fígado	0,15	0,50	0,07 - 0,25	0,25 - 0,85	Brasil	Este Estudo
			0,03		0,010 - 0,15		Brasil	Filho <i>et al.</i> (2014)
			0,02	0,05	ND - 0,36	ND - 1,12	Jamaica	Nriagu <i>et al.</i> (2009)
			0,01		ND - 0,39		Espanha	Alonso <i>et al.</i> (2000)
			0,01		ND - 0,19		Espanha (Área Industrial)	Miranda <i>et al.</i> (2005)
	0,01			ND - 0,36		Espanha (Área Rural)	Miranda <i>et al.</i> (2005)	
	Frango	Carne	0,13	0,50	0,006 - 0,31	0,24 - 1,20	Brasil	Este Estudo
			0,04		ND - 0,13		Gana	Bortey-Sam <i>et al.</i> (2015)
			0,03		0,01 - 0,26		Brasil	Filho (2011)
		Fígado	0,53	2,03	0,09 - 1,78	0,36 - 6,84	Brasil	Este Estudo
			0,07		0,001 - 0,7		Gana	Bortey-Sam <i>et al.</i> (2015)
0,33				0,01 - 1,41		Brasil	Filho (2011)	
Cd	Boi	Carne	0,02	0,008	0,01 - 0,08	0,04 - 0,31	Brasil	Este Estudo
				0,35		ND - 0,8	Nigeria	Ihedioha <i>et al.</i> (2013)
			0,001		0,0001 - 0,0003		China	Lei <i>et al.</i> (2013)
				0,13		0,0001 - 17,3	China	Yuan <i>et al.</i> (2013)
			0,0009		ND - 0,008		Espanha	Alonso <i>et al.</i> (2000)
				0,60		0,25 - 1,0	Marrocos (Área Industrial)	Sedki <i>et al.</i> (2003)
				0,20		0,3 - 0,15	Marrocos (Área Rural)	Sedki <i>et al.</i> (2003)
					0,61 - 0,77		Cazaquistão	Farmer & Farmer (2000)
			0,01				Egito (Área Rural)	Abou-Arab (2001)
			0,03				Egito (Área Industrial)	Abou-Arab (2001)
			0,001		ND - 0,02		Espanha (Área Industrial)	Miranda <i>et al.</i> (2005)
			0,001		ND - 0,007		Espanha (Área Rural)	Miranda <i>et al.</i> (2005)
		Fígado	0,004	0,15	0,01 - 0,57	0,04 - 1,90	Brasil	Este Estudo
			0,08		0,02 - 0,25		Espanha	Alonso <i>et al.</i> (2000)
				5,10		2,9 - 7,1	Marrocos (área industrial)	Sedki <i>et al.</i> (2003)
				1,70		0,6 - 2,7	Marrocos (área rural)	Sedki <i>et al.</i> (2003)
			0,21		0,02 - 0,04		Cazaquistão	Farmer & Farmer (2000)
					0,09 - 1,28		Brasil	Filho <i>et al.</i> (2014)
	Frango	Carne	0,06	0,01	0,01-0,02	0,04-0,09	Brasil	Este Estudo
			0,0008		0,0001- 0,002		China	Lei <i>et al.</i> (2013)
					0,01 - 1,27		Nigéria	Iwegbue <i>et al.</i> (2008)
			0,01	0,05	0,01 - 0,03	0,04 - 0,10	Brasil	Este Estudo
			0,22		0,05 - 0,56		Gana	Bortey-Sam <i>et al.</i> (2015)
			0,18		0,09-0,38		Brasil	Filho (2011)
		Fígado	0,17	0,67	0,03- 3,71	0,12 - 14,86	Brasil	Este Estudo
				0,09		ND - 0,72	Nigéria	Ihedioha <i>et al.</i> (2013)
			0,02		ND - 0,81		China	Lei <i>et al.</i> (2013)
			0,01		ND - 0,05		Espanha	Alonso <i>et al.</i> (2000)
					0,61 - 0,77		Cazaquistao	Farmer & Farmer (2000)
			0,06				Egito (área rural)	Abou-Arab (2001)
Boi	Carne	0,09				Egito (área industrial)	Abou-Arab (2001)	
		0,01		ND - 0,15		Espanha (área industrial)	Miranda <i>et al.</i> (2005)	
		0,01		ND - 0,06		Espanha (área rural)	Miranda <i>et al.</i> (2005)	
		Fígado	0,06	0,20	0,04 - 0,15	0,12 - 0,51	Brasil	Este Estudo
			0,23		0,16 - 0,66		Brasil	Filho <i>et al.</i> (2014)
			0,05	0,16	ND - 0,42	ND - 1,30	Jamaica	Nriagu <i>et al.</i> (2009)
			0,26		0,08 - 501,79	Nigéria	Ihedioha <i>et al.</i> (2013)	
	0,05			ND - 0,18		Espanha	Alonso <i>et al.</i> (2000)	
				0,75 - 1,02		Cazaquistao	Farmer & Farmer (2000)	
	Frango	Carne	0,12				Egito (área rural)	Abou-Arab (2001)
			0,57				Egito (área industrial)	Abou-Arab (2001)
			0,04		ND - 0,41		Espanha (área industrial)	Miranda <i>et al.</i> (2005)
0,02				ND - 0,17		Espanha (área rural)	Miranda <i>et al.</i> (2005)	
0,16				ND - 0,51		Espanha	Blanco-Penedo <i>et al.</i> (2006)	
0,07			0,27	0,03 - 0,30	0,13 - 1,17	Brasil	Este Estudo	
Frango	Carne	0,01		ND - 0,10		Gana	Bortey-Sam <i>et al.</i> (2015)	
		0,04		ND - 0,22		China	Lei <i>et al.</i> (2013)	
				0,01 - 4,60		Nigeria	Iwegbue <i>et al.</i> (2008)	
	Fígado	0,10	0,4	0,04 - 0,42	0,14 - 1,62	Brasil	Este Estudo	
		0,13		0,01 - 0,41		Gana	Bortey-Sam <i>et al.</i> (2015)	
		0,19		0,17 - 0,24		Brasil	Filho (2011)	

Freitas *et al.*, (2009) utilizando matriz de milho em experimento em casa de vegetação verificaram um enriquecimento de Cd e Pb, quando usaram fertilizantes fosfatado.

Áreas de mineração também são fontes prováveis de contaminação por esses elementos. Um estudo desenvolvido em áreas com elevados teores de As no solo (quadrilátero ferrífero, Brasil), mostrou um enriquecimento em vegetais como inhame ($207 \pm 17 \mu\text{g.g}^{-1}$), feijão ($8,3 \pm 0,70 \mu\text{g.g}^{-1}$) e folhas de couve ($6,3 \pm 0,44 \mu\text{g.g}^{-1}$) (Palmieri *et al.*, 2009). Particularmente para Pb, o enriquecimento do metal pode ser ainda proveniente de outras fontes pontuais como aplicação de lodo de esgoto em solos agrícolas, resíduos de tintas, baterias e óleo para motores de automóveis e máquinas agrícolas, deixados em pastos ou em locais que os animais tenham acesso, além da proximidade de áreas de produção às vias de tráfego intensos (EFSA, 2010).

Tabela 3. Concentração média \pm desvio padrão de elementos-traço em diferentes marcas de ração para frango (n=4) e suplemento mineral para bovinos de corte (n=4).

