



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

EDUARDO EUDES NÓBREGA DE ARAÚJO

**ANÁLISE RADIOQUÍMICA DE DENTES E OSSOS ALVEOLARES DE
HABITANTES DE ÁREA INFLUENCIADA POR MATERIAL RADIOATIVO DE
OCORRÊNCIA NATURAL**

Recife
2019

EDUARDO EUDES NÓBREGA DE ARAÚJO

**ANÁLISE RADIOQUÍMICA DE DENTES E OSSOS ALVEOLARES DE
HABITANTES DE ÁREA INFLUENCIADA POR MATERIAL RADIOATIVO DE
OCORRÊNCIA NATURAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia do Centro de Ciências da Saúde, Departamento de Odontologia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Odontologia.

Área de concentração: Clínica Integrada.

Orientador: Profº. Dr. Luiz Alcino Monteiro Gueiros

Coorientador: Profº. Dr. José Araújo dos Santos Júnior

Recife

2019

Catálogo na Fonte
Bibliotecária: Mônica Uchôa, CRB4-1010

A663a Araújo, Eduardo Eudes Nóbrega de.
Análise radioquímica de dentes e ossos alveolares de habitantes de
área influenciada por material radioativo de ocorrência natural / Eduardo
Eudes Nóbrega de Araújo. – 2019.
155 f.: il.; tab.; 30 cm.

Orientador: Luiz Alcino Monteiro Gueiros.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, CCS.
Pós-graduação em Odontologia. Recife, 2019.

Inclui referências, apêndices e anexos.

1. Radioatividade. 2. Análise química. 3. Dente. Alvéolo dental. 4. Saúde pública. I. Gueiros, Luiz Alcino Monteiro (Orientador). II. Título.

617.6 CDD (22.ed.)

UFPE (CCS2019-154)

EDUARDO EUDES NÓBREGA DE ARAÚJO

**ANÁLISE RADIOQUÍMICA DE DENTES E OSSOS ALVEOLARES DE
HABITANTES DE ÁREA INFLUENCIADA POR MATERIAL RADIOATIVO DE
OCORRÊNCIA NATURAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia do Centro de Ciências da Saúde, Departamento de Odontologia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Odontologia.

Aprovada em: 22/02/2019.

BANCA EXAMINADORA:

Profº. Dr. Luiz Alcino Monteiro Gueiros (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profª. Drª. Mariana Brayner Cavalcanti Freire Bezerra (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Profª. Drª. Zahily Herrero Fernández (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Alberto Antônio da Silva (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Profª. Drª. Ana Maria Mendonça de Albuquerque Melo (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

À minha amada família, por ter compreendido minhas ausências e me amparado nos momentos mais necessários.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder a oportunidade de estudar e atingir meus objetivos profissionais. Por ter me permitido, em meio às adversidades e obstáculos durante esses quatro anos, acreditar na possibilidade de crescimento e amadurecimento.

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), pela oportunidade de ingresso no Programa de Pós-Graduação e pela disponibilização de estrutura para realização das atividades discentes.

Ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da UFPE, representado pelo coordenador Prof. Dr. Jair Carneiro Leão e pelo vice-coordenador Prof. Dr. Luiz Alcino Monteiro Gueiros, pelo suporte científico e apoio às atividades discentes.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pelo comprometimento com o fomento da pesquisa.

Ao Departamento de Energia Nuclear da UFPE e ao Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE), pela infraestrutura disponibilizada.

Aos meus orientadores professor Dr. Luiz Alcino Monteiro Gueiros e professor Dr. José Araújo dos Santos Júnior, por toda contribuição em minha pesquisa, por terem acreditado na possibilidade de desenvolvimento do estudo e, sobretudo, pelos conhecimentos transmitidos nesses quatro anos de curso.

Aos meus pais Maria do Socorro Nóbrega Araújo, Maria das Neves Nóbrega e José Araújo dos Santos, pelo amor incondicional a mim dedicado e por terem sempre cultivado valores capazes de estruturar minha carreira com dignidade, sobretudo por ter como função o auxílio ao próximo.

Aos meus irmãos José Araújo dos Santos Júnior, Marcus André Nóbrega de Araújo, Vitória Patrícia Nóbrega de Araújo e Virgínia Paula Araújo Dias, pelo apoio e todo carinho.

Ao meu melhor amigo e companheiro Jeddson do Rêgo Nascimento, pela confiança e estímulo a mim conferidos diariamente, fato que impulsionou, inclusive, minha tentativa de ingresso no Programa de Pós-graduação em Odontologia da UFPE. A ele, todo meu respeito, admiração e gratidão.

Às minhas cunhadas Josineide Marques do Nascimento Santos, Dayse Gabriella Lopes Souza do Nascimento e Aline Maria Cortêz Nascimento e cunhados José Florestan Melo do Nascimento Júnior e Jefferson do Rêgo Nascimento, por me acompanharem em todas as etapas do estudo e acreditarem em meu potencial.

Às minhas queridas primas Hortência Héllen de Azevedo Medeiros, Virgínia Maria do Rêgo Codá dos Santos, Flaézia do Rêgo Silva e Karine de Melo Cezar Alves, por todo carinho e consideração.

Aos meus amigos Felipe Antônio Silva de Souza, Bruno Alves Guimarães e Edilene Alves Guimarães, pela ajuda dedicada e por estarem sempre ao meu lado em todas as dificuldades.

Aos demais familiares, entre os quais, meu avô, minhas tias e tios, primas e primos que tanto se orgulham do meu esforço, interesse nos estudos e crescimento profissional.

Aos pesquisadores professor Dr. Elvis Joacir de França, Dr^a. Zahily Herrero Fernández, professor MSc. Nilson Vicente da Silva Medeiros e professor Dr. Alberto Antônio da Silva, pelo auxílio indispensável para conclusão de minhas atividades quanto à pesquisa.

Ao grupo de pesquisas em Estomatologia liderado pelo professor Dr. Luiz Alcino Monteiro Gueiros, composto pelos discentes Guilherme Soares, Thyago Moraes, Marina Maymone e Thayanara Melo, pelo apoio a mim conferido.

Às amigas e ex-componentes do grupo de Estomatologia professora Dr^a Camila Nunes Carvalho Sorgato e Dr^a Marília Lins e Silva, pelos conselhos e pela amizade sincera.

Ao grupo de Radioecologia (RAE) do Departamento de Energia Nuclear da UFPE, por toda a estrutura disponibilizada para realização da pesquisa.

Aos cirurgiões-dentistas dos municípios de São José de Espinharas, Patos, São Mamede, Santa Luzia, São José do Sabugí e Junco do Seridó que auxiliaram nos procedimentos de coleta de amostras de dentes e espículas ósseas.

Vencer não é deixar de cometer erros e falhas, mas reconhecer nossos limites e corrigir nossas rotas (CURY, 2012, p. 51).

RESUMO

Os metais e radionuclídeos apresentam distribuição não homogênea no ambiente, o que possibilita concentrações elevadas em determinadas áreas, podendo ocorrer interações com a cadeia alimentar, possibilitando a absorção por estruturas orgânicas. Neste processo, podem depositar-se em ossos e dentes, possibilitando exposição contínua à radioatividade. Para tanto, o objetivo desta pesquisa refere-se à quantificação de metais e radionuclídeos, que compõem a estrutura de dentes e ossos alveolares de habitantes de área uranífera do estado da Paraíba, bem como de áreas circunjacentes que sofrem influência das atividades anômalas de elementos radioativos naturais. A pesquisa seguiu os parâmetros do Comitê de Ética sob parecer nº 1.200.616/2015, CAAE nº 44325315.3.0000.5208. Foram utilizados 89 dentes, dos quais 10 provenientes de indivíduos do município de São José de Espinharas, 23 de Patos, 9 de São Mamede, 17 de Santa Luzia, 9 de São José do Sabugí, 10 do Junco do Seridó e 11 da Região Metropolitana do Recife, sendo 7 espículas ósseas provenientes de Santa Luzia, São Mamede e Patos. Os espécimes foram pulverizados e fracionados em 500 mg para análises por Fluorescência de Raios-x por Dispersão de Energia (EDXRF), em seguida fracionados em 200 mg e digeridos com HNO₃ p.a. (~65%) para análises por Espectrometria de Absorção Atômica com Chama (FAAS) e Espectrometria de Massa por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS). Foram quantificadas as concentrações de Ca, Cu, Fe, Si, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V e Zn por EDXRF, K e Mn por FAAS e Th e U por ICP-MS. Dentre os elementos analisados, o Ca obteve as maiores concentrações, com média de 272.986,4 mg/kg. O Ni, porém, obteve o menor resultado (30,4 mg/kg). Para o radionuclídeo U, os resultados obtidos em 84 amostras de dentes variaram entre 1,5 e 145,0 mg/kg, sendo 27,4% dos valores superiores ao valor de referência (8,1 µg/kg), o que indicou incorporação de material radioativo natural além do limite estabelecido. Para o radionuclídeo Th, de um total de 56 amostras com valores obtidos, 37,9 % foram superiores ao limite (3,5 µg/kg) estabelecido por órgãos de certificação. Nas espículas ósseas analisadas foram identificados valores para U (45,1 µg/kg a 1.451,2 µg/kg) e para Th (7,5 µg/kg a 78,4 µg/kg) superiores aos limites em 100% das amostras avaliadas. Foram identificados os radionuclídeos U e Th em todos os municípios analisados e o município de São José do Sabugí obteve maiores resultados para ambos os elementos em dentes,

sugerindo contaminação através de alimentos e consumo da água. As espículas ósseas apresentaram os maiores valores para os radionuclídeos avaliados, sendo superiores em até 179 vezes ao limite estabelecido, no caso do U. Estes resultados apontam para um alto risco de contaminação em moradores de região anômala em U, sendo necessários estudos adicionais para avaliar os riscos biológicos desta exposição.

Palavras-chave: Radioatividade. Análise química. Dente. Alvéolo dental. Saúde pública.

ABSTRACT

The metals and radionuclides have an inhomogeneous distribution in the environment, which allows high concentrations in some areas, where occur interactions with the food chain, allowing the absorption by organic structures. In this process, radionuclides can be deposited in bones and teeth, allowing continuous exposure to radioactivity. The objective of this study was to quantify metals, mainly radionuclides, that compose the structure of teeth and bones of inhabitants uraniferous area of the state of Paraíba, as well as surrounding areas that are influenced by the anomalous activities of natural radioactive elements. The research followed the parameters of the Ethics Committee under approval nº 1.200.616/2015, CAAE nº 44325315.3.0000.5208. Were used 89 teeth, of which 10 were from the city of São José de Espinharas, 23 from Patos, 9 from São Mamede, 17 from Santa Luzia, 9 from São José do Sabugí, 10 from Junco do Seridó and 11 from the Metropolitan Region of Recife, with 7 bone spicules originated from Santa Luzia, São Mamede and Patos. The specimens were comminuted and fractionated in 500 mg for analysis by Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (EDXRF), then fractionated at 200 mg and digested with HNO₃ pa (~65%) for analysis by Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS) and Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS). Values of concentration were quantified for the elements Ca, Cu, Fe, Si, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V and Zn by EDXRF, K and Mn by FAAS and Th and U by ICP-MS. Among the analyzed elements, Ca obtained the highest concentrations, with an average of 272,986.4 mg/kg. Ni, however, obtained the lowest result (30.4 mg/kg). For the U radionuclide, the results of 84 tooth samples were obtained ranging from 1.5 to 145.0 mg/kg, with 27.4% of the values higher than the reference value (8.1 µg/kg), which indicated incorporation of natural radioactive material above the established limit. For Th radionuclide, of a total of 56 samples with valid values, 37.9% were higher than the limit (3.5 µg/kg) established by institutions of certification. In the analyzed bone spicules, values for U (45.1 µg/kg to 1,451.2 µg/kg) and Th (7.5 µg/kg to 78.4 µg/kg) were found to be higher than the limits in 100% of the evaluated samples. The U and Th radionuclides were identified in all the analyzed cities and the São José do Sabugí city obtained higher results for both elements in teeth, suggesting contamination through food and drinking water. The bone spicules presented the highest values for the evaluated radionuclides, being superior up to 179 times the

established limit for U. These results show that there is a high risk of contamination in residents of U anomalous region, and additional studies are needed to evaluate the biological risks of this exposure.

Keywords: Radioactivity. Chemical analysis. Tooth. Dental alveolus. Public health.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Vias de transferência de radionuclídeos primordiais	30
Figura 2 –	Esquema de decaimento radioativo do urânio-238	33
Figura 3 –	Esquema de decaimento radioativo do tório-232	36
Figura 4 –	Vias de transferência de radionuclídeos naturais para o homem	38
Figura 5 –	Distribuição da frequência cumulativa das concentrações de radionuclídeos das séries do urânio e tório no osso	42
Figura 6 –	Mapa de localização do município de São José de Espinharas-PB.....	46
Figura 7 –	Mapa de localização da área de estudo	48
Figura 8 –	Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia (CRCN-NE/CNEN)	55
Figura 9 –	Curva analítica para resultados por EDXRF (relação em mg/kg)	58
Figura 10 –	Espectrômetro de massas com fonte de plasma induzido (CRCN-NE/CNEN).....	62
Figura 11 –	Esquema para metodologia de análises em ICP-MS	63
Figura 12 –	Esquema dos componentes básicos de um equipamento ICP-MS	65
Figura 13 –	Curva de calibração do sistema de medidas para análise do urânio (a) e do tório (b).....	68
Figura 14 –	Esquema dos componentes básicos de um equipamento FAAS.....	70
Figura 15 –	Espectrômetro de Absorção Atômica com Chama (CRCN-NE/CNEN)	71
Figura 16 –	Curva de calibração do sistema de medidas para análise de potássio (a) e magnésio (b)	72
Figura 17 –	Distribuição dos pacientes por município	74
Figura 18 –	Caracterização de pacientes quanto ao risco relacionado à habitação	74
Figura 19 –	Quantificação de pacientes em relação à água de consumo	77
Figura 20 –	Contribuição para indicações de exodontia	80
Figura 21 –	Distribuição de frequências para concentração de metais em dentes .	87
Figura 22 –	Concentrações de metais não radioativos nos dentes dos habitantes da área de pesquisa.....	89
Figura 23 –	Caracterização das amostras de dentes por FAAS	96
Figura 24 –	Correlação entre concentrações em dentes e alvéolos para U (a) e Th (b) (valores dados em µg/kg).....	101

Figura 25 – Representação da dispersão de dados para as concentrações de U em amostras de dentes. Dados agrupados por município/área.....	102
Figura 26 – Dispersão de valores para concentrações de U nas amostras	103
Figura 27 – Dispersão de valores para concentrações de Th por município (A) e por região estudada (B).....	104
Figura 28 – Concentrações de U e Th nas amostras de ossos alveolares (valores dados em $\mu\text{g/kg}$)	106
Figura 29 – Atividades específicas para U (a) e Th (b) (valores em $\mu\text{Bq/g}$) em dentes e ossos alveolares.....	109
Figura 30 – Correlação entre elementos químicos que compõem a estrutura dos dentes analisados	115
Figura 31 – Análise de agrupamentos para os diferentes pacientes avaliados	116
Figura 32 – Distribuição das médias dos valores certificados (A) e dos valores obtidos no estudo (B) para a amostra padrão IAEA Soil-7	140

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Valores de referência para concentrações de radionuclídeos das séries do urânio e tório nos tecidos humanos	41
Tabela 2 –	Valores mundiais médios para exposição pública à radiação natural (indivíduos adultos)	43
Tabela 3 –	População estimada para os municípios envolvidos (ano de 2018)	47
Tabela 4 –	Parâmetros característicos referentes aos elementos químicos analisados por EDXRF	56
Tabela 5 –	Médias de valores obtidos e de referência (mg/kg) para os padrões de análise com respectivas incertezas analíticas expandidas a 95% de confiança para material Soil-7	57
Tabela 6 –	Parâmetros característicos referentes aos elementos químicos analisados por ICP-MS	66
Tabela 7 –	Parâmetros operacionais do FAAS	72
Tabela 8 –	Caracterização proporcional dos pacientes quanto ao município de origem, sexo e idade	75
Tabela 9 –	Composição de dentes por grupo anatômico	79
Tabela 10 –	Análise descritiva das frações de massa de elementos químicos analisados em amostras de dentes por município	83
Tabela 11 –	Estatística descritiva para as frações de massa obtidas para área anômala em radioatividade natural, estado da Paraíba (valores em mg/kg)	85
Tabela 12 –	Comparação de valores médios da concentração de elementos químicos com maior ocorrência em dentes (valores em %).....	90
Tabela 13 –	Comparação de valores médios da concentração de elementos químicos com menor ocorrência em dentes (valores em mg/kg)	92
Tabela 14 –	Resultados de análises por EDXRF para elementos químicos contaminantes.....	94
Tabela 15 –	Estatística descritiva para concentrações dos elementos U e Th em dentes por município	98
Tabela 16 –	Concentração dos radionuclídeos U e Th em ossos alveolares	100
Tabela 17 –	Estudo comparativo das concentrações de U e Th em dentes (valores dados em µg/kg)	111

Tabela 18 – Cargas de fatores a partir da aplicação de rotação Varimax e normalização de Kaiser	114
Tabela 19 – Frações de massa obtidas por EDXRF para as amostras deste estudo ..	141
Tabela 20 – Quantificação dos radionuclídeos U e Th em dentes	144
Tabela 21 – Atividades específicas para U e Th em dentes	146
Tabela 22 – Atividades específicas para U e Th em ossos alveolares	149
Tabela 23 – Teste de normalidade Shapiro-Wilk (valores expressos por município)...	154

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 –	Limite de Detecção (LD) para o ICP-MS	66
Equação 2 –	Limite de Quantificação (LQ) para o ICP-MS	67
Equação 3 –	Atividade Específica	107

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
2	REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE DENTES HUMANOS	23
2.2	RADIOATIVIDADE NATURAL.....	28
2.2.1	Urânio.....	32
2.2.2	Tório	35
2.2.3	Transferência de Radionuclídeos Naturais para o Ser Humano	36
2.2.3.1	Equilíbrio Radioativo Secular.....	39
2.2.4	Exposição Interna à Radiação	39
3	OBJETIVOS.....	45
3.1	OBJETIVO GERAL	45
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	45
4	MATERIAIS E MÉTODOS	46
4.1	ÁREAS DE ESTUDO	46
4.2	CÁLCULO AMOSTRAL.....	48
4.3	PROCEDIMENTOS PARA OBTENÇÃO DOS ESPÉCIMES	49
4.3.1	Critérios de inclusão e exclusão	49
4.3.2	Coleta de amostras	50
4.4	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	51
4.4.1	Remoção de matéria orgânica residual e esterilização	51
4.4.2	Pulverização das amostras.....	52
4.5	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISES PELA TÉCNICA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X POR DISPERSÃO DE ENERGIA (EDXRF).....	53
4.5.1	Preparação das cápsulas.....	53
4.6	ANÁLISES EM EDXRF	54
4.6.1	Certificação e segurança dos procedimentos analíticos	56
4.7	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISES POR ESPECTROMETRIA DE MASSA POR PLASMA ACOPLADO INDUTIVAMENTE (ICP-MS)	59
4.7.1	Digestão das amostras	59
4.7.1.1	Limpeza e descontaminação dos tubos teflon	60

4.8	ANÁLISES POR ICP-MS.....	60
4.8.1	Limite de Detecção (LD).....	66
4.8.2	Limite de Quantificação (LQ).....	67
4.8.3	Calibração do sistema de medidas	67
4.8.4	Certificação da ausência de contaminantes durante preparação de amostras	69
4.9	ANÁLISES POR ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA COM CHAMA (FAAS).....	69
4.9.1	Certificação dos procedimentos de análise	72
4.10	FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS	72
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO GRUPO AMOSTRAL.....	7
5.2	CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO QUÍMICA DAS AMOSTRAS MEDIANTE EDXRF.....	80
5.2.1	Presença de elementos químicos contaminantes	81
5.2.2	Variabilidade dos dados de fração de massa para os elementos analisados nos diferentes municípios envolvidos.....	82
5.3	ANÁLISE QUÍMICA DAS AMOSTRAS POR FAAS.....	96
5.4	ANÁLISE DE RADIONUCLÍDEOS POR ICP-MS	97
5.4.1	Variabilidade dos dados obtidos para concentrações de U e Th	97
5.4.2	Análise Fatorial.....	114
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	118
	REFERÊNCIAS.....	119
	APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) (PARA MAIORES DE 18 ANOS)	132
	APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) (PARA ADULTOS IMPOSSIBILITADOS DE ASSINAR)	135
	APÊNDICE C – PRONTUÁRIO DE PESQUISA E QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO	138
	APÊNDICE D – DISTRIBUIÇÃO DE MÉDIAS PARA VALORES OBTIDOS E CERTIFICADOS PARA O PADRÃO IAEA SOIL-7	140
	APÊNDICE E – RESULTADOS DE ANÁLISES POR EDXRF PARA	

QUALIFICAÇÃO QUÍMICA DOS DENTES AVALIADOS	141
APÊNDICE F – RESULTADOS DE ANÁLISES POR ICP-MS EM DENTES	144
APÊNDICE G – ATIVIDADES ESPECÍFICAS PARA CONCENTRAÇÕES DE RADIONUCLÍDEOS OBTIDAS POR ICP-MS EM DENTES	146
APÊNDICE H – ATIVIDADES ESPECÍFICAS PARA CONCENTRAÇÕES DE RADIONUCLÍDEOS OBTIDAS POR ICP-MS EM OSSOS ALVEOLARES	149
APÊNDICE I – TESTE DE SHAPIRO-WIK PARA OS DIFERENTES MUNICÍPIOS DO ESTUDO	154
ANEXO A – PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA ENVOLVENDO SERES HUMANOS	151

1 INTRODUÇÃO

Os dentes são estruturas constituídas por uma matriz orgânica composta por glicosaminoglicanos de cadeias polissacarídicas longas e não ramificadas, cuja função é a retenção de cátions. Dos vários constituintes, incluindo os minerais, são destacados Ca, Mg, P, K, Na, Sr, Sn, Zn, Fe e F, além dos fatores de impregnação como, Pb, Cu, Cl, B, Al, Ni, Ba, Si, V, Br, Ag, Th e U, os quais formam a cadeia estrutural da matriz dentária, possibilitando acúmulo de níveis diferenciados de metais e outros elementos, incluindo os radionuclídeos (GARCIA, 2002).

Os metais constituem elementos amplamente distribuídos no meio ambiente, formando depósitos com concentrações variáveis. Alguns metais, a exemplo do Ca e do Fe, desempenham importantes funções no metabolismo orgânico, entretanto, existem elementos com potencial de toxicidade que contribuem para alterações prejudiciais em processos fisiológicos, a depender de sua concentração nos tecidos, como o Pb e o Mg (KHLIFI; HAMZA-CHAFFAI, 2010).

Alguns metais são compostos por átomos cujos núcleos se caracterizam por emitir espontaneamente partículas e/ou radiação eletromagnética, sendo então caracterizados como materiais radioativos, denominados radionuclídeos (OKUNO, 2013). O urânio (U) e o tório (Th) são exemplos de radionuclídeos naturais e estão presentes na crosta terrestre de forma heterogênea, possibilitando a ocorrência de áreas com níveis elevados (CALLEGARI-JACQUES, 2003; SUJO et al., 2004; GUIMARÃES et al., 2011; UNSCEAR, 2010).

Os seres vivos são expostos aos minerais provenientes da composição do ambiente em que habitam, o que permite influências diretas na estrutura dos tecidos, justificando as concentrações variáveis dos elementos químicos nos diferentes órgãos (BHUIYAN et al., 2015). Porém, quando a absorção mineral relaciona-se a elementos com propriedades radioativas, a possibilidade de alterações a nível genético, pela exposição proveniente desses elementos, deve ser considerada (UNSCEAR, 2010).

Os radionuclídeos que estão presentes na composição das estruturas de rochas e solos, bem como aqueles provenientes da atmosfera terrestre, proporcionam exposição denominada externa. A exposição interna resulta da ingestão de elementos radioativos presentes em alimentos, água e ar (UNSCEAR, 2010; GUIMARÃES et al., 2011; UNSCEAR 2014).

O U e o Th fazem parte de importantes séries radioativas naturais e, pela ocorrência de transmutações, constituem radionuclídeos que contribuem significativamente para o desenvolvimento de alterações celulares no organismo humano, onde os rins representam órgãos com maior sensibilidade à toxicidade e, dependendo da concentração desses elementos, pode-se provocar necrose celular do epitélio tubular renal (CRAFT *et al.*, 2004).

Estudos em tecidos mineralizados são importantes no que diz respeito aos efeitos radioativos a longo prazo, por serem estruturas que, pela afinidade química existente, são capazes de absorver e reter alguns radionuclídeos, possibilitando maior tempo de exposição (GUIMARÃES *et al.*, 2011; PRADO, 2007).

Apesar de existirem áreas com concentrações de elementos radioativos dentro dos valores para referência de normalidade, níveis anômalos de minerais que compõem algumas áreas da crosta, por mecanismos relacionados à atividade de exploração, podem ser transferidos para outras regiões (FERNANDES *et al.*, 2004) e possibilitar exposição dos seres vivos às radiações ionizantes (TURNER, 2007).

Contudo, existem áreas com potencial próprio de exposição à radioatividade natural em níveis anômalos, como algumas regiões brasileiras. A região Nordeste ainda não foi contemplada em totalidade com estudos radiométricos ambientais, porém, monitorações aerocintilométricas e geológicas foram desenvolvidos pelas Empresas Nucleares Brasileiras (NUCLEBRAS), entre os anos de 1977 e 1982, onde registraram importantes anomalias regionais de U em rochas, uma dessas situada no município de São José de Espinharas, estado da Paraíba (SILVA, 2014).

A monitoração da exposição radioativa e a dosimetria radioecológica constituem mecanismos para o conhecimento das influências que os radionuclídeos apresentam no metabolismo orgânico. Para tanto, bioindicadores de exposição tem sido utilizados com sucesso na identificação de indivíduos expostos, bem como no acompanhamento da exposição (UNSCEAR, 2014). Chumbo em sangue (AITIO; KALIO, 1999) e dentes (FREMLIN; EDMONDS, 1980; TSUJI *et al.*, 1997), ácido mandélico em urina, benzeno em ar expirado (ACGIH, 2012), mercúrio em sangue e urina (IPCS, 2001), constituem bioindicadores de exposição utilizados para o acompanhamento de trabalhadores ocupacionalmente expostos a agentes genotóxicos.

Metais que compõem o ambiente, radioativos ou não, podem depositar-se nos ossos e dentes ao longo da vida de um indivíduo, influenciando na morfologia e

fisiologia desses componentes (TSUJI et al., 1997). Elementos como Sr, rádio (Ra), Ba, cério (Ce), praseodímio (Pr), plutônio (Pu) e U, quando se integram à estrutura dos tecidos mineralizados, passam a irradiar a medula, possibilitando o desenvolvimento de processos neoplásicos malignos, como a leucemia (GARCIA, 2002).

O tecido ósseo constitui grande reservatório de íons do corpo humano e pela afinidade iônica associada à capacidade de mimetizar o cálcio, quando comparado a outros tecidos do corpo, tanto o Pb quanto o U podem se acumular em proporções consideráveis (POUNDS; LONG; ROSEN, 1991; UNSCEAR, 2014).

Com isso, ossos e dentes tem sido utilizados como bioindicadores de exposição crônica a metais pesados (TSUJI et al., 1997), com destaque os dentes, por sua fácil obtenção e semelhança estrutural com ossos, apresentando, portanto, a mesma afinidade por metais (RABINOWITZ *et al.*, 1993; HERNANDEZ-GUERRERO *et al.*, 2004).

No Brasil, pesquisas realizadas em termos de monitoração radiométrica com uso de bioindicadores humanos são escassas, sobretudo no estado da Paraíba, área de interesse dessa pesquisa, principalmente se tratando da área uranífera que constitui uma das principais jazidas nacionais, onde pesquisas deste porte são, até o momento, inexistentes, o que fortalece e justifica o interesse do estudo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE DENTES HUMANOS

Os dentes apresentam composição química semelhante ao osso, com estrutura baseada na associação de três tecidos mineralizados, sendo estes o esmalte, a dentina e o cemento. O esmalte dentário se caracteriza por ser a substância mais dura do corpo humano, com uma composição química de 96% de material inorgânico, 1% de material orgânico e 3% de água. A dentina, mais rígida que o tecido ósseo e mais macia que o esmalte, apresenta composição química baseada em 70% de material inorgânico, sendo 30% de material orgânico e água. O cemento, tecido que reveste a superfície radicular, ligando o dente diretamente ao ligamento periodontal e indiretamente ao osso alveolar, é composto por 55% de material orgânico e 45% de material inorgânico (MARIEB; HOEHN, 2007).

Os tecidos duros dentários, sobretudo o esmalte, apresentam composição química dinâmica, ou seja, uma vez depositados os elementos químicos constituintes de porções inorgânicas, substituições iônicas de outros elementos podem acarretar em variações na composição química ao longo da vida de um indivíduo, sobretudo devido interações com o meio ambiente (PATE, 1994).

Desta forma, a influência de alterações ambientais sobre a saúde humana pode ser determinada em termos de indicadores biológicos, como dentes (CHADWICK; OUTRIDGE; GARLICH-MILLER, 2008), que podem diagnosticar efetivamente a situação química de um organismo enquanto indicadores de exposição química e radiológica a longo prazo (BERCOVITZ; LAUFER, 1990).

Através do metabolismo orgânico, muitas vezes com auxílio de compostos químicos fluoretados, promovem-se processos de remineralização das superfícies dentárias, como consequência das desmineralizações por ação de toxinas bacterianas ou de fatores relacionados à saúde sistêmica e hábitos do paciente, com isso, podem ser alterados os componentes da estrutura dentária (GRIPPO; SIMRING; SCHREINER, 2004; AMAECHI; HIGHAM, 2005).

Fatores intrínsecos, a exemplo de refluxos gástricos e patologias psicológicas e extrínsecos, como dieta com exposições a baixos níveis de pH, medicações ou exposições a água com alto teor de cloro correspondem a possíveis causas de perda mineral, além da atividade bacteriana, o que contribui para a dinâmica química

dessas estruturas (GRIPPO; SIMRING; SCHREINER, 2004; AMAECHI; HIGHAM, 2005).

Além disso, o desgaste dentário, como consequência fisiológica do envelhecimento ou como processo patológico, com comprometimentos funcionais e estéticos, a exemplo da atrição, abrasão, erosão e abfração, pode ocasionar a perda permanente de tecido dentário mineralizado (NEVILLE et al., 2009), reduzindo o teor mineral da estrutura do órgão e, conseqüentemente, influenciando os resultados de medidas para caracterização química dos espécimes.

Existe crescente interesse quanto a determinação de elementos-traço em tecidos humanos com a finalidade de avaliação de interferências no metabolismo orgânico (LOCHNER et al., 1999; CARVALHO et al., 2001), pois sabe-se que a intervenção antrópica alterou os efeitos potenciais dos metais sobre a saúde humana, particularmente por meio de atividades que acarretam o transporte desses elementos para várias regiões do planeta, alterando a composição natural do meio ambiente (GOYER; CLARKSON, 2001).

Os dentes, além de amostras de cabelos, unhas, sangue e urina (BROWN et al., 2004), são relatados como bioindicadores adequados para avaliação da exposição humana a agentes genotóxicos (RABINOWITZ et al., 1993; CARVALHO et al., 2001; BROWN et al., 2004), uma vez que são facilmente obtidos (GROBLER; THEUNISSEN; KOTZE, 2000). Além disso, constituem espécimes de escolha, visto apresentarem estrutura semelhante ao tecido ósseo, tendo, portanto, mesma afinidade por metais e, por apresentarem remodelação lenta, liberarem contaminantes com intensidade inferior em relação a outros materiais biológicos utilizados, o que contribui para informação sobre exposição a longo prazo (RABINOWITZ et al., 1993; GROBLER; THEUNISSEN; KOTZE, 2000).

Logo, a importância da análise de qualificação e quantificação química previamente ao estudo radiométrico dos espécimes consiste na necessidade do entendimento sobre possíveis alterações no padrão mineral dos dentes ou ocorrência de contaminantes nos tecidos, o que pode comprometer a integridade dos resultados sobre concentrações de radionuclídeos (GOYER; CLARKSON, 2001).

A composição química dos dentes humanos não apresenta proporções definidas, visto constituírem órgãos complexos, com um sistema de tecidos variável e características químicas moduláveis, a depender das interações do indivíduo com

o meio em que habita. Com isso, vários são os estudos que objetivam caracterizar quimicamente a estrutura dentária e, embora haja dificuldade em termos de disponibilidade de padrões de referência para análises (CHADWICK; OUTRIDGE; GARLICH-MILLER, 2008), estudos anteriores já indicaram ser, os dentes, bioindicadores de exposição humana a concentrações anômalas de elementos químicos do ambiente (BLAMUSA et al., 1990).

Elementos químicos que compõem a estrutura de dentes e ossos são considerados essenciais, também denominados bioelementos, quando, com deficiência de níveis médios, provocam alterações metabólicas. Esses elementos podem ser ordenados em nível de abundância e então nomenclaturados, de forma que elementos majoritários apresentam as maiores concentrações, a exemplo do cálcio, potássio e magnésio. Elementos traço, como ferro e zinco, e microtraços, como manganês e níquel, constituem grupo de oligoelementos, designados por desempenharem funções na presença de mínimas concentrações (PREOTEASA, 2008).

O elemento cálcio (Ca) é o constituinte inorgânico essencial mais abundante do corpo humano, colaborando para mineralização de ossos e dentes, bem como para regulação do metabolismo intracelular. O esqueleto é o seu principal reservatório e, associado aos dentes, apresenta concentração de 99% do total de cálcio do organismo (HEANEY, 2006).

As concentrações do Ca em dentes não apresentam grande variabilidade entre habitantes de diferentes regiões, o que observa-se comparando estudos de Preoteasa (2008) que descreveu concentração de 35,7 a 37,4% do Ca em dentes, Brown et al. (2004), com concentração média de 31,4% e 31,5% e Nganvongpanit et al. (2017), com valor médio de 27,2%.

Concentrações, em dentes, de elementos como potássio (K) e magnésio (Mg), considerados essenciais para o organismo humano (MJOR, 2009), parecem diferir consideravelmente entre as pesquisas (CHADWICK; OUTRIDGE; GARLICH-MILLER, 2008). O K, no esmalte, pode apresentar valores entre 190 e 1.700 mg/kg, sendo também citado em dentes inteiros com concentrações em torno de 53 mg/kg. Para o Mg, concentrações nos tecidos ameloblásticos atingem faixa de valores entre 745 e 4.100 mg/kg e na dentina os valores podem atingir 8.000 mg/kg (IYENGAR; TANDON, 1999).

O elemento ferro (Fe) é o segundo metal mais abundante, atingindo, na crosta terrestre, concentração de 63.000 µg/g. Estudos epidemiológicos realizados em trabalhadores de fundições de ferro e aço demonstram um aumento na incidência de câncer de pulmão (NORDBERG, 2001). O Fe é considerado essencial, porém deve ser encontrado em baixas concentrações, ocorrendo com médias, em dentes inteiros, em torno de 65 mg/kg (IYENGAR; TANDON, 1999).

O manganês (Mn) é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre e, no corpo humano, apresenta cerca de 12 g distribuídos sobretudo nos ossos. São sérios os sintomas da intoxicação por Mn e são mais observados no trato respiratório e no sistema nervoso central (SNC) (NORDBERG, 2001).

O estrôncio (Sr) é necessário para a mineralização do tecido ósseo e resistência dos tecidos dentários à cárie, contudo, o excesso pode resultar em deformação tecidual. Pesquisas apontam concentrações de Sr em esmalte na faixa entre 94 a 150 mg/kg (PREOTEASA, 2008). Há evidências de casos anômalos de concentração que atingem 7.630 mg/kg. Em dentina, os valores chegam a 250 mg/kg (IYENGAR; TANDON, 1999).

Pequenas quantidades de níquel (Ni) são necessárias ao corpo humano para produção de hemácias sendo, em concentrações excessivas, levemente tóxico. Exposições a altos níveis em curto período não determinam alterações orgânicas, mas em casos de exposição prolongada, pode desencadear perda de peso, cardiopatias e alterações hepáticas (LENNTECH, 2018). Em dentes inteiros, a concentração descrita atinge 30 mg/kg (IYENGAR; TANDON, 1999).

O silício (Si) é o segundo elemento químico mais abundante na crosta terrestre (28% da composição), superado apenas pelo oxigênio. Ocorre normalmente associado ao oxigênio sob a forma de dióxido de silício (sílica) ou de silicatos (SCHLEIER, 2014). Apresenta funções importantes para estruturação da pele e anexos (PEIXOTO, 2001) e se encontra no grupo de oligoelementos essenciais para os seres humanos. Ocorre em quantidade significativa em ossos e dentes auxiliando o processo de calcificação (SOUZA; ANTONES JÚNIOR, 2016). Estudos apontam alcance máximo de 504 mg/kg em dentes (CUTRESS, 1990).

Atualmente, muito difundido na odontologia como um importante biomaterial, sobretudo para confecção de componentes cirúrgicos, o titânio (Ti) e as ligas provenientes é comumente utilizado para realibitação protética, a partir da substituição de partes ósseas (NORDBERG, 2001). Apresenta característica de

acúmulo em tecidos biológicos e estudos retratam médias de concentrações de 1,6 mg/kg (CUTRESS, 1990) a 592 mg/kg (NGANVONGPANIT et al., 2017), porém ainda não são totalmente elucidados os efeitos funcionais essenciais desse metal.

O zinco (Zn) é um elemento químico essencial, considerado como um metal altamente móvel e biodisponível. Dentre as funções orgânicas, encontra-se a atuação na síntese de proteínas e ácidos nucleicos. Estudos apontam concentração em dentes na faixa entre 49 e 691 mg/kg (PREOTEASA, 2008), apresentando, entre as médias descritas, valores de 178 mg/kg (AMR, 2011) e 542 mg/kg (NGANVONGPANIT et al., 2017).

Elementos como chumbo (Pb) (BARTON, 2011), cobre (Cu) e vanádio (V) compõem grupo de substâncias consideradas contaminantes em amostras dentárias. O elemento Cu consiste em um metal altamente condutor de eletricidade e calor, sendo uma substância essencial na composição do organismo humano. Todavia, em doses elevadas pode desencadear processos de intoxicação e consequências sistêmicas, como anemia, lesões hepáticas e renais, hemólise intravascular e convulsões (BUDAVARI, 1996).

Na maioria dos casos, ocorrências do elemento Cu em dentes denotam contaminação e, sendo uma substância com facilidade de determinação, os resultados apontam dados com variações reais, mundialmente sendo referenciados com valores entre 7 e 10 mg/kg (IYENGAR; TANDON, 1999), atingindo, entre os maiores valores, concentração de 30 mg/kg, como mostra estudo de Preoteasa et al. (2008).

O Pb constitui elemento frequentemente pesquisado em dentes e ossos, em virtude de sua elevada genotoxicidade, principalmente relacionada a alterações proteicas no SNC (NORDBERG, 2001). Gomes et al. (2003) afirmam existir relação entre ocorrência de Pb em dentes e desenvolvimento de alterações em esmalte, caracterizando indicador de maior risco de cárie, o que confirma-se por Youravong et al. (2006) que constata existir maior possibilidade de desenvolvimento de cárie em indivíduos com índices de Pb superiores à média e que, na presença deste elemento, água de abastecimento público fluoretada apresenta atividades preventivas comprometidas.

Pesquisas mostram resultados em que a massa de Pb ocorre, em dentes, com concentração de 2,1 mg/kg (ASADUZZAMAN, 2017), atingindo, em estudos de Gomes et al. (2004), valor de 220 mg/kg, comprovando existirem alterações em

esmalte nos dentes com esta concentração. Preoteasa et al. (2008) obteve resultados na faixa de 2 a 21 mg/kg de Pb em dentes.

Como metal mais abundante que o Pb e o Cu, o elemento V apresenta característica dúctil e não é considerado substância essencial para o organismo. Sabe-se que concentrações altas comprometem os sistemas orgânicos, podendo desenvolver distúrbios gástricos e dores no corpo. Iyengar, Tandon (1999) apontaram valores de concentração deste elemento em dentes de 0,003 mg/kg a 0,02 mg/kg.

2.2 RADIOATIVIDADE NATURAL

Radioatividade corresponde à desintegração de determinados núcleos atômicos instáveis com propagação de energia através de qualquer meio, processo pelo qual ocorre a perda espontânea de massa. Classifica-se como natural quando não há intervenção humana no processo de emissão de energia (EISENBUD; GESELL, 1997; OKUNO, 2013). Elementos químicos com essas características são denominados radionuclídeos, sendo considerados primordiais quando existem desde a formação do planeta, correspondendo a principal fonte de irradiação natural para o homem, seja ela interna ou externa (UNSCEAR, 2010).

A exposição dos seres humanos à radioatividade natural sempre existiu, seja através das emissões de partículas de alta energia oriundas do espaço ou pelos elementos químicos radioativos que compõem a crosta terrestre. Deste modo, para a maioria dos indivíduos, a exposição à radiação natural corresponde à proporção mais significativa em termos de exposição radioativa, sendo o elemento radônio a maior fonte natural considerada (UNSCEAR, 2010).

Apesar da maior contribuição para a exposição humana às radiações ter origem das emissões de radionuclídeos terrestres, a radiação emitida pelo espaço apresenta-se como uma parcela importante de contribuição a ser considerada. A vida no planeta é protegida deste tipo de radiação por uma camada de ar de 10.000 kg/m² (1.000g/cm²), contudo, em locais com altitudes elevadas, os raios cósmicos constituem o campo de radiação dominante. Os raios cósmicos, por sua vez, a partir da interação com a atmosfera, produzem radionuclídeos denominados cosmogênicos, onde o ¹⁴C obtém destaque em termos de exposição pública (UNSCEAR, 2010).

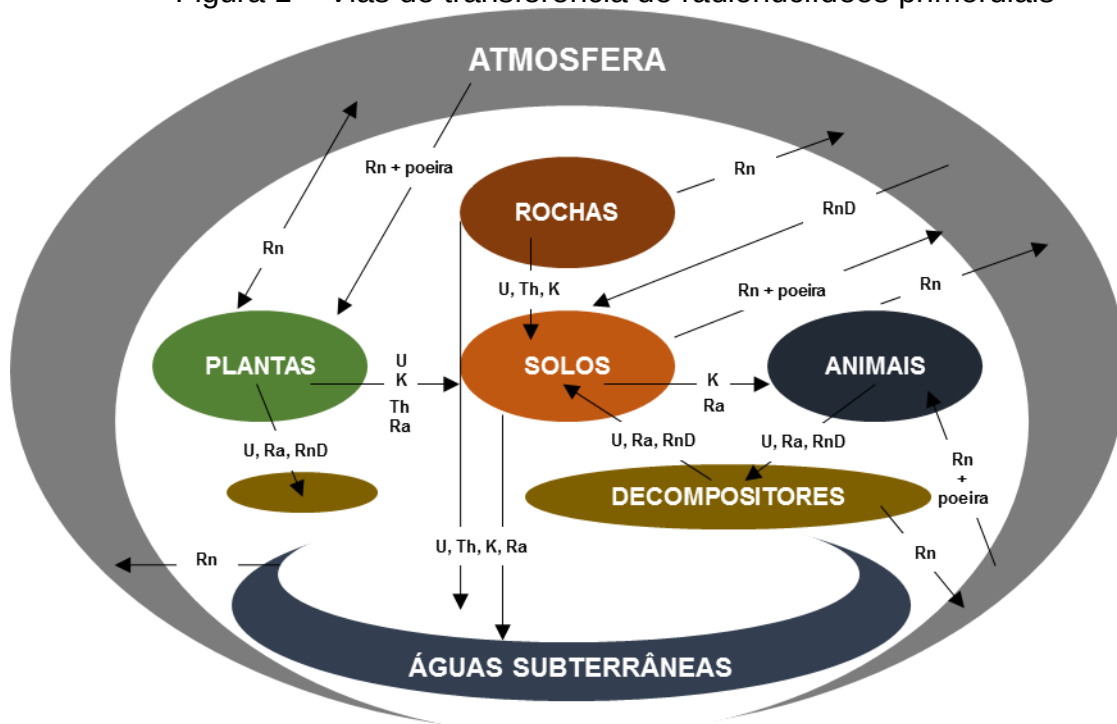
Exposição externa à radiação natural é definida pela emissão de energia radioativa durante os processos de desintegração nuclear de elementos químicos constituintes de rochas, solos, água e atmosfera. No entanto, a irradiação interna, ocorre quando existe contato de radionuclídeos com o interior do corpo humano através da ingestão ou inalação (EISENBUD, 1987; MEDHAT, 2009).

Existe, no meio ambiente, aproximadamente 340 nuclídeos, dos quais 80 são radioativos, possibilitando interação da radiação com os seres vivos (FROEHLICH, 2010). A energia é emitida com diferentes intensidades e poder de penetração, podendo causar efeitos variáveis a nível celular (OKUNO, 2013).

Considerando a exposição humana à radiação natural, destacam-se os radionuclídeos ^{226}Ra (descendente do ^{238}U), ^{40}K e ^{232}Th (FROEHLICH, 2010) que apresentam diferentes concentrações na superfície terrestre, possibilitando a existência de áreas capazes de promover uma exposição humana centenas de vezes superior ao valor médio global para esses radionuclídeos, o que ocorre no município brasileiro de Guarapari-ES, cuja taxa de dose média atinge 50 mGy h^{-1} , quando a média global apresenta valor de $0,057 \text{ mGy/h}$ (EISENBUD; GESELL, 1997).

Os radionuclídeos naturais primordiais circulam por vias ambientais denominadas vias de transferência, processo pelo qual ocasiona-se a exposição interna humana a esses elementos, através da incorporação pelos seres vivos. A Figura 1 destaca o conjunto de vias de transferência de radionuclídeos através do meio ambiente.

Figura 1 – Vias de transferência de radionuclídeos primordiais



Fonte: Mazzilli, Máduar, Campos (2011). Adaptada

Naturalmente ocorrem transferências minerais no ambiente através de um ciclo, onde os radionuclídeos primordiais que participam da composição orgânica dos seres vivos e inorgânica de rochas e solos podem ser encontrados, abrangendo todos os compartimentos do ecossistema e diferindo em termos de concentração de atividade radioativa em diferentes materiais. Com isso, as rotas por onde se transportam os radionuclídeos primordiais expõem os seres humanos, bem como qualquer organismo terrestre, à radioatividade natural emitida durante o processo de circulação mineral na natureza, ainda possibilitando a contaminação por partículas desses materiais (MAZZILLI; MÁDUAR; CAMPOS, 2011).

Como observa-se na Figura 1, as rochas, que podem apresentar em sua composição minerais radioativos, como urânio, tório e potássio, pelos processos de desintegração natural, originam solos que consequentemente herdam sua composição e servem de adubo para toda a vegetação da área. A radioatividade emanada por estes tipos de rochas e solo constitui a principal fonte de irradiação externa terrestre, sendo, geralmente, as rochas ígneas, como os granitos, mais radioativas que as rochas sedimentares (MAZZILLI; MÁDUAR; CAMPOS, 2011).

A água das chuvas, devido ao atrito gerado quando em contato com rochas que apresentam esses minerais na composição, acelera o processo de

intemperismo e dissolve o urânio existente, deslocando-o para os lençóis freáticos que passam a concentrar maior nível do elemento radioativo. Por conseguinte, a vegetação local que se nutre através da água subterrânea, bem como os animais que a utilizam para consumo, submetem-se a exposições maiores à radioatividade natural (NRIAGU et al., 2012).

A transferência de radionuclídeos para a vegetação, através do solo, ocorre a partir do processo natural de absorção radicular que propicia a nutrição das plantas pela obtenção de água e sais minerais, constituindo-se em um importante mecanismo de transporte dos contaminantes na cadeia alimentar, visto que as plantas, a partir de então, passam a ser compostas por esses minerais e são utilizadas como alimento para animais que alimentam outros animais e o homem, consequentemente havendo continuidade do processo de transferência. O potássio, que faz parte da composição estrutural das plantas, é transferido para animais a partir de sua ingestão e o rádio, por ter afinidade química com o cálcio, passa a compor a estrutura óssea desses animais (MAZZILLI; MÁDUAR; CAMPOS, 2011).

Uma cadeia alimentar guia-se pelo ciclo natural do meio ambiente, onde mesmo com a morte e consequente degradação dos seres, os radionuclídeos se fazem presentes na constituição de microorganismos decompositores. Neste processo, águas (pelo contato com radionuclídeos de rochas e do solo) e atmosfera (através da emissão de poeira e radionuclídeos gasosos) fazem parte como ambientes de dissipação, onde o radônio (Rn) e seus elementos químicos descendentes (RnD) participam do processo de transferência em todas as etapas deste ciclo (MAZZILLI; MÁDUAR; CAMPOS, 2011).

Contudo, os mecanismos naturais de transferência de radionuclídeos para os seres vivos podem desencadear exposições altas e, consequentemente, interações com a matéria viva que possibilitam formações danosas. Isso pode ocorrer devido a existência de áreas com maior concentração de radionuclídeos naturais ou nas quais promoveram-se exposições consideradas anômalas por atividades artificiais (UNSCEAR, 2014).

2.2.1 Urânio

Os radionuclídeos de ocorrência natural, cuja origem seja terrestre, classificados como primordiais, apresentam-se distribuídos em diferentes concentrações ao longo da crosta terrestre, ainda compondo a estrutura de organismos vivos (UNSCEAR, 2010). Deste modo, apenas os radionuclídeos com meias-vidas proporcionais à idade do planeta Terra e seus produtos de decaimento, existem em suficiente quantidade para contribuir significativamente para a exposição humana, a exemplo do urânio (UNSCEAR, 2010; CARDOSO, 2012).

O Urânio e seus descendentes destacam-se em termos de contribuição para exposição externa por emissores gama, sobretudo o ^{238}U , apresentando-se em grande quantidade em rochas e solos. A série do ^{238}U constitui uma das principais séries de decaimento radioativo de interesse, com a presença de elementos descendentes importantes, tais como o ^{226}Ra e o ^{222}Rn (IAEA, 2011). A cadeia de decaimento do ^{238}U (Figura 2) discrimina elementos com meias-vidas longas, emissores alfa e que se encontram no meio ambiente em grandes proporções (SANTOS JÚNIOR et al., 2009).

Figura 2 – Esquema de decaimento radioativo do urânio-238

Nuclídeos		Meia-vida	Maiores energias de radiação (MeV) e intensidades		
			α	β	γ
	^{238}U	4,468x10 ⁹ a	4,15 (23%) 4,19 (77%)	-	-
	↓				
	^{234}Th	24,1 d	-	0,103 (19%) 0,191 (81%)	0,063 (3,5%) 0,093 (4,0%)
	↓				
	^{234}Pa	1,18 m	-	2,29 (98%)	0,765 (0,30%) 1,001 (0,60%)
99,86%					
	↓				
	^{234}Pa	6,7 h	-	0,53 (66%) 1,13 (13%)	0,10 (50%) 0,70 (24%) 0,90 (70%)
0,14%					
	↓				
	^{234}U	2,48x10 ⁵ a	4,72 (28%) 4,77 (72%)	-	0,053 (0,2%)
	↓				
	^{230}Th	7,52x10 ⁴ a	4,62 (24%) 4,68 (76%)	-	0,068 (0,6%) 0,142 (0,07%)
	↓				
	^{226}Ra	1602 a	4,60 (5,5%) 4,78 (94,5%)	-	0,186 (4%)
	↓				
	^{222}Rn	3,825 d	5,49 (100%)	-	0,510 (0,07%)
	↓				
	^{218}Po	3,05 m	6,11 (100%)	0,33 (100%)	-
99,98%					
	↓				
	^{214}Pb	26,8 m	-	1,03 (6%)	0,295 (19%) 0,352 (36%)
	↓				
	^{218}At	2 s	6,65 (6%) 6,70 (94%)	0,67 (94%)	-
0,02%					
	↓				
	^{214}Bi	19,7 m	5,61 (100%)	3,26 (100%)	0,609 (46%) 1,120 (17%) 1,764 (17%)
99,96%					
	↓				
	^{214}Po	164 μs	7,83 (100%)	-	0,799 (0,014%)
	↓				
	^{210}Tl	1,32 m	-	2,3 (100%)	0,296 (80%) 0,795 (100%) 1,310 (21%)
	↓				
	^{210}Pb	22 a	3,7 (1,8x10 ⁻⁸ %)	0,017 (85%) 0,064 (15%)	0,047 (4%)
	↓				
	^{210}Bi	5,02 d	4,93 (60%) 4,89 (34%) 4,59 (5%)	1,155 (100%)	-
100%					
	↓				
	^{210}Po	138,3 d	5,30 (100%)	-	0,803 (0,0011%)
	↓				
	^{206}Tl	4,19 m	-	1,520 (100%)	-
	↓				
	^{206}Pb	ESTÁVEL	-	-	-

Fonte: IAEA (2003)

No esquema de decaimento radioativo do ^{238}U relatado, observam-se emissões de radiação alfa, configurando a estruturação consequente do ^{234}Th ,

porém, todos os radionuclídeos que passam a ser formados, com exceção do ^{206}Pb , ainda são instáveis. Para atingir a estabilidade, há a formação de diversos radionuclídeos, dos quais se destaca o ^{226}Ra , por sua grande importância radioecológica e seu descendente, o ^{222}Rn , pela facilidade de contaminação dos seres vivos através de sua inalação (ICRP, 1993; IAEA, 2011; ICRP, 2012). O elemento ^{226}Ra , com meia-vida de 1.622 anos, apresenta seus produtos de decaimento como sendo responsáveis por um considerável valor de dose recebida pelos seres humanos a partir de suas emissões (IAEA, 2011).

O ^{226}Ra encontra-se em vários compartimentos ambientais, tais como rochas, solos, água, em vinte e cinco formas isotópicas, tendo como principais ^{223}Ra ($T_{1/2} = 11,4$ dias), ^{224}Ra ($T_{1/2} = 3,7$ dias), ^{226}Ra ($T_{1/2} = 1.600$ anos) e ^{228}Ra ($T_{1/2} = 5,75$ anos). Contudo, apenas o ^{226}Ra e o ^{228}Ra são relevantes para estudos radioecológicos, pois os demais apresentam meias-vidas curtas a ponto de serem desconsideradas as formas de acúmulo no meio ambiente (EISENBUD; GESELL, 1997).

Os isótopos radioativos do urânio apresentam os números de massa 234, 235 e 238, sendo encontrados com abundância de 0,0058%; 0,71% e 99,28%, respectivamente, no meio ambiente (KANNAN et al., 2002; GREENPEACE, 2012). O ^{238}U corresponde ao mineral com a principal série de decaimento radioativo, em virtude de sua abundância e distribuição no planeta, bem como da presença de elementos descendentes de interesse, a exemplo do ^{226}Ra e do ^{222}Rn (SANTOS JÚNIOR et al., 2009; IAEA, 2011).

A interação entre as partículas do urânio e os tecidos vivos há anos constitui fonte de discussões de entidades internacionais com o propósito de obtenção de conhecimento acerca das atuais condições ambientais e possibilidades de transição desse elemento radioativo no planeta, sobretudo como consequência de atentados e acidentes nucleares (UNSCEAR, 2014).

A Resolução da assembleia geral do Comitê Científico das Nações Unidas sobre Efeitos da Radiação Atômica (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* - UNSCEAR), em associação com a Organização das Nações Unidas (ONU), Comissão para a Organização do Tratado de Proibição Completa de Testes Nucleares (CTBTO), Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), Organização Mundial de Saúde (OMS) e Organização Meteorológica Mundial (OMM) destaca o urânio entre as principais fontes radioativas de preocupação mundial,

devido mudanças na concentração da crosta terrestre por transição como consequência de atividades humanas e maior risco biológico (UNSCEAR, 2014).

Quando existente em um ambiente, o urânio e seus produtos de decaimento são absorvidos pela cadeia alimentar humana, por constituírem águas e alimentos. A ingestão contínua das partículas radioativas desses elementos possibilita a ocorrência de danos à saúde, como explicam estudos onde demonstram que mesmo baixas concentrações de urânio, quando ingeridas de maneira crônica, levam ao acúmulo do elemento em ossos, dentes, rins e medula óssea, expondo as células envolvidas ao raio de alcance da radiação alfa (ARRUDA NETO *et al.*, 2004).

2.2.2 Tório

O elemento tório (Th) é um metal da série dos actínídeos que apresenta-se na composição da crosta terrestre em diversas formas isotópicas, dentre estas naturais e artificiais (TONETTO; BONOTTO, 2002). Contudo, dos 22 isótopos do Th conhecidos, apenas os isótopos ^{227}Th , ^{228}Th , ^{230}Th , ^{231}Th , ^{232}Th e ^{234}Th (meias-vidas de 18,7 dias; 1,91 ano; $7,7 \times 10^4$ anos; 25,6 horas; $1,41 \times 10^{10}$ anos e 24,1 dias, respectivamente) tem origem natural, sendo os isótopos ^{228}Th , ^{230}Th , ^{232}Th e ^{234}Th relevantes em se tratando da exposição ocupacional (JULIÃO, 1998).

Como precursor da série natural de decaimento radioativo, o ^{232}Th (Figura 3), que compõe mais de 99% do Th natural existente e que se estabiliza na formação do ^{208}Pb após doze transformações (ROQUE, 2003), emite seis partículas alfa durante dez etapas de decaimento. O ^{224}Ra , como radioisótopo de importância, decai para o ^{220}Rn que, por ter uma meia-vida muito curta, é pouco relevante em relação às possibilidades de contaminação humana (TONETTO; BONOTTO, 2002).

Os riscos radiobiológicos do ^{232}Th associam-se à radioatividade emitida por seus produtos de decaimento, sobretudo o ^{228}Ra . Quando incorporados ao organismo humano, os descendentes do ^{232}Th acumulam-se no fígado, rins e na medula óssea, com meia-vida biológica de 700 dias (MONTEIRO, 2009), sendo 70% dos elementos fixados no tecido ósseo, o que corresponde a um potencial risco para saúde pública, justificando pesquisas em termos de análise de concentrações de radionuclídeos naturais nos tecidos humanos (RAMOS, 2010). A Figura 3 esboça o esquema de decaimento radioativo do ^{232}Th .

Figura 3 – Esquema de decaimento radioativo do tório-232

Nuclídeos		Meia-vida	Maiores energias de radiação (MeV) e intensidades		
			α	β	γ
^{232}Th		1,39.10 ¹⁰ a	3,95 (24%) 4,01 (76%)	-	-
↓					
^{228}Ra		5,75 a	-	0,055 (100%)	-
↓					
^{228}Ac		6,13 h	-	2,11 (100%)	0,34 (15%) 0,908 (25%) 0,96 (20%)
↓					
^{228}Th		1,913 a	5,34 (28%) 5,42 (71%)	-	0,084 (1,6%) 0,214 (0,3%)
↓					
^{224}Ra		3,64 d	5,45 (5,5%) 5,68 (94,5%)	-	0,241 (3,7%)
↓					
^{220}Rn		55,6 s	6,30 (~100%)	-	0,55 (0,07%)
↓					
^{216}Po		0,145 s	6,78 (100%)	-	
↓					
^{212}Pb		10,64 h	-	0,58 (100%)	0,239 (47%) 0,300 (3,2%)
↓					
^{212}Bi		60,5 m	6,05 (70%) 6,09 (30%)	2,25 (100%)	0,040 (2%) 0,727 (7%) 1,620 (1,8%)
64% ↓	36% ↓				
^{212}Po	^{208}Tl	304 ns	8,78 (100%)	-	
↓	↓	3,1 m	-	1,80 (100%)	0,511 (23%) 0,583 (86%) 0,860 (12%) 2,614 (100%)
↓	↓				
^{208}Pb		ESTÁVEL	-	-	-

Fonte: IAEA (2003)

2.2.3 Transferência de Radionuclídeos Naturais para o Ser Humano

O organismo humano apresenta, em média, 90 µg de urânio, incorporados através da ingestão de água e alimentos, assim como pelo ar inalado. Aproximadamente 66% se encontram no esqueleto, 16% no fígado, 8% nos rins e

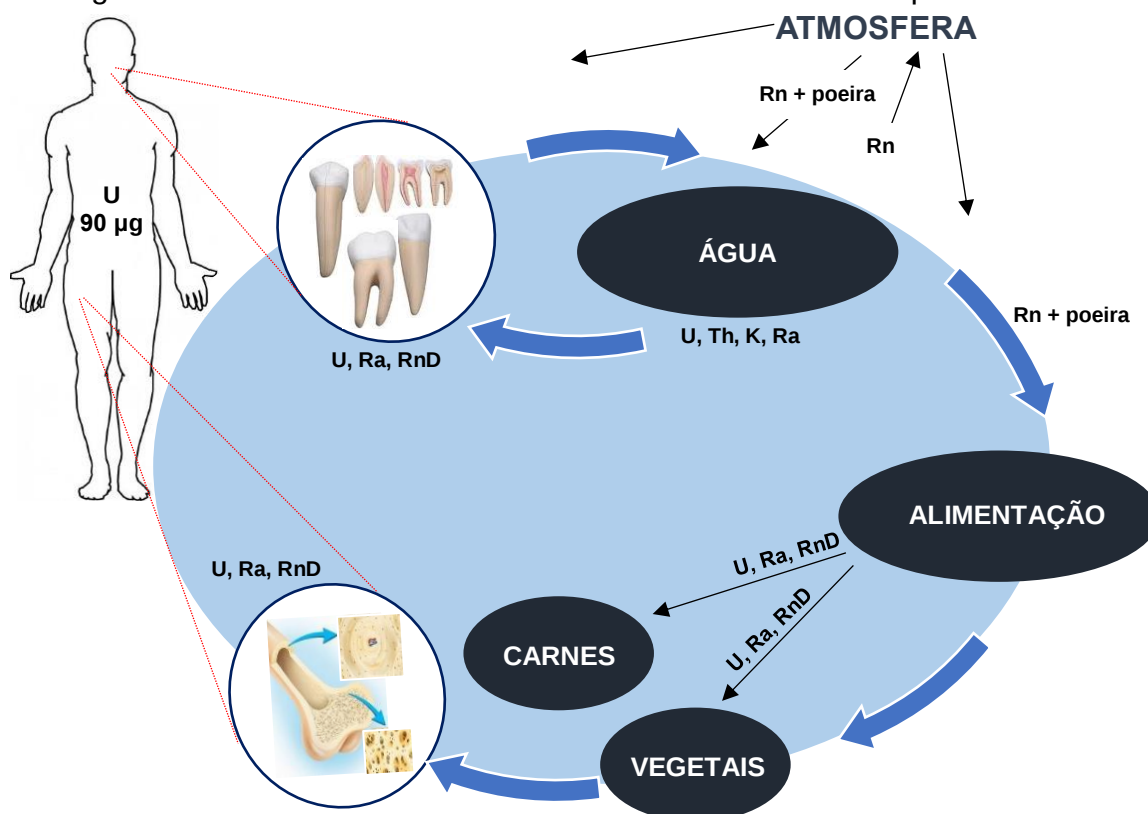
10% nos demais tecidos. Na excreção urinária e fecal, eliminam-se mais de 95% desse elemento (WHO, 2001; PRADO, 2007; ATSDR, 2011).

Alguns tecidos orgânicos são mais sensíveis a esses efeitos e essa sensibilidade possui variação associada ao grau de atividade celular. Órgãos como os pulmões, estômago e fígado são mais sensíveis às radiações ionizantes em relação ao desenvolvimento do câncer. Órgãos reprodutores podem desenvolver efeitos a nível genético e hereditário (STEWART, F. A. *et al.*, 2012; OKUNO, 2013).

Populações são susceptíveis a danos genéticos por exposição ambiental à radioatividade, o que pode ocorrer pelas exposições a radiações ionizantes provenientes da atividade de radionuclídeos, principalmente quando em ambientes influenciados por jazidas de mineral radioativo (NATARAJAN, 1993). O processo de decaimento radioativo do urânio promove a formação de variedades de elementos radioquímicos que também possibilitam o desenvolvimento de alterações orgânicas, como o radônio e seus produtos de decaimento.

O radônio pode ser facilmente emanado por rochas e solos, destacando-se em termos de exposição humana ao urânio face a sua descendência, podendo ser encontrado com maior concentração em áreas uraníferas ou próximas a jazidas, possibilitando a inalação pelos habitantes da região, sobretudo quando a exposição ocorre em ambientes fechados e sem circulação de ar. Destaca-se ainda por possibilitar o desenvolvimento do câncer pulmonar ao se acumular na base dos pulmões, podendo provocar uma série de efeitos biológicos indesejáveis a partir de suas emissões alfa, beta e gama no interior do organismo (ALAVANJA, 2002). A Figura 4, a seguir, esboça as várias vias de transferência de radionuclídeos naturais para o homem através do meio ambiente.

Figura 4 – Vias de transferência de radionuclídeos naturais para o homem



Fonte: Próprio autor (2018)

Como observa-se na Figura 4, o ciclo de transferências de radionuclídeos naturais (U, Th, K, Ra, Rn) no meio ambiente e posterior incorporação pela água, vegetais e animais torna os seres humanos passíveis de exposições internas através da absorção orgânica destes elementos, sendo a atmosfera um meio que proporciona exposição interna e externa pela emissão de poeira e gás radônio (ATSDR, 2011).

Considerando a atmosfera como fonte potencial de exposição, tem-se que cerca de 0,76 a 5% do urânio inalado é absorvido para a corrente sanguínea, sendo a maior concentração retornada ao ambiente através da expiração. Para ingestão pelo trato gastrointestinal, cerca de 0,1 a 6% da concentração é absorvida, enquanto que quantidade desprezível pode ser absorvida pela pele, desde que através de contato com substâncias hidrossolúveis (ATSDR, 2011).

Após a ingestão e/ou inalação, esses elementos são absorvidos pelo sangue, passando a compor o sistema circulatório, distribuindo-se por todo o organismo, porém com facilidade de acúmulo nos tecidos mineralizados (ossos e dentes), considerando principalmente o rádio (Ra) que apresenta compatibilidade química

com o cálcio (ATSDR, 2011). Como destaque, o rádio é foco de diversas pesquisas, sendo há décadas afirmada por pesquisadores (MUTH; GLOBEL, 1983) sua existência no corpo humano com aproximadamente 90% de concentração presente no sistema esquelético (ATSDR, 2011).

2.2.3.1 Equilíbrio Radioativo Secular

O estado de equilíbrio entre radionuclídeos precursores e descendentes pode ser denominado como transiente ou secular, a depender da longevidade de suas meias-vidas. Desta forma, quando a meia-vida de um radionuclídeo precursor é inferior a de seu descendente, o equilíbrio denomina-se transiente, apresentando, o radionuclídeo descendente, atividade levemente superior ou inferior a de seu precursor. Em contrapartida, quando o radionuclídeo descendente apresenta meia-vida inferior a de seu precursor, considera-se um equilíbrio radioativo secular, onde as atividades dos radionuclídeos precursor e descendente se encontram exatamente iguais (HEILBRON FILHO et al., 2003).

As séries radioativas naturais do urânio ^{235}U e ^{238}U , bem como a série do ^{232}Th apresentam nuclídeos com propriedades químicas e físicas diferenciadas, onde há grande variação em meias-vidas. Ocorrendo o decaimento radioativo em sistemas fechados por períodos superiores a sete meias-vidas do radioisótopo de maior meia-vida da série, as atividades de todos os produtos do processo de decaimento passam a se igualar às atividades do isótopo que iniciou a série, condição considerada como equilíbrio secular radioativo (SANTOS et al., 2001).

2.2.4 Exposição Interna à Radiação

Os seres vivos são expostos cotidianamente às radiações eletromagnéticas (TURNER, 2007), sendo os principais radionuclídeos envolvidos nesse processo o ^{228}Ac , ^{212}Pb e ^{208}Tl , da série de decaimento do ^{232}Th , e ^{214}Pb e ^{214}Bi , da série do ^{238}U (IAEA, 2011).

A exposição interna à radiação resulta da inalação e ingestão de radionuclídeos, o que pode ser determinado através da presença de partículas de elementos das cadeias de decaimento do ^{238}U e ^{232}Th no ar, nas águas e nos solos. No tocante às exposições mediante a inalação, os componentes dominantes da

exposição são constituídos por produtos de decaimento de curta duração do gás radônio (^{222}Rn), presente no ar. No entanto, as doses referentes à ingestão ocorrem devido, sobretudo, ao ^{40}K e a radionuclídeos das séries do ^{238}U e ^{232}Th , quando presentes nos alimentos e água potável. A inalação de radionuclídeos naturais, com exceção do ^{222}Rn e seus produtos de decomposição, ocorre devido à ressuspensão de partículas do solo (UNSCEAR, 2014).

Há uma grande variabilidade de valores de concentração de radionuclídeos no ar, solos e águas por diferenças geológicas, sobretudo fatores como clima, tipo de solo e áreas de contato da água corrente ou acumulada. Zonas com alterações no ar provenientes da queima de combustíveis geram maior possibilidade de exposição através da inalação, considerando que as cinzas volantes possam conter concentrações mais elevadas de urânio. Do mesmo modo, nas zonas costeiras, as concentrações no ar podem ter ordem de grandeza inferior em relação às áreas industrializadas (UNSCEAR, 2010).

Em termos da concentração de radionuclídeos absorvida por vegetações e animais locais, a variação ocorre de acordo com a constituição dos solos da região, onde os radionuclídeos distribuem-se de forma heterogênea, o que afeta diretamente a composição química da água existente que apresenta íntimo contato com o solo local (UNSCEAR, 2014).

Desde 1993, a UNSCEAR determinou valores para as concentrações dos radionuclídeos primordiais no ar, instituindo um banco de dados cujos valores obtiveram insignificantes mudanças temporais, sendo até então considerados válidos. A mais alta concentração, para o ^{210}Pb , equivale a $500\text{ }\mu\text{Bq/m}^3$, sendo ainda importantes as concentrações do ^{210}Po ($50\text{ }\mu\text{Bq/m}^3$); ^{238}U , ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{228}Th ($1\text{ }\mu\text{Bq/m}^3$); ^{232}Th e ^{230}Th ($0,5\text{ }\mu\text{Bq/m}^3$) e ^{235}U ($0,05\text{ }\mu\text{Bq/m}^3$). A partir disto, ponderou-se um valor para a dose devido à inalação pelo urânio e tório equivalente a $0,006\text{ mSv}$ (UNSCEAR, 2010).

Para as doses relacionadas à ingestão de radionuclídeos, destacam-se o ^{40}K e as séries do ^{238}U e ^{232}Th , presentes em alimentos e água potável. Contudo, em relação à exposição referente à alimentação, tem-se que as variações são amplamente visualizadas, isto devido às diferenças entre os hábitos dietéticos humanos, localização de alimentos, perfis dos solos e agricultura ou clima e estações do ano (UNSCEAR, 2010). A Tabela 1 esboça os valores de referência

para as concentrações dos radionuclídeos das séries do urânio e tório nos tecidos humanos.

Tabela 1 – Valores de referência para concentrações de radionuclídeos das séries do urânio e tório nos tecidos humanos

Radionuclídeo	Tecido				
	Pulmões	Fígado	Rins	Músculos e Outros Tecidos	Ossos
²³⁸ U	20	3	30	5	100
²³⁰ Th	20	9	5	1	20 - 70
²²⁶ Ra	4,1	4,1	4,1	4,1	260
²¹⁰ Pb	200	400	200	100	3.000
²¹⁰ Po	200	600	600	100	2.400
²³² Th	20	3	3	1	6 - 24
²²⁸ Ra	20	3	2	2	100

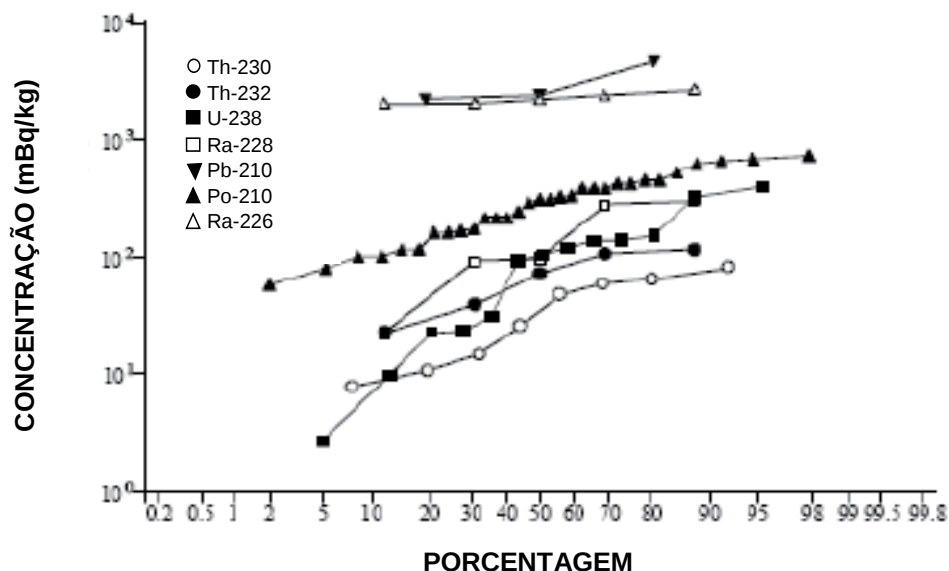
*Valores calculados em mBq/kg

Fonte: UNSCEAR (2000). Adaptada

Em se tratando de ocorrências de radionuclídeos em tecidos mineralizados, pode-se observar na Tabela 1 valores de referência para concentrações de ²¹⁰Pb (3.000 mBq/kg), descendente do ²³⁸U, em ossos, com destaque em relação aos demais radionuclídeos, o que pode ser explicado pelo forte biomimetismo existente entre o chumbo e o cálcio, componente básico na constituição dos tecidos ósseos (UNSCEAR, 2014).

O urânio resultante da inalação e/ou ingestão retém-se sobretudo no sistema esquelético, onde as concentrações ocorrem com níveis semelhantes entre os diferentes ossos, porém com variabilidade entre diferentes grupos etários e países (FISENNE, 2002). A média da concentração de ²³⁸U em tecidos moles apresenta-se em torno de 3 mBq/kg, com maiores concentrações em órgãos como os rins (30 mBq/kg) e pulmões (20 mBq/kg) (UNSCEAR, 2000). A Figura 5 esboça as distribuições de valores medidos em osso para radionuclídeos das séries do urânio e do tório.

Figura 5 – Distribuição da frequência cumulativa das concentrações de radionuclídeos das séries do urânio e tório no osso



Fonte: UNSCEAR (2010). Adaptada

Estima-se que aproximadamente 70% do conteúdo corporal de ^{238}U encontra-se na estrutura óssea, com atividade específica média referencial de 100 mBq/kg (conforme Tabela 1), o que corresponde a cerca de 500 mBq de ^{238}U no esqueleto humano, podendo este valor até triplicar, a depender do peso corpóreo do indivíduo (UNSCEAR, 2000) (Figura 5).

As concentrações dos radionuclídeos nas diferentes áreas do organismo humano encontram-se influenciadas diretamente pelos valores da dose efetiva anual para cada tecido orgânico. Logo, caso esses valores excedam os limites estabelecidos pelos órgãos de certificação, os indivíduos expõem-se a quantidades anômalas de radiação (UNSCEAR, 2000).

Existem valores estimados para a média mundial *per capita* de exposição a determinadas fontes radioativas naturais que desde o ano de 2000 são publicados pela UNSCEAR e permanecem essencialmente considerados. Esses valores, visualizados na Tabela 2, constituem médias para exposição radioativa natural, logo apresentam variações, a depender da área geográfica a ser considerada. Apesar disso, são valores certificados como referência a nível mundial.

O valor estimado para exposição anual média a fontes de radiação natural equivale a 2,4 mSv, contudo a distribuição de dose a nível mundial segue aproximadamente uma distribuição denominada log-normal, encontrando-se no

intervalo de 1-13 mSv/a. A Tabela 2 contém valores médios para a exposição mundial interna *per capita* a radionuclídeos naturais.

Tabela 2 – Valores mundiais médios para exposição pública à radiação natural (indivíduos adultos)

Fonte de exposição		Dose Efetiva Anual Média (mSv)	
Radiação Cósmica		0,39	
Exposição Terrestre Externa	Outdoors	0,07	
	Indoors	0,41	
	Total	0,48	
Exposição Terrestre Interna	Inalação	Séries U e Th	0,006
		²²² Rn	1,15
		²²⁰ Rn	0,1
		Total	1,26
	Ingestão	⁴⁰ K	0,17
		Séries U e Th	0,12
		Total	0,29
	Total		2,4

Fonte: UNSCEAR (2010). Adaptada

A exposição pública à radioatividade natural consiste na associação de todas as possíveis ocorrências de exposição radioativa no ambiente em que os seres humanos habitam, logo apresentando um valor médio mundial de 2,4 mSv/ano. Este valor corresponde ao somatório dos valores presentes na Tabela 2, referentes às doses por exposição à radiação cósmica e cosmogênica (0,39 mSv/ano), radiação terrestre externa (0,48 mSv/ano), que consiste na exposição *outdoor* (0,07 mSv/ano) e *indoor* (0,41 mSv/ano) e radiação terrestre interna, por meio da inalação (1,26 mSv/ano) e ingestão (0,29 mSv/ano) (UNSCEAR, 2010).

O ^{222}Rn e o ^{40}K correspondem aos elementos mais ocorrentes na exposição pública interna, a nível mundial, como pode-se observar na Tabela 2, respectivamente com valores de 1,15 e 0,17 mSv/ano (UNSCEAR, 2010).

Descendentes das séries do urânio, o rádio e o chumbo constituem outros exemplos de elementos que se acumulam nos ossos humanos, por também apresentarem compatibilidade química com o cálcio. O polônio, em contraste,

acumula-se sobretudo em tecidos moles. Caso o indivíduo seja fumante, a presença de ^{210}Pb e ^{210}Po no tabaco eleva o índice de ingestão desses radionuclídeos, logo o tabaco atua de forma sinérgica a fatores ambientais em termos de exposição a radionuclídeos (UNSCEAR 2010).

Desde o ano 2000, através do documento *Sources and Effects of Ionizing Radiation*, a UNSCEAR reporta a dose efetiva anual devido aos radionuclídeos das séries do urânio e tório no corpo humano com valor de 0,12 mSv (Tabela 2). Esta dose interna ocorre devido à ingestão desses radionuclídeos mediante concentrações em alimentos, considerando o consumo médio mundial, para humanos adultos.

Em relação ao potássio, a partir de sua ingestão através de alimentos, o conteúdo corporal encontra-se em constante processo homeostático, onde para adultos é de aproximadamente 0,18% e para crianças, 0,2%. Com uma abundância natural de 0,0117% para o ^{40}K , as doses anuais equivalentes em tecidos são 0,17 (Tabela 2) e 0,19 mSv para adultos e crianças, respectivamente (UNSCEAR, 2010).

Para os radionuclídeos terrestres ou primordiais, a dose efetiva anual total devido à inalação e ingestão é avaliada com valor de 0,29 mSv, onde 0,17 mSv é devido ao ^{40}K e 0,12 mSv aos radionuclídeos das séries do urânio e tório (UNSCEAR, 2010).

A Tabela 2 expõe ainda valores médios para a dose efetiva anual a partir de exposições externas à radioatividade natural, totalizando 0,48 mSv para atividades *Outdoors* e *Indoors*, excluindo-se, neste valor, a colaboração da radioatividade cósmica. Deste modo, totalizando-se a dose efetiva anual para indivíduos adultos do público em termos de exposição à radiação natural, tem-se um valor médio máximo de 2,4 mSv.

Pesquisas realizadas nas mesorregiões do Sertão e Borborema paraibanas, áreas circunjacentes à jazida de urânio do município de São José de Espinharas, maior jazida do estado da Paraíba e uma das maiores do país, encontraram valores superiores aos limites médios considerados pela UNSCEAR para atividade radioativa natural, o que traça aspectos anômalos em termos de radioatividade natural na região. A partir disto, busca-se entender sobre a possibilidade de absorção e acúmulo de materiais radioativos naturais no organismo dos habitantes dessas regiões.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Quantificar e qualificar os níveis de metais, sobretudo radionuclídeos, que compõem a estrutura de dentes e ossos alveolares de habitantes de área uranífera do estado da Paraíba, bem como de áreas circunjacentes que sofrem influência das atividades anômalas de elementos radioativos naturais.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar elementos essenciais e oligoelementos em dentes e ossos alveolares.
- Verificar possível ocorrência de elementos químicos contaminantes na estrutura dos espécimes analisados.
- Qualificar e quantificar possível ocorrência de urânio e tório na estrutura das amostras de dentes e ossos alveolares.