Amostras	Marcas (n=3)	As ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Cd ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Pb ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
Ração	1	$0,79 \pm 0,49$	$0,06 \pm 0,02$	<LD
	2	<LD	$0,24 \pm 0,02$	<LD
	3	$1,03 \pm 0,56$	$0,24 \pm 0,03$	<LD
	4	$1,35 \pm 0,37$	$0,10 \pm 0,01$	<LD
Suplemento	1	<LD	$0,28 \pm 0,01$	$1,2 \pm 0,04$
	2	$1,35 \pm 0,69$	$1,47 \pm 0,71$	$38,2 \pm 27,9$
	3	$1,92 \pm 0,71$	$1,08 \pm 0,59$	$5,1 \pm 0,69$
	4	$1,45 \pm 1,27$	$0,89 \pm 0,05$	$1,6 \pm 0,40$
LMR ($\mu\text{g.g}^{-1}$) ⁽¹⁾		50	0,5	30

⁽¹⁾ LMR = Limite Máximo de Resíduo ($\mu\text{g.g}^{-1}$), segundo NRC (1996)

O uso da cama de frango (material utilizado para forragem do leite de aves, composto por uma mistura de aparas de madeira, restos de ração, fezes e penas de ave) como fertilizante na agricultura agrava a contaminação por As, pois esse contaminante pode atingir culturas vegetais, que são fonte de matéria prima para a produção de ração animal. Apesar de proibida no Brasil (Instrução Normativa N° 8, de 25 de março de 2004), essa pode ser ainda uma via persistente na alimentação bovina como fonte de nitrogênio, por conter altos níveis de ureia (Brasil, 2004; Dionísio *et al.*, 2011).

Considerando os teores normativos pelo NCR (1996), nenhuma ração para frango apresentou concentrações de As, Cd e Pb superiores ao

preconizado (Tabela 3). No entanto três marcas de suplemento mineral apresentaram níveis superiores ao sugerido para Cd e uma única marca apresentou valor superior ao sugerido para Pb levando a considerar a necessidade de maior fiscalização dos produtos comercializados, necessários a qualidade de produção, de forma a minimizar a associação ao risco.

3.4. Estimativa da Ingestão Diária de Elementos-traço

As carnes constituem uma importante fonte de proteínas, minerais e ácidos graxos polinsaturados (Pussa, 2013), mas seus benefícios nutricionais devem ser ponderados quanto ao potencial risco para a saúde devido ao acúmulo de elementos-traço nestes tecidos. Diversos países estabeleceram limites máximos para ingestão de metais em carnes, considerando a quantidade consumida, a frequência de consumo e a concentração de elementos-traço no alimento (WHO, 2002).

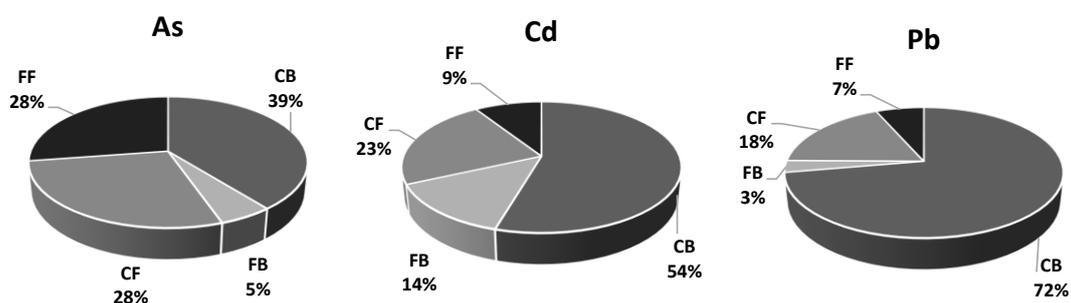


Figura 2. Percentual da contribuição relativa a carne e fígado de cada animal para a ingestão diária total (EDI) de As, Cd e Pb pela população adulta de Campos dos Goytacazes. CB= Carne Bovina; FB= Fígado Bovino; CF= Carne de Frango; FF= Fígado de Frango.

As carnes de boi e de frango foram as amostras que, somadas, mais contribuíram efetivamente para ingestão diária total de As (67%), Cd (77%) e Pb (90%) pela população em estudo se comparado aos respectivos fígados, com destaque para a carne bovina (Figura 2, $p < 0,0001$).

As amostras de fígado contribuíram com percentuais totais na seguinte ordem: As (33%) > Cd (23%) > Pb (10%). Estatisticamente, os valores de EDI se diferenciaram entre os elementos e entre os produtos animais. As e Pb foram significativamente maiores no FF que no FB ($p < 0,0001$), enquanto que o EDI foi maior em FB se comparado ao FF, para Cd ($p < 0,0001$).

O teste de Tukey foi aplicado para comparar a média da ingestão dos elementos traços por sexo (homens e mulheres) e não foram observadas diferenças significativas.

3.4.1. Arsênio

A média da ingestão de As por meio do consumo de CB, FB, CF e FF corresponde a 3,3% (0,3 - 47,3%), 0,5% (0,1 - 2,5%), 2,4% (0,3 - 36,3%) e 2,3% (0,2 - 157,5%) da ingestão diária tolerável recomendada por WHO (2002), respectivamente. Os resultados mostram que algumas amostras de FF extrapolaram o limite máximo tolerável de ingestão de As (Tabela 1).

Em média, os tecidos que mais contribuem para a ingestão de As pela população em estudo segue a seguinte ordem: CB>CF>FF>FB (Figura 2). Apesar de terem sido observadas maiores concentrações de As em fígado de frango, em comparação aos outros tecidos, a frequência de consumo e a taxa de ingestão de fígado de frango pela população são baixas, contribuindo para a redução da ingestão de As através do consumo deste tecido (Tabela 1).

A representatividade da carne bovina se deu pela maior taxa de ingestão e a maior frequência de consumo por semana, se comparada com os outros produtos animais. A mesma relação é observada para carne de frango, responsável pelo segundo maior EDI de As para a população (Tabela 1).

O As ingerido através dos alimentos é quase totalmente absorvido pelo trato gastrointestinal, segundo modelos de absorção em ratos e porcos, cujo percentual de absorção de As inorgânico foi de 95%, advindo de água potável no primeiro caso e em torno de 89% no segundo, combinado a arroz contaminado (Juhász *et al.*, 2006; ATSDR, 2007).

3.4.2. Cádmio

A média da ingestão de Cd por meio do consumo de carne bovina, fígado bovino, carne de frango e fígado de frango corresponde a 1,2% (0,1-16,8%), 0,3% (0,1-1,5%), 0,5% (0,1-8,2%) e 0,2% (0,1-8,3%) da ingestão diária tolerável recomendada por WHO (2002), respectivamente. Apesar do fígado bovino apresentar a maior concentração de Cd, sua frequência de

consumo e taxa de ingestão são baixas se comparadas as carnes bovina e de frango.

O Cd absorvido no corpo é eliminado muito lentamente, com uma meia vida biológica estimada entre 10 e 30 anos, e é principalmente depositado no fígado e nos rins, considerados principais alvos de toxicidade do metal (EFSA, 2009b). A formação do complexo Cd-MT no fígado permite a redistribuição do metal no corpo humano, podendo ser internalizado nas células por meio de canais iônicos associados à absorção de Ca^{2+} (Li *et al.*, 2000; Rani, *et al.*, 2013) e induzindo a processos que podem levar a fragilidade óssea (Chertok *et al.*, 1981; Smith *et al.*, 2009; Bodo *et al.*, 2010).

3.4.3. Chumbo

A média da ingestão de Pb através do consumo de carne bovina, fígado bovino, carne de frango e fígado de frango corresponde a 2,8% (0,19–39,39%), 0,1% (0,03–0,56%), 0,7% (0,08–0,92%) e 0,3% (0,03–17,11%) da ingestão diária tolerável recomendada por WHO (2002), respectivamente.

O Pb afeta várias funções no organismo humano, causando desordens principalmente relacionadas ao sistema nervoso baseadas na sua capacidade de substituir íons bivalentes como Ca^{2+} , Mg^{2+} e Fe^{2+} e afetando vários processos biológicos que dependem de proteínas e enzimas que possuem esses elementos essenciais na sua estrutura (Bellinger, 2004; Needleman, 2004). Uma vez no cérebro, o Pb consegue também inibir a proteína quinase C, responsável pelo acúmulo de memória e o equilíbrio de Na^+ , retardando a geração de potenciais de ação e impedindo a comunicação com o sistema nervoso periférico (Bressler *et al.*, 1999; Lidsky & Schneider, 2003; Garza *et al.*, 2006).

3.5. Estimativa do Risco de Câncer

De acordo com a literatura toxicológica, a ingestão de As e Cd pode ser responsável pelo desenvolvimento de diversos tipos de câncer no homem e em animais. Neste estudo, o risco potencial de desenvolvimento de câncer pela ingestão de As e Cd foi calculado para a população em estudo utilizando um

modelo de avaliação de risco à saúde de acordo com as diretrizes da USEPA (1997).

Os valores de AELCR (Figura 3) são interpretados como o aumento da probabilidade natural de uma pessoa de desenvolver câncer durante toda a sua vida, causado pela exposição crônica à potenciais agentes carcinogênicos, como As e Cd. Esse índice assume que a probabilidade natural para desenvolvimento de câncer em pessoas seja aleatória e acometa naturalmente 5 em 100.000 pessoas por ano ($5 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$). O aumento dessa probabilidade é entendido como efeito direto da exposição a agentes cancerígenos através de um consumo crônico.

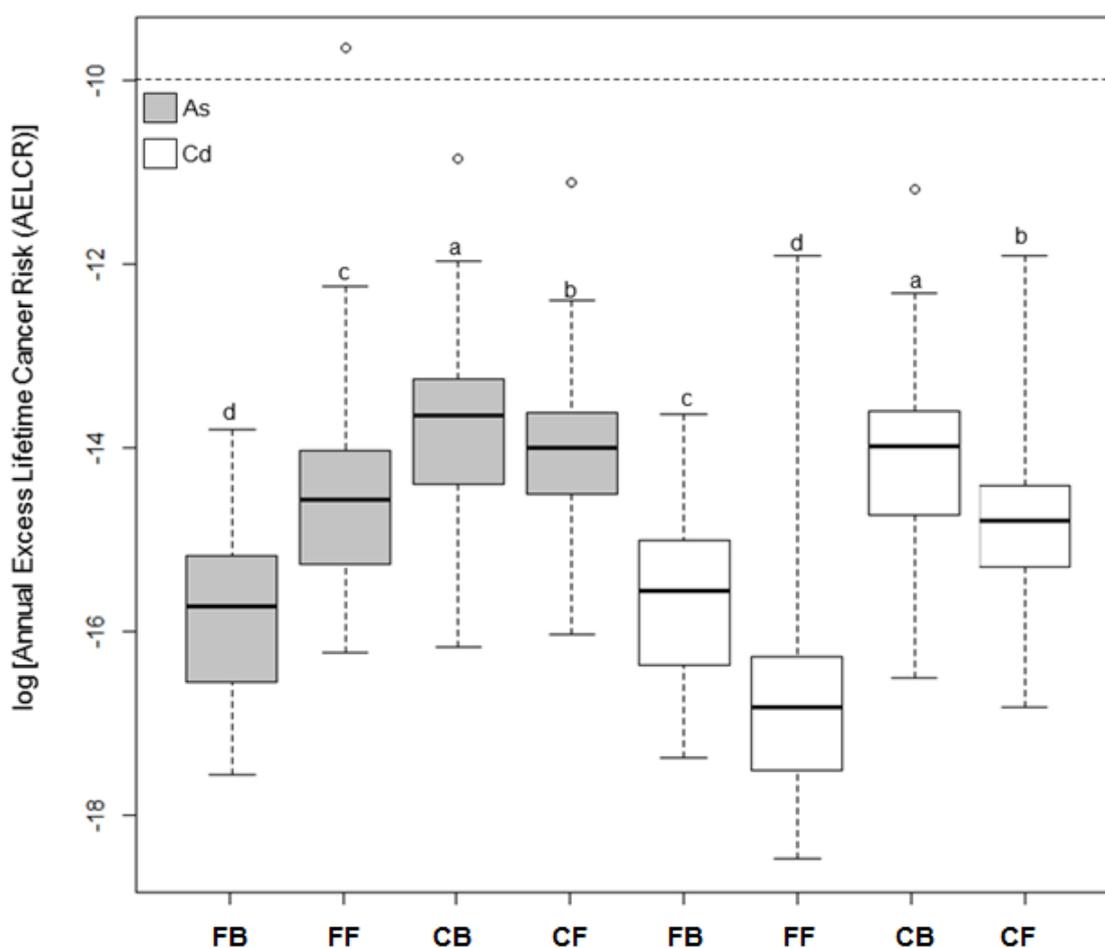


Figura 3. Risco de câncer quanto a ingestão de As e Cd associado ao consumo de carne e fígado bovino e de frango. Letras minúsculas diferenciam o risco de câncer entre os produtos animais, considerando testes independentes para cada elemento. FB = Fígado Bovino; FF = Fígado de Frango; CB = Carne Bovina; CF = Carne de Frango. Os círculos representam amostras com valores atípicos (outliers).

Os valores de AELCR para carne e fígado bovino e de frango são apresentados em escala logarítmica natural (Figura 3) e todas as medianas apresentaram valores abaixo da probabilidade natural de desenvolvimento de câncer, definida pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) de $5 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$ (ou -10, convertido em logaritmo natural).

Dentre as medianas, as maiores probabilidades anuais para desenvolvimento de câncer relacionadas a exposição a As e Cd foram associadas ao consumo de carne de boi ($1,2 \times 10^{-6}$ e $8,4 \times 10^{-7} \text{ a}^{-1}$). As menores probabilidades relacionadas a exposição a As e Cd, foram associadas ao consumo de fígado de boi ($1,5 \times 10^{-7} \text{ a}^{-1}$) e fígado de frango ($4,9 \times 10^{-8} \text{ a}^{-1}$).

A Figura 3 identifica um valor mais alto que a probabilidade natural de desenvolvimento de câncer associado ao consumo de fígado de frango ($6,4 \times 10^{-5}$), no que tange a exposição ao As. Esse valor, embora esteja duas ordens de grandeza distante da mediana ($4,7 \times 10^{-7} \text{ a}^{-1}$), alerta para as dietas com altas taxas de consumo de um mesmo item alimentar, que nesse caso, pode culminar em uma maior propensão ao desenvolvimento de neoplasias. Outros dois valores na mesma ordem de grandeza da probabilidade natural de desenvolvimento de câncer foram observados para As em carne de boi ($1,9 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$) e carne de frango ($1,5 \times 10^{-5} \text{ a}^{-1}$). Para Cd, apenas a carne de boi ($1,4 \times 10^{-5}$) apresentou um valor próximo a probabilidade natural de desenvolvimento de câncer.