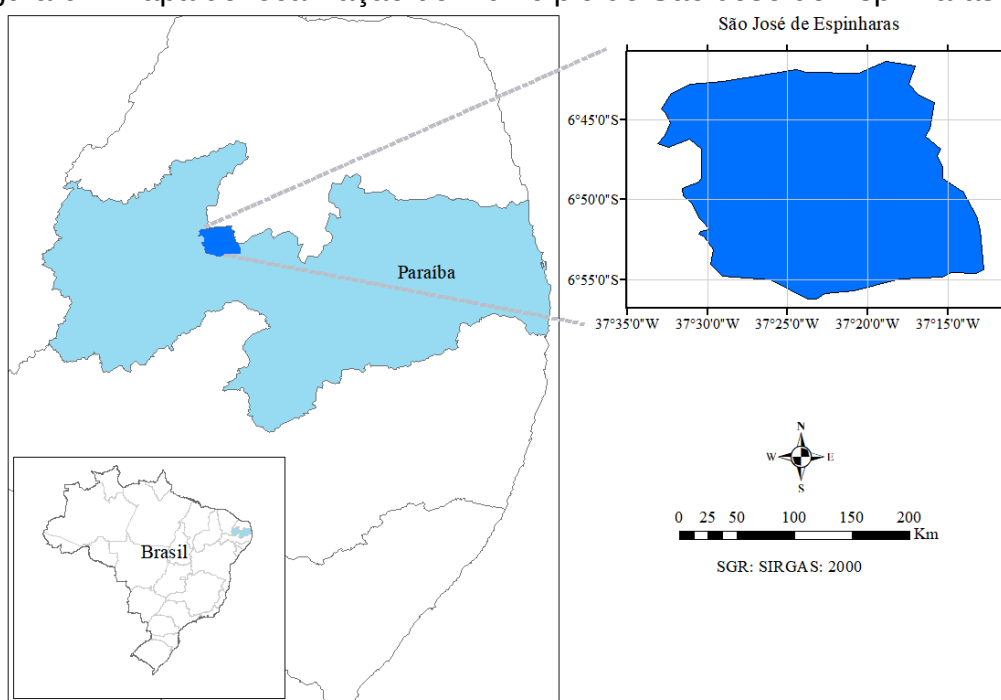
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREAS DE ESTUDO

A área de estudo envolveu seis municípios do estado da Paraíba, dos quais cinco estão localizados em regiões próximas à jazida de urânio do principal município de estudo, São José de Espinharas. Os municípios apresentam características econômico-sociais estabelecidas de acordo com as divisões mesorregionais e microrregionais definidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (IBGE, 2018a).

São José de Espinharas (Figura 6) está localizado, com inserção em coordenadas $06^{\circ}50'50''\text{S}$ e $37^{\circ}19'33''\text{O}$ em altitude de 208 metros, na microrregião de Patos da mesorregião do Sertão paraibano e possui uma jazida de óxido de urânio (U_3O_8) atualmente catalogada em 12 toneladas de reserva, apresentando um teor médio de 1.200 mg/kg de urânio, podendo ainda apresentar valores mais elevados em ambientes ainda inexplorados (SILVA, 2014). Segundo o IBGE (2018d), em 2018, a população estimada para este município foi de 4.665 habitantes.

Figura 6 – Mapa de localização do município de São José de Espinharas-PB



Fonte: Próprio autor (2018)

Tendo em vista que o município de São José de Espinharas corresponde à principal área, em termos de ocorrência de urânio, até então catalogada no estado da Paraíba, torna-se o principal foco das análises deste estudo. Porém, tendo em vista as semelhanças geológicas na constituição das rochas e solos das mesorregiões do Sertão e Borborema paraibanas, bem como os resultados de pesquisas desenvolvidas pelo Departamento de Energia Nuclear (DEN) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) que concluíram serem áreas anômalas em termos de radioatividade natural, objetivou-se ainda inserir neste estudo o município de Patos (07°01'28"S e 37°16'48"O, 242 m), localizado no Sertão paraibano e os municípios de São Mamede (06°55'36"S e 37°05'44"O, 263 m), Santa Luzia (06°52'20"S e 36°55'07"O, 299 m), São José do Sabugí (06°46'46"S e 36°47'47"O, 335 m) e Junco do Seridó (06°59'48"S e 36°42'47"O, 590 m), ambos com localização na mesorregião da Borborema.

Todos os municípios envolvidos apresentam características climáticas, socioeconômicas e geomorfológicas semelhantes, além de apresentarem populações com hábitos e cultura característicos dessas mesorregiões que compõem extensa área geográfica (Tabela 3), distribuindo-se longitudinalmente no interior do estado da Paraíba.

Tabela 3 – População estimada para os municípios envolvidos (ano de 2018)

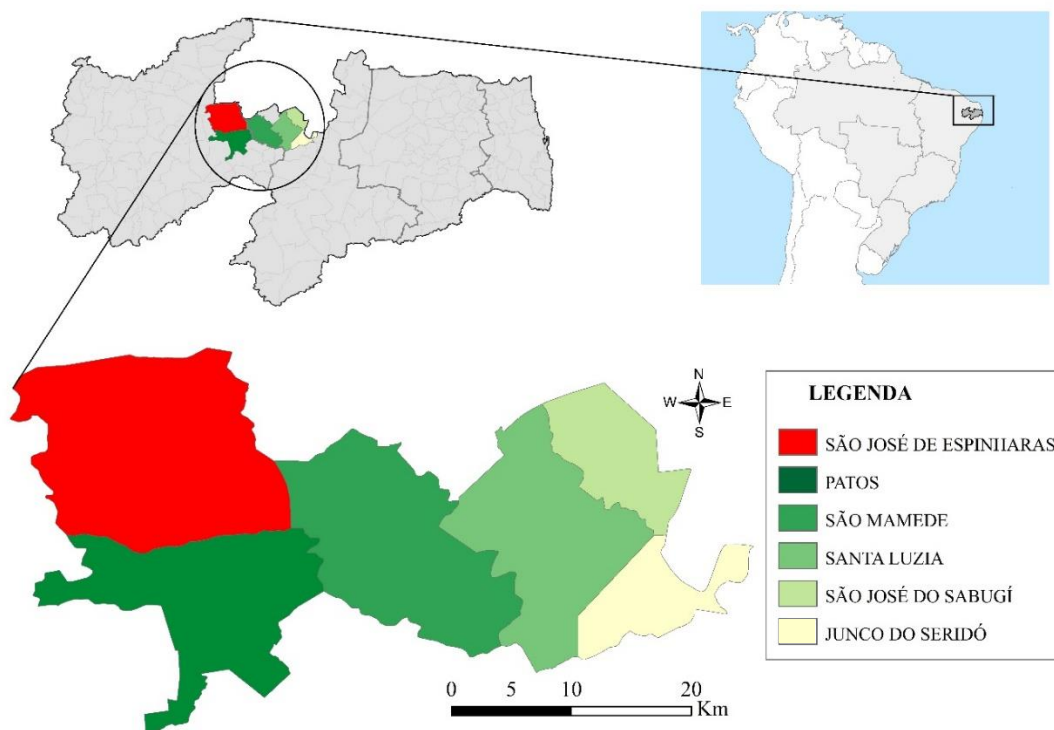
Município	Área (km ²)	População Estimada para 2018	
		População total	População > 39 anos
Junco do Seridó	160,8	7.104	2.071
Patos	508,7	106.984	31.858
Santa Luzia	443,6	15.336	5.253
São José de Espinharas	735,9	4.665	1.833
São José do Sabugí	206,9	4.134	1.405
São Mamede	609,6	7.745	3.087

Fonte: IBGE (2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018f)

Considerando a população estimada pelo IBGE (2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018f), para o ano de 2018, em cada município envolvido (Tabela 3), pode-se inferir que aproximadamente 146.000 pessoas podem ter algum tipo de exposição aos radionuclídeos presentes na região, em uma área com extensão equivalente a aproximadamente 2.665,5 km², fato justificado pelas influências

geológicas locais e estilos de vida da população (ABU-HAIJA, 2012), o que expõe a relevância dos resultados obtidos neste estudo. Na Figura 7, observa-se a localização dos municípios paraibanos inseridos na pesquisa.

Figura 7 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Próprio autor (2018)

4.2 CÁLCULO AMOSTRAL

O planejamento amostral da pesquisa foi constituído por formula estatística realizada através do *software* com código aberto para estatísticas epidemiológicas OpenEpi™ versão 3.0.1 (DEAN; SULLIVAN; SOE, 2013) do *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC).

O tamanho da população foi considerado com base nos valores estatísticos percentuais para população a partir de 40 anos de idade, estimados para o ano de 2015 e atualizados para o ano de 2018, cujos valores encontraram-se na faixa entre 31% e 40% da população total. A idade mínima para coleta foi estabelecida com base na conveniência em relação à obtenção de dentes hígidos, visto idades superiores dificultarem a coleta pela marcante presença de desdentados totais ou ausência de dentes hígidos indicados para exodontia.

Com intervalo de confiança de 95%, os valores obtidos como mínimos para coleta amostral nos municípios envolvidos foram de 2 amostras em São José de Espinharas, 2 em São José do Sabugí, 4 em São Mamede, 32 em Patos, 6 em Santa Luzia e 3 no município do Junco do Seridó. A amostra representativa da população da Zona Metropolitana do Recife não foi inserida no cálculo amostral por se tratar de amostragem por conveniência.

Em virtude da não obtenção de número mínimo de amostras no município de Patos que caracterizasse o estudo a partir do cálculo amostral, considerou-se necessária a caracterização de toda a amostra da pesquisa como amostragem por conveniência.

4.3 PROCEDIMENTOS PARA OBTENÇÃO DOS ESPÉCIMES

4.3.1 Critérios de inclusão e exclusão

Foram incluídos neste estudo pacientes de ambos os gêneros, com idade a partir de 40 anos, usuários das Unidades Básicas de Saúde (UBS) ou de Centros de Saúde Universitários dos municípios circunjacentes à jazida de urânio de São José de Espinharas (Patos, São Mamede, Santa Luzia, São José do Sabugí e Junco do Seridó) e o próprio município de São José de Espinharas, além dos pacientes que compuseram a Região Metropolitana do Recife (RMR).

Os pacientes teriam que habitar a área de coleta desde o nascimento e necessitar de procedimentos cirúrgicos de exodontia em dentes hígidos. Ainda teriam que assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Apêndices A e B) para assegurarem e comprovarem a participação espontânea na pesquisa.

Foram excluídos deste estudo os pacientes que relataram não permitir o uso do material biológico para fins da pesquisa, bem como os pacientes que apresentaram, no momento da consulta, dentes indicados para exodontia por motivos relacionados a lesões de cárie, abscessos dentoalveolares, pulpíte ou aqueles na condição de resto radicular. Ainda foram excluídos pacientes com doença do refluxo gastroesofágico, indivíduos cujos dentes indicados para exodontia estavam restaurados, sejam por materiais resinosos ou metálicos, ou pacientes que tenham sido submetidos a procedimentos clareadores.

4.3.2 Coleta de amostras

Toda a pesquisa foi adequada aos parâmetros e exigências metodológicas regulamentadas pelo Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos (CEP), do Centro de Ciências da Saúde (CCS) da Universidade Federal de Pernambuco, sendo iniciadas as coletas das amostras após a devida aprovação do projeto submetido ao CEP e consequente emissão de Parecer Consubstanciado sob nº 1.200.616/2015 (Anexo A), com Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) nº 44325315.3.0000.5208.

Foram coletadas amostras compostas por dentes e, em alguns casos, a depender do procedimento cirúrgico, espículas ósseas alveolares, originados de 89 pacientes atendidos por cirurgiões-dentistas em UBS ou em Centros de Saúde Universitários nos municípios de São José de Espinharas, Patos, São Mamede, Santa Luzia, Junco do Seridó e São José do Sabugí, no estado da Paraíba, bem como da RMR, estado de Pernambuco.

Alguns pacientes possibilitaram coleta de número maior de amostras, em virtude da necessidade de exodontias múltiplas. Nesses casos, o dente selecionado para as análises correspondeu ao elemento obtido na primeira avulsão durante o procedimento cirúrgico, sendo os demais reservados para análises posteriores, caso necessário.

Logo, foram coletados, em totalidade, 124 dentes, dentre os quais 11 apresentaram espículas ósseas associadas, como material orgânico residual. Após a coleta das amostras, houve a transferência imediata dos espécimes para tubos de polipropileno tipo Falcon graduados em 50 mL, devidamente identificados, onde permaneceram submersos em solução fisiológica isotônica a 0,9%.

Os pacientes foram submetidos a um questionário (Apêndice B), anexado ao Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), baseado em critérios socioeconômicos, além de abordar aspectos pessoais do estilo de vida e dados referentes às fontes de consumo de alimentos e bebidas, estado geral de saúde, como também a identificação da UBS ou Centro de Saúde onde foram realizados os procedimentos odontológicos.

4.4 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

4.4.1 Remoção de matéria orgânica residual e esterilização

Os dentes foram dispostos individualmente em bancada do Laboratório da Clínica de Estomatologia da UFPE, onde procedeu-se com a remoção de matéria orgânica residual resultante dos procedimentos de exodontia. Para esta etapa de higienização foram utilizadas curetas periodontais tipo Gracey com haste rígida, seguindo-se com o protocolo de raspagem e alisamento coronorradicular (RACR).

De acordo com o Relatório Oficial NAHRES-39, publicado em 1999 pela *Section of Nutritional and Health-Related Environmental Studies* pertencente a *International Atomic Energy Agency* (IAEA), importante órgão mundial de certificação e controle quanto ao uso da energia nuclear e suas aplicações, em relação ao tratamento de amostras dentárias para avaliação de elementos-traço, esta etapa é necessária previamente a qualquer análise química de dentes com o propósito de impossibilitar que remanescentes de tecidos moles comprometam a integridade dos resultados das análises (IYENGAR; TANDON, 1999).

Após a RACR, realizou-se a profilaxia profissional dos dentes com escova tipo Robson reta de fabricação Gnatus®, sob baixa rotação Gnatus® (contra ângulo SL30 e micromotor Intra SL30 TB) com a utilização de composto a base de pasta profilática Herjos (Coltene) e pedra pomes SS WHITE. Em seguida, os espécimes foram lavados com água destilada e inseridos em tubos de polimetilmetacrilato com tampa graduados em 30 mL, onde foram submersos em solução de peróxido de hidrogênio a 10% (IYENGAR; TANDON, 1999), pelo período de 1 hora, para desinfecção oxidante e auxílio na remoção de componentes orgânicos.

Após o processo, seguiu-se à lavagem dos espécimes com água destilada e à secagem em cabine de segurança biológica modelo Pa400 fornecida pela Pachane®, onde permaneceram por aproximadamente 1 hora até completa remoção de umidade. Procedeu-se ao empacotamento e selagem individual das amostras, com a utilização de papel grau cirúrgico e seladora. Cada pacote foi identificado e esterilizado em autoclave a 121°C durante o período de 30 minutos. Em seguida, os espécimes esterilizados foram acondicionados em recipientes plásticos com tampa, capacidade para 10 gramas, devidamente identificados, até o início do processo de pulverização.

4.4.2 Pulverização das amostras

Antes do início da etapa de pulverização das amostras, bem como entre cada processamento individual, foi realizada a etapa de limpeza e descontaminação dos almofarizes e pistilos utilizados. Para tanto, foram seguidos os critérios para higienização de instrumentais de porcelana do Laboratório de Radioecologia e Controle Ambiental (LARCA) do Departamento de Energia Nuclear (DEN) da UFPE.

Foi realizada lavagem inicial dos instrumentais com detergente Extran neutro 10%, com enxágue inicial em água potável seguido de enxágue em água destilada. Após esta etapa, lavou-se o material com álcool etílico absoluto, com enxágue em água destilada, seguindo-se ao uso de solução aquosa de ácido nítrico (HNO_3) 1 mol/L, com duplo enxágue final com água deionizada. O processo de secagem ocorreu naturalmente em ambiente laboratorial, com duração de 15 horas.

No LARCA, para garantia quanto à ausência de contaminantes durante o processo de pulverização, realizou-se teste de contaminação nos almofarizes e pistilos utilizados. O procedimento consistiu na inserção de 2,5 mL de água ultrapura Milli-Q® sobre os almofarizes e pistilos utilizados na pulverização das amostras, previamente submetidos ao procedimento padrão de limpeza e descontaminação, seguindo-se com processo de fricção dos pistilos contra as paredes dos almofarizes com propósito da simulação das etapas mecânicas de pulverização e posterior certificação quanto à ausência de contaminantes quimissorvidos durante o procedimento.

O processo ocorreu no período de 30 minutos, duração aproximada da pulverização para cada amostra utilizada. Em seguida, transferiu-se cada solução para tubos de polipropileno tipo Falcon graduados em 50 mL, onde foram identificadas, com posterior avolumação em 15 mL. Os tubos foram armazenados em refrigerador sob temperatura de 4°C até análise em ICP-MS.

As amostras foram cominuídas para obtenção de granulometria aproximada em 35 mesh (0,5 mm) com auxílio dos almofarizes e pistilos de porcelana previamente descontaminados. Em seguida, o pó resultante de cada amostra, conferindo peso aproximado à faixa entre 0,2 g e 2,0 g, a depender do grupo dentário ao qual a amostra pertenceu, foi homogeneizado e armazenado em microtubos cônicos de polipropileno ultra-claros para centrífuga graduados em 2 mL, devidamente tampados e identificados. Os microtubos foram armazenados em

estante com tampa, com capacidade para 100 unidades, onde permaneceram até o início das análises em EDXRF.

4.5 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISES PELA TÉCNICA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X POR DISPERSÃO DE ENERGIA (EDXRF)

4.5.1 Preparação das cápsulas

Promoveu-se o arranjo apropriado para análises em vácuo por EDXRF, em que porções-teste de 500 mg de cada amostra e do material de referência IAEA-Soil-7, produzido pela IAEA, previamente homogeneizados e pesados em balança analítica (modelo AG200 marca Gehaka®), foram transferidas para anéis de polietileno, posteriormente vedados com filme de polipropileno.

Amostras que não obtiveram massa de 500 mg foram excluídas da condição de análise por EDXRF. Consequentemente, foram encapsuladas 89 amostras, das quais 10 provenientes do município de São José de Espinharas, 23 do município de Patos, 09 de São Mamede, 17 de Santa Luzia, 09 de São José do Sabugí, 10 do município do Junco do Seridó e 11 correspondentes a RMR, cuja coleta realizou-se no município do Recife.

Para ossos alveolares, foram pulverizadas e acondicionadas 11 amostras, porém apenas 01 obteve massa mínima necessária para análise em EDXRF, sendo esta proveniente do município de São José do Sabugí, resultante de procedimento de exodontia em um dos pacientes doadores de elemento dentário. A dificuldade de obtenção de volume mínimo de amostra de ossos alveolares se justifica pelo fato da não interferência no processo cirúrgico de remoção dos dentes nos pacientes submetidos às exodontias, logo as avulsões resultaram naturalmente em reduzido volume de tecido ósseo remanescente.

Além disso, considerando que a maioria das indicações de exodontia consistiu em consequências de periodontopatias, como perda óssea e mobilidade dentária, houve diminuição da possibilidade de ocorrência de remanescente ósseo durante procedimento. As cápsulas preparadas foram acondicionadas em dessecador hermeticamente fechado para manterem padrão com baixo teor de umidade até posterior análise em EDXRF.

A utilização do material de referência IAEA-Soil-7 ocorreu em virtude da inexistência de padrão analítico para amostras de dentes, justificando-se pelo fato de constituir solo com composição baseada em alto teor de cálcio e de macroelementos presentes em dentes humanos, a exemplo do zinco e magnésio, como também por tratar-se de material para controle de qualidade de procedimentos analíticos, referenciado pela IAEA.

Após as análises por EDXRF, as cápsulas foram desmontadas e as amostras foram reinseridas nos microtubos de polipropileno de origem. Após o acondicionamento, promoveu-se nova homogeneização dos componentes.

4.6 ANÁLISES EM EDXRF

De acordo com a IAEA, técnicas baseadas no uso de raios-X, a exemplo da Fluorescência de Raios-X por Dispersão de Energia, constituem métodos adequados para determinação de vários elementos em matrizes ósseas e dentárias (IYENGAR; TANDON, 1999). As análises de Ca, Cu, Fe, Si, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V e Zn foram realizadas através de equipamento EDX-720 (Figura 8), produzido pela *Shimadzu Scientific Instruments* (INC). Previamente à caracterização química das amostras, foi efetuada a calibração em energia com utilização do padrão A-750, fornecido pela INC. Como controle de qualidade do equipamento de medição, foi utilizado o padrão do Sistema Único de Saúde (SUS), também fornecido pela INC.

Figura 8 – Espectrômetro de Fluorescência de Raios-x por Dispersão de Energia (CRCN-NE/CNEN)



Fonte: Próprio autor (2018)

Os parâmetros operacionais do espectrômetro EDXRF consistiram em tubo de raios X com tensão entre 5 kV e 50 kV, corrente máxima ajustada automaticamente em 1 mA, colimador de 10 mm e detector semicondutor de Si(Li) com resfriamento termoelétrico. Utilizou-se voltagem de 15 kV para a caracterização dos elementos químicos com número atômico inferior a 22 e de 50 kV para os demais elementos (SHIMADZU CORPORATION, 2013).

Todas as análises foram realizadas sob vácuo, com tempo de detecção de 300 segundos. O tempo morto máximo, com valor de 36%, apresentou correção matemática automática visando a não interferência na segurança das análises. Na Tabela 4, pode-se observar os parâmetros característicos referentes aos elementos determinados.

Tabela 4 – Parâmetros característicos referentes aos elementos químicos analisados por EDXRF

Analito	Voltagem (kV)	Corrente elétrica (μA)	Energia (keV)
Si	15	222	1,60 – 1,94
Ca	15	222	3,49 – 3,89
Ti	50	37	4,30 – 4,70
V	50	63	4,74 – 5,14
Mn	50	1.000	5,70 – 6,06
Fe	50	1.000	6,20 – 6,60
Ni	50	63	6,74 – 7,66
Cu	50	1.000	7,90 – 8,20
Zn	50	1.000	8,46 – 8,82
Ga	50	1.000	9,04 – 9,44
Sr	50	1.000	13,84 – 14,48
Pb	50	1.000	12,40 – 12,86

Fonte: Shimadzu Corporation (2013). Adaptada

4.6.1 Certificação e segurança dos procedimentos analíticos

A certificação de qualidade, para os procedimentos analíticos realizados através do EDXRF, baseia-se na análise de materiais referenciados por órgãos de certificação, a exemplo da IAEA, com incertezas analíticas associadas à precisão dos resultados, expandidas a nível de 95% de confiança e obtidas a partir da combinação de incertezas individuais.

Os valores de referência para o material padrão utilizado, originado de solo da Áustria, listados na Tabela 5, foram estabelecidos com base em resultados estatisticamente válidos de laboratórios que participaram de exercício clássico de intercomparação internacional, conduzido no ano de 1983 (PSZONICKI; HANNA; SUSCHNY, 1984). Os valores médios obtidos para a amostra de referência utilizada variaram de acordo com o elemento analisado, demonstrando semelhanças relacionadas aos valores certificados.

Tabela 5 – Médias de valores obtidos e de referência (mg/kg) para os padrões de análise com respectivas incertezas analíticas expandidas a 95% de confiança para material Soil-7

Analito	SOIL – 7						En*
	Valor Obtido			Valor Certificado			
Si	208.636	±	143	180.000	±	32.000	0,04
Ca	166.948	±	99,65561	163.000	±	17.000	0,00
Ti	2.742	±	12	3.000	±	1.100	0,00
V	56	±	3,311912	66	±	14	-0,11
Mn	588	±	10	631	±	46	-0,10
Fe	24.670	±	33	25.700	±	1.100	-0,06
Ni	28	±	2	26	±	8	0,03
Cu	16	±	1	11	±	4	0,66
Zn	99	±	2	104	±	12	-0,07
Sr	97	±	1	108	±	11	-0,09
Pb	54	±	4	60	±	16	-0,05

*Valor adimensional resultante das diferenças entre os valores obtidos e os valores certificados divididas pela soma quadrática das respectivas incertezas analíticas expandidas (95% de confiança).

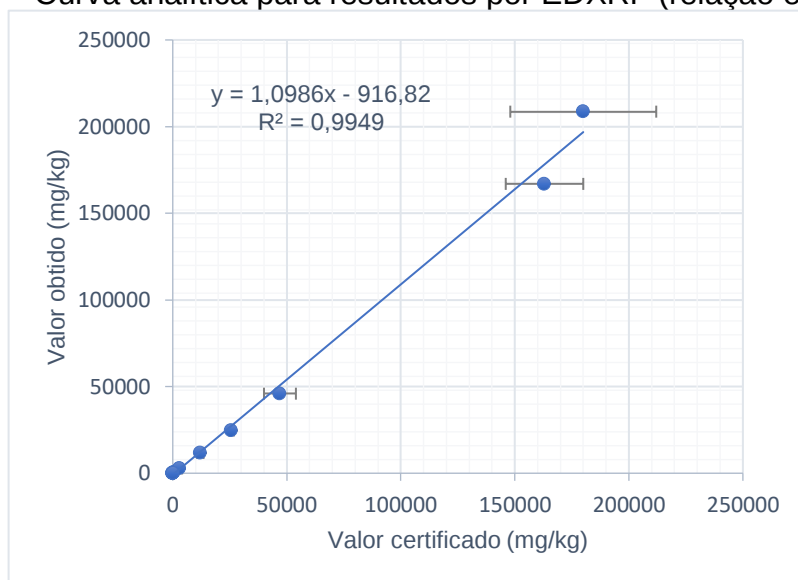
Fonte: Pszonicki, Hanna, Suschny (1984). Adaptada

Na Tabela 5, pode-se observar semelhanças nos valores das médias das frações de massa obtidas nas amostras de referência analisadas e nos valores de referência certificados, o que justifica os parâmetros utilizados para seleção do padrão de análise. Observa-se que os valores adimensionais do erro normalizado (E_n), para a amostra de referência utilizada, encontram-se inseridos no intervalo entre -1 e 1, o que representa adequação aos parâmetros de análise segundo a recomendação ISO 13528, sobre validação de métodos analíticos, da *International Organization for Standardization*, em 2005 (ISO, 2005; ISO, 2015).

Deste modo, com a adequação do processo analítico, pode-se afirmar segurança quanto aos valores obtidos para frações de massa dos elementos citados nas Tabelas 5 e 19 (Apêndice E). Ainda, as incertezas analíticas observadas constataam dificuldades na determinação dos elementos químicos analisados pelas técnicas empregadas na certificação do material de referência, visto serem valores superiores quando comparados às incertezas resultantes das análises do estudo, sobretudo para os elementos Si, Ca, Ti e Fe.

Através da Figura 9, pode-se observar a relação da dispersão dos valores médios obtidos para cada elemento químico analisado nas amostras de referência, com respectivas médias certificadas.

Figura 9 – Curva analítica para resultados por EDXRF (relação em mg/kg)



Fonte: Próprio Autor (2018)

A curva de calibração retratada, conforme observado na Figura 9, demonstra confiabilidade em termos da metodologia por EDXRF quando se considera que, apesar da heterogeneidade de valores para os diferentes elementos químicos analisados, tipicamente característica de análises por EDXRF para amostras sólidas (MARGUÍ; GRIEKEN, 2013), consegue-se obter relações lineares entre a intensidade do sinal certificado e a concentração dos elementos químicos para as amostras de referência utilizadas.

Ainda na Figura 9, faz-se necessário salientar que a curva analítica para os elementos Si, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Pb obteve linearidade comprovada pelo coeficiente de determinação (R^2), com valor superior a 0,99, indicando forte correlação, justificando a segurança do procedimento analítico.

Para melhor compreensão, a partir dos dados listados na Tabela 5, foi possível comparar, para a amostra padrão IAEA Soil-7 utilizada neste estudo, as médias dos valores obtidos nas análises e dos valores de referência utilizados, através do gráfico visualizado na Figura 32 (Apêndice D), onde buscou-se agregar o grupo de marcadores com valores médios inferiores a 700 mg/kg para melhor comparação em relação aos maiores valores, dos elementos Si, Ca, Ti e Fe. Logo, a metodologia estabelecida permitiu determinar com exatidão adequada os teores dos elementos Ca, Cu, Fe, Si, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, V e Zn, nas amostras analisadas, como evidenciado no comportamento dos valores.

4.7 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISES POR ESPECTROMETRIA DE MASSA POR PLASMA ACOPLADO INDUTIVAMENTE (ICP-MS)

4.7.1 Digestão das amostras

Promoveu-se a homogeneização das amostras nos respectivos microtubos de acondicionamento, seguida de pesagem em balança analítica UniBloq AUY220 Shimadzu®, de onde obteve-se 200 mg de cada espécime, acondicionados em microtubos cônicos de polipropileno ultra-claros para centrífuga graduados em 2 mL, tampados, bem como identificados por código amostral e tipo de análise a ser realizada. Os recipientes permaneceram em estante com tampa, com capacidade para 100 unidades, até o processo de digestão para análises por ICP-MS.

As amostras foram transferidas para tubos fechados para digestão, do tipo teflon, como capacidade para 100 mL, onde adicionou-se 2,5 mL de ácido nítrico concentrado Suprapuro (HNO₃) sub-boiling p.a. (~65%). Os tubos foram identificados, tampados e transferidos para banho ultrassônico à temperatura de 70°C por 1 hora. No instrumento ultrassônico, as amostras foram divididas em seis grupos compostos por 20, 21, 23, 22, 8 e 1 amostra, respectivamente. Cada grupo de amostras foi acrescido de um padrão e um branco e submetido a dois ciclos de digestão, com a utilização de ácido nítrico (HNO₃) para decomposição das amostras. O primeiro ciclo obteve duração de 1 hora sob adição de volume de 2,5 mL de solução HNO₃ e o segundo ciclo, de 30 minutos, ocorreu sob adição de volume de 1,0 mL de solução HNO₃.

O material de referência foi composto por 200 mg de amostra padrão *Standard Reference Material (SRM) 694* referente a *Western Phosphate Rock*, com certificação pelo *National Institute of Standards and Technology (NIST)*. O composto foi selecionado seguindo critério referente à presença de urânio como constituinte, visto não existir padrão certificado para amostras biológicas de dentes humanos. O branco utilizado constituiu de solução de HNO₃ Suprapuro sub-boiling p.a. (~65%) em mesmo volume utilizado para diluição das amostras.

As amostras em solução foram transferidas para capela de fluxo laminar, onde aguardou-se o resfriamento, seguindo-se à filtração para tubos de polipropileno tipo Falcon graduados em 50 mL, com a utilização de papel filtro quantitativo faixa azul, com duração de aproximadamente 12 horas. Após a filtração, procedeu-se com

a avolumação padrão para 15 mL com água ultrapura Milli-Q®. Os tubos Falcon foram envolvidos com filme de policloreto de polivinila (PCV) e armazenados em refrigerador, sob temperatura de 4°C, até análise em ICP-MS.

4.7.1.1 Limpeza e descontaminação dos tubos teflon

O procedimento para limpeza e descontaminação dos tubos teflon utilizados para realização da digestão das amostras consistiu em lavagem inicial com detergente Extran neutro 10%, com enxágue inicial em água potável, seguida de submersão dos instrumentais em detergente Extran, com mesma concentração, pelo período de 8 horas.

Após esta etapa, procedeu-se com o enxágue em água potável seguido de submersão em solução de ácido nítrico (HNO_3) a 20% pelo período de 24 horas. O último enxágue foi realizado com água ultrapura Milli-Q® até a completa remoção da solução ácida. Os tubos foram dispostos em bancada até secagem a temperatura ambiente laboratorial (~21°C).

4.8 ANÁLISES POR ICP-MS

O espectrômetro de massas é um instrumento com capacidade multielementar que separa íons em movimento. Como ferramenta difundida para utilização na identificação de elementos químicos, suas principais aplicações envolvem áreas da geoquímica, áreas ambientais, biológicas e de alimentos, sendo os baixos limites de detecção, desde sub partes por trilhão (ppt), até níveis elevados de partes por milhão (ppm), a característica de maior atratividade, associada à razoável precisão e exatidão (THOMAS, 2004). Aproximadamente 90% dos elementos podem ser analisados pelo ICP-MS através de limites de detecção entre 0,1 e 0,001 $\mu\text{g/kg}$, em soluções aquosas (VEIGA, 2000; PERKIN ELMER, 2012).

Das amostras deste estudo, 93 apresentaram massa suficiente (200 mg) para análises em ICP-MS, sendo que, entre essas amostras, 86 foram referentes a dentes e 7 referentes a ossos alveolares. Os dentes analisados constaram de 10 originados do município de São José de Espinharas, 23 de Patos, 09 do município

de São Mamede, 15 de Santa Luzia, 8 de São José do Sabugí, 10 do Junco do Seridó e 11 da RMR.

Um total de 7 amostras de remanescentes ósseos foi avaliado, onde os espécimes foram igualmente pulverizados e digeridos. Das amostras avaliadas, 2 são pertencentes a pacientes habitantes do município de Patos, 2 de São Mamede e 3 de Santa Luzia.

Para a análise dos radionuclídeos U e Th, utilizou-se a técnica *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS) através de Espectrômetro de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado modelo NexION® 300D, fabricado pela Perkin Elmer (Figura 11) e disponível no Laboratório de Análises Ambientais do Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN/NE) da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

Previamente ao procedimento de análise no ICP-MS (Figura 10), seguiu-se com a calibração do sistema de medidas para garantir a confiabilidade e certificação dos procedimentos analíticos do equipamento. Para tanto, utilizaram-se soluções de estoque, com concentração de 1.000 mg/L para U e Th, ambas produzidas pela *Inorganic and Organic Certified Reference Materials* (SPEX CertiPrep®) e certificadas por *A Better World Through Accreditation* (A2LA) (A2LA, 2018) e *International Organization for Standardization*, conforme requerimentos *ISO/IEC 17025:2017* (ISO, 2017) e *ISO/IEC Guide 34* (ISO, 2009).

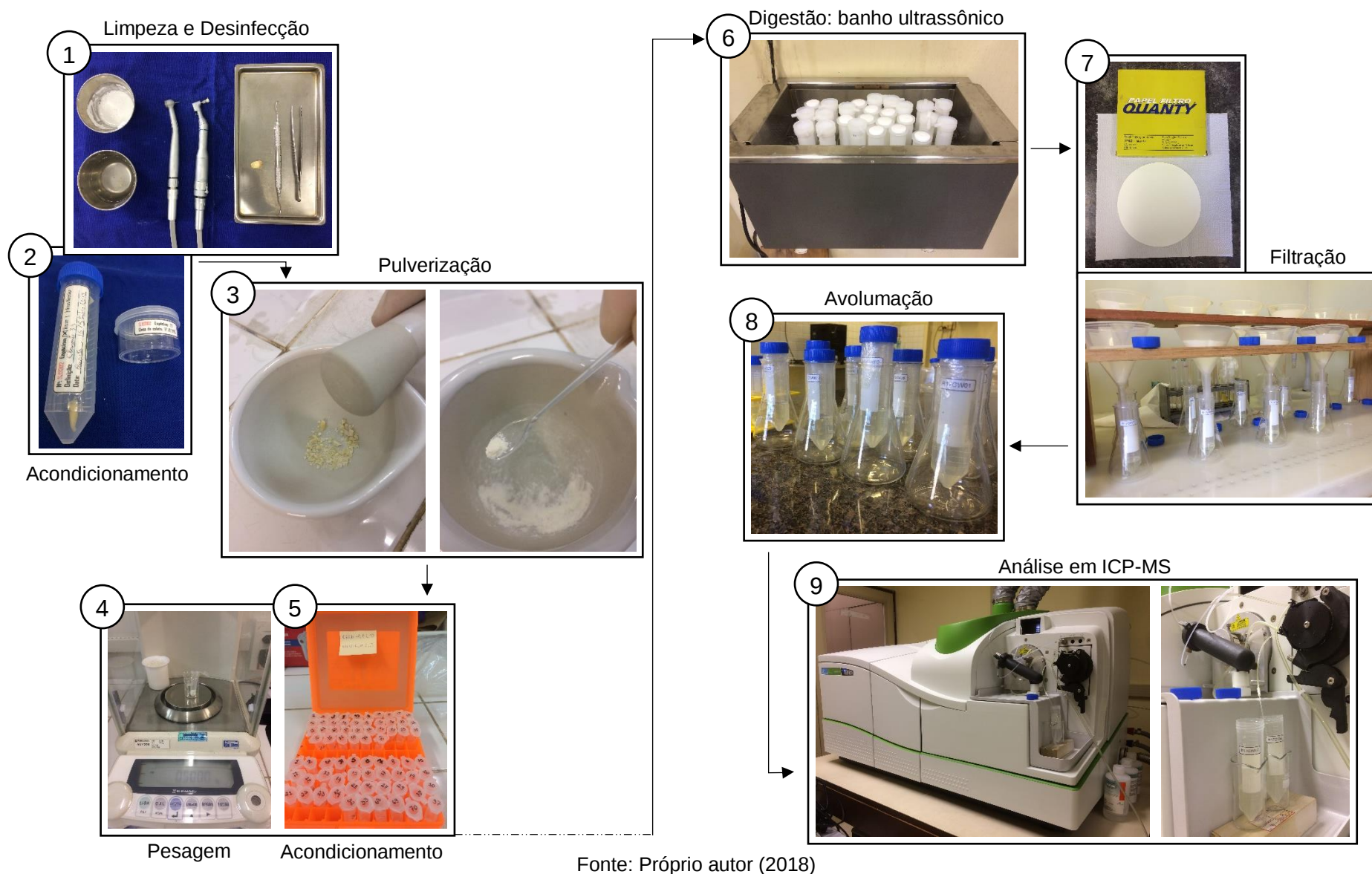
Figura 10 – Espectrômetro de massas com fonte de plasma induzido (CRCN-NE/CNEN)



Fonte: Próprio autor (2018)

As amostras digeridas foram submetidas à análise, sendo o processo metodológico para análise neste equipamento visualizado na Figura 11, abordando desde o processo de limpeza e condicionamento inicial até a digestão e posterior análise no ICP-MS.

Figura 11 – Esquema para metodologia de análises em ICP-MS



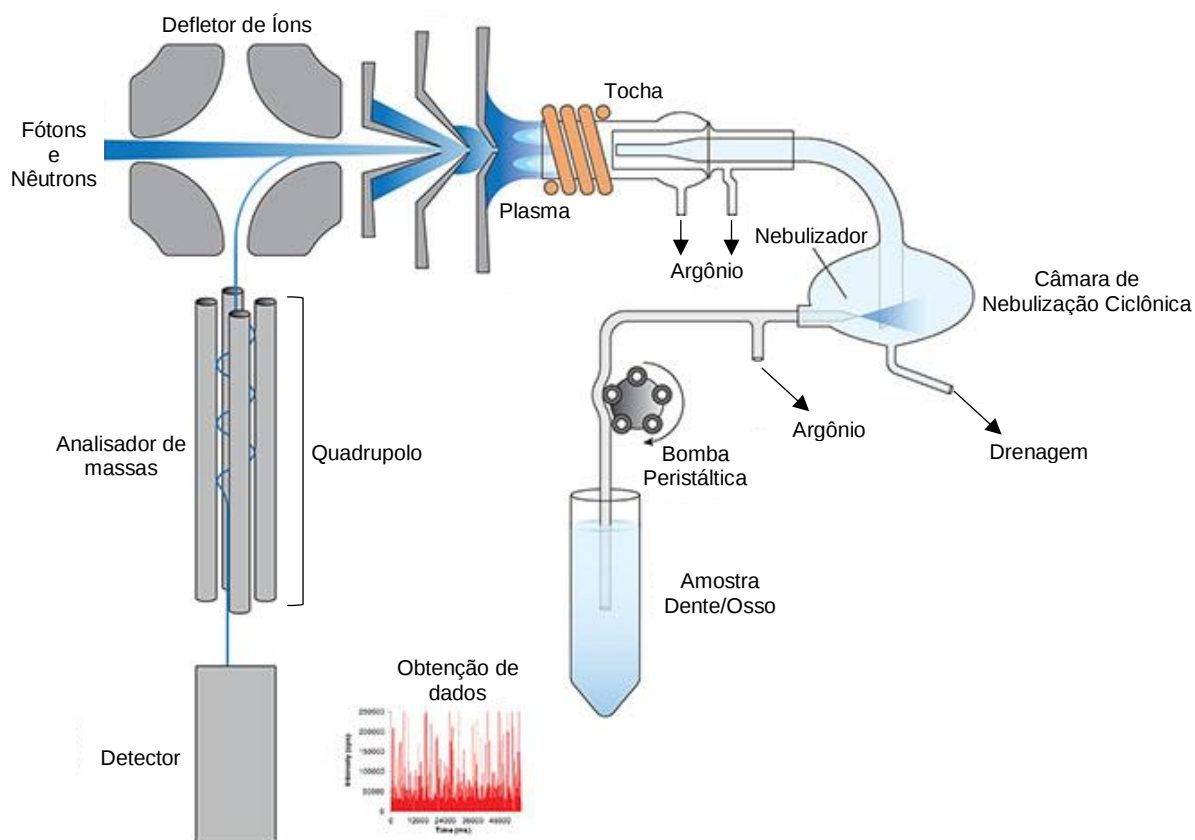
Fonte: Próprio autor (2018)

O equipamento apresenta, como componentes principais, um sistema para introdução de amostra por bomba peristáltica, uma fonte de íons, uma interface, um analisador de massas e um detector (PERKIN ELMER, 2012). O Gás argônio (grau plasma White Martins, São Paulo-SP) foi utilizado como gás nebulizador e carreador em todas as análises realizadas nesta etapa da pesquisa.