Concentrações críticas de As e Cd no organismo podem ativar mecanismos que desencadeiam a produção de EROs que, além de causar estresse oxidativo, deplecionam o sistema de defesa antioxidante da célula, diminuindo a produção de Glutathione reduzida (GSH), um dos principais antioxidantes do corpo humano (Klaassen & Liu, 1997). Uma vez que as EROs danificam a membrana nuclear, o contaminante pode agir diretamente nas enzimas responsáveis pelo contínuo reparo do DNA, como já é descrito para o Cd. Candéias *et al.* (2010) mostraram que o Cd pode inibir o reparo de uracilas erroneamente inseridas em uma sequência de DNA. Sem esse mecanismo de reparo, comum em qualquer célula, a ocorrência de eventos que poderiam levar à mutagênese é drasticamente aumentada, podendo desencadear em neoplasias.

4. Conclusão

O consumo de carne e fígado representa uma fonte de As, Cd e Pb para a população urbana adulta estudada e, de maneira geral, isoladamente não apresenta risco para a população consumidora final, embora alguns valores para os três elementos-traço estudados tenham ultrapassados limites seguros de consumo estipulados por agências de controle internacionais.

O fígado de frango, embora menos consumido, foi o único item alimentar que apresentou valores excedentes na ingestão diária tolerável e na probabilidade de produção de neoplasmas, no que tange a arsênio. A população deve se atentar ao consumo desse item, mesmo em pequenas quantidades.

A suplementação mineral persiste como fonte de exposição a As, Cd e Pb para bovinos de corte, mesmo após a regulamentação da concentração dos elementos nesses itens.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Ciências Ambientais (LCA) da Universidade Estadual do Norte do Rio de Janeiro, UENF, pelo apoio logístico e infraestrutura analítica. Cristina M. M. Souza recebeu suporte financeiro da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) (Processo E-26/010.001984/2014 – Edital Prioridade Rio).

6. Referências

Abou-Arab, A.A.K. (2001). Heavy metal contents in Egyptian meat and the role of detergent washing on their levels. *Food Chem. Toxicol.* 39: 593-599.

Adriano, D.C. (1986). Trace elements in the terrestrial environment. New York: Springer-Verlag, 533p.

Alloway, B. J. (1990). Heavy metals in soils. New York: John Wiley. 339p.

Alonso, M.L.; Benedito, U.J.L.; Miranda, M.; Castillo, C.; Hernandez, J.; Shore, R.F (2000). Arsenic, cadmium, lead, copper and zinc in cattle from Galicia, NW Spain. *The Science of the Total Environment* 246, p. 237-248.

ANVISA (2005). Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Levantamento do Uso e Comercialização de Medicamentos Veterinários em Frango de Corte. PAMvet-PR

ANVISA (2013). Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos. RDC no- 42, de 29 de agosto de 2013.

ATSDR (2007). Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for arsenic. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Bellinger DC. (2004). Lead. *Pediatrics* 113: 1016–1022.

Blanco-Penedo I.; Cruz J.M; López-Alonso M. ; Miranda M.; Castillo C.; Hernández J.; Benedito J.L. (2006). Influence of copper status on the accumulation of toxic and essential metals in cattle. *Environment International* 32; p. 901–906.

Bodo M, Balloni S, Lumare E, Bacci M, Calvitti M, Dell’Omo M, Murgia N, Marinucci L. (2010) Effects of sub-toxic Cadmium concentrations on bone gene expression program: results of an in vitro study. *Toxicol In Vitro*. 6:1670–1680.

Bortey-Sam N.; Nakayama S.M.M.; Ikenaka Y.; Osei Akoto; Elvis Baidoo; Yohannes Y;B.; Mizukawa H.; Ishizuka M. (2015). Human health risks from metals and metalloid via consumption of food animals near gold mines in Tarkwa, Ghana: Estimation of the daily intakes and target hazard quotients (THQs). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 111; p.160–167.

Brasil (2000). Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Normas e padrões de nutrição e alimentação animal. Revisão 2000-Brasília: MA/SARC/DFPA.

BRASIL (2004). Ministro De Estado Da Agricultura, Pecuária E Abastecimento. Instrução Normativa Nº 8, de 25 de Março de 2004.

Bressler J, Kim KA, Chakraborti T, Goldstein G. (1999). Molecular mechanisms of lead neurotoxicity. *Neurochem Res* 24: 595–600.

Campos, M.L.; Guilherme, L.R.G; Lopes, G.S; Antunes,A.S; Marques, JJGSM, Curi, N. (2007). Teor e capacidade máxima de adsorção de arsênio em latossolos brasileiros. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1311-1318.

Candéias S, Pons B, Viau M, Caillat S, Sauvaigo S. (2010). Direct inhibition of excision/synthesis DNA repair activities by cadmium: analysis on dedicated biochips. *Mutat Res*. 694:53–59.

Capelo, A.V. Filgueiras, I. Lavilla, C. Bendicho (1999). Comparison of ultrasound-assisted extraction and microwave-assisted digestion for determination of magnesium, manganese and zinc in plant samples. *Talanta* 50, 905.

CEPERJ (2015). Centro de Estatísticas, Estudos e Pesquisas do Rio de Janeiro. Divisão regional, segundo as mesorregiões, microrregiões geográficas e municípios. Disponível em <http://www.ceperj.rj.gov.br/ceep/info_territorios/divis_regional.html> Acesso em fev 2015.

Chertok R.J, Sasser L.B, Callahan MF, Jarboe GE. (1981). Influence of cadmium on the intestinal uptake and absorption of calcium in the rat. *J Nutr*. 111:631–638.

Dionísio, A.G. G.; Gonzalez. M. H.; Nóbrega, J. A. (2011). Determinação de arsênio em amostras da cadeia produtiva de frangos de corte por espectrometria de absorção atômica com forno de grafite. *Química Nova*, Vol. 34, No. 1, 49-52.

EFSA (2009a). European Food Safety Authority. Scientific Opinion on Arsenic in food. Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). *The EFSA Journal*, v. 1351, p. 198.

EFSA (2010). European Food Safety Authority. Scientific Opinion on Lead in Food. Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). *EFSA Journal*, 8(4):1570

EFSA (2009b) Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. Cadmium in food. Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). EFSA Journal, 980, 1-139.

EMBRAPA (2001). LOPES, H. O. da S. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Fontes alternativas de fósforo para a redução de custos do sal mineral para bovinos. Planaltina: Embrapa Cerrados. 44 p., ISSN 1517-5111; 45.

EU Commission (2001). European Commission. Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Commission Regulation no. 466. Official J. Eur. Commun. L 77, 1–13.

Farmer A.A. & Farmer A.M. (2000). Concentrations of cadmium, lead and zinc in livestock feed and organs around a metal production centre in eastern Kazakhstan. Sci. Total Environ., 257, pp. 53–60.

Filho, J.F.A. (2011) Ocorrência de Arsênio, Cádmiio e Chumbo em tecidos de aves, ovinos, bovinos de corte e equinos no Brasil, Tese: Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Filho, J.F.A; Germano, A.; Dibai, W.L.S.; Vargas, E.A; Melo, M.M. (2014). Heavy metals investigation in bovine tissues in Brazil. Food Sci. Technol, Campinas, 34(1): 110-115

Freitas, E.V.S; Nascimento, C.W.A; Goulart, D.F; Silva, J.P.S. (2009). Disponibilidade de cádmio e chumbo para milho em solo adubado com fertilizantes fosfatados. R. Bras. Ci. Solo, 33:1899-1907.