O plasma de argônio, gerado indutivamente por uma descarga sem eletrodo, compõe a fonte de íons que é mantida por um gerador de rádio frequência, no interior de um tubo de quartzo, denominado tocha. Durante a análise, a solução da amostra é introduzida diretamente no plasma para que os processos de vaporização, atomização e ionização possibilitem a medida. Então, uma interface composta por cones e lente iônica introduzem os íons em um analisador de massas do tipo quadrupolo (composto por quatro barras cilíndricas metálicas, paralelas e de mesmo diâmetro e comprimento) (THOMAS, 2004; PERKIN ELMER, 2012).

No analisador, para duas barras opostas, uma corrente elétrica direta (DC) é aplicada e para outras duas, um potencial de rádio frequência alternante (AC). A razão específica AC/DC em cada par de barras do quadrupolo permite que somente um tipo de íon com precisa razão massa carga (m/z) atravesse o interior do quadrupolo, em uma trajetória estável, e atinja o detector para posterior medida (THOMAS, 2004). O esquema com os componentes básicos do equipamento ICP-MS pode ser visualizado na Figura 12.

Figura 12 – Esquema dos componentes básicos de um equipamento ICP-MS



Fonte: Wilkinson (2018). Adaptada

O ICP-MS pode ser utilizado para análises de amostras em estado sólido, líquido ou gasoso, porém amostras líquidas ou sólidas pulverizadas e digeridas são mais utilizadas, visto permitirem efetiva homogeneidade e facilidade de manipulação, bem como por existir maior disponibilidade de soluções para introdução de padrão de calibração (SKOOG; HOLLER; NIEMAN, 2002). Os parâmetros operacionais do equipamento podem ser visualizados na Tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetros característicos referentes aos elementos químicos analisados por ICP-MS

Parâmetro	Valor para análise
Medida de sinal	<i>Peak hopping</i>
Potência de rádio frequência	1.470 W
Voltagem do detector	
Pulso	1.000 V
Analogico	-1.642 V
Vazão do gás	
Principal	18 L min ⁻¹
Auxiliar	1,0 L min ⁻¹
Nebulizador	1,03 L min ⁻¹
Tempo morto	35 ns
Modo de operação do detector	Dual

Fonte: Próprio autor (2018)

4.8.1 Limite de Detecção (LD)

O Limite de Detecção (*Limit of Detection*, LD) ou Concentração Líquida Mínima Detectável (*Minimum Detectable Net Concentration*) do método é definido como a concentração mínima de um elemento ou quantidade de analito determinada com 95% ou 99% de confiança em uma substância que levará, com uma probabilidade $(1 - \alpha)$, à conclusão de que a concentração do analito na substância analisada é maior que a da matriz branca. Este parâmetro configura-se com importância durante os procedimentos analíticos, sobretudo quando são analisadas amostras com baixos níveis de analito (ISO, 1997; INMETRO, 2011).

O LD para um procedimento analítico apresenta variabilidade, a depender do tipo de amostra utilizado, fornecendo uma indicação do nível em que a detecção do analito pode ser distinguida do sinal do branco/ruído. Para tanto, é definido de acordo com a Equação 1, em que, $\bar{X}$ equivale à média dos valores dos brancos e σ o desvio padrão.

$$LD = \bar{X} + 3\sigma \quad (1)$$

4.8.2 Limite de Quantificação (LQ)

O Limite de Quantificação (*Limit of Quantification*, LQ) consiste no padrão de calibração de menor concentração ou menor concentração do elemento analisado, excluindo a matriz branca, que pode ser determinada com um nível confiável de exatidão e precisão. Pode ser calculado através da média dos brancos somada a 5 desvios padrões (INMETRO, 2010). A Equação 2 foi utilizada para calcular o LQ nesta pesquisa, onde $\bar{X}$ representa a média dos brancos e σ o desvio padrão médio.

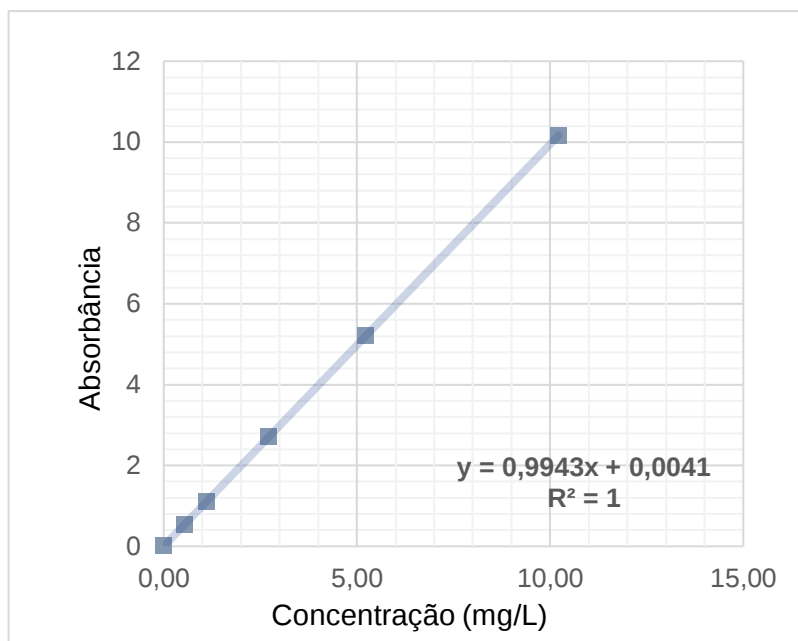
$$LQ = \bar{X} + 5\sigma \quad (2)$$

4.8.3 Calibração do sistema de medidas

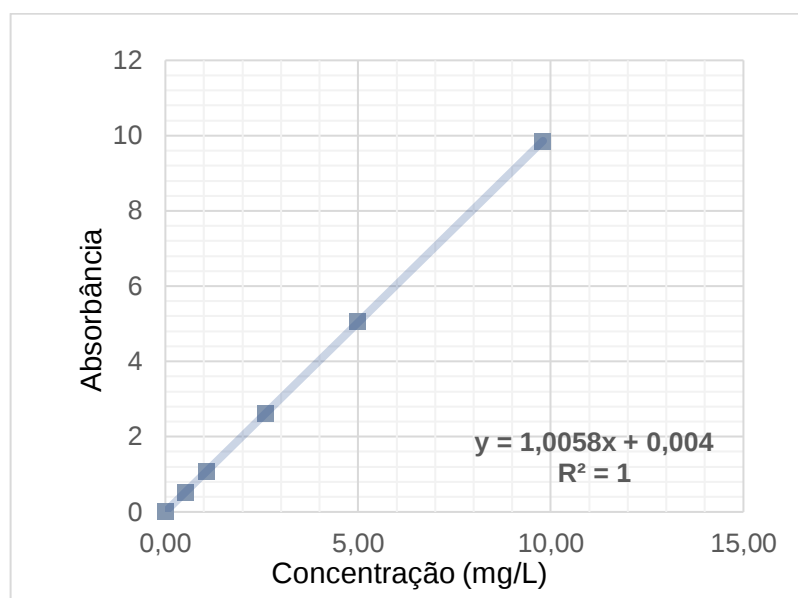
As soluções utilizadas para calibração do equipamento e consequente certificação e segurança do procedimento analítico foram preparadas a partir de soluções de estoque para urânio e tório (SPEX CertiPrep®), com concentração de 1.000 mg/L.

Os padrões internos de calibração do sistema de medidas estavam diluídos em solução de HNO₃ a 2%. As concentrações obtidas para curva de calibração, originadas da diluição das soluções de estoque em HNO₃ a 2%, apresentaram, para o U, os valores 0,5401 mg/L; 1,1134 mg/L; 2,7213 mg/L; 5,2196 mg/L e 10,2237 mg/L, sendo para o Th 0,5177 mg/L; 1,0672 mg/L; 2,6083 mg/L; 5,0028 mg/L e 9,7991 mg/L. A relação entre as concentrações obtidas para calibração e a absorbância do equipamento podem ser visualizadas na Figura 13 através da curva de calibração gerada para as leituras do urânio (a) e do tório (b), no equipamento.

Figura 13 – Curva de calibração do sistema de medidas para análise do urânio (a) e do tório (b)



(a)



(b)

Fonte: Próprio autor (2018)

Conforme observado na Figura 13, as relações lineares entre a intensidade do sinal e a concentração do urânio (a) e do tório (b) foram comprovadas pelos coeficientes de determinação (R^2) gerados, cujos valores do ajuste linear, $R^2=1$ para ambos os elementos, permitem concluir sobre a efetividade e segurança do procedimento analítico utilizado.

4.8.4 Certificação da ausência de contaminantes durante preparação de amostras

Para as modernas técnicas de análise de elementos químicos, como consequência da alta sensibilidade existente, o efeito da contaminação no preparo das amostras resulta em interpretações de resultados com potencial viés, o que pode descaracterizar a real ocorrência do elemento na amostra analisada.

Sabe-se que uma das desvantagens da utilização de almofarizes e pistilos para cominuição e pulverização de amostras é a possibilidade de adsorção de contaminantes durante processo de preparação, sobretudo quando esses instrumentos não forem produzidos com um subtipo criptocristalino de quartzo, ágata, visto permitir o contato das amostras com as superfícies porosas do instrumento e resultar na denominada contaminação primária.

Foram utilizados nesta pesquisa cinco conjuntos de moínhos (almofarizes e pistilos) de porcelana que permitiram a cominuição das amostras de dentes e ossos alveolares. Desta forma, para certificação e segurança do procedimento de preparo das amostras, a partir da simulação do processo de moagem, com inserção de 2,5 mL de água ultrapura Milli-Q® e posterior avolumação para 15 mL, analisaram-se as amostras em ICP-MS e Espectrometria de Absorção Atômica com Chama.

Os resultados obtidos, tanto para as análises por ICP-MS quanto para Espectrometria de Absorção Atômica com Chama evidenciaram ausência dos elementos químicos que foram analisados nas amostras desta pesquisa, constatando serem valores abaixo do limite de detecção dos equipamentos ($< LD$), não influenciando os valores resultantes para cada amostra deste estudo.

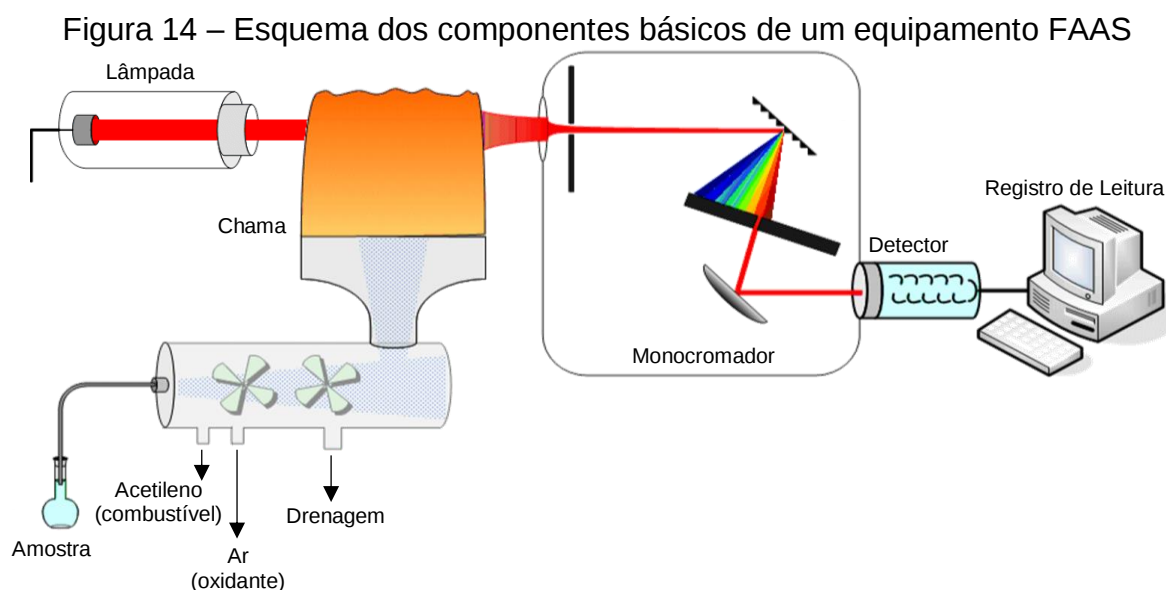
4.9 ANÁLISES POR ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA COM CHAMA (FAAS)

Uma vez estocadas as amostras digeridas utilizadas nas análises por ICP-MS, optou-se por complementar os resultados obtidos para as frações de massa de metais não radioativos caracterizados por EDXRF. As análises através da técnica *Flame Atomic Absorption Spectrometry* (FAAS) possibilitaram a identificação de metais não obtidos pela técnica de EDXRF.

A espectrometria de Absorção Atômica com Chama consiste em um método de análise para determinação qualitativa e quantitativa de metais (RAHMAN et al., 2012), utilizando o princípio da absorção de radiação ultravioleta por meio de elétrons que são excitados através de uma fonte de energia proveniente de uma chama de um gás associado a um comburente (KRUG; NÓBREGA; OLIVEIRA, 2004).

Elétrons que são excitados pela energia da chama liberam energia na forma de fóton de luz que, por sua vez, absorve a radiação ultravioleta emitida pela fonte específica do elemento analisado, encontrada na composição do cátodo oco da lâmpada elementar. Através da medição das variações da quantidade de luz transmitida, pode-se realizar a determinação quantitativa do analito presente na amostra analisada (AMORIM et al., 2008).

O espectrômetro de absorção atômica apresenta cinco componentes principais, sendo estes a fonte de radiação (lâmpada unielementar ou multielementar); o atomizador, onde são produzidos os átomos no estado fundamental; o monocromador, para seleção da linha espectral de interesse através do comprimento de onda; o detector, que mede a intensidade de luz e transforma o sinal luminoso em elétrico e um display que registra a leitura após o processamento (AMORIM et al., 2008) (Figura 14).



Fonte: Crasto (2018). Adaptada

Os metais K e Mg foram determinados por FAAS, utilizando-se Espectrômetro de Absorção Atômica fabricado pela empresa VARIAN®, modelo *Spectr AA-220 Fast Sequential*, pertencente ao Laboratório de Análises Ambientais do CRCN/NE-CNEN (Figura 15). O tempo de mensuração para todos os metais foi de 3 segundos.

Figura 15 – Espectrômetro de Absorção Atômica com Chama (CRCN-NE/CNEN)



Fonte: Próprio autor (2018)

A correção de fundo foi realizada utilizando lâmpadas unielementares de cátodo oco, composto por cada metal a ser analisado, individualmente, para cada lâmpada utilizada no equipamento, com revestimento em tubo de vidro e preenchidas por gás inerte. Foi utilizado o gás acetileno (C_2H_2) como combustível e Ar (O_2) como oxidante para as análises dos elementos K e Mg.

Para a quantificação dos metais, foram preparadas curvas de calibração a partir da diluição de soluções de estoque fornecidas pelo grupo Merck (Darmstadt, Germany), com concentrações identificadas em $1000 \mu g.mL^{-1}$ para cada metal. As faixas de concentrações das curvas foram de 50,060-200,103 $mg.L^{-1}$ para K e 5,180-20,150 $mg.L^{-1}$ para Mg.

O fluxo dos gases utilizados durante processo de análise variou de modo que, para os elementos K e Mg, para o Ar, fluxo obteve valor de 13,50 L/min, sendo para o gás acetileno 2,00 L/min. Na Tabela 7, são apresentados os principais parâmetros operacionais que foram utilizados pelo FAAS nas determinações dos metais analisados.

Tabela 7 – Parâmetros operacionais do FAAS

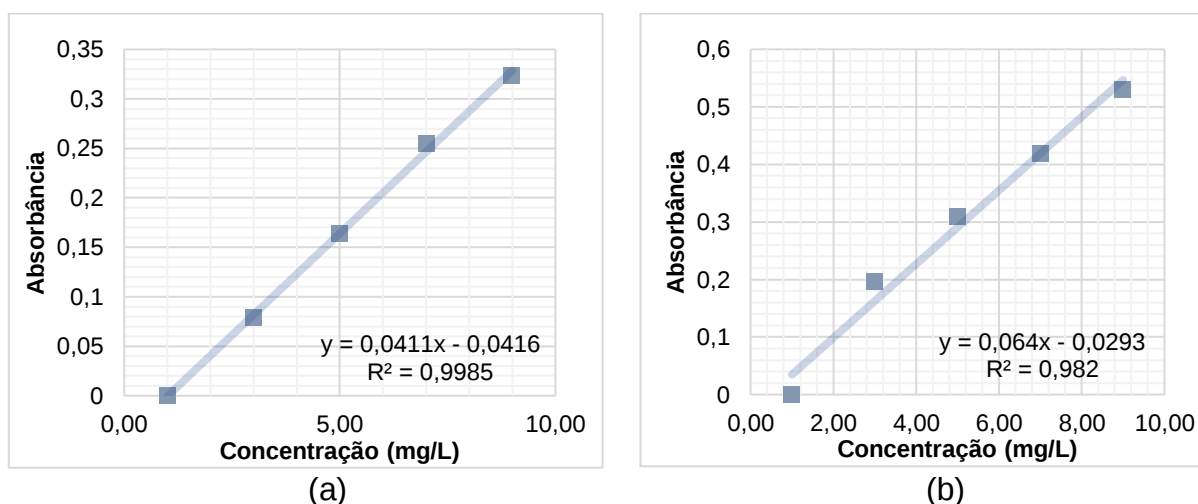
Matriz	Parâmetro Operacional				
	Comprimento de Onda (nm)	Oxidante	Slit (nm)	Corrente de Lâmpada (mA)	Voltagem (V)
K	404,4	Ar	0,5	10,0	78,0
Mg	202,6	Ar	1,0	4,0	57,0

Fonte: Próprio autor (2018)

4.9.1 Certificação dos procedimentos de análise

A partir das análises de materiais de referência, estabeleceram-se comparações quanto aos valores obtidos e certificados, de forma que evidenciou-se linearidade na dispersão dos dados, com comprovação através dos valores para o ajuste linear, justificando a segurança dos procedimentos de análise, como observado na Figura 16, para o K (a) e para o Mg (b).

Figura 16 – Curva de calibração do sistema de medidas para análise de potássio (a) e magnésio (b)



Fonte: Próprio autor (2018)

4.10 FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS

Para realização do estudo estatístico dos resultados obtidos, foram utilizadas ferramentas e softwares estatísticos. Os parâmetros estatísticos descritivos analisados (média aritmética, moda, frequência modal, mediana, desvio padrão,

assimetria, curtose e coeficiente de variação), permitiram a análise primária, definição de modelos comportamentais e a descrição da variabilidade dos resultados do estudo.

Para determinação da tendência comportamental da distribuição dos dados, foram aplicados os testes não-paramétricos de Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov, com nível de significância de 95%, onde considerou-se a hipótese nula (H_0), para determinação de uma distribuição normal de dados e a hipótese alternativa (H_1) para constatação de uma distribuição sem parâmetros de normalidade (TRIOLA, 1999).

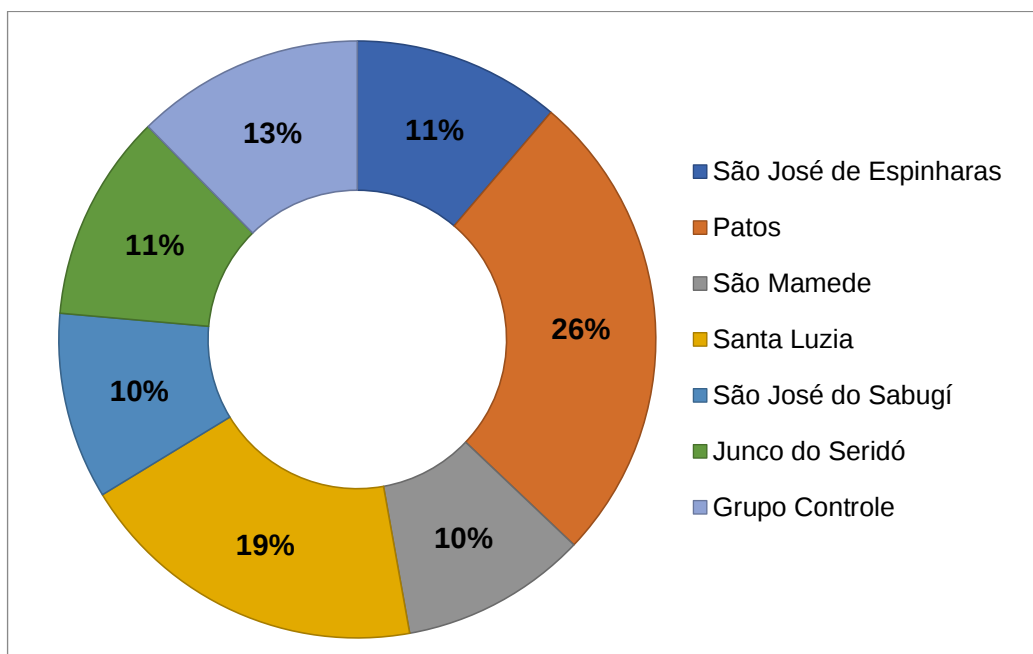
A análise multivariada, bem como análises de dispersão, coeficientes de variação, regressão linear e modelagem também foram consideradas como alternativa de avaliação dos resultados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO GRUPO AMOSTRAL

Para caracterizar as amostras de dentes, apresenta-se a Figura 17 que correlaciona os pacientes por município estudado.

Figura 17 – Distribuição dos pacientes por município



Fonte: Próprio autor (2018)

Para este estudo, o município de Patos obteve a maior proporção de indivíduos, com 26% do total dos participantes, conforme observado na Figura 17, sendo justificado em virtude do maior número de habitantes no município e, conseqüentemente, maior número de atendimentos de casos com possibilidade de inserção de amostras a partir dos critérios de inclusão. Os municípios de São Mamede e São José do Sabugí obtiveram a menor participação, ambos com 10% de indivíduos inseridos.

Os pacientes apresentaram, no momento da coleta, idade mínima de 40 anos e máxima de 81 anos, sendo organizados por faixas etárias de 40 a 49 anos, 50 a 59 anos e acima de 59 anos de idade. A Tabela 8 apresenta dados referentes à quantidade e percentual dos pacientes inseridos neste estudo quanto ao município de origem, sexo e idade.

Tabela 8 – Caracterização proporcional dos pacientes quanto ao município de origem, sexo e idade

Local (amostras %)	Sexo		Idade (anos)		
	Masculino	Feminino	40 a 49	50 a 59	> 59
Todos os Municípios (n*=89 100%)	42 (47,2%)	47 (52,8%)	41 (46,1%)	29 (32,6%)	19 (21,3%)
SJE (n*=10 11,0%)	5 (50,0%)	5 (50,0%)	7 (70,0%)	2 (20,0%)	1 (10,0%)
PT (n*=23 26,0%)	11 (47,8%)	12 (52,2%)	12 (52,2%)	6 (26,1%)	5 (21,7%)
SM (n*=09 10,0%)	4 (44,4%)	5 (55,6%)	1 (11,1%)	4 (44,4%)	4 (44,4%)
SL (n*=17 19,0%)	9 (52,9%)	8 (47,1%)	6 (35,3%)	8 (47,1%)	3 (17,6%)
SJS (n*=09 10,0%)	2 (22,2%)	7 (77,8%)	5 (55,6%)	3 (33,3%)	1 (11,1%)
JS (n*=10 11,0%)	5 (50,0%)	5 (50,0%)	8 (80,0%)	0 (00,0%)	2 (20,0%)
RMR (n*=11 13,0%)	6 (54,5%)	5 (45,5%)	2 (18,2%)	6 (54,5%)	3 (27,3%)

SJE: São José de Espinharas; PT: Patos; SM: São Mamede; SL: Santa Luzia; SJS: São José do Sabugí; JS: Junco do Seridó; RMR: Região Metropolitana do Recife. *Número de amostras válidas.

Fonte: Próprio autor (2018)

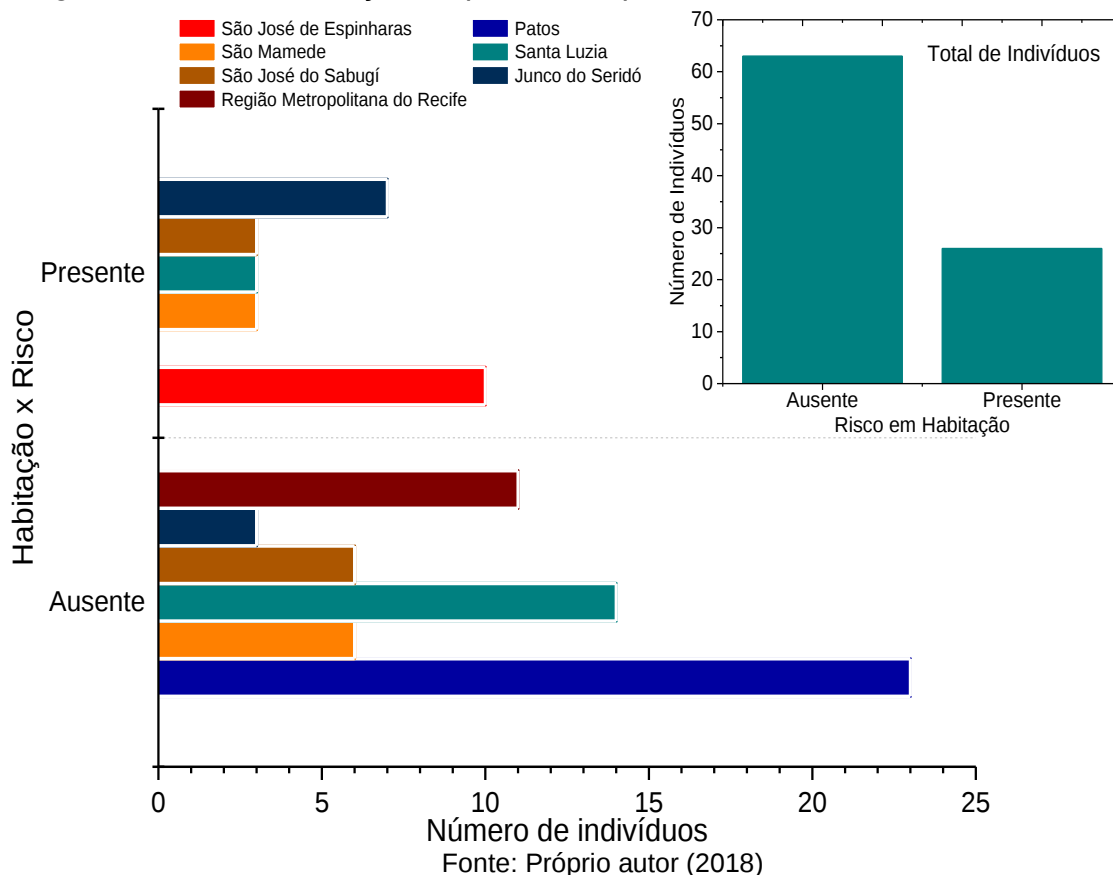
Conforme a Tabela 8, considerando o contexto geral do estudo, o gênero feminino apresentou-se ligeiramente mais expressivo em termos de participação no estudo, o que pode configurar um maior interesse na busca por serviços de saúde pelas mulheres. Faz-se importante destacar também a participação dos indivíduos do grupo etário de 40 a 49 anos (46,1%) em relação aos demais.

Sabe-se que elementos químicos, sejam estes radioativos ou não, apresentam concentrações variáveis nos tecidos humanos, logo ossos e dentes podem variar em termos de fração de massa das substâncias componentes. Esta variabilidade decorre das influências minerais presentes na composição dos solos, água de consumo e alimentos produzidos na área de habitação (NGANVONGPANIT, K. et al., 2016).

Com isso, procurou-se conhecer sobre a origem da água de consumo de cada paciente, bem como sobre a área de habitação para que se pudesse traçar um potencial risco relacionado às influências das proximidades de áreas caracterizadas por constante transferência mineral, como áreas de exploração, e os resultados exibiram influência da participação de habitantes de áreas consideradas sem risco

associado sobre aqueles que moram em regiões com risco, como mostra a Figura 18.

Figura 18 – Caracterização de pacientes quanto ao risco relacionado à habitação



Pela Figura 18 é possível descrever a relação dos pacientes e o ambiente de habitação, conforme abordou-se em questionário aplicado no momento da coleta das amostras, o que possibilita entender sobre o conhecimento dos indivíduos acerca de conceitos sobre riscos associados ao seu habitat, normalmente em consequência de atividades humanas que impactam o meio ambiente e podem interferir na qualidade da saúde pública e aumento do risco de exposições a radionuclídeos naturais.

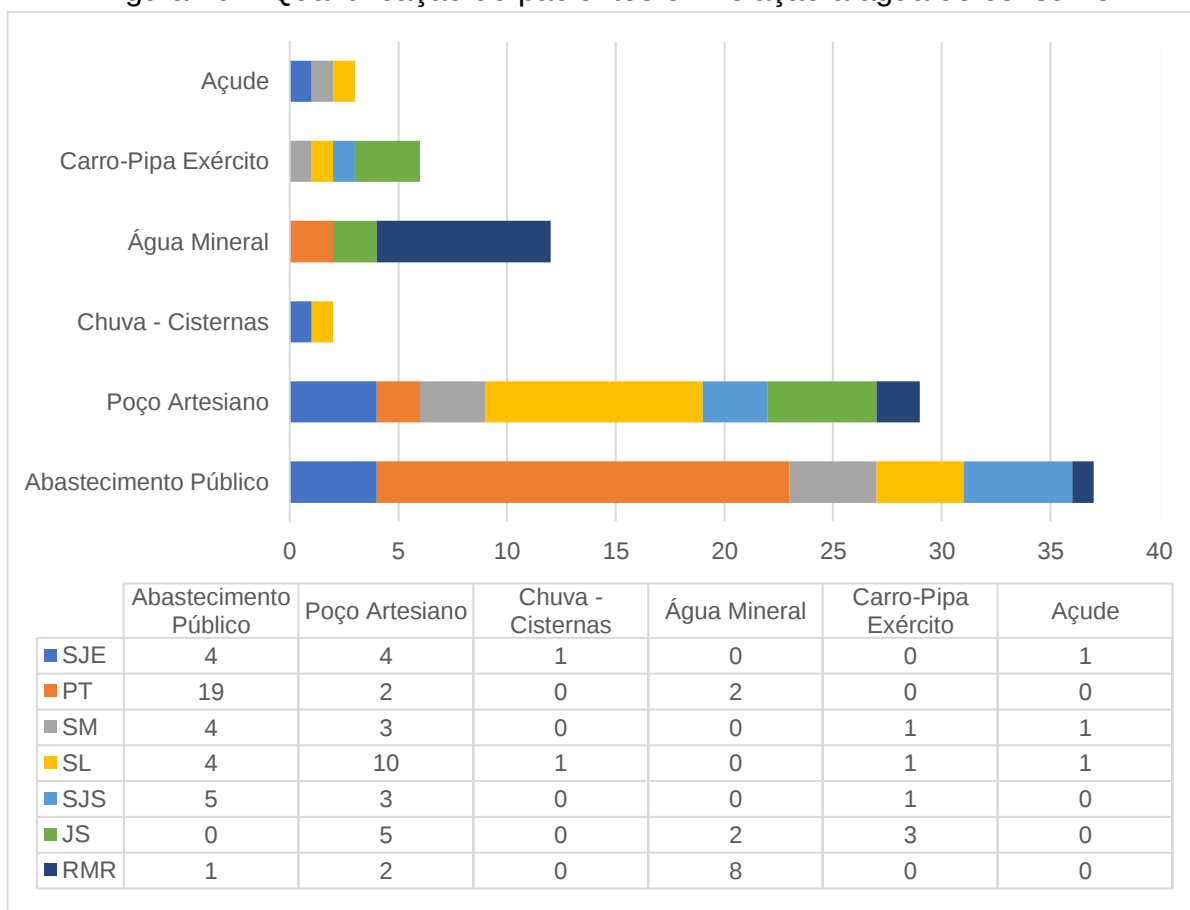
Considerou-se habitação de risco a área de residência do indivíduo próxima a olarias, empresas de confecção de artesanatos em argila, rochas e pedras ornamentais ou zona de extração de minérios, em virtude de serem áreas com atividade de transferência de minerais, geralmente obtidos de grandes profundidades de solo ou de rochas com grande extensão. No gráfico (Figura 18),

observa-se a influência do número de indivíduos que relataram não habitar áreas de risco sobre aqueles que relataram morar em regiões com risco associado.

Um total de 26 indivíduos (29% dos participantes do estudo) relatou habitar em área de risco. Um dado significativo diz respeito ao município de São José de Espinharas, quando 100% dos participantes (10 indivíduos), relataram habitar em área com risco associado, sendo ainda 7 no Junco do Seridó (70%) e 3 nos municípios de São Mamede, Santa Luzia e São José do Sabugí, com 33%, 18% e 33% de representação, respectivamente. Nenhum indivíduo relatou habitar área de risco nos municípios de Patos e RMR.

Os pacientes também foram questionados quanto à origem da água utilizada para consumo, objetivando entender o potencial risco associado, caso a fonte originasse de áreas próximas às zonas de risco descritas, conforme observado na Figura 19.

Figura 19 – Quantificação de pacientes em relação à água de consumo



SJE: São José de Espinharas; PT: Patos; SM: São Mamede; SL: Santa Luzia; SJS: São José do Sabugí; JS: Junco do Seridó; RMR: Região Metropolitana do Recife.

Fonte: Próprio autor (2018)

Em relação à variável *origem da água de consumo*, expressa pela Figura 19, observa-se que 41,5% dos indivíduos indicaram consumir água de abastecimento público, enquanto que 33,5% dos participantes relataram exposição à água originada de poços artesianos da região que, geralmente, disponibilizam água com alto teor mineral e com possibilidade de contaminação, dificultando a qualidade de vida dos usuários.

A origem da água de consumo para os demais 25% dos indivíduos corresponde a água de chuvas acumulada em cisternas (2,0%), água mineral (13,0%), água distribuída através de carros-pipa abastecidos pelo Exército Brasileiro (7,0%) e água de açude local (3,0%).

Os dentes inseridos no estudo compuseram os quatro diferentes grupos anatômicos e foram obtidos a partir de indicações de exodontia, sobretudo para tratamento periodontal. Os somatórios dos dentes organizados nos diferentes grupos anatômicos se encontram dispostos na Tabela 9.

Do total de 89 dentes utilizados nas análises, 26 (29,2%) compõem grupo de incisivos, caracterizando a maioria dos espécimes analisados, sendo importante mencionar o município de Santa Luzia com a principal contribuição para este resultado, com 52,9% dos dentes da localidade nesta classificação. Estes dados não corroboram com resultados de estudos que referem ser, o grupo de molares, o mais acometido por processos que envolvam necessidade de exodontia (CALCAGNOTTO; VISIOLI; PONZONI, 2008; SAHEEB; SEDE, 2013).

Contudo, justifica-se essa variação em virtude da exclusão, neste estudo, de dentes acometidos por cárie, razão que proporciona o elevado índice de exodontias de molares descrito na literatura (CALCAGNOTTO; VISIOLI; PONZONI, 2008; SILVA JÚNIOR et al., 2017). Sendo assim, os molares obtiveram segunda maior proporção na composição das amostras dentárias deste estudo, totalizando 28,1% das amostras. Pré-molares e caninos (24,7% e 18,0%, respectivamente) obtiveram as menores proporções.

Tabela 9 – Composição de dentes por grupo anatômico

Município	Grupo Anatômico			
	Incisivo	Canino	Pré-molar	Molar
Todos os Municípios	26 (29,2%)	16 (18,0%)	22 (24,7%)	25 (28,1%)
SJE	3 (30%)	2 (20%)	3 (30%)	2 (20%)
PT	2 (8,8%)	5 (21,7%)	7 (30,4%)	9 (39,1%)
SM	4 (44,5%)	3 (33,3%)	2 (22,2%)	0 (0,0%)
SL	9 (52,9%)	2 (11,9%)	3 (17,6%)	3 (17,6%)
SJS	3 (33,3%)	3 (33,3%)	1 (11,1%)	2 (22,3%)
JS	2 (20,0%)	0 (0,0%)	3 (30,0%)	5 (50%)
RMR	3 (27,3%)	1 (9,1%)	3 (27,3%)	4 (36,3%)

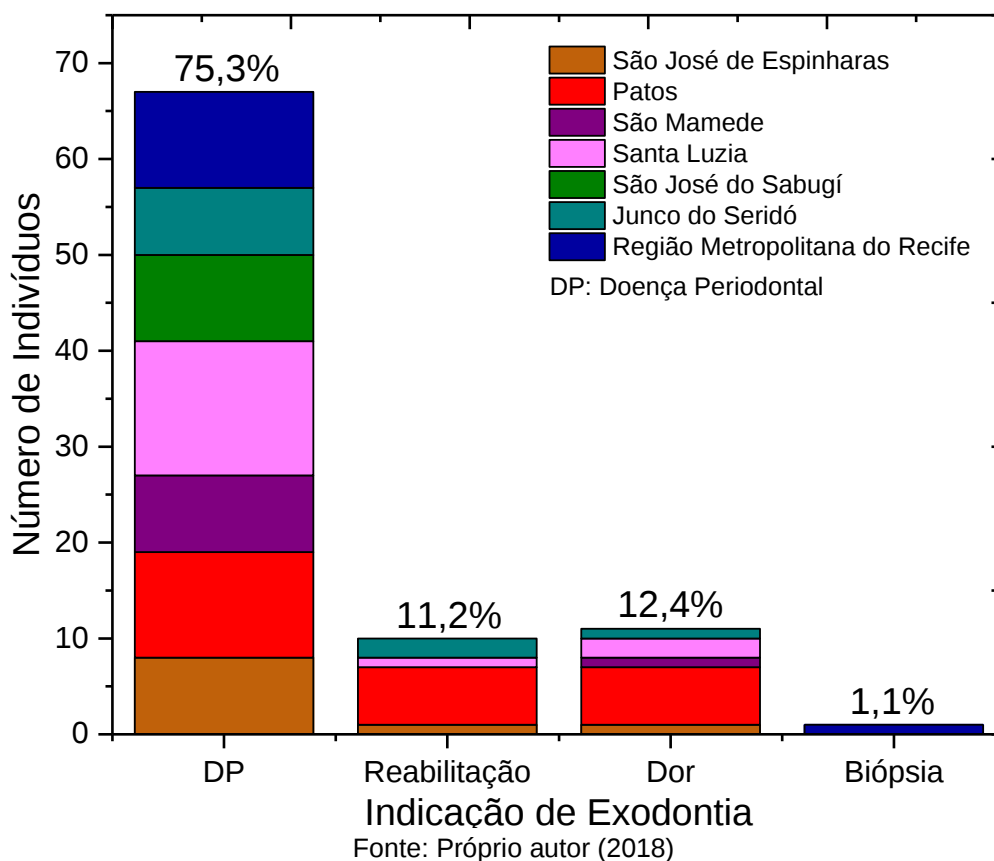
SJE: São José de Espinharas; PT: Patos; SM: São Mamede; SL: Santa Luzia; SJS: São José do Sabugi; JS: Junco do Seridó; RMR: Região Metropolitana do Recife.

Fonte: Próprio autor (2018)

Através da Figura 20, são observadas as proporções das diferentes indicações de exodontia, inseridas através de colunas sobrepostas que indicam somatório das diferentes participações de cada município em relação à indicação de exodontia. Percebe-se que o motivo periodontal (75,3%) é exposto como a mais relevante causa de indicação para exodontia entre os indivíduos estudados, quando comparada às demais indicações, o que corrobora com estudos que descrevem as periodontopatias como segundo maior motivo de exodontia, superado apenas pelas consequências da cárie dentária (CALCAGNOTTO; VISIOLI; PONZONI, 2008; SAHEEB; SEDE, 2013; JAFARIAN; ETEBARIAN, 2016; SILVA JÚNIOR et al., 2017), critério de exclusão desta pesquisa e que ainda é considerada como a mais incidente patologia oral (MARCENES et al., 2013).

A sensibilidade dolorosa e a necessidade de reabilitação protética aparecem com proporções semelhantes, 12,4% e 11,2%, respectivamente, e notadamente inferiores. O motivo decorrente de envolvimento dentário em lesões de tecido mole correspondeu a 1,1% das indicações de exodontia, o que equivale a uma amostra apenas, originada da RMR.

Figura 20 – Contribuição para indicações de exodontia



5.2 CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO QUÍMICA DAS AMOSTRAS MEDIANTE EDXRF

Objetivando o conhecimento da composição mineral da estrutura dos dentes coletados para comparação com o teor médio encontrado em tecidos saudáveis, foi realizada a caracterização química das amostras com uso do equipamento EDX-720. A caracterização química das amostras ainda teve como objetivo a certificação da ausência de componentes químicos que caracterizassem contaminação a ponto de interferir na segurança dos resultados das análises dos radionuclídeos.