Garza A, Vega R, Soto E. (2006). Cellular mechanisms of lead neurotoxicity. Med Sci Monit 12: RA57–65.

Gonçalves, J.R.; Gonçalves, R.M.; Gonçalves, R.M. (2010). Cádmiio, Chumbo e Solubilidade do Fósforo em Suplementos Minerais Bovinos Comercializados em Goiás. Revista Processos Químicos. p 69-71.

Hilleman, B. (2007). Arsenic In Chicken Production. Chem. Eng. News, 85, 34.

Hoeniga, M.; H. Baeten; S. Vanhentenrijk; E. Vassileva; Ph. Quevauviller (1998). Critical discussion on the need for an efficient mineralization procedure for the analysis of plant material by atomic spectrometric methods. AnalyticaChimicaActa. 358, 85±94.

IARC (1987). International Agency for Research on Cancer. Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risks to Humans, Suppl. 7, Overall Evaluations of Carcinogenicity: Na Updating of IARC Monographs, Lyon, France, v. 1-42.

IBGE (2010). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sinopse do Censo Demográfico 2010. Disponível em < <http://censo2010.ibge.gov.br>> Acesso em: nov. 2014.

IBGE (2012). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível<<http://censo2010.ibge.gov.br/sala-de-imprensa/noticia>> Acesso em 23 ago. 2015.

Ihedioha, J.N. & Okoye, C.O.B. (2013). Dietary intake and health risk assessment of lead and cadmium via consumption of cow meat for an urban population in Enugu State, Nigeria. Ecotoxicology and Environmental Safety Volume 93, 1 July 2013, Pages 101–106.

IPEA (2014). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada . A agropecuária na região sudeste: limitações e desafios futuros: Rio de Janeiro, p 33.

Iwegbue, C. M. A.; Nwajei, G. E.; Iyoha, E. H. (2008). Heavy metal residues of chicken meat and gizzard and turkey meat consumed in southern Nigeria. Bulgarian Journal of Veterinary Medicine, 11, No 4, p. 275–280.

- Juhasz AL, Smith E, Weber J, Rees M, Rofe A, Kuchel T, Sansom L, Naidu R. (2006). In vivo assessment of arsenic bioavailability in rice and its significance for human health risk assessment. *Environ Health Perspect*;114:1826–31
- Klaassen CD, Liu J. (1997). Role of metallothionein in cadmium-induced hepatotoxicity and nephrotoxicity. *Drug Metab Rev.* 29:79–102.
- Kramer, H. L; Steiner, J. W. ; Valley, P. J. (1983). Trace Element Concentrations in the Liver, Kidney, and Muscle of Queensland Cattle. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 30, p. 588-594.
- Lavilla, A. V. (1999). Filgueiras, and C. Bendicho. Comparison of Digestion Methods for Determination of Trace and Minor Metals in Plant Samples. *J. Agric. Food Chem*,47,5072–5077.
- Lei, B.; Chen L.; Hao Y.; Cao T. ; Zhang X. ; Yu Y. ; Fu J (2013). Trace elements in animal-based food from Shanghai markets and associated human daily intake and uptake estimation considering bioaccessibility. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 96 p.160–167.
- Li M, Kondo T, Zhao QL, Li F, Tanabe K, Arai Y, Zhou Z, Kasuya M. (2000). Apoptosis induced by cadmium in human lymphoma U937 Cells through Ca²⁺-calpain and caspase-mitochondria dependent pathways. *J. Bio Chem.* 275:39702–39709.
- Lidsky TI, Schneider JS. (2003). Lead neurotoxicity in children: basic mechanisms and clinical correlates. *Brain* 126: 5–19.
- MERCOSUL (2011). Mercado Comum do Sul. Regulamento Técnico Mercosul sobre limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos. GMC/Res n°12/11.
- Miranda M.; Lopez-Alonso M.; Castillo C.; Hernandez J.; Benedito J.L (2005). Effects of moderate pollution on toxic and trace metal levels in calves from a polluted area of northern Spain. *Environment International* 31, p. 543– 548.
- NCR (1996). National Research Council. Committee on Animal Nutrition. Nutrient requirements of beef cattle. ESTADOS UNIDOS, Washington, DC: National Academy of Sciences, 242 p.
- Needleman H. (2004). Lead poisoning. *Annu Rev Med* 55: 209–222.
- Nriagu, J.; Boughanen, M.; Linder, A.; Howe, A. ; Grant, C. ; Rattray, R.; Vutchkov, M. ; Lalor, G (2009). Levels of As, Cd, Pb, Cu, Se and Zn in bovine kidneys and livers in Jamaica. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72 p.564– 571.
- OCDE-FAO (2015). Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico-Organização das nações Unidas para Alimentação e Agricultura. Capítulo 2. Agricultura Brasileira: Perspectivas e Desafios – 2015-2024.
- Paez-Osuna. P., Frias-Espicueta, M. G., Osuna-López, J. I. (1995). Trace metal concentrations in relation to season and gonadal maturation in the oyster *Crassostrea iridescens*. *Mar. Environ. Res.* 40 (1): 19-31 pp.
- Palmieri HEL, Menezes MABC, Vasconcelos OR, Deschamps E, Nalini Jr HA. (2009). Investigation of arsenic accumulation by vegetables and ferns from As-contaminated areas in Minas Gerais, Brazil. In: Bundschuh J, Armienta MA, Birkle P, Bhattacharya P, Matschullat J, Mukherjee AB, editors. Natural arsenic in groundwater of Latin America. Leiden, The Netherlands: CRC Press/Balkema Publisher., p. 359–63
- Pussa, T. (2013). Toxicological issues associated with production and processing of meat. *Meat Science* 95, 844–853
- R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

Rani K.U.; Sharma K.L.; Nagasri K., Chandrika D.S.; Savithri V.L. e Munna L.A.L (2013) Effect of long-term sewage water irrigation on micronutrient and heavy metal content in soil and plants under Musi river basin in Hyderabad. *Jr. of Industrial Pollution Control* 30(1) pp 7-22

Roggeman, S.; Boeck, G.; Cock, H.; Blust, R.; Bervoets, L (2014). Accumulation and detoxification of metals and arsenic in tissues of cattle (*Bos taurus*), and the risks for human consumption. *Science of the Total Environment* 466–467 p. 175–184.

SEBRAE (2011). Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Informações socioeconômicas do município de Campos dos Goytacazes. Rio de Janeiro. p.13.

Sedki A, Lekouch N, Gamon S, Pineau A. (2003). Toxic and essential trace metals in muscle, liver and kidney of bovines from a polluted area of Morocco. *Sci Total Environ*;317:201– 5.

Skoog, D.A.; West, D.M. & Holler, F.J. (1994). *Analytical Chemistry – An Introduction*. Saunders College Publishing, sixth edition.

Smith SS, Rodriguez Reyes J, Arbon KS, Harvey WA, Hunt LM, Heggland S. (2009). Cadmium-induced decrease in RUNX2 mRNA expression and recovery by the antioxidant N-acetylcysteine (NAC) in the human osteoblast-like cell line, Saos-2. *Toxicol in Vitro*. 23:60–66.

TCE (2011). Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro. Estudos socioeconômicos dos municípios do Estado do Rio de Janeiro: Campos dos Goytacazes. Secretaria Geral de Planejamento, p. 87.

USDA (2014). United States Department of Agriculture. USDA Agricultural Projections to 2023. Interagency Agricultural Projections Committee. Long-term Projections Report OCE-2014-1, 97 pp.

USEPA (1997) United States Environmental Protection Agency, Exposure Factors Handbook. Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, USEPA, Washington, DC

USEPA (2015a). United States Environmental Protection Agency. Cadmium. Disponível em <Acesso: <http://www.epa.gov/iris/subst/0141.htm>> Acesso em: agosto 2015.

USEPA (2015b). United States Environmental Protection Agency. Arsenic, inorganic. Disponível em <http://www.epa.gov/iris/subst/0278.htm> Acesso em: agosto 2015.

USEPA (2015c). United States Environmental Protection Agency. Lead and compounds (inorganic). Disponível em < <http://www.epa.gov/iris/subst/0277.htm>> Acesso em: agosto 2015

WHO (2002). World Health Organization. Report of the 34th session of the codex committee on food additives and contaminants. Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Codex Alimentaris Commission, ALINORM 03/12, FAO, Rome, Italy. Wlostowski, T., Bonda, E., Krasowska, A.. Free-ranging European

Yuan, X.; Wang, J.; Shang, Y.; Sun, B. (2013). Health risk assessment of cadmium via dietary intake by adults in China. *J Sci Food Agric* 2014; 94: 373–380

7. Material Suplementar

7.1. Material Suplementar 1

Tabela1. Valores certificados (média±desvio padrão) do material de referência DORM-3 (proteína de peixe, NRC, Canada) e Limite de detecção (LD).

Elementos	Valores Certificados ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Resultados obtidos ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Recuperação (%)	LD ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) P.U.
As	6.880 ± 0.300	6.22 ± 0.11	90 ± 1.7	0.06
Cd	0.290 ± 0.020	0.28 ± 0.02	96 ± 6.4	0.01
Pb	0.395 ± 0.050	0.36 ± 0.03	90 ± 8.0	0.03

7.2. Material Suplementar 2

Figura 1. Questionário de Frequência Alimentar

Parte I: Caracterização física

1. Sexo: () Masc. () Fem.
2. Idade: _____
3. Peso: _____ Kg

Parte II: Consumo de carne e fígado

1. Consome carne: () frango () boi
2. Consome fígado: () Não Sim: () Frango () Boi
3. Frequência de consumo por semana

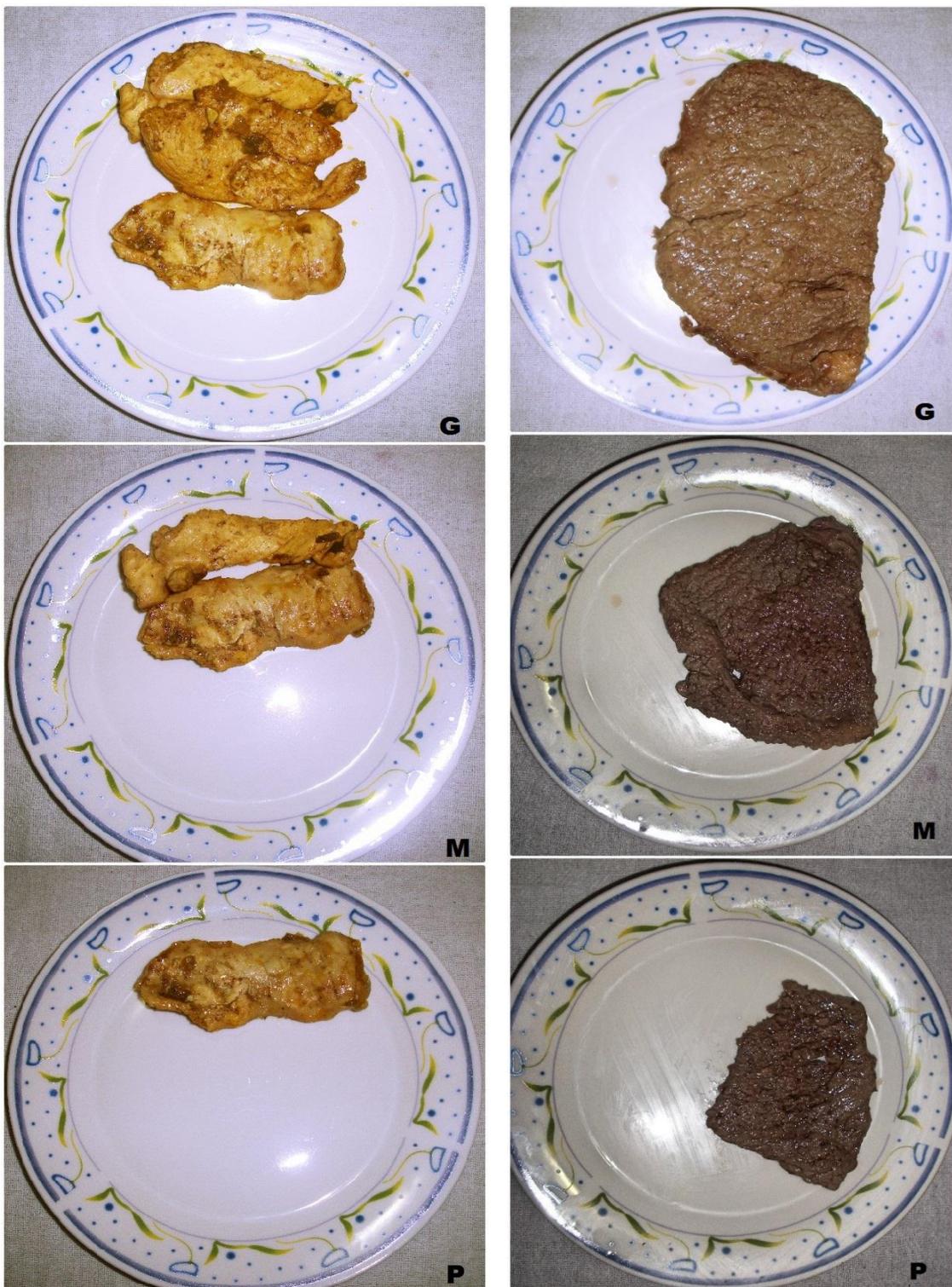
	Nunca	1x	2x	3x	4x	5x	6x	Todo dia
Carne de Boi	()	()	()	()	()	()	()	()
Carne de Frango	()	()	()	()	()	()	()	()
Fígado de Boi	()	()	()	()	()	()	()	()
Fígado de Frango	()	()	()	()	()	()	()	()

4. Porção de carne e fígado consumida

- | | Pequena | Média | Grande |
|------------------|-----------|-----------|-----------|
| Carne de Boi | () 29,5g | () 88,5g | () 128g |
| Carne de Frango | () 22,4g | () 39,4g | () 85,9g |
| Fígado de Boi | () 25,8g | () 44,6g | () 67,8g |
| Fígado de Frango | () 23,9g | () 41,7g | () 74,3g |