A técnica de Fluorescência de Raios-x por Dispersão de Energia, permitiu a obtenção dos resultados, dados em mg/kg, listados na Tabela 19 (Apêndice E) que expõe a concentração dos elementos essenciais Ca e Fe, dos oligoelementos Ni, Mn, Si, Sr e Zn, bem como do Ti, elemento considerado não essencial.

Nesta tabela, observa-se que os elementos Ni e Mn foram os que apresentaram menores resultados, variando de 13 a 152 mg/kg e de 85 a 241 mg/kg, respectivamente. Considerando os elementos químicos analisados, esses

valores equivalem a uma proporção aproximada de 0,005% a 0,08% do maior valor obtido, referente à concentração do Ca nos indivíduos da RMR.

No que se refere aos elementos mais ocorrentes, Ca, Si e Fe apresentaram as maiores concentrações, com valores máximos de 297.493 mg/kg de Ca; 286.573 mg/kg de Si e 4.700 mg/kg de Fe para a RMR, Patos e Santa Luzia, respectivamente.

O Ca consta como o mais influente elemento nas concentrações dos metais analisados, o que se justifica por serem, os dentes, assim como o sistema esquelético, órgãos com composição mineral consistente primariamente por sais de fosfato de cálcio (OKTAR, 2007). Estes resultados corroboram com pesquisas realizadas por Soremark, Samsahl (1962); Lakamaa, Rytomaa (1977); Soares, Adachi, Saiki (2008); Saiki, Adachi, L., Adachi, E. (2009) e Zenóbio (2012) quando, por meio da Análise por Ativação Neutrônica (INAA), determinaram maior concentração de Ca para amostras de esmalte e dentina.

O elemento Zn foi considerado como um dos traços menos ocorrentes, o que apresenta concordância com resultados obtidos por Soares, Adachi, Saiki (2008), quando determinaram a concentração do Zn entre as menores encontradas em dentes.

Embora não existam muitos estudos baseados na técnica EDXRF em dentes humanos, várias são as pesquisas atuais com uso da técnica analítica em dentes de animais (LOCH et al., 2014; NGANVONGPANIT et al., 2016; NGANVONGPANIT et al., 2017), cujos resultados apontam para a efetividade e segurança da metodologia. Os resultados ainda exibem similaridade na composição química de dentes mamíferos, incluindo dentes humanos (LOCH et al., 2014).

A partir da caracterização química das amostras, pode-se concluir não haver concentrações anômalas de metais essenciais e não essenciais nos espécimes, logo não influenciando as análises de radionuclídeos.

5.2.1 Presença de elementos químicos contaminantes

Das amostras de dentes analisadas em EDXRF, 4 obtiveram resultados para os elementos químicos considerados contaminantes, cobre, chumbo e Vanádio, quando inseridos na composição da estrutura de dentes, sendo uma amostra proveniente do município de Santa Luzia, com valor de 75 mg/kg de Cu, uma

originada de São José de Espinharas, com valor de 16 mg/kg de Pb, uma amostra de São Mamede e uma da RMR que apresentaram resultados respectivos de 563 mg/kg e 229 mg/kg para o V.

5.2.2 Variabilidade dos dados de fração de massa para os elementos analisados nos diferentes municípios envolvidos

A análise estatística descritiva das frações de massa dos elementos químicos determinados pode ser observada na Tabela 10. Os resultados foram organizados de acordo com o município de coleta de amostras com o propósito da observação das semelhanças quanto às proporções dos elementos químicos encontrados. Em seguida, podem ser observados os resultados da análise estatística descritiva para todas as amostras do estudo provenientes da área uranífera paraibana (Tabela 11).

Tabela 10 – Análise descritiva das frações de massa de elementos químicos analisados em amostras de dentes por município

LOCAL	PARÂMETRO	TEOR (mg/kg)							
		Mn	Fe	Ni	Zn	Sr	Ti	Si	Ca
SJE (n*=10)	Média	94,7	4.509,3	33,2	168,9	170,7	850,8	82.952,4	269.854,0
	Mínimo	85,0	4.428,0	21,3	142,0	112,0	833,0	81.837,3	237.863,3
	Máximo	103,0	4.635,0	42,7	216,0	287,0	953,0	84.618,0	286.397,2
	DP	4,5	68,3	6,5	23,4	58,2	36,8	851,2	135.24,5
	CV (%)	4,7	1,5	19,4	13,8	34,1	4,3	1,0	5,0
PT (n*=23)	Média	92,0	4.530,9	26,2	178,6	213,5	820,2	92.030,7	273.111,6
	Mínimo	85,0	4.437,0	13,5	123,0	114,0	383,0	81.675,1	246.553,0
	Máximo	108,0	4.611,0	40,7	678,0	598,0	867,0	286.573,2	290.882,3
	DP	7,1	49,8	7,33	114,9	106,9	95,6	42.413,4	16.134,0
	CV (%)	7,8	1,1	28,0	64,3	50,1	11,7	46,1	5,9
SM (n*=09)	Média	113,6	4.524,3	25,4	160,4	173,1	1455,3	86.278,2	266.542,5
	Mínimo	85,0	4.451,0	15,6	125,0	139,0	833,0	81.517,0	204.293,9
	Máximo	241,0	4.586,0	34,1	187,0	222,0	6412,0	113.559,2	292.146,6
	DP	48,5	40,6	6,4	22,3	28,3	1858,7	10.253,9	26.819,12
	CV (%)	42,7	0,9	25,7	13,9	16,3	127,7	11,9	10,1
SL (n*=17)	Média	92,5	4.525,1	29,7	178,6	150,8	845,7	84.891,1	272.474,9
	Mínimo	85,0	4.363,0	19,6	135,0	65,0	833,0	81.956,5	223.071,9
	Máximo	108,0	4.700,0	48,1	312,0	238,0	887,0	115.516,3	290.304,7
	DP	7,62	80,2	8,06	39,4	42,0	13,7	7.921,9	15.081,2
	CV (%)	8,2	1,8	27,1	22,1	27,8	1,6	9,3	5,5
SJS (n*=09)	Média	98,1	4.528,1	29,0	161,4	157,4	838,1	83.016,1	272.991,8
	Mínimo	88,0	4.382,9	13,0	138,0	107,0	833,0	82.305,4	244.576,3
	Máximo	111,6	4.616,0	51,0	201,0	230,0	844,0	83.547,1	291584,2
	DP	8,1	68,5	12,3	20,6	36,1	3,8	391,3	19266,5
	CV (%)	8,2	1,5	42,3	12,8	22,9	0,4	0,5	7,1
JS (n*=10)	Média	94,5	4473,0	28,9	158,1	145,0	840,8	83.020,5	274.427,6
	Mínimo	85,2	3854,9	21,0	135,0	78,0	833,0	81.924,2	256.140,7
	Máximo	105,9	4624,7	41,0	184,0	202,0	851,0	83.687,0	284.637,4

Continuação da Tabela 10

	DP	7,6	227,9	5,7	16,1	38,9	7,4	667,5	10.072,1
	CV (%)	8,1	5,1	19,6	10,1	26,8	0,9	0,8	3,7
	Média	90,0	4523,6	42,2	209,1	232,1	1023,1	84.593,6	280.693,2
RMR	Mínimo	85,2	4377,0	14,0	123,0	158,0	833,0	82.356,0	251.745,5
	Máximo	98,4	4637,0	152,0	811,0	292,0	2981,0	99.042,1	297.492,7
(n*=11)	DP	5,1	76,9	36,5	190,9	44,9	616,9	4.580,3	14.822,9
	CV (%)	5,6	1,7	86,5	91,3	19,4	60,3	5,4	5,3

SJE: São José de Espinharas; PT: Patos; SM: São Mamede; SL: Santa Luzia; SJS: São José do Sabugí; JS: Junco do Seridó; RMR: Região Metropolitana do Recife. DP: Desvio Padrão. CV: Coeficiente de Variação. *Número de amostras válidas. Valores inferiores ao limite de detecção não considerados.

Fonte: Próprio autor (2018)

A Tabela 11 a seguir, expõe valores médios para as concentrações obtidas para os elementos analisados por EDXRF referentes aos municípios paraibanos inseridos na área anômala em radioatividade natural, com exceção dos contaminantes. O elevado desvio padrão, sobretudo para os elementos Ti e Sr, retrata a dispersão dos dados, justificando o alto coeficiente de variação, o que resulta, de maneira geral, na heterogenicidade dos dados amostrais. Esta característica também pode ser identificada para as médias das amostras obtidas na RMR, observadas na Tabela 10.

Tabela 11 – Estatística descritiva para as frações de massa obtidas para área anômala em radioatividade natural, estado da Paraíba (valores em mg/kg)

Analito (n=78)	Parâmetro Descritivo (mg/kg)					
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	DP	CV (%)
Mn	95,9	94,0	85,0	241,0	18,2	19,0
Fe	4.518,3	4.530,0	3.855,0	4.700,0	98,3	2,2
Ni	28,5	28,0	13,0	51,0	7,9	27,9
Zn	170,7	158,5	123,0	678,0	66,0	38,7
Sr	174,4	159,0	65,0	598,0	71,8	41,1
Ti	907,7	839,0	383,0	6.412,0	633,7	69,8
Si	86.451,7	83.213,5	81.517,0	286.573,0	23.503,7	27,2
Ca	271.952,1	277.194,5	204.294,0	292.147,0	16.539,1	6,1

DP: Desvio Padrão. CV: Coeficiente de Variação. Valores inferiores ao limite de detecção não considerados.

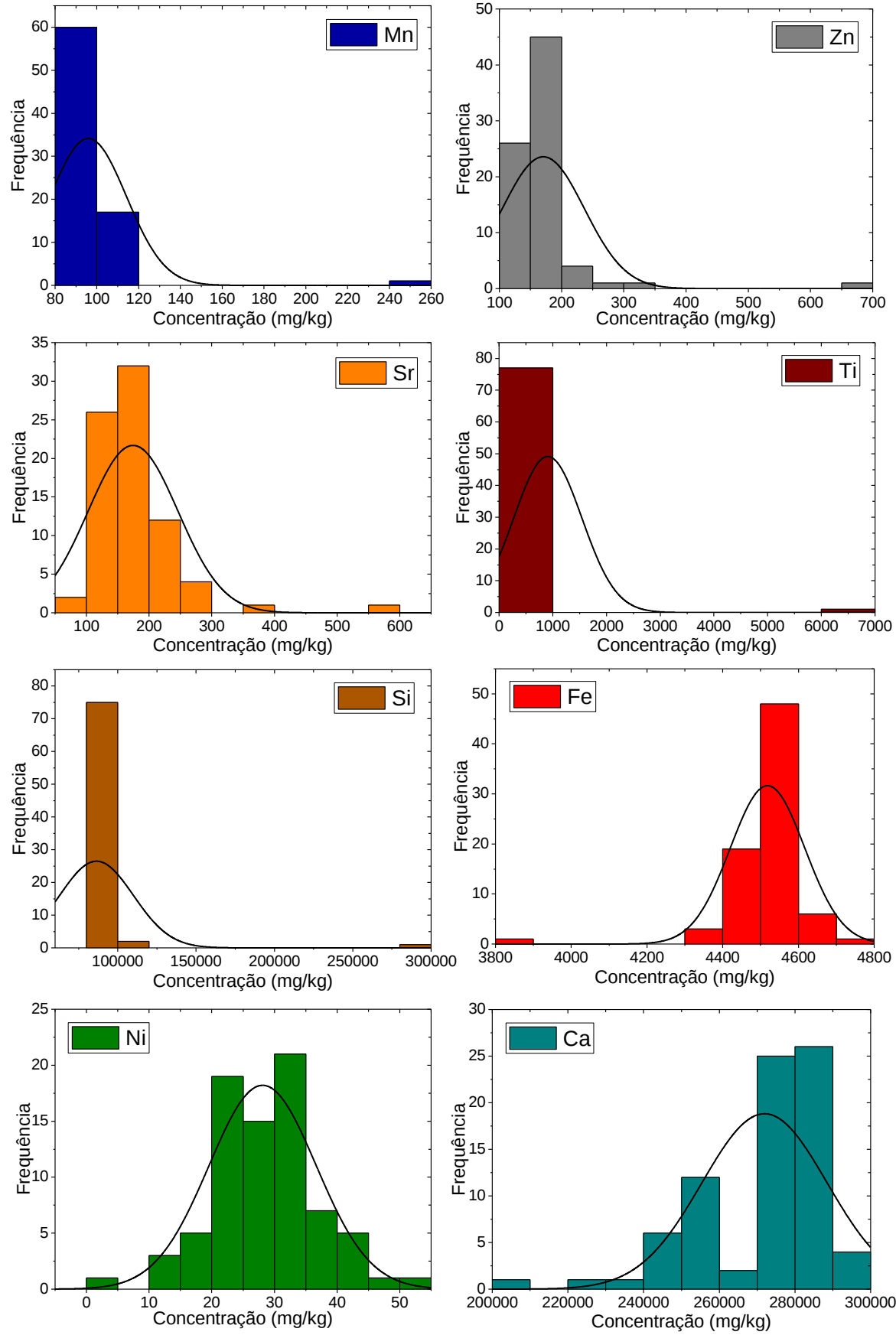
Fonte: Próprio autor (2018)

De acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov, a um nível de significância de 95%, os valores das concentrações dos metais nas amostras de dentes, para o conjunto de dados composto pelos valores de todos os municípios da área uranífera paraibana, não evidenciaram tendência para uma distribuição de probabilidade normal, logo com valores p inferiores a 0,05 para os dados de cada metal analisado.

Os testes de normalidade expõem resultados sob influência dos níveis de dispersão dos dados, onde a concentração de valores em determinada faixa ou a presença de dados discrepantes compromete a característica da distribuição. Para esta pesquisa, deve ser considerado que a descrição da tendência de normalidade se refere apenas às amostras analisadas sendo, portanto, necessário um número amostral maior para inferência de resultados sobre a população total de cada município.

Para melhor interpretação da distribuição dos dados referentes às concentrações obtidas para os municípios da área uranífera, que reúne o maior número de amostras dessa pesquisa, elaborou-se um gráfico que evidencia parâmetros estatísticos típicos de uma distribuição sem tendência de normalidade (Figura 21), ao passo que a curva de Gauss apresentada expressa a tentativa de ajuste, possibilitando a observação de assimetrias em todos os conjuntos de dados.

Figura 21 – Distribuição de frequências para concentração de metais em dentes (área uranífera)



Fonte: Próprio autor (2018)

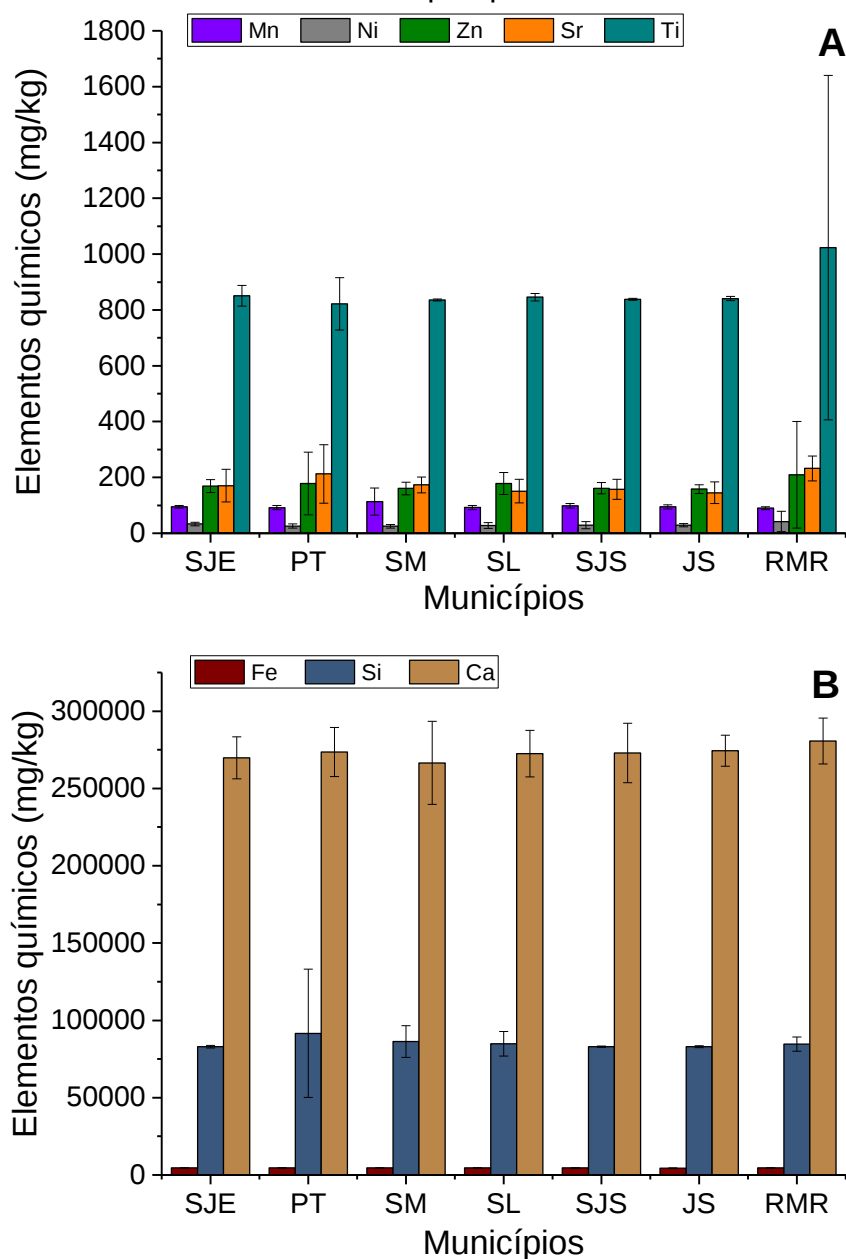
Buscando testar um modelo estatístico para representar a distribuição do conjunto de dados por município, utilizou-se o teste de normalidade Shapiro-Wilk, cujos resultados, com nível de significância de 95%, são apresentados na Tabela 23 (Apêndice I). O teste mostrou valores “W” variáveis, a depender do elemento químico considerado e do município.

Desta forma, ao considerar o $W_{\text{calculado}} < W_{\text{tabelado}}$, admite-se a conclusão baseada na rejeição da hipótese nula, logo o conjunto apresenta distribuição não homogênea dos dados. Nesse contexto, pode-se perceber, através da análise dos dados da Tabela 19 (Apêndice E), que entre todos os elementos avaliados, apenas o Ca obteve distribuição não homogênea para todos os municípios. Na RMR, todos os elementos apresentaram distribuição não homogênea.

Todos os municípios apresentaram distribuição normal para o Ni. Obtiveram distribuição normal para o Fe e o Sr os municípios do Junco do Seridó e Patos, respectivamente. Patos, São Mamede e Santa Luzia não apresentaram distribuição homogênea para Mn, Ti e Si e São José de Espinharas não apresentou para o Ti e para o Ca. Para São José do Sabugí, apenas o Ca não obteve distribuição homogênea de dados.

A dispersão dos valores obtidos para cada metal analisado, considerando os municípios individualmente, pode ser visualizada na Figura 22, onde no gráfico A observa-se o comportamento das concentrações médias para os metais menos ocorrentes, e em B, pode-se perceber a dispersão dos valores médios para os elementos mais ocorrentes nos dentes analisados.

Figura 22 – Concentrações de metais não radioativos nos dentes dos habitantes da área de pesquisa



SJE: São José de Espinharas; PT: Patos; SM: São Mamede; SL: Santa Luzia; SJS: São José do Sabugí; JS: Junco do Seridó; RMR: Região Metropolitana do Recife.

Fonte: Próprio autor (2018)

Observando a Tabela 19 (Apêndice E), percebe-se que a maioria dos municípios encontra-se com média para o Ti na faixa entre 800 e 900 mg/kg, enquanto um único dado, em São mamede, apresenta valor de 6.412 mg/kg, além do valor de 2.981 mg/kg encontrado na RMR, o que compromete os parâmetros descritivos de tendência central. Logo, a fim de evitar prejuízos na interpretação dos dados visualizados na Figura 22, removeu-se o valor considerado *outlier*, entre os

dados do município de São Mamede (SM), para o elemento Ti, por se tratar de valor com grande discrepância em relação aos demais.

Acredita-se que valores altos em termos de concentração de metais em dentes, como observado para o Ti em São Mamede, podem ser resultado de processos de contaminação superficial através de componentes metálicos utilizados em tratamentos odontológicos, como em próteses dentárias, procedimentos restauradores ou tratamento ortodôntico (CHEW et al., 2000).

A Tabela 12 expõe valores médios obtidos para os elementos com maior concentração em dentes em comparação a resultados de estudos técnicas similares (IYENGAR; TANDON, 1999). Em seguida, na Tabela 13, observa-se esta comparação em relação aos elementos menos ocorrentes.

Tabela 12 – Comparação de valores médios da concentração de elementos químicos com maior ocorrência em dentes (valores em %)

Referência	Metal Analisado (%)								
	Ca			Si			Fe		
Área PB** (n*=78)	27,19	±	1,65	8,65	±	2,35	0,45	±	0,009
RMR** (n*=11)	28,00	±	1,48	8,45	±	0,45	0,45	±	0,008
¹ [1] (n*=62)	9,97 (u)	±	1,55				0,003	±	0,001
¹ [1] (n*=102)	11,7 (r)	±	1,60				0,003	±	0,001
² [2] (n*=15)	31,5 (e)								
² [2] (n*=15)	31,5 (d)								
³ [3] (n*=54)				0,007 (e)					
⁴ [4] (n*=444)	27,18			0,0001 – 0,05					
⁵ [5] (n*=112)							0,058		
¹ [6] (n*=59)							0,009	±	0,002
⁶ [7] (n*=27)	31,4	±	1,9						
⁶ [7] (n*=21)	31,5	±	1,4				0,622		

[1]: Nowak (1993); [2]: Cohen, Clayton, Ainsworth (1981); [3]: Cutress (1990); [4]: Nganvongpanit et al. (2017); [5]: Amr (2011); [6]: Arruda-Neto et al. (2010); [7]: Brown et al. (2004).

¹AAS. ²PIXE. ³MS. ⁴XRF. ⁵ICP-MS. ⁶ICP-AES.

(u): área urbana. (r): área rural. (e): esmalte. (d): dentina. *Número de amostras válidas. **Este Estudo.

Alguns estudos não dispuseram de desvios padrões ou valores máximos e mínimos.

Fonte: Próprio autor (2018)

De acordo com a Tabela 12, pode-se observar semelhanças em termos de concentração para Ca, Si e Fe, obtidas na área uranífera paraibana e na RMR. O Ca, quando comparado aos demais estudos mencionados, também apresenta valor semelhante e determina a maior ocorrência, sobretudo na comparação entre média da área paraibana e de pesquisa realizada por Nganvongpanit et al. (2017). Na mesma pesquisa ainda se observa valor superior para a concentração do elemento Si em relação ao Fe, como verificado neste estudo.

Outros estudos ainda abordam concentrações de Ca muito semelhantes aos valores obtidos nessa pesquisa, a exemplo de Torres et al. (2018), com média de 28,6 %, em dentes permanentes e de Miele et al. (2007), cuja média obtida, a partir de valores somados para esmalte e dentina, resultou na proporção de 34%.

As variações entre os valores médios das concentrações dos elementos Si e Fe, para os diferentes estudos, constituem dados esperados, pois pesquisas anteriores determinaram que elementos químicos não componentes da estrutura básica de dentes apresentam concentrações variadas, a depender do ambiente no qual o indivíduo habita, da disponibilidade e composição de alimentos, possibilidade de contaminação ambiental, sobretudo em solos e água (CHEW et al., 2000; TVINNEREIM; EIDE; RIISE, 2000; BROWN et al., 2004) e adsorção superficial de materiais odontológicos utilizados em procedimentos reabilitadores (WEATHERELL, 1975; BERCOVITZ; LAUFER, 1993).

Apesar de não compor a estrutura básica de dentes, o Fe constitui metal essencial para a vida e o íntegro funcionamento do organismo humano, desempenhando um papel importante nos processos metabólicos (KHLIFI; HAMZA-CHAFFAI, 2010). Ainda que não sejam descritos na literatura limites para ocorrência de Fe em tecidos dentários, pode-se perceber que a média das concentrações do Fe apresenta-se inferior ao valor médio descrito em pesquisa realizada por Arruda-Neto et al. (2010), quando obtiveram 0,622% em concentração, em relação a todos os elementos analisados.

Tabela 13 – Comparação de valores médios da concentração de elementos químicos com menor ocorrência em dentes (valores em mg/kg)

Referência	Metal Analisado (mg/kg)											
	Ti			Sr			Zn			Mn		
Área PB** (n*=78)	907,7	±	633,7	174,4	±	71,8	170,6	±	66,0	95,9	±	18,2
RMR** (n*=11)	1.023,1	±	616,9	232,1	±	44,9	209,1	±	190,9	90,0	±	5,1
¹ [1] (n*=54)	1,6 (e)											
¹ [2] (n*=243)	0,1 – 24,5											
² [3] (n*=8)	1,93 (e)											
³ [4] (n*=62)	0,0 – 31,4			150,5			357,1 (u)	±	267,2	47,7 (u)	±	16,9
³ [4] (n*=102)							228,3 (r)	±	160,8	39,3 (r)	±	10,2
² [5] (n*=444)	592,5						542,3			157,5		29,0
⁴ [6] (n*=112)				101,2	±	24,3	178	±	44,6	0,27	±	0,11
⁴ [7] (n*=26)				118	±	37,8	144	±	24,0			
⁴ [7] (n*=21)				175	±	38,0	124	±	19,5			

[1]: Cutress (1990); [2]: Curzon, Crocker (1978); [3]: Frank et al. (1989); [4]: Nowak (1993); [5]: Nganvongpanit et al. (2017); [6]: Amr (2011); [7]: Brown et al. (2004).

¹MS. ²XRF. ³AAS. ⁴ICP-MS.

(e): esmalte. (d): dentina. (u): área urbana. (r): área rural. *Número de amostras válidas. **Este Estudo. Valores inferiores ao limite de detecção desconsiderados.

Alguns estudos não dispuseram de desvios padrões ou valores máximos e mínimos.

Fonte: Próprio autor (2018)

Pela comparação das concentrações dos elementos químicos menos ocorrentes, visualizadas na Tabela 13, percebe-se, na RMR, médias de concentrações superiores às obtidas para área paraibana, com exceção do elemento Mn.

Entre os elementos mencionados na Tabela 13, o Ni apresentou menor influência, o que também foi concluído em pesquisa recente realizada por Nganvongpanit et al. (2017) quando identificaram o elemento Ni com as menores concentrações em relação aos elementos avaliados em dentes por igual técnica.

Alguns elementos, cujas funções biológicas não se encontram estabelecidas, podem ser identificados nos dentes por apresentarem comportamento químico semelhante ao Ca, a exemplo do Sr, com concentração aceitável na faixa de 150 a 200 mg/kg (TVINNEREIM; EIDE; RIISE, 2000), o que foi confirmado no presente estudo, com concentração média de 174,4 mg/kg, para área paraibana.

Estudos de Frank et al. (1989), com uso da técnica EDXRF, também obtiveram concentração média para o Sr inserida na faixa aceitável, com valor de 150,5 mg/kg. Por algumas investigações, acredita-se que o Sr pode, quando em concentrações aceitáveis, auxiliar no processo de neoformação óssea *in vivo* (COPELAND et al., 2010) e na cicatrização do tecido ósseo (BROWN et al., 2004; HE et al., 2011; TERUEL et al., 2015).

Apesar da possibilidade de variação na concentração de metais em dentes, geralmente, os elementos considerados essenciais estão presentes em teor médio similar entre os elementos químicos avaliados em diferentes regiões. Isso pode ser observado nesse estudo ao comparar a concentração média do elemento Zn (170,6 mg/kg, para área paraibana, e 209,1 mg/kg, para RMR) à encontrada em pesquisa de Amr (2011), com valor de 178 mg/kg.

Valores similares para o Zn ainda foram observados em estudos realizados por Brown et al. (2004) e notadamente superiores em estudos realizados por Nowak (1993). Nganvongpanit et al. (2017) observaram valor médio próximo aos valores máximos dessa pesquisa (542,3 mg/kg).

O elemento Mn constitui nutriente essencial para os seres humanos. Porém, altos níveis de exposição determinam característica neurotóxica (ROELS et al., 2012) ou podem causar danos ao sistema respiratório (LEVY; NASSETTA, 2003). Nesse estudo, a média da concentração do Mn obteve valor superior aos valores da maioria dos estudos comparados, com exceção da pesquisa de Nganvongpanit et al.

(2017), cujo valor (157,5 mg/kg) apresentou-se 2 vezes superior às médias dessa pesquisa.

Uma série de fatores pode explicar a notável presença do elemento Ti nas amostras analisadas, como sua utilização na produção de alimentos industrializados, cosméticos, produtos farmacêuticos e cremes dentais (SHI et al., 2015). Além disso, pode ser empregado na confecção de ligas metálicas para estrutura de próteses parciais removíveis e próteses fixas, sobretudo para reabilitação de pacientes com hipersensibilidade ou alergia a componentes de ligas mais comumente utilizadas, a exemplo da cromo-cobalto (KONONEN et al., 1995). Dessa forma, há possibilidade de absorção superficial do elemento Ti na estrutura dentária.

Apesar de não existirem limites definidos para ocorrência do Ti em dentes, não há indícios de toxicidade orgânica pela presença do metal. Isso pode ser explicado pela característica de biocompatibilidade ou baixa toxicidade deste metal relacionada à estrutura esquelética humana (ILSI, 2000).

Algumas amostras deste estudo apresentaram elementos químicos considerados contaminantes e seus respectivos valores podem ser observados na Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados de análises por EDXRF para elementos químicos contaminantes

Amostra	Metal Contaminante (mg/kg)		
	Cu	Pb	V
SL088	75	-	-
SJE008	-	16	-
SM009	-	-	563
RMR 10	-	-	229
¹ [1]			0,1-14,4 (e)
¹ [2]			0-0,2 (e)
² [3]		0,13-80,4	
³ [4]	1-45,3		
³ [4]	1-26		
² [5]		0,58-36,9	
⁴ [6]	15-4.471	4-54	99-875

[1]: Cutress (1990); [2]: Curzon, Crocker (1978); [3]: Gil et al. (1994); [4]: Brown et al. (2004); [5]: Bercovitz et al. (1993); [6]: Nganvongpanit et al. (2017).

¹MS. ²AAS. ³ICP-MS. ⁴XRF. (e): esmalte.

Fonte: Próprio autor (2018)

Como pode-se observar na Tabela 14, algumas amostras obtiveram concentrações de metais pesados contaminantes, o que pode ter ocorrido através de absorções superficiais pelo contato dentário com materiais metálicos. É descrita a possibilidade de alteração nas funções do Sistema Nervoso Central (SNC) e órgãos vitais, caso ocorram concentrações elevadas de metais pesados no organismo humano (ROELS et al., 2012).

Os metais pesados descritos na Tabela 14 podem se originar de componentes protéticos, da poluição industrial, combustão de combustíveis fósseis, tintas e vernizes, tabaco, objetos do cotidiano e alimentos contaminados, o que, ao contato com a estrutura dentária, possibilita incorporação (ROSSIGNOL; GENUIS; FRYE, 2014).

Quando comparadas as concentrações obtidas nesta pesquisa com valores máximos de pesquisas internacionais, destaca-se o elemento V, com valores superiores em até 2.815 vezes a concentrações encontradas em pesquisas realizadas em esmalte dentário e utilizadas pelo Relatório NAHRES-39 da IAEA (CURZON, CROCKER, 1978; CUTRESS, 1990) para padronização de concentrações médias mundiais. Para o Pb, esta pesquisa apresentou valor inferior a todos os valores máximos das pesquisas apresentadas na Tabela 14.

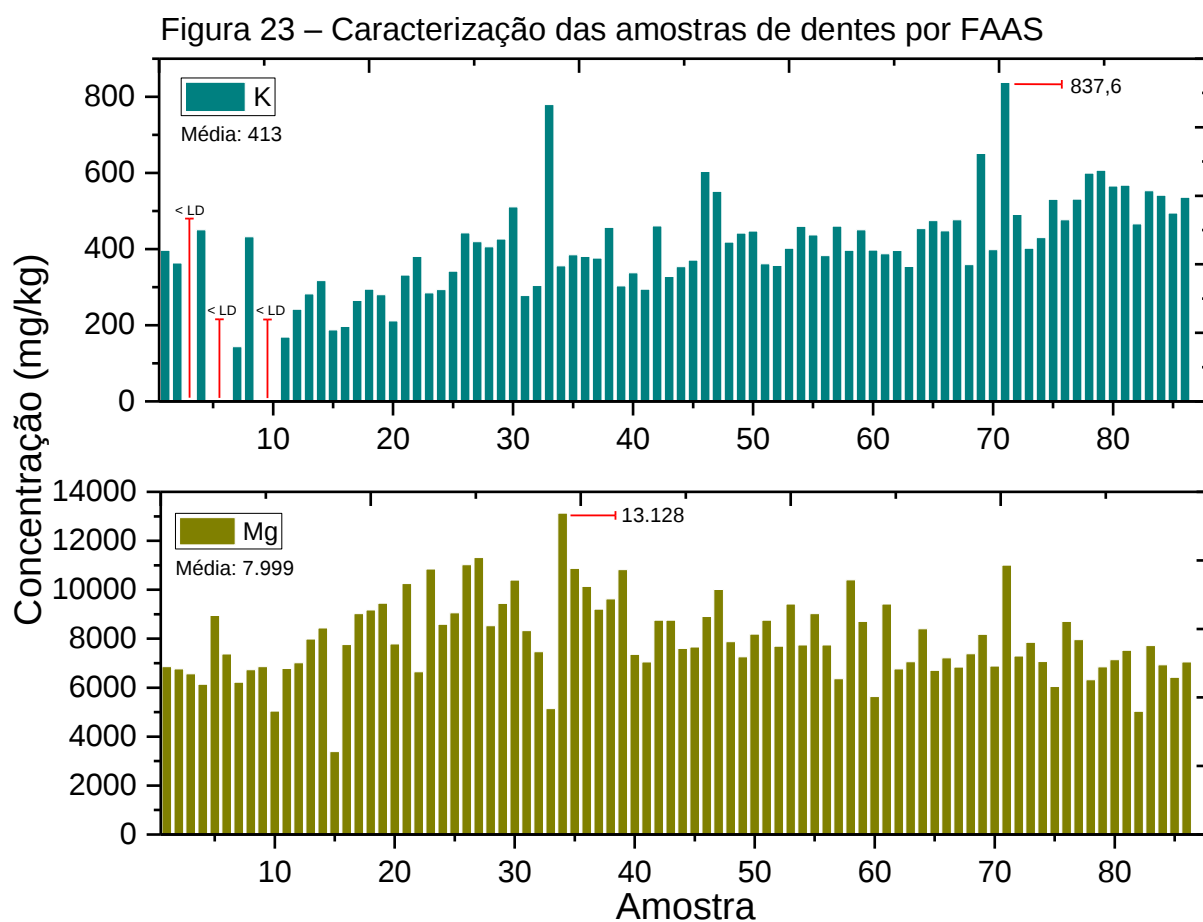
O elemento Pb pode ser incorporado aos tecidos humanos mineralizados em virtude da compatibilidade química existente com o cálcio e relata-se que a concentração de Pb em dentes caracteriza a possível ocorrência de agentes contaminantes no meio ambiente (GUISON; GILLINGS, 1994; ASADUZZAMAN, 2017). Quando ocorrente em dentes com concentração superior a 4 mg/kg, indica-se carga corporal tóxica (CARVALHO et al., 2001), característica preocupante quando se considera o valor 4 vezes superior ao limite estabelecido, obtido em uma amostra desta pesquisa, originada do município de São José de Espinharas.

Para os três elementos observados na Tabela 14, estudos de Nganvongpanit et al. (2017) apontaram valores máximos superiores aos valores obtidos nesta pesquisa, sobretudo ao considerar o elemento Cu que apresentou valor máximo equivalente a 60 vezes o valor obtido neste estudo. Para o Pb, alguns estudos abordam valores para concentração em dentes na faixa de 1,2 mg/kg a 1,6 mg/kg (WYCHOWANSKI; MALKIEWICZ, 2017), faixa inferior em até 13 vezes ao valor obtido neste estudo.

5.3 ANÁLISE QUÍMICA DAS AMOSTRAS POR FAAS

Segundo Relatório NAHRES-39, a mensuração dos níveis de concentração de metais em ossos e dentes é realizada com efetividade através de técnicas analíticas, entre as quais Espectroscopia de Absorção Atômica com Chama (FAAS), Espectrometria de Massa por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS) e Fluorescência de Raios-x por Dispersão de Energia (EDXRF), o que justifica a utilização de resultados de diferentes técnicas, neste estudo.

Portanto, a partir das análises realizadas por FAAS, identificaram-se e quantificaram-se, em dentes, os elementos K e Mg, cujo comportamento dos dados obtidos pode ser visualizado na Figura 23.



1-10: São José de Espinharas; 20-33: Patos; 34-42: São Mamede; 43-57: Santa Luzia; 58-65: São José do Sabugá; 66-75: Junco do Seridó; 76-86: Região Metropolitana do Recife. LD: Limite de Detecção. Amostras < LD: SJE003; SJE005; SJE006; SJE009; SJE010.

Fonte: Próprio autor (2018)

Ao verificar a presença dos elementos K e Mg através do FAAS (Figura 23) e considerando as respectivas médias de 413 mg/kg e 7.999 mg/kg alcançadas, pode-

se perceber a similaridade com resultados de pesquisas clássicas utilizadas como padrão de referência pela IAEA, como é o caso de estudos realizados por Iyengar et al. (1978), com resultado médio de 401 mg/kg para K em esmalte e por Iyengar; Tandon (1999), com média de 7.926 mg/kg para Mg em dentina.

As concentrações do K e do Mg nos dentes permitem identificar valores máximos equivalentes a 837,6 mg/kg de K, no Junco do Seridó, e 13.128 mg/kg de Mg em Patos. Esses valores apresentam considerável distanciamento em relação aos valores médios, caracterizando o potencial heterogêneo de distribuição.

5.4 ANÁLISE DE RADIONUCLÍDEOS POR ICP-MS

O biomonitoramento de radionuclídeos nos tecidos humanos permite o diagnóstico radiométrico da condição de exposição orgânica aos efeitos da radioatividade natural presente no meio ambiente e transferida para o corpo através do contato direto com elementos químicos. Dentre os radionuclídeos naturais, para o tipo de amostra deste estudo, tem-se o U e o Th como possíveis de ser mensurados através da técnica utilizada, sendo selecionados, ainda, por serem elementos abundantes no meio ambiente. Partindo dessa premissa, realizou-se a análise dos elementos U e Th nos dentes e ossos alveolares, cujos resultados podem ser visualizados, respectivamente, nas Tabelas 20 (Apêndice F) e 16.

5.4.1 Variabilidade dos dados obtidos para concentrações de U e Th

Os resultados obtidos para as concentrações dos radionuclídeos U e Th foram tratados estatisticamente considerando, separadamente, as amostras de dentes (Tabela 15) e remanescentes ósseos alveolares (Tabela 16), em virtude do discreto número de amostras válidas para ossos. Para os resultados das amostras dentárias, visualizados na Tabela 15, ainda foram identificados os parâmetros descritivos por município.

Tabela 15 – Estatística descritiva para concentrações dos elementos U e Th em dentes por município

LOCAL (nº. amostras)	PARÂMETRO	TEOR (mg/kg)	
		U	Th
SJE (n*: U=10; Th=08)	Média	7,14	1,80
	Mediana	6,68	1,55
	Mínimo	1,5	1,00
	Máximo	14,5	3,0
	DP	4,6	0,65
	CV (%)	64,5	36,13
PT (n*: U=21; Th=10)	Média	3,01	3,03
	Mediana	3,06	1,90
	Mínimo	1,56	1,50
	Máximo	3,9	7,40
	DP	0,72	2,15
	CV (%)	24,0	70,9
SM (n*: U=09; Th=06)	Média	8,59	2,08
	Mediana	5,87	1,60
	Mínimo	2,95	1,50
	Máximo	27,5	3,90
	DP	7,72	0,94
	CV (%)	89,9	44,97
SL (n*: U=15; Th=15)	Média	10,35	4,74
	Mediana	7,00	4,0
	Mínimo	4,74	1,50
	Máximo	33,09	12,60
	DP	7,95	3,30
	CV (%)	76,8	69,7
SJS (n*: U=08; Th=07)	Média	31,5	4,99
	Mediana	16,2	3,70
	Mínimo	8,16	1,50
	Máximo	144,9	13,7
	DP	46,25	4,20
	CV (%)	146,9	84,32
JS (n*: U=10; Th=06)	Média	5,89	3,03
	Mediana	4,63	2,45
	Mínimo	2,29	1,60
	Máximo	16,37	7,0
	DP	4,09	2,03
	CV (%)	69,39	66,8
RMR (n*: U=11; Th=06)	Média	4,86	3,40
	Mediana	3,86	3,60
	Mínimo	2,40	1,0
	Máximo	15,3	5,4
	DP	3,56	1,62
	CV (%)	73,15	47,5

SJE: São José de Espinharas; PT: Patos; SM: São Mamede; SL: Santa Luzia; SJS: São José do Sabugí; JS: Junco do Seridó; RMR: Região Metropolitana do Recife. DP: Desvio Padrão. CV: Coeficiente de Variação. *Número de amostras válidas. Valores inferiores ao limite de detecção não considerados.