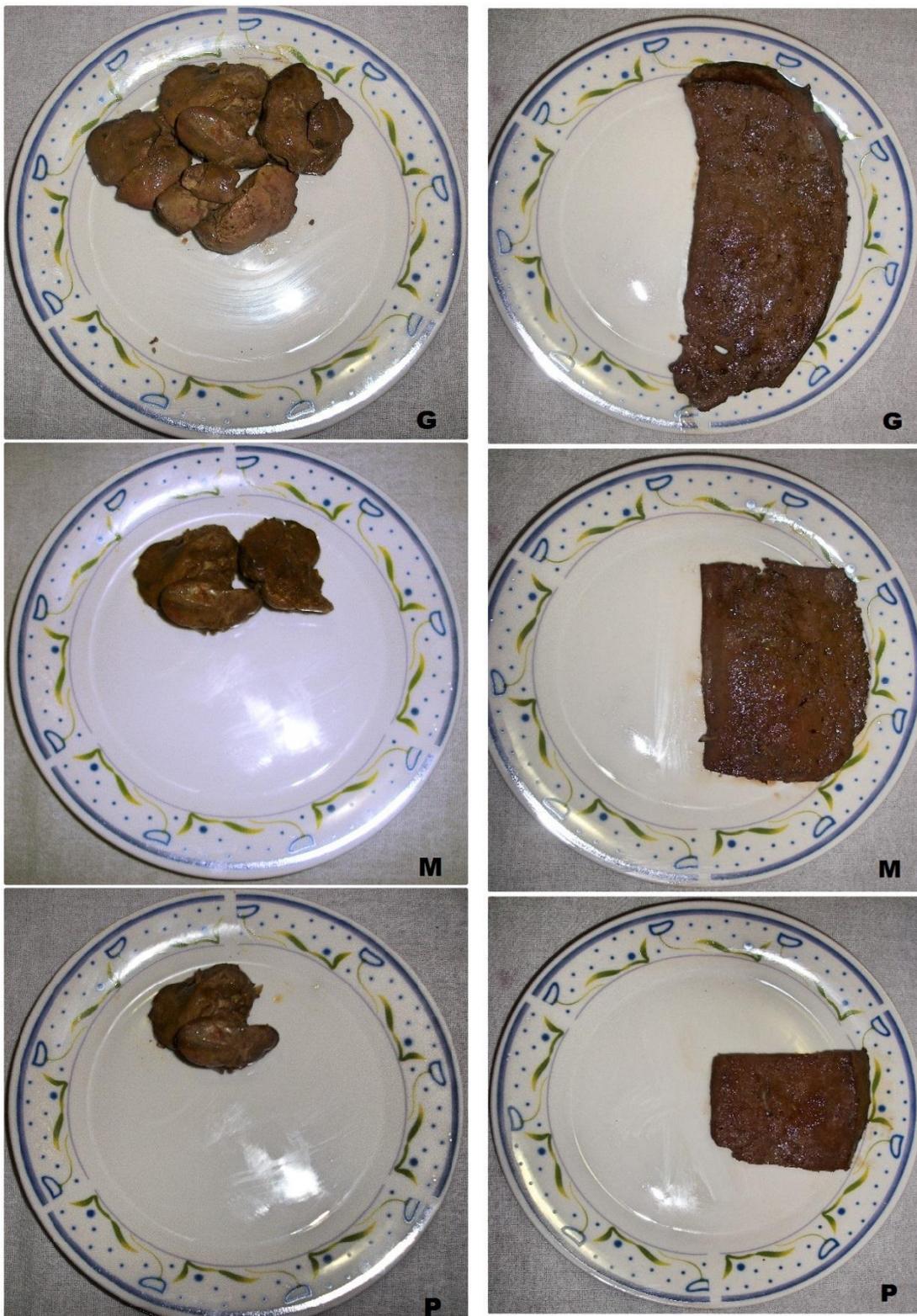
7.3. Material Suplementar 3

Figura 2. Porções de Carne de Frango e de Boi



7.4. Material Suplementar 4

Figura 3. Porções de Fígado de Frango e de Boi



2. Considerações Finais

Os produtos de carne e fígado brasileiros analisados nesse estudo estão em conformidade com a legislação nacional vigente (Brasil, 1999) atendendo aos requisitos de inocuidade, embora alguns valores tenham excedido os limites máximos toleráveis para As, Cd e Pb em carnes e fígados estabelecidos internacionalmente (WHO, 2002). Este fato poderia gerar problemas na exportação de carnes brasileira, principalmente para aqueles países que integram a União Europeia, que são muito exigentes em relação a presença de resíduos inorgânicos em alimentos (EU Commission, 2001). Nesse sentido, o Brasil deveria investir em estudos toxicológicos para reavaliar esses limites e possivelmente equipará-los aos limites internacionais, a fim de aumentar as taxas de exportação. Além disso, uma vez que a ingestão de As, Cd e Pb em baixas doses apresenta efeitos a longo prazo a saúde humana, essas medidas também trariam maior segurança no consumo desses itens (EFSA, 2009; 2010).

A contaminação por As, Cd e Pb em carne e fígado bovino e de frango está principalmente relacionada a dieta desses animais, uma vez que esses elementos foram detectados em algumas marcas de rações de frango e suplementos minerais ofertados a bovinos de corte. Outra possível fonte de contaminação está relacionada com o uso impróprio de aditivos alimentares que promovem a aceleração de crescimento animal, como os organoarseniais, empregados na avicultura. Esses aditivos, embora tenham uso proibido no Brasil, podem estar sendo utilizados como resultado da pressão relacionada com a crescente demanda de carnes no Brasil e no mundo (USDA, 2014). Adicionalmente, fontes de contaminação ambientais pontuais nas fazendas e granjas também podem ser responsáveis pela presença desses elementos-traço nos produtos cárneos brasileiros.

Os dados desse estudo sugerem que as fontes potenciais de contaminação dos animais (rações, suplementos minerais, aditivos) podem não estar sendo eficientemente fiscalizadas e deixa claro a necessidade de órgãos governamentais competentes de implementarem medidas que revertam esse quadro. A fiscalização efetiva desses itens, aliada ao monitoramento de resíduos inorgânicos em solos e plantações, nas fazendas e aviários,

contribuiriam para reduzir os resíduos de As, Cd e Pb em produtos cárneos e, por conseguinte, protegeria a saúde do consumidor.

3. Referências

ABDI (2001). Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Relatório Setor de Carnes Brasileiro. p 38

Adriano, D.C. (1986). Trace elements in the terrestrial environment. New York: Springer-Verlag, 533p.

Akbar, K. F.; Hale, W.W.G.; Headley, A.D.; Athar, M. (2006). Heavy metal contamination of roadside soils of Northern England. *Soil and Water Research*, v. 4, n. 1, p. 158-163.

Alloway, B. J. (1990). Heavy metals in soils. New York: John Wiley. 339p.

ATSDR (2012). Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for cadmium. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). Toxicological profile for lead. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta, 1999.

Bellinger D.C. (2004). Lead. *Pediatrics* 113: 1016–1022.

Bodo M, Balloni S, Lumare E, Bacci M, Calvitti M, Dell'omo M, Murgia N, Marinucci L. (2010). Effects of sub-toxic Cadmium concentrations on bone gene expression program: results of an in vitro study. *Toxicol In Vitro*. 6:1670–1680.

Boska C.Z.; Andrade, C. M.; Zanello, S.; Melo, V. de F. (2009) Chumbo em solos às margens de estradas na região metropolitana de Curitiba. *Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.*, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 47-53.

BRASIL (1999). Programa Nacional de Controle de Resíduos em Produtos de Origem Animal (Instrução Normativa nº 42, de 20 de dezembro de 1999). Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

BRASIL (2000). Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Normas e padrões de nutrição e alimentação animal. Revisão-Brasília: MA/SARC/DFPA.

Bressler J, Kim Ka, Chakraborti T, Goldstein G. (1999). Molecular mechanisms of lead neurotoxicity. *Neurochem Res* **24**: 595–600.