Fonte: Próprio autor (2018)

A Tabela 15 apresenta os resultados da análise descritiva para os valores válidos (exceto valores inferiores ao limite de detecção) que constam na Tabela 20 (Apêndice F). Os parâmetros abordados correspondem a valores para tendência central, média e mediana, bem como valores correspondentes à dispersão dos dados, sendo os valores máximo e mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação determinantes para esta caracterização.

O número de amostras do estudo, para cada elemento, é dado como n . Deste modo, os valores obtidos para U e o Th apresentaram considerável variabilidade em todos os municípios, caracterizando as amostras, a partir dos coeficientes de variação, como heterogêneas em distribuição.

Os menores resultados alcançados para o U foram obtidos de amostras dos municípios de Patos (1,60 $\mu\text{g/kg}$) e São José de Espinharas (com 1,50 $\mu\text{g/kg}$), onde se localiza a jazida uranífera. São José de Espinharas ainda obteve o maior valor (14,5 $\mu\text{g/kg}$) superado por 13,1 % dos valores para o U (ver Tabela 20, Apêndice F).

Para o Th, os menores resultados foram obtidos no município de São José de Espinharas e na RMR, ambos com 1,0 $\mu\text{g/kg}$. Os valores máximos (12,6 $\mu\text{g/kg}$ e 13,7 $\mu\text{g/kg}$) foram obtidos para os municípios de Santa Luzia e São José do Sabugí, respectivamente.

Considerando a média para os valores obtidos nos diferentes municípios, tem-se que São José do Sabugí obteve maior valor para o U (31,5 $\mu\text{g/kg}$) e para o Th (4,99 $\mu\text{g/kg}$). A menor concentração média para o U foi encontrada no município de Patos, com 3,01 $\mu\text{g/kg}$, sendo ainda o município onde obteve-se um dos menores valores médios para o elemento Th (3,03 $\mu\text{g/kg}$), superado por São José de Espinharas, com menor média para o Th (1,80 $\mu\text{g/kg}$).

O fato do município de São José de Espinharas não ter apresentado os maiores valores deste estudo, para U e Th, reforça o entendimento sobre as influências da jazida uranífera em toda a área estudada, o que corrobora com resultados de pesquisas recentes sobre influências dos radionuclídeos naturais nesta região (CHARFUELÁN, 2014; SANTOS, 2016), sobretudo ao considerar o município de São José do Sabugí com os maiores valores encontrados (ARAÚJO, 2014; BEZERRA, 2015).

Os valores médios para as concentrações dos elementos U e Th, em comparação aos valores máximos obtidos para cada elemento, demonstram a discrepância existente em relação à distribuição dos dados, porém, variações nas

concentrações de U e Th em diferentes dentes são esperadas, visto serem influenciadas diretamente pelos hábitos individuais, proporcionando diferentes possibilidades de absorção desses metais (PATE, 1994; MIELE et al., 2007).

A Tabela 16 aborda os resultados das concentrações de U e Th para as espículas ósseas analisadas, onde observa-se grande amplitude de valores para o U, com concentração de 45,1 µg/kg, em São Mamede, a 1.451,2 µg/kg, em Santa Luzia. Para o Th, verifica-se valor mínimo de 7,5 µg/kg e máximo de 78,4 µg/kg, em São Mamede e Santa Luzia, respectivamente.

Tabela 16 – Concentração dos radionuclídeos U e Th em ossos alveolares

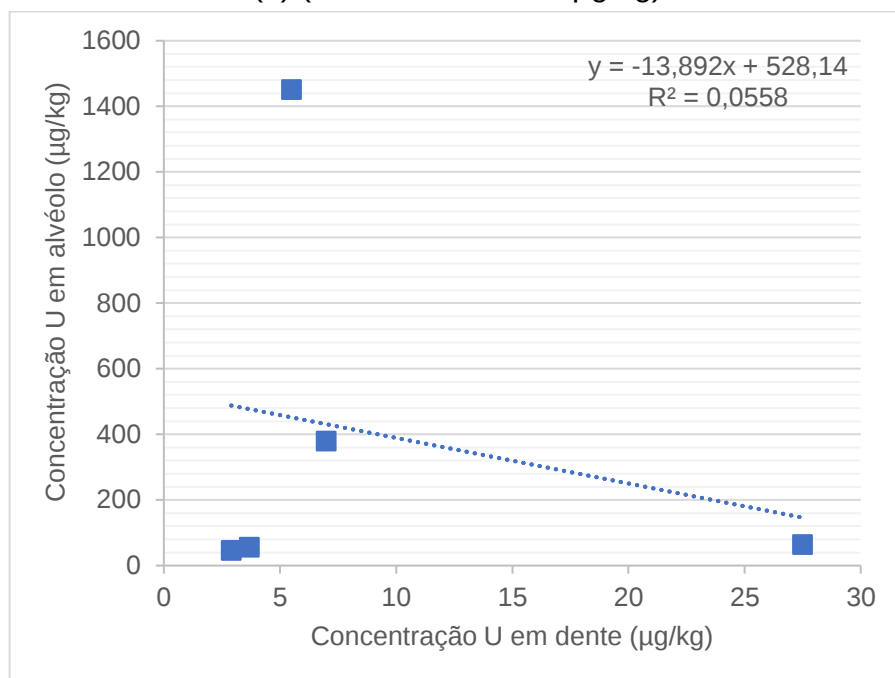
AMOSTRA	RADIONUCLÍDEO ANALISADO (µg/kg)	
	U	Th
SM003	62,9	77,4
SM007	45,1	7,5
PT015	48,8	26,6
PT016	55,7	19,9
SL011	920,1	63,5
SL014	1451,2	78,4
SL081	378,4	24,4

São Mamede: SM003; SM007. Patos: PT015; PT016. Santa Luzia: SL011; SL014; SL081.

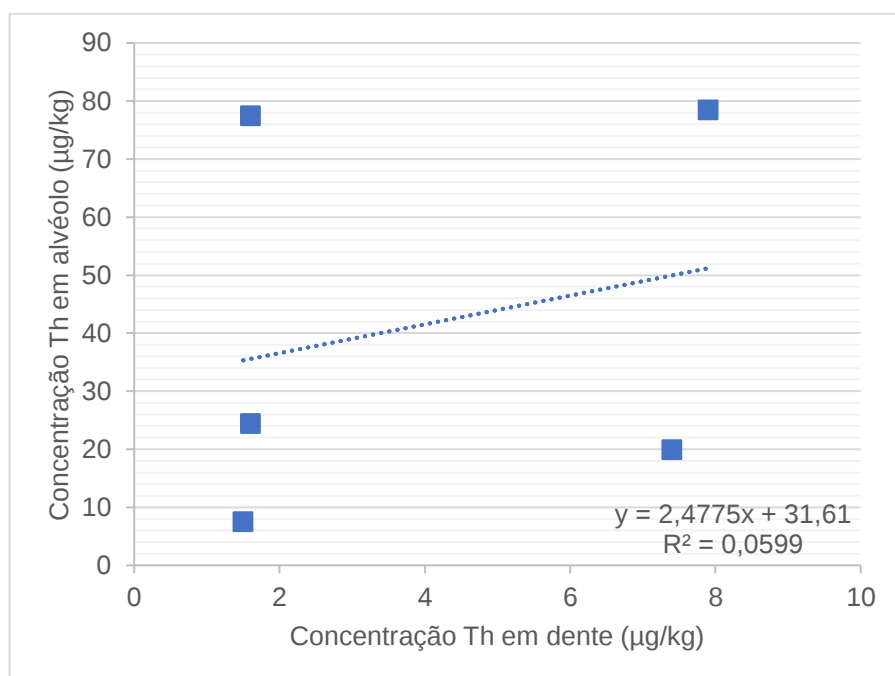
Fonte: Próprio autor (2018)

Dentre os 7 indivíduos dos quais foram extraídas espículas ósseas, 5 também apresentaram dentes com resultados válidos, então, verificaram-se as relações lineares entre os valores obtidos para as concentrações de U e Th em ossos alveolares e os respectivos valores para dentes, como mostra a Figura 24.

Figura 24 – Correlação entre concentrações em dentes e alvéolos para U (a) e Th (b) (valores dados em $\mu\text{g/kg}$)



(a)



(b)

Valores inferiores ao limite de detecção não utilizados. Considerados os valores de concentração para indivíduos doadores de dente e alvéolo.

Fonte: Próprio autor (2018)

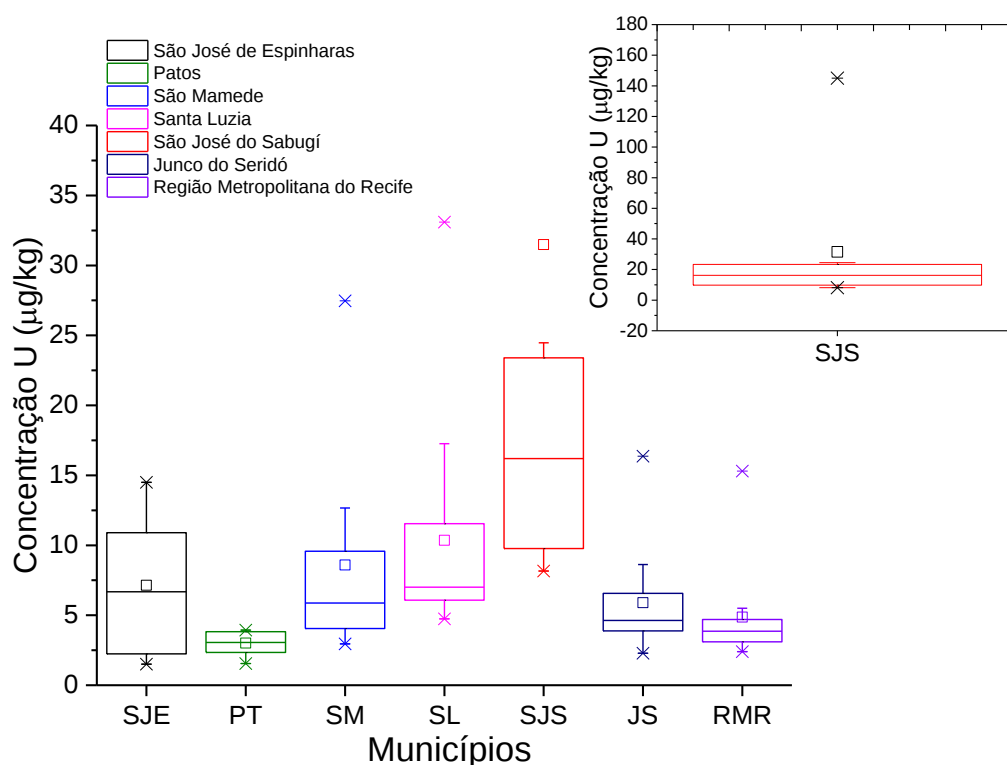
Através do comportamento das retas ajustadas (Figura 24), observa-se, conforme valor do coeficiente R^2 , não haver correlação entre as concentrações de U e Th em dentes e alvéolos de mesmos indivíduos, sendo as concentrações dos

ossos consideravelmente superiores. Este efeito reforça o conhecimento sobre a influência das diferenças estruturais entre ossos e dentes em relação ao potencial de absorção de radionuclídeos.

A Figura 25 exibe características da dispersão das concentrações do U nos dentes avaliados de forma a possibilitar a comparação do comportamento dos dados nos diferentes municípios, além de destacar didaticamente a dispersão dos resultados para o município de São José do Sabugí, onde buscou-se analisar o comportamento dos valores com e sem a presença de *outlier*.

Para os dados referentes ao município de São José do Sabugí, em virtude da existência de amplitude elevada ($\sim 137 \mu\text{g/kg}$), optou-se por construir diagramas que evidenciassem duas situações particulares, onde a partir da remoção do valor discrepante para inserção do diagrama junto aos demais, pode-se verificar uma tendência à normalização dos dados, ao passo que destacou-se um diagrama com a presença do *outlier* para permitir a verificação do potencial de alteração do comportamento dos dados na presença da discrepância.

Figura 25 – Representação da dispersão de dados para as concentrações de U em amostras de dentes. Dados agrupados por município/área

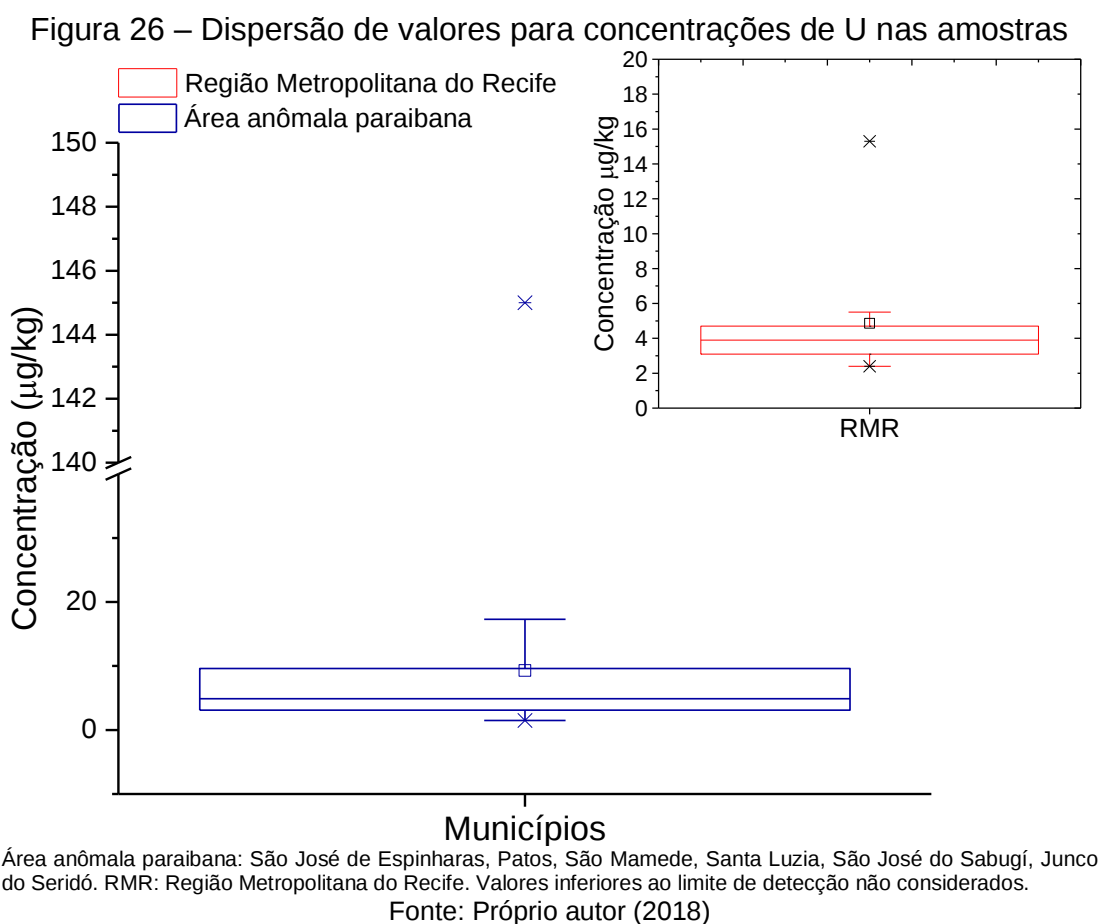


SJE: São José de Espinharas; PT: Patos; SM: São Mamede; SL: Santa Luzia; SJS: São José do Sabugí; JS: Junco do Seridó; RMR: Região Metropolitana do Recife. Valores inferiores ao limite de detecção não considerados.

Fonte: Próprio autor (2018)

A partir das situações verificadas nos diagramas correspondentes a cada município, representados na Figura 25, verificam-se valores máximos que evidenciam a presença de dados discrepantes para os municípios de Patos, São Mamede, Santa Luzia, Junco do Seridó, para a RMR e, sobretudo, para o município de São José do Sabugí.

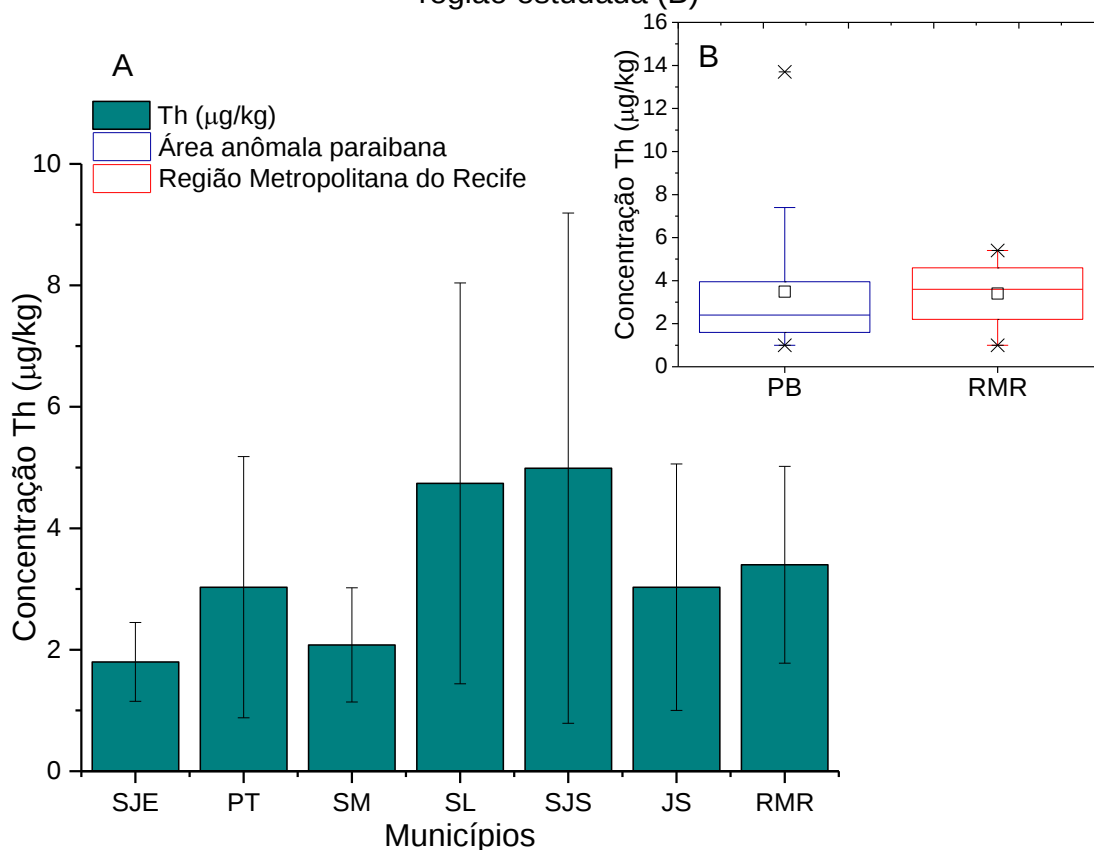
A Figura 26, além de retratar didaticamente a dispersão dos resultados para o conjunto total de dados obtidos na área paraibana influenciada por radioatividade natural, compara o comportamento desses valores com a dispersão dos dados obtidos para a RMR. Em ambos os conjuntos de dados, valores discrepantes ou *outliers* apresentam-se com influência na caracterização da heterogenicidade dos dados.



Para o radionuclídeo Th, a dispersão dos valores obtidos pode ser analisada a partir dos gráficos visualizados na Figura 27, onde em A observam-se as médias das concentrações do Th (dadas em µg/kg) por município analisado, bem como o desvio padrão para cada conjunto. Em B, pode-se observar a dispersão dos valores

obtidos para as amostras referentes à área dos municípios paraibanos e a RMR, permitindo analisar parâmetros descritivos, sobretudo a média, mediana e os valores extremos associados a *outliers*.

Figura 27 – Dispersão de valores para concentrações de Th por município (A) e por região estudada (B)



SJE: São José de Espinharas; PT: Patos; SM: São Mamede; SL: Santa Luzia; SJS: São José do Sabugí; JS: Junco do Seridó; RMR: Região Metropolitana do Recife. Valores inferiores ao limite de detecção não considerados.

Fonte: Próprio autor (2018)

Observa-se na Figura 27 que, para os municípios analisados, os dados apresentam comportamento variável para distribuição do Th, com destaque para os municípios de Santa Luzia e São José do Sabugí cujas médias da concentração superam os demais. Para todos os conjuntos, os valores elevados do desvio padrão determinam a variabilidade da distribuição dos dados, sobretudo em São José do Sabugí. Em B, a distorção no posicionamento da média em relação à mediana e a evidência de valor discrepante destaca a variabilidade encontrada para o conjunto com todos os dados da região paraibana pesquisada.

Com os resultados abordados, percebe-se a influência de São José do Sabugí nos valores das concentrações dos radionuclídeos, o que foi evidenciado em estudos realizados por Araújo (2014) através do Departamento de Energia Nuclear

(DEN) da Universidade Federal de Pernambuco, em área que abrange os municípios de Santa Luzia e São José do Sabugí. No estudo, determinaram valores que corroboram com os dados desta pesquisa quando apontam o município de São José do Sabugí como área de maior influência de atividade radioativa natural.

Para Araújo (2014), a área do município de São José do Sabugí apresenta valores superiores ao limite estabelecido pela UNSCEAR para materiais de construção, quando se consideram as atividades específicas dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{232}Th e ^{40}K , logo possibilitando exposição dos habitantes à radioatividade natural no interior das residências. No mesmo estudo, ao comparar médias aos valores mundiais, verificou-se que o município apresenta média superior em 4 vezes.

Pesquisas realizadas por Bezerra (2015), através da inserção de dosímetros termoluminescentes (TLDs) em residências dos municípios de São José de Espinharas, Patos, São Mamede, Santa Luzia e São José do Sabugí, obteve valores médios para taxa de dose anual *indoor*, em ambientes fechados, para habitantes da região. Assumindo o valor de referência (0,41 mSv.a), estabelecido pela UNSCEAR para taxa de dose *indoor*, verificou, em 100% das amostras (n=178), valores superiores, destacando-se São José do Sabugí e Santa Luzia com as maiores médias descritas.

Ainda, pesquisas realizadas por Santos (2016), utilizando fios de cabelo de habitantes dos municípios de São José de Espinharas, São Mamede e São José do Sabugí, com habitantes do município de Patos compondo o grupo controle, constatou valores para concentrações de U e Th, onde o município de São Mamede destaca-se por ter apresentado média de 187,24 $\mu\text{g/g}$, para o U, sendo 25 vezes superior à média encontrada em Patos (7,31 $\mu\text{g/g}$), e sendo a média para o Th também superior à encontrada em Patos. O município de São José do Sabugí também apresentou média superior ao grupo controle, com São José de Espinharas como a área de menor influência para o U e o Th, considerando concentrações em cabelos, o que corrobora com este estudo quando percebe-se, em São José de Espinharas, o menor valor para concentrações de Th em dentes, sendo o 4º menor valor para o U, nesta pesquisa.

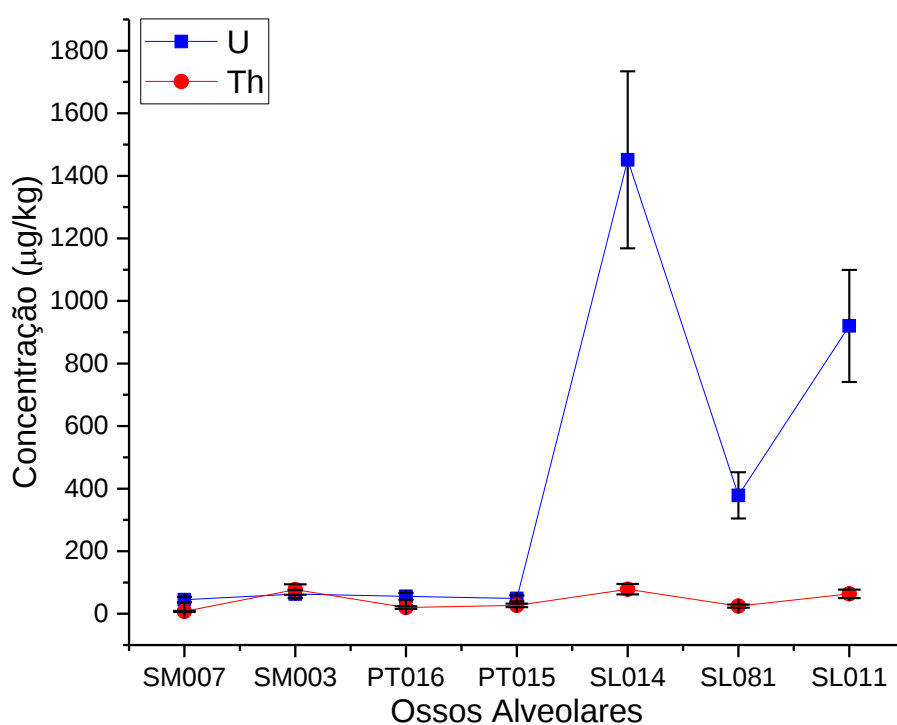
Charfuelán (2014), ainda pelo DEN, estabeleceu valores de dose efetiva externa anual, através de dados *outdoor* de medidas realizadas *in situ*, para habitantes do município de São Mamede, onde constatou valores superiores aos

limites estabelecidos pela UNSCEAR. Estas pesquisas reforçam evidências que indicam São José do Sabugí e a área pesquisada como região de influência anômala de radioatividade natural.

Os dados da Tabela 16, associados às respectivas incertezas analíticas, possibilitaram a construção do gráfico observado na Figura 28, onde pode-se comparar os valores das concentrações do U e do Th nos ossos alveolares. Apesar da facilidade de obtenção de dentes em relação ao osso e de sua afinidade iônica por metais, sabe-se que o tecido ósseo apresenta maior capacidade de mimetização do cálcio, visto o alto teor do elemento na composição tecidual, bem como a porosidade e plasticidade da estrutura (TSUJI et al., 1997; UNSCEAR, 2014).

Com isso, espera-se que concentrações de elementos químicos, a exemplo do U e Th, ocorram com maior teor em ossos, o que pode ser observado através da Tabela 16 e da Figura 28 quando o menor valor encontrado para o U em espícula óssea alveolar (45,1 $\mu\text{g/kg}$) supera 98,8% dos valores obtidos para dentes. Para o Th, 93,1 % dos valores válidos obtidos em dentes, encontram-se inferiores ao valor mínimo obtido para espícula óssea alveolar (7,5 $\mu\text{g/kg}$).

Figura 28 – Concentrações de U e Th nas amostras de ossos alveolares (valores dados em $\mu\text{g/kg}$)



São Mamede: SM007; SM003. Patos: BDHFIP; PT016; PT015. Santa Luzia: SL014; SL081; SL011.

Fonte: Próprio autor (2018)

Objetivando determinar o número de desintegrações específicas para as concentrações do U e Th e então comparar os valores obtidos com valores certificados pela UNSCEAR, realizaram-se conversões da massa de cada radionuclídeo encontrado, a partir da equação 3 expressa:

$$A = \lambda \cdot N$$

Ou seja:

(3)

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

Onde “A” equivale à atividade do elemento radioativo após decorrido um certo intervalo de tempo, “A₀” representa a atividade inicial do elementos radioativo, “λ” a constante de desintegração característica do material radioativo e “t” o tempo decorrido. Os resultados foram dados em μBq/g e podem ser visualizados na Tabela 21 (Apêndice G), para dentes, sendo para ossos alveolares observados na Tabela 22 (Apêndice H).

O anexo B do relatório oficial da UNSCEAR (2010) aborda dados referentes à atividade específica de U e Th em ossos. No relatório, assumem-se as massas ósseas corticais e trabeculares em 4kg e 1 kg, respectivamente e tem-se que a concentração de referência para atividades específicas de ²³⁸U em esqueleto (considerando 100 mBq/kg) apresenta valor de 500 mBq. Em relação ao ²³²Th, considera-se valor referencial médio de 70 mBq (6 mBq/kg a 24 mBq/kg), sendo para o ²³⁰Th um conteúdo referencial médio de 210 mBq (20 mBq/kg a 70 mBq/kg), ambos considerando esqueleto (UNSCEAR, 2010). Com isso, objetivou-se comparar esses valores aos dados deste estudo.

Por não existirem valores de referência na literatura, considerados por órgãos de certificação, para atividades específicas do U e Th em dentes (órgãos inteiros), justifica-se a comparação dos valores obtidos nesta pesquisa para dentes com valores de referência para o esqueleto humano. O fato de serem ambos constituídos por tecidos com estrutura mineral semelhante (ATSDR, 2011), a ponto de autores considerarem os dentes como parte do esqueleto (MANEA-KRICHTEN, 1991), constitui outro critério que configura segurança à comparação (TSUJI et al., 1997; ARRUDA NETO et al., 2004).

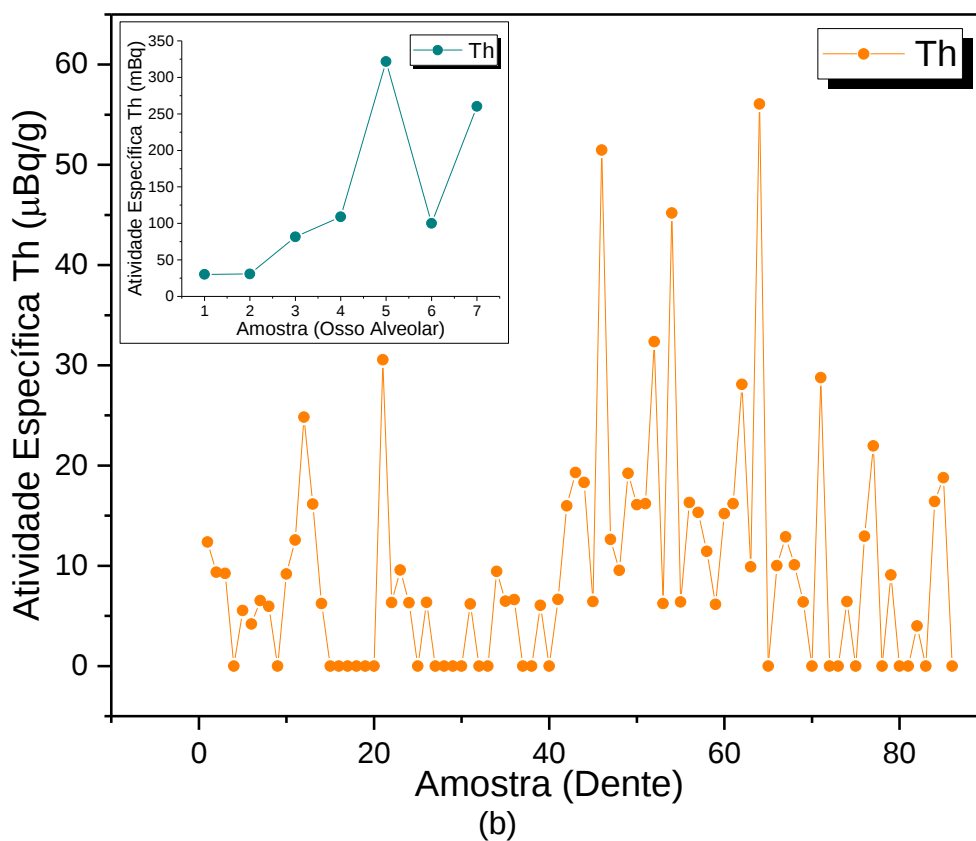
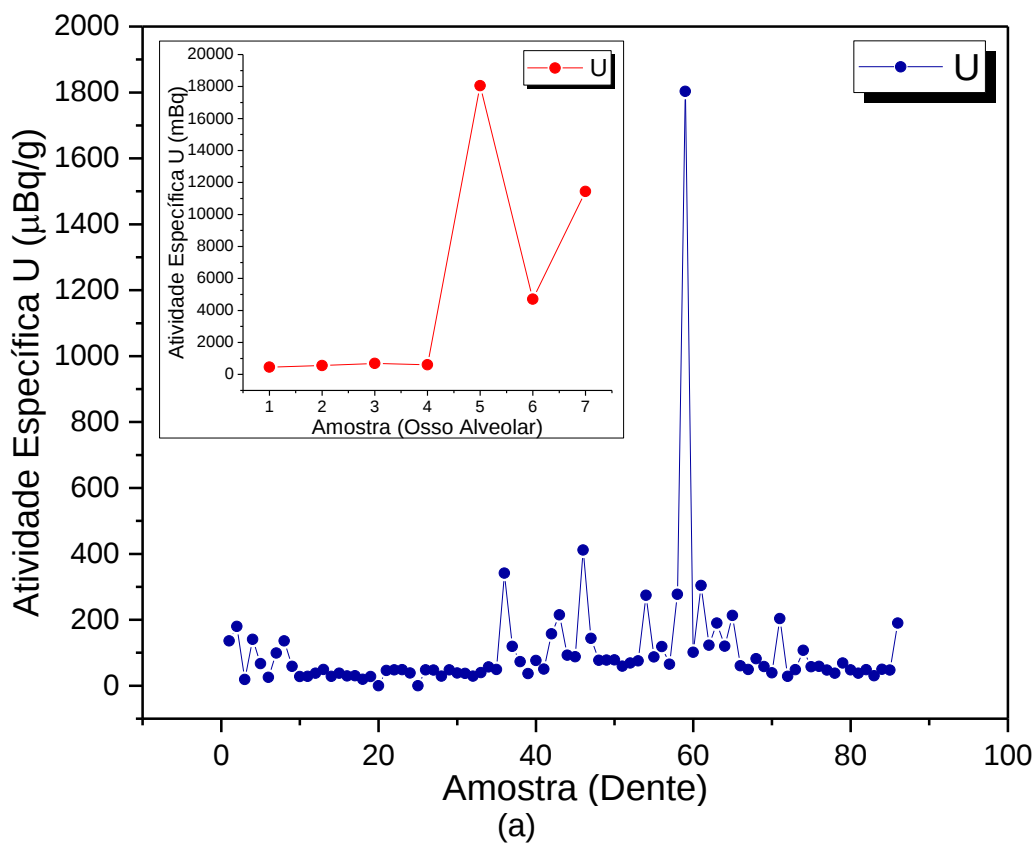
Desta forma, segue-se o método comparativo utilizado em pesquisas de Prado (2007) e Guimarães (2011), estudos importantes realizados no Brasil e com a

mesma metodologia desta pesquisa, quando realizaram estudo comparativo das concentrações obtidas em dentes com valores mundiais encontrados em ossos.

Visando ser o ^{238}U o radioisótopo mais abundante para o U (~99,2742%) e considerando, para o Th, abundância de aproximadamente 100% do isótopo ^{232}Th , consideraram-se os valores de 100 $\mu\text{Bq/g}$ (500 mBq/5kg) para o U e 56 $\mu\text{Bq/g}$ (210 mBq/5kg somados a 70 mBq/5kg) para o Th, como sendo atividades específicas de referência para osso, segundo UNSCEAR (2010).

A Figura 29, baseada nos dados da Tabela 21 (Apêndice G), para dentes, e da Tabela 22 (Apêndice H), para ossos alveolares, aborda o comportamento das atividades específicas para o U (a) e para o Th (b) em amostras de dentes e ossos alveolares, na tentativa de obter um estudo comparativo em relação aos dados certificados pela UNSCEAR (2010) para ossos.

Figura 29 – Atividades específicas para U (a) e Th (b) (valores em $\mu\text{Bq/g}$) em dentes e ossos alveolares



São José de Espinharas: 1 a 10; Patos: 11 a 33; São Mamede: 34 a 42; Santa Luzia: 43 a 57; São José do Sabugi: 58 a 65; Junco do Seridó: 66 a 75; Região Metropolitana do Recife: 76 a 86. Valores inferiores ao limite de detecção não utilizados.

Fonte: Próprio autor (2018)

Os valores para as atividades específicas, observados na Figura 29, variaram para o U e o Th, de modo que, para o U, em dentes, os valores mínimo e máximo são aproximados à faixa entre 15 e 1.800 $\mu\text{Bq/g}$. Para o Th, a amplitude se insere na faixa de valores aproximados a 4 e 56 $\mu\text{Bq/g}$, em dentes. Valores para U em ossos atingem 18.000 $\mu\text{Bq/g}$ e para Th chegam a aproximadamente 321 $\mu\text{Bq/g}$ de atividade específica.

O município de São José do Sabugí se destaca (com média para U de 391,7 $\mu\text{Bq/g}$), onde todos os valores encontrados superam o limite de referência e cujo valor máximo obtido (1.803,53 $\mu\text{Bq/g}$), ver Tabela 21 (Apêndice G), supera em 18 vezes a atividade referenciada, considerando o U.

Os municípios de Patos e Junco do Seridó, bem como a RMR, apresentaram os menores valores médios para atividades específicas do U, sendo, respectivamente, 37,45 $\mu\text{Bq/g}$; 73,35 $\mu\text{Bq/g}$ e 60,50 $\mu\text{Bq/g}$, todas inferiores ao limite estabelecido. São José de Espinharas, apesar da influência direta da jazida uranífera no município, apresentou média (88,87 $\mu\text{Bq/g}$) inferior ao limite de referência, para o U.

Para o elemento Th, tratando-se de atividades específicas, o município de São José do Sabugí também obteve destaque, com a maior média deste estudo (20,44 $\mu\text{Bq/g}$), valor este inferior ao limite de 56 $\mu\text{Bq/g}$ estabelecido pela UNSCEAR.

Visando melhor compreensão quanto aos níveis das concentrações dos radionuclídeos U e Th em dentes e ossos no Brasil e no mundo, realizou-se estudo comparativo, observado na Tabela 17, para interpretação dos resultados dessa pesquisa em relação aos limites estabelecidos por órgãos internacionais de certificação e para relacionar dados de regiões distintas, enfatizando a distribuição não uniforme desses elementos no organismo humano.

A Tabela 17 apresenta valores do alcance médio mundial das concentrações do U e Th em ossos e do U em dentes, segundo relatório oficial NAHRES-39, da IAEA (IYENGAR; TANDON, 1999). As concentrações de referência para osso são dadas a partir da descrição realizada pela UNSCEAR (2010), estabelecendo limites desejáveis para valores do U e Th em ossos humanos. Esses valores são utilizados para traçar o perfil radiométrico das áreas estudadas em comparação às concentrações obtidas e certificadas em outros países.

Tabela 17 – Estudo comparativo das concentrações de U e Th em dentes (valores dados em µg/kg)

Referência	Espécime	Radionuclídeo (Média em µg/kg)	
		U	Th
Média Geral-PB** (n*: U=73; Th=52)		9,29 (1,5 – 145,0)	3,49 (1,0 – 13,7)
São José de Espinharas-PB** (n*: U=10; Th=08)		7,14 (1,5 – 14,5)	1,80 (1,0 – 3,0)
Patos-PB** (n*: U=21; Th=10)		3,01 (1,56 – 3,9)	3,03 (1,5 – 7,4)
São Mamede-PB** (n*: U=09; Th=06)	Dente	8,59 (2,95 – 27,5)	2,08 (1,5 – 3,9)
Santa Luzia-PB** (n*: U=15; Th=15)		10,35 (4,74 – 33,09)	4,74 (1,5 – 12,6)
São José do Sabugí-PB** (n*: U=08; Th=07)		31,5 (8,16 – 145,0)	4,99 (1,5 – 13,7)
Junco do Seridó-PB** (n*: U=10; Th=06)		5,89 (2,29 – 16,37)	3,03 (1,6 – 7,0)
RMR-PE** (n*: U=11; Th=06)		4,86 (2,40 – 15,3)	3,40 (1,0 – 5,4)
¹ Alcance Médio Mundial	Osso	0,55 - < 0,83	310
² Alcance Médio Mundial	Dentina	7 - 34	-
³ Concentração de Referência	Osso	8,1	3,5
⁴ Caetité-BA	Dente (raiz)	52,3 (0,48 – 638,1)	9,4 (4,08 – 17,2)
⁴ Igaporã-BA	Dente (raiz)	10,8 (1,11 – 164,6)	6,0 (1,72 – 24,6)
⁴ Lagoa Real-BA	Dente (raiz)	27,9 (5,89 – 50)	5,0 (3,79 – 6,12)
⁴ Represa de Guarapiranga-SP	Dente	~2	-
^{5,6} Caetité-BA	Dente (raiz)	7 (9 – 30)	45 (14,2 – 59)
^{5,6} Santa Quitéria-CE	Dente (raiz)	6 (8 – 29)	38 (13 – 58)
^{5,6} Aracaju-SE	Dente (raiz)	< 2	55 (52 – 60)

**Este Estudo. ¹Igarashi et al. (1987); Lin (1988). ²Iyengar et al. (1978). ³UNSCEAR (2010). ⁴Prado (2007). ⁵Guimarães et al. (2011). ⁶Guimarães (2011). *Número de amostras válidas. Valores inferiores ao limite de detecção não considerados.

Fonte: Próprio autor (2018)

Observa-se, na Tabela 17, distribuições variáveis para concentrações de U e Th em dentes, a depender da área geográfica em que a pesquisa foi realizada. Essas variações médias também podem decorrer de diferenças quanto às

metodologias utilizadas para determinação dos radionuclídeos e o número da amostra dos estudos.

Quando comparada aos demais municípios, percebe-se que a RMR obteve média para o U (4,86 µg/kg) superior ao município de Patos (3,01 µg/kg) que, geograficamente, insere-se com maior proximidade em relação a São José de Espinharas, onde encontra-se a jazida de urânio. Quando observam-se os valores extremos, RMR aparece com valor (15,3 µg/kg) aproximadamente 4 vezes superior ao limite máximo obtido em Patos, superando, inclusive, o valor máximo do município de São José de Espinharas.

Logo, pode-se considerar que a RMR possivelmente apresenta áreas com ocorrências anômalas de material radioativo natural que influenciaram na composição estrutural dos espécimes analisados. Essas ocorrências podem ser provenientes de atividades de exploração mineral, muito difundidas na região, ou mesmo por ocorrência natural de concentrações elevadas de material radioativo.

Os dados obtidos neste estudo foram comparados com valores analisados para o grupo controle em pesquisas realizadas no Brasil por Prado (2007) e Guimarães (2011), onde respectivamente, Represa de Guarapiranga-SP (~2 µg/kg) e Aracaju-SE (<2 µg/kg) configuraram como grupos controle ideais para o estudo comparativo, concluindo ser, a média deste estudo para área uranífera paraibana, quase 5 vezes superior, e o valor máximo, 72 vezes superior aos valores para os grupos controle das pesquisas comparadas, considerando o elemento U.

Em comparação ao alcance médio mundial do U para osso, a média geral das concentrações deste estudo, para a área uranífera (9,29 µg/kg), é superior em quase 17 vezes, o que não é observado em relação ao Th. Para o alcance mundial do U em dentes (dentina), esta média está na faixa mundial estabelecida (7 µg/kg-34 µg/kg). Para o valor de referência do U (8,1 µg/kg), dado pela UNSCEAR (2010), consta-se como superior. Para o Th, a média da área uranífera (3,49 µg/kg) apresenta valor ligeiramente inferior ao descrito como referência (3,5 µg/kg).

Considerando a concentração de referência da UNSCEAR (2010) para o U, em osso, apenas os municípios de São José do Sabugí (31,5 µg/kg), Santa Luzia (10,35 µg/kg) e São Mamede (8,59 µg/kg) apresentaram médias superiores, sendo a menor média (3,01 µg/kg), encontrada em Patos, quase três vezes inferior.

Observando as concentrações médias por município analisado nesta pesquisa, verifica-se que, para o U, em relação ao alcance médio mundial em ossos

e dentes, todos os valores médios obtidos apresentaram-se superiores, destacando-se o município de São José do Sabugí, cuja média é superior em até 57 vezes ao alcance médio para osso, sendo até 4,5 vezes superior em comparação ao alcance médio mundial para dentina.

Para o Th, todas as médias dos municípios desse estudo foram inferiores em relação ao alcance médio mundial para osso, sendo a maior média (4,99 µg/kg), encontrada no município de São José do Sabugí, consideravelmente inferior ao alcance médio mundial (310 µg/kg). Para a concentração de referência (3,5 µg/kg) dada pela UNSCEAR, apenas as médias dos municípios de São José do Sabugí e Santa Luzia foram superiores.

Quando se observam os valores médios das concentrações de U para dentes em outras pesquisas realizadas no Brasil, percebe-se a influência da média do município de São José do Sabugí sobre os resultados desta pesquisa, visto ser superior aos valores encontrados para o U para os municípios de Igaporã (10,8 µg/kg) e Lagoa Real (27,9 µg/kg), no estado da Bahia, bem como para a Represa de Guarapiranga (~2 µg/kg), São Paulo, em pesquisa realizada por Prado (2007).

As médias obtidas por Guimarães et al. (2011) para Caetité (7 µg/kg), estado da Bahia, Santa Quitéria (6 µg/kg), Ceará e Aracaju (< 2 µg/kg), estado do Sergipe também foram superadas pela média de São José do Sabugí, para o U. Porém, quando considera-se o elemento Th, todos os municípios desse estudo apresentaram média inferior às médias dos estudos nacionais comparados.

Ao comparar os resultados desta pesquisa com demais estudos nacionais realizados em dentes, deve-se considerar que Prado (2007) e Guimarães (2011) utilizaram dentes com coroa totalmente amputada, como consequência da existência de lesões de cárie que comprometeriam os resultados, logo analisaram apenas raízes. Deste modo, considera-se a importância da inclusão de dentes hígidos neste estudo, visto o entendimento de que a perda da estrutura coronária implica na redução da concentração dos radionuclídeos analisados, considerando a heterogênea distribuição dos mesmos na estrutura dentária.

5.4.2 Análise Fatorial

Como procedimento alternativo para identificação da associação entre componentes químicos, bem como de influências ambientais na composição estrutural dos dentes avaliados, realizou-se a análise estatística fatorial (ou de componentes principais) (Tabela 18), que propõe a redução de variáveis e posterior identificação de potenciais fontes de contaminação envolvendo o ambiente externo.

Observa-se, na Tabela 18, as cargas dos principais fatores calculados em função da aplicação da rotação Varimax e da normalização de Kaiser, a partir dos quais apenas os valores superiores a 0,5 representaram adequação aos parâmetros de correlação.

Tabela 18 – Cargas de fatores a partir da aplicação de rotação Varimax e normalização de Kaiser

Elemento	COMPONENTES			Comunalidades
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	
Mn	0,84	-0,17	-	0,74
Ca	-0,77	-0,13	0,16	0,40
Ti	0,77	0,14	0,31	0,53
Si	0,38	-	-	0,41
Sr	-	0,62	-0,15	0,41
Fe	0,12	0,60	0,11	0,71
Zn	-	0,54	0,34	0,15
Ni	-0,50	-0,51	0,25	0,64
Mg	-	-0,23	0,23	0,50
K	-0,14	-	0,69	0,11
U	0,16	-0,28	0,60	0,47
Th	-	0,12	0,53	0,30

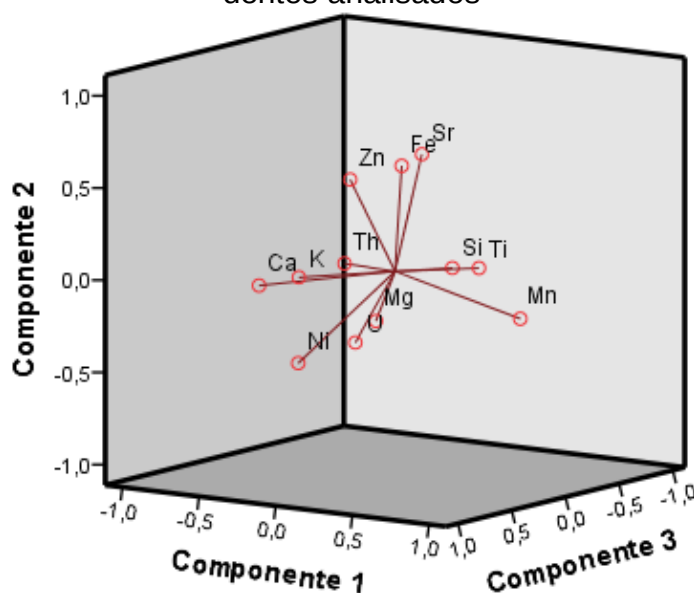
Fonte: Próprio autor (2018)

As medidas Kaiser-Meyer-Olkin de adequação de parâmetros amostrais, com valor igual a 0,56, bem como o teste de esfericidade de Bartlett, com valor inferior a 0,05, permitiram afirmar que os dados compõem um modelo válido de análise fatorial. O fator de comunalidade permitiu a conclusão de que todas as variáveis analisadas devem ser consideradas.

A partir dos valores obtidos mediante análise fatorial, observados na Tabela 18, foi possível a construção do gráfico visualizado na Figura 30, onde percebe-se a proximidade de relação entre os diferentes elementos químicos, a partir de diferentes fatores. Nota-se, no componente 3, um menor número de elementos com cargas superiores a 0,5, o que evidencia, a partir das considerações sobre fontes de

contaminação e associação a diferentes elementos químicos, de Nriagu (1989) e Herrero (2012), correlação entre elementos considerados influenciados por atividades antropogênicas, assim como o componente 2 que descreve correlação entre Sr, Fe, Zn e Ni. O componente 1 evidencia tendência a correlação entre elementos de origem natural, visto maior carga para o Ca e para os elementos Ti, Ni e Mn.

Figura 30 – Correlação entre elementos químicos que compõem a estrutura dos dentes analisados

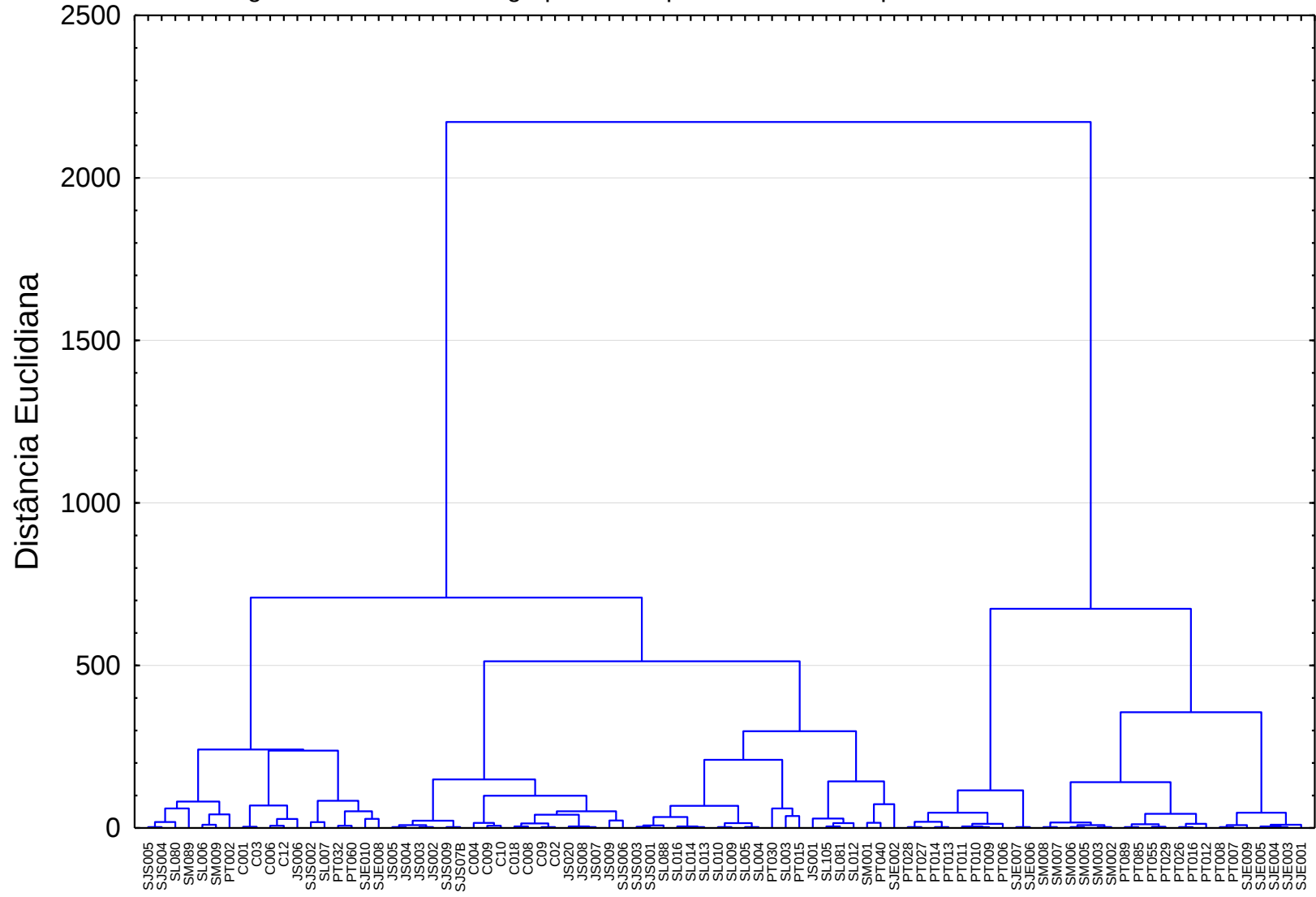


Fonte: Próprio autor (2018)

Com o objetivo de verificar semelhanças quanto às concentrações dos diferentes elementos químicos obtidos na composição dos dentes avaliados, realizou-se a análise de agrupamentos (Figura 31), a partir dos valores obtidos pela análise fatorial, com a utilização do método de *Ward* e das distâncias *City-block* (Manhattan). No dendrograma visualizado, que representa valores correspondentes às concentrações dos diferentes elementos químicos analisados nos dentes, ainda pode-se observar as dissimilaridades entre os diferentes agrupamentos, de acordo com a distância Euclidiana relacionada.

No gráfico da Figura 31, cada amostra analisada caracteriza um paciente atendido durante o estudo, nos diferentes municípios avaliados, permitindo considerar os agrupamentos como referentes às influências ambientais de cada área estudada sobre cada habitante.

Figura 31 – Análise de agrupamentos para os diferentes pacientes avaliados



No dendrograma da Figura 31, evidenciam-se agrupamentos importantes entre habitantes de mesmos municípios, situação verificada sobretudo em Patos, São Mamede, São José de Espinharas, Santa Luzia e Junco do Seridó. Esses dados traçam importantes considerações a respeito das influências do ambiente na composição de dentes e estruturas mineralizadas. Ainda, observam-se algumas similaridades entre habitantes de municípios próximos, o que pode ser justificado pelas semelhanças geológicas existentes entre os diferentes municípios da área estudada.

As maiores distâncias de agrupamentos observadas estão relacionadas à comparação entre habitantes da RMR e habitantes da área influenciada pela jazida uranífera, o que pode ser explicado em virtude das dissimilaridades existentes entre as áreas geográficas.

Apesar dos resultados da análise multivariada representarem agrupamentos entre indivíduos de localidades próximas, pode-se verificar a ocorrência de agrupamentos heterogêneos, envolvendo todos os municípios do estudo, o que seria esperado, justificando a grande variabilidade de comportamentos entre os componentes estruturais de dentes humanos, o que pode estar relacionado também a características diversas dos indivíduos, a mencionar hábitos deletérios (fumo e etilismo), água de consumo, alimentação ou ocorrência de procedimentos odontológicos em cavidade bucal.

Apesar de terem sido detectadas concentrações elevadas de radionuclídeos nos ambientes estudados, sabe-se que fatores como drogas, substâncias químicas de alimentos, hábitos deletérios e parafuncionais ou exposições a materiais odontológicos durante tratamento dentário, podem contribuir para adsorções superficiais e incorporações de elementos químicos nos tecidos humanos. Portanto, apenas com os resultados deste estudo torna-se inviável o diagnóstico de alterações orgânicas e comprometimentos sistêmicos dos habitantes como provenientes exclusivamente das atividades anômalas da radiação natural as quais encontram-se expostos.

Contudo, pode-se relacionar as atividades detectadas para os radionuclídeos analisados ao risco referente a habitação em área anômala em radioatividade natural e, desta forma, atribuir contribuições da radiação natural quanto à possibilidade de alterações a nível celular, em virtude da exposição à atividade radioativa.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O Ca obteve a maior influência nos resultados para os elementos analisados.
- Foram identificados os contaminantes tóxicos Cu, Pb e V, em amostras de dentes.
- As análises de radionuclídeos indicaram a presença de U e Th em amostras de todos os municípios, com médias para U, em dentes, superiores ao alcance médio mundial.
- As médias para concentrações de U em dentes, referentes à área paraibana e à RMR, foram superiores ao limite estabelecido pela UNSCEAR.
- Todos os valores obtidos para U e Th, em ossos alveolares, superaram o alcance médio mundial e o limite UNSCEAR.
- As áreas pesquisadas contribuem para transferência de radionuclídeos naturais para o organismo dos habitantes;
- Devido aos valores elevados para concentrações de U e Th em algumas amostras, sobretudo de São José do Sabugí, recomenda-se uma avaliação citogenética dos indivíduos para verificação de possíveis efeitos genotóxicos.

REFERÊNCIAS

- A2LA. A Better World Through Accreditation. Disponível em: <[https:// www. a2la. org/](https://www.a2la.org/)>. Acesso em: 13 nov. 2018.
- ABU-HAIJA, O. Determination of Natural Radionuclides Concentrations in Surface Soil in Tafila/Jordan. **Modern Applied Science**, Canada, v. 6, n. 3, p. 87-90, 2012.
- AMAECHI, B. T.; HIGHAM, S. M. In vitro remineralisation of eroded enamel lesions by saliva. **J. Dent.**, v. 29, n. 5, p. 371-376, 2001.
- AMORIM, F. A. C. et al. Espectrometria de Absorção Atômica: o caminho para determinações multi-elementares. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1.784-1.790, 2008.
- AMR, M. A. Trace elements in Egyptian teeth. **Int. J. Phys. Sci.**, v. 6, n. 27, p.6241-6245, 2011.
- ARRUDA-NETO et al. Study of metals transfer from environment using teeth as biomonitor. **Environment International**, v. 36, p. 243–246, 2010.
- ASADUZZAMAN, K. et al. Heavy metals in human teeth dentine: a bio-indicator of metals exposure and environmental pollution. **Chemosphere**, v. 176, p. 221-230, 2017.
- ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. **Toxicological Profile for Uranium**. Atlanta, 2011. 526 p.
- AITIO, A; KALLIO, A. Exposure and effect monitoring: a critical appraisal of their practical application. **Toxicology Letters**, England, v. 108, n. 2-3, p. 137-147, 1999.
- ALAVANJA, M. C. R. Biologic damage resulting from exposure to tobacco smoke and from radon: implication for preventive interventions. **Oncegene**, United Kingdom, v. 21, n. 48, p. 7.365-7.375, 2002.
- ARAÚJO, E. E. N. **Avaliação da atividade do Rádio Equivalente na matéria-prima das olarias do Sertão Paraibano e adjacências**. 2014. 81p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares). Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.
- ARRUDA NETO, J. D. T. et al. Long-term accumulation and microdistribution in the bone and marrow of beagle dog. **International Journal of Radiation Biology**, v. 80, n. 8, p. 567- 575, 2004.
- ACGIH. Association Advancing Occupational and Environmental Health. **TLVs and BEIs: based documentation of threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices**. Cincinnati, 2012.

BARTON, H. J. Advantages of the Use of Deciduous Teeth, Hair, and Blood Analysis for Lead and Cadmium Bio-Monitoring in Children. A Study of 6-Year-Old Children from Krakow (Poland). **Biol Trace Elem Res.**, v. 143, p. 637-658, 2011.

BERCOVITZ, K. et al. Low lead level in teeth in Israel. **Sci. Total Environ.**, Spain, v. 136, p. 135-141, 1993.

BERCOVITZ, K.; LAUFER, D. Carious teeth as indicators to lead exposure. **Bull. Environ. Contam. Toxicol.**, New York, v. 50, p. 724-729, 1993.

BERCOVITZ, K.; LAUFER, D. Systematic lead absorption in human tooth roots, **Arch. Oral. Biol.**, v. 37, n. 5, p. 350-357, 1990.

BEZERRA, J. D. Dosimetria Termoluminescente na avaliação da dose “indoor” das residências do município de São José de Espinharas-PB. 2015. 85 p. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares). Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

BLAMUSA, M.; IVICIC, N.; SIMEON, V. Lead, iron, copper, zinc and ash in deciduous teeth in relation to age and distance from a lead smelter. **Bull. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 45, p. 478, 1990.

BROWN, C. J. et al. Environmental influences on the trace element content of teeth: implications for disease and nutritional status. **Archives of Oral Biology**, v. 49, p. 705-717, 2004.

BUDAVARI, S. **The Merck Index**: an encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals. 12th ed. Australia: Whitehouse Station, 1996.

CALCAGNOTTO, T.; VISIOLI, F.; PONZONI, D. Causas de extrações dentárias em uma população da região metropolitana do Rio Grande do Sul. **Robrac.**, v. 17, n. 44, p. 98-103, 2008.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística**: princípios de aplicações. Porto Alegre: Artmed, 2003. 255 p.

CARDOSO, L. X. **Análise de radionuclídeos naturais e artificiais do solo e de produtos alimentícios no Estado de Sergipe, principalmente na região do platô de Neópolis (SE)**. 2012. 102p. Tese (Doutorado em física). Universidade Federal de Sergipe – Núcleo de Pós-graduação em física, 2012.

CARVALHO, M. L. et al. Fluorine determination in human healthy and carious teeth using the PIGE technique. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B**, v. 179, n. 04, p. 561-567, 2001.

CARVALHO, M. L. et al. Human teeth elemental profiles measured by synchrotron X-ray fluorescence: dietary habits and environmental influence. **X Ray Spectrom.**, v. 30, p. 190-193, 2001.

CHADWICK, V. J.; OUTRIDGE, P. M.; GARLICH-MILLER, J. L. Indication of two Pacific walrus stocks from whole tooth elemental analysis. **Polar Biol.**, v. 31, p. 933-943, 2008.

CHARFUELÁN, J. M. J. Caracterização de material radioativo de ocorrência natural (NORM) no município de São Mamede – Paraíba. 2014. 79 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares). Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

CHEW, L. T. et al. Zinc, lead and copper in human teeth measured by induced coupled argon plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES). **Appl. Radiat. Isot.**, v. 53, n. 4-5, p. 633-638, 2000.

COHEN, D. D., CLAYTON, E., AINSWORTH, T. Preliminary investigations of trace element concentration in human teeth. **Nucl. Instr. Methods**, v. 188, n. 1, p. 203-209, 1981.

COPELAND, S. R. et al. Strontium isotope ratios in fossil teeth from South Africa: assessing laser ablation MC-ICP-MS analysis and the extent of diagenesis. **J. Archaeol. Sci.**, v. 37, p. 1437-1446, 2010.

CRAFT, E. S. et al. Depleted and natural uranium: chemistry and toxicological effects. **Journal of Toxicology and Environmental Health**, United States of America, v. 7, n. 4, p. 297-317, 2004.

CRASTO, A. M. **Atomic Absorption Spectroscopy**. Disponível em: <http://www.nuigalway.ie/chemistry/level2/courses/CH205_atomic_absorption_spectroscopy.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2018. Somente il. color.

CURY, A. J. **Você é Insubstituível**. Rio de Janeiro: Sextante, 2012. 64 p.

CURZON, M. E. J.; CROCKER, D. C. Relationships of trace elements in human tooth enamel to dental caries. **Arch. Oral. Biol.**, v. 23, n. 8, p. 647-653, 1978.

CUTRESS, T. W. A preliminary study of the microelement composition of the outer layer of dental enamel. **Caries Res.**, v. 13, n. 2, p. 73-79, 1990.

DEAN, A. G.; SULLIVAN, K. M.; SOE, M. M. OpenEpi: Open Source Epidemiologic Statistics for Public Health (2013). Disponível em: <http://www.openepi.com/Menu/OE_Menu.htm>. Acesso em: 17 mar. 2018.

EISENBUD, M. **Environmental Radioactivity**. 2. ed. Orlando: Academic Press, 1987.

EISENBUD, M.; GESELL, T. **Environmental Radioactivity: From Natural, Industrial and Military Sources**. 4. ed. London: Academic Press, 1997.

FERNANDES, H. M.; RIO, M. A. P.; FRANKLIN, M. R. **Impactos Radiológicos da Indústria do Fosfato**. 1. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral/Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2004. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/>>

series/serie-estudos-e-documentos/item/243-impactos-radiologicos-da-industria-do-fosfato>. Acesso em: 24 maio 2015.

FISENNE, I. M. Uranium in the biosphere: What are the “natural” concentrations? p. 472-473 in: Transactions of the American Nuclear Society, 2002 Winter Meeting. American Nuclear Society, 2002.

FRANK, R. M. et al. Zinc and strontium analyses by energy dispersive x-ray fluorescence in human permanent teeth, **Archs. Oral Biol.**, v, 34, n. 8, p. 593-597, 1989.

FREMLIN, J. H.; EDMONDS, M. I. The determination of lead in human teeth. **Nuclear Instruments and Methods**, United States of America, v. 173, n. 1, p. 211-215, 1980.

FROEHLICH, K. **Environmental Radionuclides: Tracers and Timers of Terrestrial Processes**. 1ª ed. Amsterdam: Elsevier Science, 2010, 432 p.

GARCIA, E. A. C. **Biofísica**. 2. ed. São Paulo: Sarvier, 2002, 387 p.

GIL, F. et al. Dental lead levels in the Galician population. **Sci. Total Environ.**, Spain, v. 156, p. 145-150, 1994.

GOMES, V. E. et al. Concentração de chumbo, defeitos de esmalte e cárie em dentes decíduos. **Rev. Saúde Pública**, v. 38, n. 5, p. 716-722, 2004.

GOMES, V. E. et al. Concentração de chumbo em dentes decíduos de pré-escolares de Piracicaba, SP, Brasil - Estudo piloto. **Ver. Odonto Ciênc.**, v. 18, n. 39 p. 3-7, 2003.

GOYER, R. A.; CLARKSON, T. W. Toxic effects of metals. In: KLAASSEN, C. D. **Casarett and Doull's Toxicology: the basic science of poisons**. 8th ed. New York: McGraw-Hill, 2001, p. 811-837.

GREENPEACE. **Uranio: Combustível de los reactores atômicos y la industria militar**. Campaña Nuclear, Agosto, 2012, 22 p.

GRIPPO, J. O. SIMRING, M.; SCHREINER, S. Attrition, abrasion, corrosion and abfraction revisited: a new perspective on tooth surface lesions. **J. Am. Dent. Assoc.**, v. 135, p. 1.109-1.118, 2004.

GROBLER, S. R.; THEUNISSEN, F. S.; KOTZE, T. J. The relation between lead concentrations in human dental tissues and in blood. **Archives of Oral Biology**, v. 45, n. 7, p. 607-609, 2000.

GUIMARÃES, V. S. Dose devido a incorporação de radionuclídeos pela população do entorno de minas de urânio brasileiras usando dentes como bioindicadores. 2011. 157 p. Dissertação (Mestrado em Física), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE, 2011.

GUIMARÃES, V. S. et al. Dose due the Incorporation of Radionuclides Using Teeth as Bioindicators nearby Caetité Uranium Mines. **International Journal of Mathematical, Computational, Physical, Electrical and Computer Engineering**, v. 5, n. 8, p. 1144-1148, 2011.

GUISON, B. L.; GILLINGS, B. R. Lead Exchange in Teeth and Bone-A Pilot Study Using Stable Lead Isotopes. **Environmental Health Perspectives**, v. 105, n. 08, p. 820-824, 1994.

HEANEY, R. Calcium intake and disease prevention. **Arq. Bras. Endocrinol. Metab.**, v. 50, p. 685-693, 2006.

HE, B. et al. Mineral densities and elemental content in different layers of healthy human enamel with varying teeth age. **Arch. Oral Biol.**, v. 56, n. 10, p. 997-1004, 2011.

HEILBRON FILHO, P. F. L.; XAVIER, A. M.; PONTEDEIRO, E. **Segurança Nuclear do Trabalhador e Proteção do Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais, 2003, v. 1, 400 p.

HERRERO, Z. **Determinación de los tenores de metales en líquenes como contribución a la evaluación de la contaminación atmosférica en La Habana**. 2012. 80 p. Dissertação (Mestrado em Radioquímica), Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba, 2012.

HERNANDEZ-GUERRERO, J. C. et al. Lead levels in primary teeth of children living in Mexico City. **International Journal of Paediatric Dentistry**, Turkey, v. 14, n. 3, p. 175-181, 2004.

IAEA. International Atomic Energy Agency. **Radiation Protection and NORM Residue Management in the Production of Rare Earths from Thorium Containing Minerals**, Safety Report Series Nº 68, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2011, 259 p.

_____. **Reference Material IAEA-Soil-7: trace elements in soil**. Vienna, 2000. 4 p. (Reference Sheet).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2017. **Junco do Seridó**. Apresenta dados estatísticos do município do Junco do Seridó. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/junco-do-serido/panorama>>. Acesso em: 17 mar. 2018a.

_____. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2017. **Patos**. Apresenta dados estatísticos do município de Patos. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/patos/panorama>>. Acesso em: 17 mar. 2018b.

_____. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2017. **Santa Luzia**. Apresenta dados estatísticos do município de Santa Luzia. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/santa-luzia/panorama>>. Acesso em: 17 mar. 2018c.

_____. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2017. **São José de Espinharas**. Apresenta dados estatísticos do município de São José de Espinharas. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/sao-jose-de-espinharas/panorama>>. Acesso em: 17 mar. 2018d.

_____. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2017. **São José do Sabugí**. Apresenta dados estatísticos do município de São José do Sabugí. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/sao-jose-do-sabugi/panorama>>. Acesso em: 17 mar. 2018e.

_____. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2017. **São Mamede**. Apresenta dados estatísticos do município de São Mamede. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/sao-mamede/panorama>>. Acesso em: 17 mar. 2018f.

ICRP. International Commission Radiation Protection. **Protection Against ^{222}Rn at Home and at Work**. ICRP Publication 65, Annals of the ICRP 23, 1993.

_____. Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions. **Radiation Protection Contexts**, v. 41, n. 1-2, p. 1-322, 2012.

IGARASHI, Y.; YAMAKAWA, A.; IKEDA, N. Distribution of uranium in human bones. **Radioisotopes**, v. 36, p. 563-567, 1987.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Orientação sobre validação de métodos analíticos**. Rio de Janeiro, Rev. 4, 2011. 20p. Documento de caráter orientativo. DOQ-CGCRE-008.

IPCS. International Programme on Chemical Safety. **Inorganic Mercury**. Geneva: World Health Organization, 2001. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc118.htm#SectionNumber:1.1>>. Acesso em: 07 ago. 2016.

ILSI Risk Science Institute. The relevance of the rat lung response to particle overload for human risk assessment: a workshop consensus report. **Inhal. Toxicol.**, v. 12, n. 1-2, p. 1-17, 2000.

ISO. International Organization for Standardization. **ISO 11843-1-1997**: Capability of Detection, Part 1- Terms and Definitions. 1st ed. Geneva: ISO, 1997. 10 p.

_____. **ISO Guide 34:2009**: Guide requirements for the competence of reference material producers. 3th ed. Geneva: ISO, 2009. In: ISO. International Organization for Standardization. Disponível em: < <https://www.iso.org/standard/50174.html>>. Acesso em: 13 nov. 2018.

_____. **ISO/IEC 17025:2017**: General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Geneva: ISO, 2017. 32 p.

_____. **ISO 13528-2005**: statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons. 1st ed. Geneva: ISO, 2005.

_____. **ISO 13528-2005**: statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons. 2nd ed. Geneva: ISO, 2015. 89 p.

IYENGAR, G. V.; KOLLMER, K. E.; BOWEN, H. J. M. The elemental composition of human tissues and body fluids: a compilation of values for adults. **Verlag Chemie**, Weinheim, West Germany, p. 133-151, 1978.

IYENGAR, G. V.; TANDON, L. **Minor and Trace Elements in Human Bones and Teeth**. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1999. Nutritional and Health-Related Environmental Studies Report. (Relatório Oficial NAHRES-39).

JAFARIAN, M.; ETEBARIAN, A. Reasons for Extraction of Permanent Teeth in General Dental Practices in Tehran, Iran. **Med. Princ. Pract.**, v. 22, p. 239–244, 2016.

KANNAN, V. et al. Distribution of natural and anthropogenic radionuclides in soil and beach sand samples of Kalpakkam (India) using hyper pure germanium (HPGe) gamma ray spectrometry. **Applied Radiation and Isotopes**. v. 57, p. 109-119, 2002.

KHLIFI, R.; HAMZA-CHAFFAI, A. Head and neck cancer due to heavy metal exposure via tobacco smoking and professional exposure: a review. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 248, n. 2, p. 71-88, 2010.

KONONEN, M. et al. Titanium framework removable partial denture used for patient allergic to other metals: a clinical report and literature review. **J. Prosthet. Dent.**, v. 73, n. 1, p. 4-7, 1995.

KRUG, F. J.; NÓBREGA, J. A.; OLIVEIRA, P. V. **Espectrometria de Absorção Atômica**: fundamentos e atomização com chama. 2004. Disponível em: < <http://www.ufjf.br/baccan/files/2011/05/AAS-geral-parte-1-revisada.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2018.

LAKAMAA, E. L.; RYTÖMAA, I. Mineral composition of enamel and dentin of primary and permanent teeth in Finland. **Scandinavian Journal of Dental Research**, v.85, n. 2, p.89-95, 1977.

LENNTECH. Water Treatment and Purification. Propiedades químicas del Níquel - Efectos del Níquel sobre la salud - Efectos ambientales del Níquel. 2018. Disponível em: <<https://www.lenntech.es/periodica/elementos/ni.htm>>. Acesso em: 03 nov. 2018.

LEVY, B. S.; NASSETTA, W. J. Neurologic effects of manganese in humans: a review. **International Journal of Occupational and Environmental Health**, v. 9, n. 2, p. 153-163, 2003.

LIN, L. Q. Trace elements in human bone in the Beijing area by neutron activation analysis. **Chung-Hua Yu Fang i Hsueh Tsa Chih**, v. 22, n. 2, p. 98-100, 1988.

LOCH, C. et al. Elemental and chemical characterization of dolphin enamel and dentine using X-ray and Raman microanalyzes (Cetacea: Delphinoidea and Iniidea). **Journal of Structural Biology**, v. 185, p. 58-68, 2014.

LOCHNER, F. et al. *Analytica Chimica Acta*. Netherlands: November, 1st ed., 401, 29 November 1999, 330 p.

MANEA-KRICHTEN, M. et al. Comparative increases of lead and barium with age in human tooth enamel, rib and ulna. **Sci. Total Environ.**, v. 107, p. 179-206, 1991.

MARCENES, W. et al. Global Burden of Oral Conditions in 1990-2010: A Systematic Analysis. **J. Dent. Res.**, v. 92, n. 7, p. 592-597, 2013.

MARGUÍ, E.; GRIEKEN, R. V. **X-Ray Fluorescence Spectrometry and Related Techniques**: an Introduction. New York: Momentum Press, 2013, 143 p.

MARIEB, E. N.; HOEHN, K. The digestive system. In: Human anatomy and physiology. 7th ed. San Francisco: Pearson Education, Inc., p. 882-941, 2007.

MAZZILLI, B. P.; MÁDUAR, M. F.; CAMPOS, M. P. **Radioatividade no Meio Ambiente e Avaliação de Impacto Radiológico Ambiental**. Documento TNA 5754. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, 2011, 92 p.

MEDHAT, M. E. Assesment of radiation hazards due to natural radioactivity in some building materials used in egyptian dwellings. **Radiation Protection Dosimetry**, Oxford, v. 133, n. 3, p. 177-185, 2009.

MIELE, E. C. B. et al. Fluorescência de raios-x: validação da técnica para estudo, *in vitro*, dos componentes minerais do esmalte de dentes decíduos. In: Encontro Latino-Americano de Pós-Graduação, 7., 2007, São José dos Campos, SP. **Anais...** São José dos Campos: UNIVAP, 2007, p. 1.025-1.028.

MJOR, I. A. Dentin permeability: The basis for understanding pulp reactions and adhesive technology. **Brazilian Dental Journal**, v. 20, n. 1, p. 3-16, 2009.

MUTH, H.; GLOBEL, B. Age dependent concentration of ²²⁶Ra in human bone and some transfer factors from diet to human tissues. **Health Phy.**, v. 44, p. 113-121, 1983.

NIST. National Institute of Standards and Technology. **Standard Reference Material 694**: Western Phosphate Rock. Gaithersburg, 1993. 2 p. (Certificate of Analysis).

NATARAJAN, A. T. Techniques for biomonitoring of human populations for genetic effects. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 16, n. 3, p. 841-847, 1993.

NEVILLE, B. W. et al. **Patologia Oral e Maxilofacial**. 3 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

NGANVONGPANIT, K. et al. Elemental Analysis of Asian Elephant (*Elephas maximus*) Teeth Using X-ray Fluorescence and a Comparison to Other Species. **Biol. Trace Elem. Res.**, v. 170, n. 01, p. 94-105, 2016.

NGANVONGPANIT, K. et al. Elemental classification of the tusks of dugong (*Dugong dugong*) by HH- XRF analysis and comparison with other species. **Scientific Reports**, v. 07, n. 46.167, p. 1-12, 2017.

NGANVONGPANIT, K. et al. The distribution of elements in 48 canine compact bone types using handheld X-ray fluorescence. **Biol. Trace Elem. Res.**, v. 174, n. 01, p. 93-104, 2016.

NGANVONGPANIT, K. et al. Variation in elemental composition of human teeth and its application for feasible species identification. **Forensic Science International**, v. 271, p. 33-42, 2017.

NORDBERG, G. Metales: propiedades químicas y toxicidad. In: **Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo**. 4ª ed. España: Chantal Dufresne, 2001. Paginação irregular.

NOWAK, B. Occurrence of heavy metals and sodium, potassium, and calcium in human teeth. **Analyst**, v. 120, n. 3, p. 747-750, 1995.

NRIAGU, J. et al. High levels of uranium in groundwater of Ulaanbaatar, Mongolia, **Sci. Total Environ.**, 2012.

NRIAGU, J. Natural versus anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere. In: PACYNA, J. M.; OTTAR, B. **Control and Fate of Atmospheric Trace Metals**. 1st ed. London: Kluwer Academic Publishers, 1989. p. 3-13.

OKTAR, F. N. Microstructure and mechanical properties of sintered enamel hydroxyapatite. **Ceramics International**, v. 33, n. 7, p.1309-1314, 2007.

OKUNO, E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de Goiânia. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 185-199, 2013.

PATE, F. D. Bone chemistry and paleodiet. **J. Archaeol. Method Theory**, v. 1, n. 2, p. 161-209, 1994.

PEIXOTO, E. M. A. Silício. **Química Nova na Escola**, n. 14, sem paginação, 2001.

PERKIN ELMER. **NexION 300 ICP-MS**. Waltham, Massachusetts, 2012, 9 p. Manual de Instruções do Equipamento ICP-MS.

POUNDS, J. G.; LONG, G. J.; ROSEN, J. F. Cellular and Molecular Toxicity of Lead in Bone. **Environmental Health Perspectives**, United States of America, v. 91, n. 1, p. 17-32, 1991.

PRADO, G. R. Estudo de Contaminação Ambiental por Urânio no Município de Caetité-Ba, Utilizando Dentes Humanos como Bioindicadores. 2007. 182 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente), Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2007.

PREOTEASA, E. A. et al. Broad-beam PIXE and m-PIXE analysis of normal and in vitro demineralized dental enamel. **X-ray Spectrom**, v. 37, p. 517–535, 2008.

PSZONICKI, L.; HANNA, A. N.; SUSCHNY, O. **Report on the Intercomparison Run IAEA-Soil-7: Trace Elements in Soil**. IAEA/RL/112. Vienna: IAEA, 1984.

RABINOWITZ, M. B. et al. Relationships between serial blood lead levels and exfoliated tooth dentin levels: models of tooth lead kinetics. **Calcif. Tissue Int.**, v. 53, p. 338-341, 1993.

RABINOWITZ, M. B.; WETHERILL, G. W.; KOPPLE, J. D. Lead metabolism in the normal human: stable isotope studies. **Science**, United States of America, v. 182, n. 4113, p. 725-727, 1993.

RAHMAN, M. S. et al. Study on heavy metals levels and its risk assessment in some edible fishes from Bangshi River, Savar, Dhaka, Bangladesh. **Food Chemistry**, v. 134, p. 1847-1854, 2012.

ROELS, H. A. et al. Manganese exposure and cognitive deficits: A growing concern for manganese neurotoxicity. **Neurotoxicology**, v. 33, n. 4, p. 872-880, 2012.

ROSSIGNOL, D. A.; GENUIS, S. J.; FRYE, R. E. Environmental toxicants and autism spectrum disorders: a systematic review. **Translational Psychiatry**, v. 4, n. 2, p. 1-26, 2014.

SAHEEB, B. D.; SEDE, M. A. Reasons and pattern of tooth mortality in a Nigerian Urban teaching hospital. **Ann. Afr. Med.**, v. 12, n. 2, p. 110-114, 2013.