Candéias S, Pons B, Viau M, Caillat S, Sauvaigo S. (2010). Direct inhibition of excision/synthesis DNA repair activities by cadmium: analysis on dedicated biochips. *Mutat Res*. 694:53–59.

Casalino E, Sblano C, Landriscina C. (1997). Enzyme activity alteration by cadmium administration to rats: the possibility of iron involvement in lipid peroxidation. *Arch Biochem Biophys*. 346:171–179.

Chertok R.J.; Sasser L.B.; Callahan M.F.; Jarboe G.E. (1981). Influence of cadmium on the intestinal uptake and absorption of calcium in the rat. *J Nutr*. 111:631–638.

Demirezen, D.; Uruç, K. (2006). Comparative study of trace elements in certain fish, meat and meat products. *Meat Sci*. 74, 255–260.

- Dionísio, A.G. G.; Gonzalez. M. H.; Nóbrega, J. A. (2011). Determinação de arsênio em amostras da cadeia produtiva de frangos de corte por espectrometria de absorção atômica com forno de grafite. *Química Nova*, Vol. 34, No. 1, 49-52.
- EFSA (2009a). European Food Safety Authority. Scientific Opinion on Arsenic in food. Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). *The EFSA Journal*, v. 1351, p. 198.
- EFSA (2009b) Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. Cadmium in food. Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). *EFSA Journal*, 980, 1-139.
- EMBRAPA (1992). Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Cama de aviário: materiais, reutilização, uso como alimento e fertilizante. *CIRCULAR TÉCNICA* Ne 16. ISSN: 0102 – 3713
- EMBRAPA (2001). Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária .LOPES, H. O. da S. Fontes alternativas de fósforo para a redução de custos do sal mineral para bovinos / Henrique Otávio da Silva Lopes. Planaltina: Embrapa Cerrados. 44 p., ISSN 1517-5111; 45.
- Flora SJS, Bhadauria S, Kannan GM, Singh N. (2007). Arsenic induced oxidative stress and the role of antioxidant supplementation during chelation: a review. *J Environ Biol*;28:333–47.
- Flora SJS, Pachauri V, Saxena G. (2011). Arsenic, cadmium and lead. Reproductive and Developmental Toxicology. (Academic Press) pp 415–438.
- Garza A, Vega R, Soto E. (2006). Cellular mechanisms of lead neurotoxicity. *Med Sci Monit* **12**: RA57–65.
- Gaste, I. ; Marçal, W.S.; Lopes do Nascimento, M.R. (2002) Valores de chumbo inorgânico em formulações minerais comercializadas no Estado do Paraná. *Archives of Veterinary Science* v.7, n.1, p.43-48.
- Gonçalves, J.R.; Gonçalves, R.M.; Gonçalves, R.M. (2010). Cádmiio, Chumbo e Solubilidade do Fósforo em Suplementos Minerais Bovinos Comercializados em Goiás. *Revista Processos Químicos*. p 69-71.
- Gresser MJ. ADP-arsenate (1981). Formation by submitochondrial particles under phosphorylating conditions. *J Biol Chem*;256:5981–3.
- Hilleman, B. (2007). Arsenic In Chicken Production. *Chem. Eng. News*, 85, 34.
- IARC (1987). International Agency for Research on Cancer. Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risks to Humans, Suppl. 7, Overall Evaluations of Carcinogenicity: Na Updating of IARC Monographs, Lyon, France, v. 1-42.
- Klaassen CD & Liu J. (1997). Role of metallothionein in cadmium-induced hepatotoxicity and nephrotoxicity. *Drug Metab Rev.* 29:79–102.
- Li M, Kondo T, Zhao QL, Li F, Tanabe K, Arai Y, Zhou Z, Kasuya M. (2000). Apoptosis induced by cadmium in human lymphoma U937 Cells through Ca²⁺-calpain and caspase-mitochondria dependent pathways. *J. Bio Chem.* 275:39702–39709.
- Lidsky TI, Schneider JS. (2003). Lead neurotoxicity in children: basic mechanisms and clinical correlates. *Brain* **126**: 5–19.
- Loutfy, N.; Fuerhacker, M.; Tundo, P.; Raccanelli, S.; EIDien, A.G.; Ahmed, M.T. (2006). Dietary intake of dioxins and dioxin-like PCBs, due to the consumption of dairy products, fish/seafood and meat from Ismailia city. Egypt. *Sci.Tot. Environ.* 370, 1–8.
- Marçal, W S; Gaste, L; Lopes do Nascimento, M R; Liboni, M.; Gomes, G. P.; Hisasi, CS (2003). Cadmium concentration in mineral salt mixtures used as supplementation in beef cattle food. *VETERINARSKI ARHIV* 73 (1), 47-53.

Mendes, A. M. S.; Duda, G. P.; Nascimento, C. W. A.; Silva, M. O. (2006) Bioavailability of cadmium and lead in a soil amended with phosphorus fertilizers. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, v.63, n.4, p.328-332

Needleman H. (2004). Lead poisoning. *Annu Rev Med* 55: 209–222.

Prajapati V, Kale R, Singh R.(2011). Arsenic and its combinations in cancer therapeutics. *Ther Deliv*;2:793–806

Rani K.U.; Sharma K.L.; Nagasri K., Chandrika D.S.; Savithri V.L. e Munna L.A.L (2013) Effect of long-term sewage water irrigation on micronutrient and heavy metal content in soil and plants under Musi river basin in Hyderabad. *Jr. of Industrial Pollution Control* 30(1) pp 7-22

Silva A.L.O., Barrocas P.R.G., Jacob S.C., Moreira J.C. (2005): Dietary intake and health effects of selected toxic elements. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17: 79–93.

Smith Ss, Rodriguez Reyes J, Arbon Ks, Harvey Wa, Hunt Lm, Heggland S. (2009). Cadmium induced decrease in RUNX2 mRNA expression and recovery by the antioxidant N-aceylcysteine (NAC) in the human osteoblast-like cell line, Saos-2. *Toxicol in Vitro*. 23:60–66.

UNEP (2006). United Nations Environment Programme DTIE/Chemicals. Interim review of scientific information on lead- Version of October 2006, p.191.

USDA (2014). United States Department of Agriculture. USDA Agricultural Projections to 2023. Interagency Agricultural Projections Committee. Long-term Projections Report OCE-2014-1, 97 pp.

USDA. United States Department of Agriculture. Livestock and poultry: world markets and trade. Foreign Agricultural Service/USDA, april, 2011. Disponível em <http://www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf

Waisberg M, Joseph P, Hale B, Beyersmann D. (2003). Molecular and cellular mechanisms of cadmium carcinogenesis. *Toxicology*. 192:95–117.

WHO, 2002. Report of the 34th session of the codex committee on food additives and contaminants. Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Codex Alimentaris Commission, ALINORM 03/12, FAO, Rome, Italy. Wlostowski, T., Bonda, E., Krasowska, A., 2006. Free-ranging European

VIARD, B.; Pihan F.; Promeprat S.; Pihan JC. (2004). Integrated assessment of heavy metal (Pb, Zn, Cd) highway pollution: bioaccumulation in soil, graminaceae and land snails. *Chemosphere*, v. 55, n. 10, p.1349-1359, 2004.

Zheng, N.; Wang, Q.C.; Zheng, D.M. (2007). Health risk of Hg, Pb, Cd, Zn, and Cu to the inhabitants around Huludao zinc plant in China via consumption of vegetables. *Sci. Tot. Environ.* 383(1–3), 81–89.