SAIKI, M.; ADACHI, L. K.; ADACHI, E. M. Elemental comparison in sound and carious human teeth by instrumental neutron activation analysis. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 282, p. 29-32, 2009.

SANTOS, R. N.; MARQUES, L. S.; BRENHA-RIBEIRO, F. Estudo do Equilíbrio Radioativo das Séries do ^{238}U e ^{232}Th em Rochas Vulcânicas das Ilhas da Trindade e de Martin Vaz. **Geochimica Brasiliensis**. São Paulo, v.14, n.1, p. 135-156, 2001.

SANTOS JÚNIOR, J. A. et al. Estudo Comparativo entre os Detectores HPGe e NaI(Tl) na Determinação de ^{238}U , ^{232}Th e ^{40}K em Amostras de Solo. **Scientia Plena**, v. 5, n. 4, p. 16, 2009.

SANTOS, N. F. T. Biomonitoração de urânio e tório em moradores de áreas anômalas e adjacentes do estado da Paraíba. 2016. 103 p. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares), Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

SCHLEIER, R. et al. Silício e Cálcio: uma abordagem antropológica. **Arte Médica Amplada**, v. 34, n. 3, p. 102-113, 2014.

SHI, H. et al. Titanium dioxide nanoparticles: a review of current toxicological data. **Part. Fibre. Toxicol.**, v. 10, n. 15, p. 1-33, 2015.

SHIMADZU CORPORATION. **Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer**: EDX Series EDX-720/800HS. Quioto: Shimadzu Corporation, 2013. 15 p.

SILVA, A. A. **Dosimetria Radioecológica na Ocorrência Uranífera de São José de Espinharas - PB**. 2014. 64p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares), Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

SILVA JÚNIOR, M. F. et al. Condição de saúde bucal e motivos para extração dentária entre uma população de adultos (20-64 anos). **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 22, n. 8, p. 2.693-2.702, 2017.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de Análise Instrumental**. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 836 p.

SOARES, M. A. B.; ADACHI, E. M.; SAIKI, M. INAA of enamel and dentin samples of a group of children and adults: A comparative study. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 276, n. 1, p. 49-52, 2008.

SOREMARK, R.; SAMSAHL, K. Gamma-ray spectrometric analysis of elements in normal human dentin. **Journal of Dental Research**, Stockholm, v. 41, p.603-606, 1962.

STEWART, F. A. et al. ICRP Statement on Tissue Reactions/Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. **ICRP Publication 118**, Canada, v. 41, n. 1-2, p. 1-322, 2012.

SOUZA, V. M.; ANTONES JÚNIOR, D. **Ativos dermatológicos, dermocosméticos e nutracêuticos**. 1ª ed. São Paulo: Pharmabooks, 2016. 848 p.

SUJO, L. C. et al. Uranium-238 and thorium-232 series concentrations in soil, radon-222 indoor and drinking water concentrations and dose assessment in the city of

Aldama, Chihuahua, Mexico. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 77, n. 2, p. 205-219, 2004.

TERUEL, J. D. et al. Comparison of chemical composition of enamel and dentine in human, bovine, porcine and ovine teeth. **Archives of Oral Biology**, v. 60, n. 05, p. 768-775, 2015.

THOMAS, R. Tractical Guide to ICP-MS. New York: Marcel Dekker, 2004. 324 p.
TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. 7 ed., Rio de Janeiro: LTC, p. 410, 1999.

TORRES, C. P. et al. FT-Raman spectroscopy, μ -EDXRF spectrometry, and microhardness analysis of the dentin of primary and permanent teeth. **Microsc. Res. Tech.**, p. 1-6, 2018.

TSUJI, L. J. S. et al. Elevated dentine lead levels in adult teeth of first nation people from an isolated region of northern Ontario, Canada. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 59, p. 854-860, 1997.

TURNER, J. E. **Atoms, Radiation, and Radiation Protection**. 3 ed. Weinheim: John Wiley & Sons, 2007, 573p.

TVINNEREIM, H. M.; EIDE, R.; RIISE, T. Heavy metals in human primary teeth: some factors influencing the metal concentrations, **Sci. Total. Environ.**, v. 255, n. 1-3, p. 21-27, 2000.

UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. **Sources and effects of ionizing radiation**, United Nations Publication, New York, v. 1, p. 222-463, 2010.

_____. **Sources and effects of ionizing radiation**, United Nations Publication, New York, v. 1: sources, p. 295-495, 2000.

_____. **Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation**. United Nations Publication, New York, v. 1, 321 p., 2014.

VEIGA, M. A. M. S. Determinação de elementos traço por AAS e ICP-MS após extração no ponto nuvem, usando dietil-ditiofosfato como agente quelante. 2000. 97p. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

WEATHERELL, J. A. Composition of dental enamel. **British Medical Bulletin**, London, v. 31, n. 2, p. 115-119, 1975.

WHO. World Health Organization. Depleted Uranium: sources, exposure and health effects, **World Health Organization**, Geneva, p. 67-80, 2001.

WILKINSON, K. J. Single Particle Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (SP-ICPMS). Disponível em: <[https://www.webdepot.umontreal.ca/Usagers/wilkinsk/MonDepotPublic/single-particle-inductively-coupled-plasma-mass-spectrometry-\(sp-icpms\).html](https://www.webdepot.umontreal.ca/Usagers/wilkinsk/MonDepotPublic/single-particle-inductively-coupled-plasma-mass-spectrometry-(sp-icpms).html)>. Acesso em: 01 nov. 2018.

WYCHOWANSKI, P.; MALKIEWICZ, K. Evaluation of metal ion concentration in hard tissues of teeth in residents of central Poland. **BioMed Research International**, p. 1-7, 2017. Volume único para o ano de 2017.

YOURAVONG, N. et al. Lead associated caries development in children living in a lead contaminated area, Thailand. **Science of the Total Environment**, v. 361, p. 88-96, 2006.

ZENÓBIO, M. A. F. Caracterização do esmalte e dentina humana e de biomateriais a base de fosfato de cálcio para estudos radiológicos. 2012. 119p. Tese (Doutorado em Ciências e Técnicas Nucleares), Departamento de Engenharia Nuclear, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

**APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)
(PARA MAIORES DE 18 ANOS)**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA**

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO
(PARA MAIORES DE 18 ANOS)**

Convidamos o (a) Sr. (a) para participar como voluntário (a) da pesquisa **Análise por Ativação Neutrônica e estudo comparativo por Tomografia de raios X e Tomografia de Coerência Óptica da estrutura de dentes e ossos maxilares de moradores de área influenciada por jazida uranífera**, que está sob a responsabilidade do pesquisador Eduardo Eudes Nóbrega de Araújo, residente na rua Dezessete, 150, Rio Doce, Olinda-PE, CEP 53090-250, com telefone para contato (81) 9691-9668, e-mail: eduardo.eudes@ufpe.br. Também participa desta pesquisa o pesquisador Dr. José Araújo dos Santos Júnior, telefone para contato (81) 9722-2734 e está sob orientação do Dr. Luiz Alcino Monteiro Gueiros, telefone para contato (81) 9138-1637, e-mail: luiz.mgueiros@ufpe.br.

Caso este Termo de Consentimento contenha informações que não lhe sejam compreensíveis, as dúvidas podem ser tiradas com a pessoa que está lhe entrevistando e apenas ao final, quando todos os esclarecimentos forem dados, caso concorde com a realização do estudo, pedimos que rubrique as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias, uma via lhe será entregue e a outra ficará com o pesquisador responsável.

Caso não concorde, não haverá penalização, bem como será possível retirar o consentimento a qualquer momento, também sem qualquer penalidade.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA

Este estudo tem como objetivo verificar a presença de urânio acumulado ao longo da vida de moradores desta região paraibana através do seu rastreamento em dentes e ossos da boca. Será coletado, por cada participante, um dente, bem como pedaços ósseos (caso existam), provenientes do procedimento realizado pelo dentista, que tenham sido extraídos sob devida indicação do profissional. Para sua participação nesta pesquisa, caso o senhor (a) queira e com sua devida autorização, pedimos a doação deste dente e de pedaços ósseos, se existirem, removidos durante o tratamento odontológico.

A pesquisa promoverá riscos mínimos de constrangimento pelos participantes, pelo não entendimento dos objetivos da pesquisa e sua recusa para a doação do material a ser analisado, entretanto, para minimizá-los, haverá o comprometimento quanto ao uso de local sigiloso e particular no momento da coleta das amostras e de informações necessárias, bem como não será divulgado nenhum dado que identifique os participantes, permitindo maior segurança e credibilidade. Os riscos de extravio do material coletado serão minimizados pelo fato de apenas o pesquisador responsável promover seu armazenamento e supervisão.

Como benefício direto, pode-se reforçar a importância do conhecimento das influências da habitação em áreas com grandes ocorrências de urânio na saúde de

cada participante. Indiretamente, terão como benefício o conhecimento da situação relacionada às influências do urânio em toda a população exposta. A contribuição em relação ao tema abordado será tanto para os participantes do estudo como também para o ensino e a pesquisa. Esperamos que este estudo traga informações importantes, de forma que o conhecimento que será construído a partir desta pesquisa possa gerar benefícios no esclarecimento de influências do urânio na saúde da população, onde os pesquisadores se comprometem em divulgar os resultados obtidos.

Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa (entrevista e valores das doses do urânio), ficarão armazenados em pastas de arquivos de computador pessoal do pesquisador responsável, no endereço (acima informado), pelo período mínimo de 5 (cinco) anos.

Nada lhe será pago e nem será cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária, mas fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extrajudicial. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação serão assumidas pelos pesquisadores (ressarcimento de transporte e alimentação).

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da UFPE, no endereço: **Avenida da Engenharia s/n - 1º Andar, sala 4-Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-600, Tel.: (81) 2126.8588 e-mail: cepccs@ufpe.br.**

(assinatura do pesquisador)

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO (A)

Eu, _____, CPF _____, abaixo assinado, após a leitura (ou a escuta da leitura) deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com o pesquisador responsável, concordo em participar do estudo **Análise por Ativação Neutrônica e estudo comparativo por Tomografia de raios X e Tomografia de Coerência Óptica da estrutura de dentes e ossos maxilares de moradores de área influenciada por jazida uranífera**, como voluntário (a). Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo pesquisador sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

Local e data _____

Assinatura do participante: _____



Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e o aceite do voluntário em participar.

(02 testemunhas não ligadas à equipe de pesquisadores):

Nome:	Nome:
Assinatura:	Assinatura:

Outros contatos com os pesquisadores responsáveis:

Caso necessite de maiores informações sobre o presente estudo, favor entrar em contato com os pesquisadores MSc. Eduardo Eudes Nóbrega de Araújo (Orientando/Odontologia-UFPE), prof. Dr. Luiz Alcino Monteiro Gueiros (Odontologia-UFPE) e/ou prof. Dr. José Araújo dos Santos Júnior (CTG-DEN-UFPE) através dos dados (Setores de trabalho) que seguem:

Eduardo Eudes Nóbrega de Araújo

1. Departamento de Clínica e Odontologia Preventiva

Universidade Federal de Pernambuco

Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife-PE, 50670-901.

2. Departamento de Energia Nuclear

Universidade Federal de Pernambuco

Av. Prof. Luiz Freire, 1000, Cidade Universitária, Recife-PE, 50740-540, +55 81 9691-9668

eduardo.eudes@ufpe.br

Luiz Alcino Monteiro Gueiros

Departamento de Clínica e Odontologia Preventiva

Universidade Federal de Pernambuco

Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife-PE, 50670-901, +55 81 2126-8816

www.ufpe.br/ppgodonto

www.ufpe.br/estomatologia

José Araújo dos Santos Júnior

Departamento de Energia Nuclear

Universidade Federal de Pernambuco

Av. Prof. Luiz Freire, 1000, Cidade Universitária, Recife-PE, 50740-540, +55 81 2126-7970; +55 81 9722-2734

jaraujo@ufpe.br

**APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)
(PARA ADULTOS IMPOSSIBILITADOS DE ASSINAR)**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA**

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO
(ADULTOS IMPOSSIBILITADOS DE ASSINAR O TCLE - Resolução 466/12)**

Convidamos o (a) Sr. (a) para participar como voluntário (a) da pesquisa **Análise por Ativação Neutrônica e estudo comparativo por Tomografia de raios X e Tomografia de Coerência Óptica da estrutura de dentes e ossos maxilares de moradores de área influenciada por jazida uranífera**, que está sob a responsabilidade do pesquisador Eduardo Eudes Nóbrega de Araújo, residente na rua Dezesete, 150, Rio Doce, Olinda-PE, CEP 53090-250, com telefone para contato (81) 9691-9668, e-mail: eduardo.eudes@ufpe.br. Também participa desta pesquisa o pesquisador Dr. José Araújo dos Santos Júnior, telefone para contato (81) 9722-2734 e está sob orientação do Dr. Luiz Alcino Monteiro Gueiros, telefone para contato (81) 9138-1637, e-mail: luiz.mgueiros@ufpe.br.

Caso este Termo de Consentimento contenha informações que não lhe sejam compreensível, as dúvidas podem ser tiradas com a pessoa que está lhe entrevistando e apenas ao final, quando todos os esclarecimentos forem dados e concorde com a realização do estudo pedimos que rubrique as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias, uma via lhe será entregue para que possa guardá-la e a outra ficará com o pesquisador responsável.

O (a) Sr.(a) não terá nenhuma despesa e nem receberá qualquer pagamento para participar como voluntário(a). O (a) Sr.(a) será esclarecido (a) sobre qualquer dúvida e estará livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu. Para participar deste estudo, a pessoa autorizada por você deverá assinar pelo (a) Sr.(a) este Termo de Consentimento, podendo, também, retirar esse consentimento ou interromper a sua participação a qualquer momento, sem nenhum prejuízo.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA

Este estudo tem como objetivo verificar a presença de urânio acumulado ao longo da vida de moradores desta região paraibana através do seu rastreamento em dentes e ossos da boca. Será coletado, por cada participante, um dente, bem como pedaços ósseos (caso existam), provenientes do procedimento realizado pelo dentista, que tenham sido extraídos sob devida indicação do profissional. Para sua participação nesta pesquisa, caso o senhor (a) queira e com sua devida autorização, pedimos a doação deste dente e de pedaços ósseos, se existirem, removidos durante o tratamento odontológico.

A pesquisa promoverá riscos mínimos de constrangimento pelos participantes, pelo não entendimento dos objetivos da pesquisa e sua recusa para a doação do material a ser analisado, entretanto, para minimizá-los, haverá o comprometimento quanto ao uso de local sigiloso e particular no momento da coleta das amostras e de informações necessárias, bem como não será divulgado nenhum

dado que identifique os participantes, permitindo maior segurança e credibilidade. Os riscos de extravio do material coletado serão minimizados pelo fato de apenas o pesquisador responsável promover seu armazenamento e supervisão.

Como benefício direto, pode-se reforçar a importância do conhecimento das influências da habitação em áreas com grandes ocorrências de urânio na saúde de cada participante. Indiretamente, terão como benefício o conhecimento da situação relacionada às influências do urânio em toda a população exposta. A contribuição em relação ao tema abordado será tanto para os participantes do estudo como também para o ensino e a pesquisa. Esperamos que este estudo traga informações importantes, de forma que o conhecimento que será construído a partir desta pesquisa possa gerar benefícios no esclarecimento de influências do urânio na saúde da população, onde os pesquisadores se comprometem em divulgar os resultados obtidos.

Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa (entrevista e valores das doses do urânio), ficarão armazenados em pastas de arquivos de computador pessoal do pesquisador responsável, no endereço (acima informado), pelo período mínimo de 5 (cinco) anos.

Nada lhe será pago e nem será cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária, mas fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extrajudicial. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação serão assumidas pelos pesquisadores (ressarcimento de transporte e alimentação).

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da UFPE, no endereço: **Avenida da Engenharia s/n-1º Andar, sala 4-Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-600, Tel.: (81) 2126.8588**
e-mail: **cepccs@ufpe.br**

(assinatura do pesquisador)

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO (A)

Eu, _____, CPF _____, abaixo assinado, após a leitura (ou a escuta da leitura) deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com o pesquisador responsável, concordo em participar do estudo **Análise por Ativação Neutrônica e estudo comparativo por Tomografia de raios X e Tomografia de Coerência Óptica da estrutura de dentes e ossos maxilares de moradores de área influenciada por jazida uranífera**, como voluntário (a). Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo pesquisador sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

A rogo de _____, que é (não alfabetizado/juridicamente incapaz/deficiente visual), eu _____ assino o presente documento que autoriza a sua participação neste estudo.

Assinatura: _____
Local e data: _____

Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e o aceite do voluntário em participar.

(02 testemunhas não ligadas à equipe de pesquisadores):

Nome: _____	Nome: _____
Assinatura: _____	Assinatura: _____

Outros contatos com os pesquisadores responsáveis:

Caso necessite de maiores informações sobre o presente estudo, favor entrar em contato com os pesquisadores MSc. Eduardo Eudes Nóbrega de Araújo (Orientando/Odontologia-UFPE), prof. Dr. Luiz Alcino Monteiro Gueiros (Odontologia-UFPE) e/ou prof. Dr. José Araújo dos Santos Júnior (CTG-DEN-UFPE) através dos dados (Setores de trabalho) que seguem:

Eduardo Eudes Nóbrega de Araújo

1. Departamento de Clínica e Odontologia Preventiva

Universidade Federal de Pernambuco

Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife-PE, 50670-901.

2. Departamento de Energia Nuclear

Universidade Federal de Pernambuco

Av. Prof. Luiz Freire, 1000, Cidade Universitária, Recife-PE, 50740-540, +55 81 9691-9668

eduardo.eudes@ufpe.br

Luiz Alcino Monteiro Gueiros

Departamento de Clínica e Odontologia Preventiva

Universidade Federal de Pernambuco

Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife-PE, 50670-901, +55 81 2126-8816

www.ufpe.br/ppgodonto

www.ufpe.br/estomatologia

José Araújo dos Santos Júnior

Departamento de Energia Nuclear

Universidade Federal de Pernambuco

Av. Prof. Luiz Freire, 1000, Cidade Universitária, Recife-PE, 50740-540, +55 81 2126-7970; +55 81 9722-2734

jaraujo@ufpe.br

APÊNDICE C – PRONTUÁRIO DE PESQUISA E QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA DOUTORADO EM ODONTOLOGIA

Título da pesquisa: Análise por Ativação Neutrônica e Estudo Comparativo por Microtomografia de Raios X e Tomografia de Coerência Óptica da Estrutura de Dentes e Ossos Alveolares de Moradores de Área Influenciada por Jazida Uranífera.

Pesquisador responsável: Eduardo Eudes Nóbrega de Araújo, CD, MSc.

PRONTUÁRIO CLÍNICO

Prontuário de Pesquisa

Nº: _____

DADOS PESSOAIS

Nome completo: _____ **Sexo:** M ☐ F ☐

Data de nascimento: ____/____/____ **Idade:** _____ **Natural de:** _____ **Estado:** _____

Endereço: _____ **Bairro:** _____

Município:

São José de Espinharas ☐ Patos ☐ São Mamede ☐ Santa Luzia ☐

São José do Sabugí ☐ Junco do Seridó ☐ **Região Metropolitana do Recife** ☐

Tempo de residência no Município: _____ anos **Ocupação** atual: _____

Qual a **renda** média mensal de sua casa (todos os moradores), em salários mínimos?

☐ Até 1 SM (R\$ 0,00 – 788,00) ☐ Entre 1 e 2 SM (R\$788,00 – 1.576,00)

☐ Entre 2 e 4 SM (1.576,00 – 3.152,00) ☐ Acima de 4 SM (mais de R\$ 3.152,00)

HISTÓRICO MÉDICO

1. Fumo ☐ **Tempo:** _____ 2. Álcool ☐ **Tempo:** _____

3. Já foi internado? ☐ Sim ☐ Não **Causa:** _____

4. Está em tratamento médico? ☐ Sim ☐ Não **Causa:** _____

5. **Medicações** em uso: _____

6. Apresentou ou apresenta algum tipo de **câncer**? ☐ Sim ☐ Não

[Qual **tipo** de câncer? _____]

7. Tem algum **membro da família** (que reside neste município) que apresentou ou apresenta algum tipo de **câncer**? ☐ Sim ☐ Não

[Qual **tipo de câncer**, **número de parentes** afetados e **grau** de parentesco? _____]

8. Já exerceu **atividade** em áreas de extração de minérios, olarias, empresas de confecção de artesanatos em argila, rochas ou pedras ornamentais? ☐ Sim ☐ Não

[Por quanto tempo? _____]

9. **Mora ou morou próximo** a olarias, áreas de extração de minérios, de armazenamento de argila ou outros tipos de solo, rochas ou pedras ornamentais?

☐ Sim ☐ Não

[Por quanto tempo? _____ Em que distância aproximada? _____]

10. Qual a origem da água usada para beber em sua casa? (especificar a localização)

☐ Poço artesiano: _____ ☐ Água mineral: _____

☐ Abastecimento público (torneira) ☐ Outra origem: _____

11. Qual a origem da água usada para cozinhar em sua casa? (especificar a localização)

☐ Poço artesiano: _____ ☐ Água mineral: _____

☐ Abastecimento público (torneira) ☐ Outra origem: _____

12. Qual a origem dos alimentos orgânicos consumidos em sua casa?

☐ Plantio próprio **Localização:** _____

☐ Mercado ou feira de orgânicos **Localização:** _____

☐ Cidade distante **Localização:** _____

☐ Outra origem: _____

PROCEDIMENTO

UBS | Centro de Saúde: _____

Bairro: _____

Motivo da exodontia: ☐ Doença periodontal ☐ Ortodôntico ☐ Protético ☐ Outro

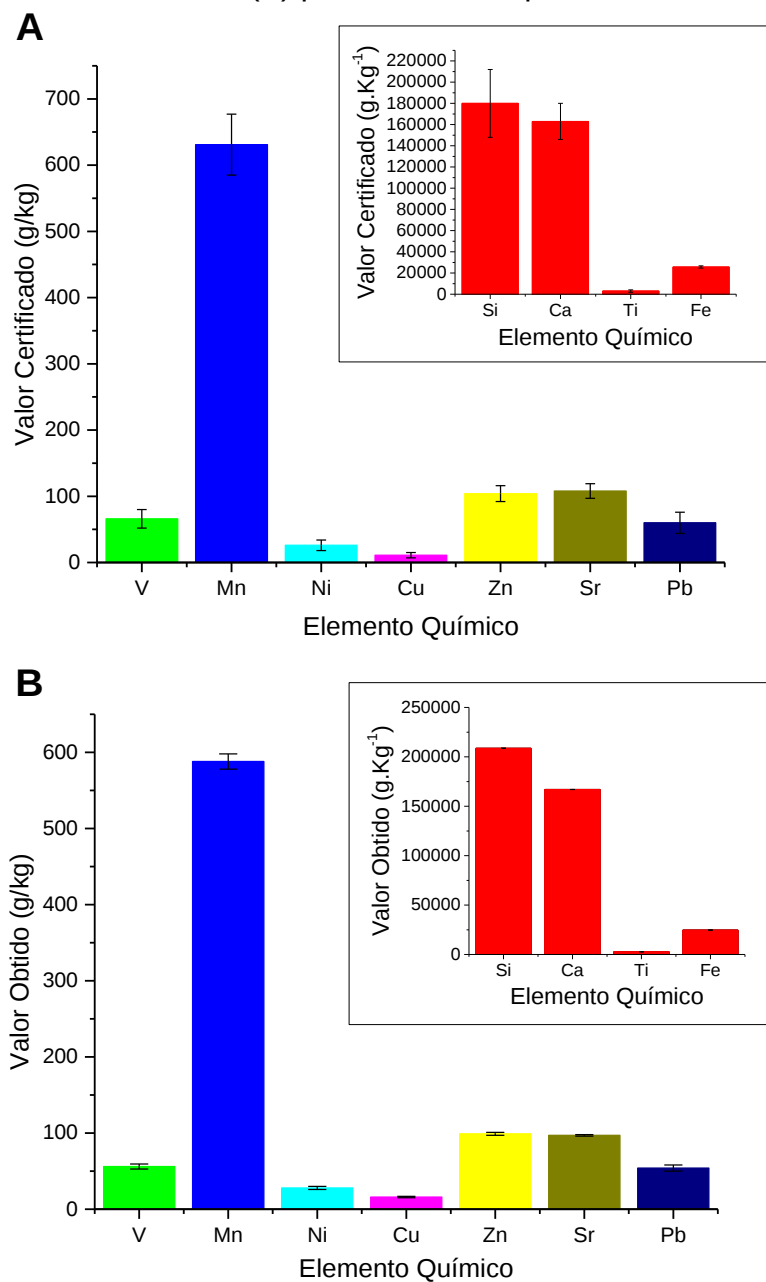
Especificar **Outro:** _____

Dente removido (**número**): _____ **Remanescente ósseo?** ☐ Sim ☐ Não

Caso sim, marque a localização: ☐ Cortical vestibular ☐ Cortical lingual/palatina ☐ Interseptal

APÊNDICE D – DISTRIBUIÇÃO DE MÉDIAS PARA VALORES OBTIDOS E CERTIFICADOS PARA O PADRÃO IAEA SOIL-7

Figura 32 – Distribuição das médias dos valores certificados (A) e dos valores obtidos no estudo (B) para a amostra padrão IAEA Soil-7



Fonte: Próprio Autor (2018)

**APÊNDICE E – RESULTADOS DE ANÁLISES POR EDXRF PARA
QUALIFICAÇÃO QUÍMICA DOS DENTES AVALIADOS**

Tabela 19 – Frações de massa obtidas por EDXRF para as amostras deste estudo

AMOSTRA	TEOR DO METAL (mg/kg)							
	Mn	Fe	Ni	Zn	Sr	Ti	Si	Ca
SJE001	93	4.481	38	148	170	833	83.407	271.445
SJE002	96	4.428	43	155	113	953	82.678	257.693
SJE003	85	4.480	34	175	171	835	83.516	276.167
SJE004	95	4.532	42	216	226	840	83.436	277.274
SJE005	97	4.482	35	201	287	842	81.901	266.812
SJE006	95	4.453	31	158	112	833	81.837	237.863
SJE007	103	4.583	29	173	123	833	82.259	276.591
SJE008	92	4.446	29	142	125	841	82.731	276.624
SJE009	96	4.573	31	162	158	838	83.139	286.397
SJE010	95	4.635	21	159	222	860	84.618	271.673
PT002	102	4.522	34	144	291	835	83.292	284.122
PT006	108	4.517	32	296	180	836	83.417	290.882
PT007	88	4.547	31	142	121	833	83.584	286.682
PT008	100	4.480	21	124	249	837	84.249	256.989
PT009	85	4.466	32	156	213	845	83.431	275.925
PT010	90	4.501	32	151	161	835	83.603	281.134
PT011	93	4.437	36	166	214	837	83.490	285.840
PT012	85	4.525	20	139	159	833	83.814	258.170
PT013	90	4.494	24	123	114	842	82.138	246.553
PT014	95	4.513	26	152	171	833	286.573	286.573
PT015	89	4.520	41	185	143	841	83.020	277.075
PT016	85	4.588	30	160	152	833	82.871	282.244
PT026	85	4.505	17	141	240	841	83.617	259.208
PT027	105	4.586	27	192	166	842	83.393	251.902
PT028	96	4.610	16	124	296	849	81.675	249.400
PT029	85	4.558	25	678	369	839	83.453	285.602
PT030	95	4.548	30	139	134	847	81.974	285.106
PT032	95	4.497	14	132	598	846	82.387	247.647
PT040	85	4.611	22	126	169	833	83.815	287.865
PT055	87	4.583	22	169	152	837	82.896	282.927

Continuação da Tabela 19

PT060	98	4.589	23	135	196	383	83.491	281.241
PT085	85	4.565	14	188	295	867	83.179	248.764
PT089	85	4.449	35	145	127	841	83.345	289.718
SM001	104	4.480	34	187	139	834	81.517	272.754
SM002	85	4.565	32	169	201	839	81.985	276.910
SM003	95	4.539	23	178	180	841	83.543	292.147
SM005	91	4.533	24	167	161	833	83.039	284.391
SM006	94	4.451	33	181	147	840	83.043	279.986
SM007	100	4.528	20	155	155	833	83.295	281.443
SM008	97	4.521	22	127	156	833	82.914	250.741
SM009	241	4.586	16	125	222	6.412	113.559	204.294
SM089	115	4.516	26	155	197	833	83.611	256.217
SL003	100	4.605	29	163	201	840	83.458	270.540
SL004	85	4.561	24	174	111	887	82.044	277.115
SL005	85	4.522	38	180	159	833	82.460	280.380
SL006	94	4.407	48	170	128	853	82.835	273.804
SL007	85	4.511	22	151	103	840	83.463	275.431
SL009	98	4.565	27	153	189	833	82.372	280.743
SL010	94	4.534	28	135	152	835	83.697	290.305
SL011	91	4.363	44	193	110	851	81.957	272.256
SL012	90	4.488	24	200	148	845	82.920	279.844
SL013	92	4.557	25	146	238	846	83.023	275.556
SL014	85	4.524	33	147	179	855	83.283	278.345
SL015	85	4.411	32	198	134	857	84.766	256.548
SL016	108	4.544	33	187	160	833	82.602	275.206
SL080	96	4.484	28	168	65	839	83.337	280.261
SL081	108	4.583	20	189	182	841	82.299	283.401
SL088	92	4.700	<LD	312	130	856	115.516	223.072
SL105	85	4.567	21	171	175	833	83.117	259.268
SJS0010	86	4.373	25	106	29	846	88.576	241.125
SJS001	91	4.564	37	160	154	835	83.090	287.312
SJS002	100	4.533	15	149	230	835	83.036	244.576
SJS003	101	4.537	33	149	147	841	83.547	291.584
SJS004	88	4.616	34	174	140	841	83.339	287.577
SJS005	108	4.541	19	138	158	835	83.420	252.247

Continuação da Tabela 19

SJS006	112	4.590	24	201	163	833	82.669	288.593
SJS007	93	4.517	13	142	126	841	82.893	247.389
SJS07B	99	4.383	51	182	107	844	82.305	277.985
SJS009	91	4.472	35	158	192	838	82.845	279.662
JS001	96	4.545	21	135	202	833	83.532	257.574
JS002	89	4.598	32	153	186	840	82.175	284.637
JS003	99	4.580	28	183	105	833	83.237	280.172
JS004	85	4.594	25	154	138	833	83.406	280.855
JS005	94	4.542	28	168	176	851	83.292	277.946
JS006	85	4.380	41	161	153	849	83.687	269.019
JS007	106	4.501	26	150	146	836	83.606	256.141
JS008	98	3.855	33	144	158	851	82.156	277.976
JS009	105	4.625	31	149	78	839	83.190	280.297
JS020	88	4.509	24	184	108	843	81.924	279.659
C001	85	4.610	33	161	292	833	83.646	290.369
C02	91	4.471	152	133	158	903	82.735	281.354
C03	85	4.543	34	138	261	838	83.762	291.275
C004	96	4.515	21	123	270	838	82.725	272.637
C006	85	4.484	31	189	182	842	83.867	291.086
C008	98	4.581	33	140	281	836	83.212	283.028
C09	85	4.436	50	140	180	835	83.509	297.493
C009	89	4.377	49	174	207	852	82.356	284.526
C10	90	4.637	14	811	256	2.981	99.042	251.945
C012	92	4.515	20	193	241	833	83.561	251.746
C018	85	4.505	46	141	260	836	83.954	288.063

LD: Limite de Detecção.

Fonte: Próprio Autor (2019)

APÊNDICE F – RESULTADOS DE ANÁLISES POR ICP-MS EM DENTES

Tabela 20 - Quantificação dos radionuclídeos U e Th em dentes

	U	Th
SJE001	10,9	3,0
SJE002	14,5	1,5
SJE003	1,5	2,3
SJE004	11,3	< LD
SJE005	5,4	1,3
SJE006	2,0	1,0
SJE007	8,0	1,6
SJE008	10,9	1,5
SJE009	4,7	< LD
SJE010	2,2	2,2
PT006	2,3	3,1
PT007	3,0	6,1
PT008	3,9	3,9
PT009	2,3	1,5
PT010	3,1	< LD
PT011	2,4	< LD
PT012	2,4	< LD
PT013	1,6	< LD
PT014	2,3	< LD
PT015	< LD	< LD
PT016	3,7	7,4
PT026	3,9	1,5
PT027	3,9	2,3
PT028	3,1	1,5
PT029	< LD	< LD
PT030	3,9	1,5
PT055	3,8	< LD
PT060	2,3	< LD
PT085	3,9	< LD
PT089	3,1	< LD
PT002	3,0	1,5
PT032	2,3	< LD
PT040	3,2	< LD
SM001	4,6	2,3
SM002	3,9	1,6
SM003	27,5	1,6
SM005	9,6	< LD
SM006	5,9	< LD
SM007	2,9	1,5
SM008	6,2	< LD
SM009	4,1	1,6
SM089	12,7	3,9
SL003	17,3	4,7

Continuação da Tabela 20

SL004	7,4	4,5
SL005	7,0	1,6
SL006	33,1	12,6
SL007	11,5	3,1
SL009	6,2	2,3
SL010	6,3	4,7
SL012	6,3	3,9
SL013	4,7	4,0
SL014	5,5	7,9
SL016	6,1	1,5
SL080	22	11
SL081	7,0	1,6
SL088	9,6	4,0
SL105	5,2	3,7
SJS001	22,3	2,8
SJS002	145	1,5
SJS003	8,2	3,7
SJS004	24,5	3,9
SJS005	9,9	6,9
SJS006	15,3	2,4
SJS007	9,6	13,7
SJS009	17,1	< LD
JS001	4,9	2,4
JS002	3,9	3,1
JS003	6,6	2,5
JS004	4,7	1,6
JS005	3,1	< LD
JS006	16,4	7,0
JS007	2,3	< LD
JS008	3,9	< LD
JS020	8,6	1,6
JS009	4,6	< LD
RMR10	4,7	3,2
RMR02	3,8	5,4
RMR09	3,1	< LD
RMR009	5,5	2,2
RMR03	3,9	< LD
RMR008	3,1	< LD
RMR12	3,9	1,0
RMR018	2,4	< LD
RMR001	4,0	4,0
RMR004	3,8	4,6
RMR006	15,3	< LD

LD: Limite de detecção (0,8 µg/kg).

Fonte: Próprio Autor (2019)

APÊNDICE G – ATIVIDADES ESPECÍFICAS PARA CONCENTRAÇÕES DE RADIONUCLÍDEOS OBTIDAS POR ICP-MS EM DENTES

Tabela 21 – Atividades específicas para U e Th em dentes

AMOSTRA	ATIVIDADE ESPECÍFICA ($\mu\text{Bq/g}$)	
	U	Th
SJE001	136,12	12,38
SJE002	179,86	9,36
SJE003	18,70	9,25
SJE004	140,53	<LD
SJE005	67,16	5,54
SJE006	25,42	4,19
SJE007	98,93	6,52
SJE008	135,69	5,95
SJE009	58,48	<LD
SJE010	27,88	9,19
PT006	28,59	12,57
PT007	37,67	24,84
PT008	48,97	16,15
PT009	28,35	6,23
PT010	38,04	<LD
PT011	29,52	<LD
PT012	29,85	<LD
PT013	19,35	<LD
PT014	28,02	<LD
PT015	<LD	<LD
PT016	46,33	30,56
PT026	48,01	6,33
PT027	48,39	9,57
PT028	38,32	6,32
PT029	<LD	<LD
PT030	48,17	6,35
PT055	47,65	<LD
PT060	28,70	<LD
PT085	47,94	<LD
PT089	38,52	<LD
PT002	37,53	6,19
PT032	29,18	<LD
PT040	39,36	<LD
SM001	57,17	9,43
SM002	48,97	6,46
SM003	341,64	6,63
SM005	119,04	<LD

Continuação da Tabela 21

SM006	73,06	<LD
SM007	36,68	6,05
SM008	76,74	<LD
SM009	50,39	6,65
SM089	157,51	15,98
SL003	214,74	19,31
SL004	92,60	18,32
SL005	87,61	6,42
SL006	411,61	51,48
SL007	143,57	12,62
SL009	77,06	9,53
SL010	77,77	19,23
SL012	78,08	16,09
SL013	58,96	16,20
SL014	68,70	32,36
SL016	75,58	6,23
SL080	274,13	45,20
SL081	87,10	6,38
SL088	118,81	16,32
SL105	65,06	15,32
SJS001	277,55	11,44
SJS002	1.803,53	6,16
SJS003	101,48	15,21
SJS004	304,35	16,19
SJS005	123,09	28,10
SJS006	190,11	9,90
SJS007	120,01	56,06
SJS009	213,08	<LD
JS001	60,69	10,01
JS002	48,88	12,89
JS003	81,67	10,10
JS004	58,00	6,38
JS005	38,86	<LD
JS006	203,65	28,78
JS007	28,49	<LD
JS008	48,31	<LD
JS020	107,23	6,43
JS009	57,74	<LD
CONTROLE10	58,91	12,95
CONTROLE02	47,57	21,96
CONTROLE09	37,99	<LD
CONTROLE009	68,95	9,09
CONTROLE03	48,06	<LD
CONTROLE008	38,14	<LD
CONTROLE12	48,35	3,99
CONTROLE018	29,99	<LD

Continuação da Tabela 21

CONTROLE001	49,77	16,41
CONTROLE004	47,49	18,79
CONTROLE006	190,23	<LD

LD: Limite de detecção. LD para U=9,95 $\mu\text{Bq/g}$. LD para Th=3,28 $\mu\text{Bq/g}$.

Fonte: Próprio Autor (2019)

APÊNDICE H – ATIVIDADES ESPECÍFICAS PARA CONCENTRAÇÕES DE RADIONUCLÍDEOS OBTIDAS POR ICP-MS EM OSSOS ALVEOLARES

Tabela 22 – Atividades específicas para U e Th em ossos alveolares

AMOSTRA	ATIVIDADE ESPECÍFICA ($\mu\text{Bq/g}$)	
	U	Th
SM003	782,57	317,60
SM007	561,12	30,84
PT015	607,01	109,18
PT016	693,38	81,66
SL011	11.444,58	260,27
SL014	18.051,21	321,75
SL081	4.706,57	100,13

São Mamede: SM007; SM003. Patos: PT016; PT015. Santa Luzia: SL014; SL081; SL011.

Fonte: Próprio Autor (2019)

APÊNDICE I – TESTE DE SHAPIRO-WIK PARA OS DIFERENTES MUNICÍPIOS DO ESTUDO

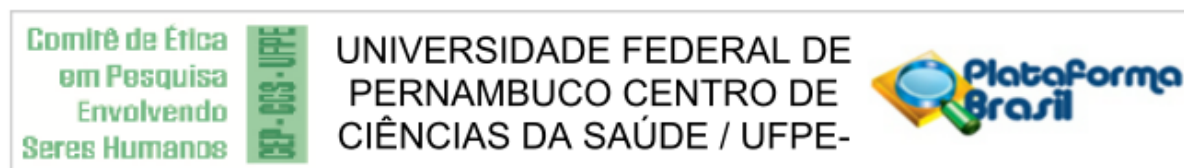
Tabela 23 – Teste de normalidade Shapiro-Wilk (valores expressos por município)

Teste Shapiro-Wilk										
Município	Parâmetro									W _{Tabelado}
	n*	W _{Calculado} por metal								
		Mn	Fe	Ni	Zn	Sr	Ti	Si	Ca	
São José de Espinharas	10	0,8914	0,9146	0,9680	0,8892	0,8914	0,5318	0,9469	0,8410	0,842
Patos	23	0,8689	0,9658	0,9751	0,4415	0,7592	0,2785	0,2274	0,8156	0,914
São Mamede	09	0,5531	0,9641	0,9274	0,8999	0,9256	0,3915	0,4540	0,8110	0,829
Santa Luzia	17	0,8639	0,9515	0,9096	0,7434	0,9909	0,8197	0,3375	0,7368	0,892
São José do Sabugí	09	0,9334	0,9199	0,9403	0,9251	0,9460	0,9015	0,9715	0,8055	0,829
Junco do Seridó	10	0,9205	0,6289	0,9482	0,9280	0,9719	0,8648	0,8150	0,7849	0,842
Região Metropolitana do Recife	11	0,8494	0,8469	0,0078	0,0054	0,3464	0,0043	0,0054	0,0139	0,850

*Tamanho da amostra para o município avaliado. Valores inferiores ao limite de detecção desconsiderados.

Fonte: Próprio Autor (2019)

ANEXO A – PARECER CONSUBSTANCIADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA ENVOLVENDO SERES HUMANOS



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Análise por ativação neutrônica e estudo comparativo por microtomografia de raios x e tomografia de coerência óptica da estrutura de dentes e ossos alveolares de moradores de área influenciada por jazida uranífera.

Pesquisador: Eduardo Eudes Nóbrega de Araújo

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 44325315.3.0000.5208

Instituição Proponente: Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.200.616

Apresentação do Projeto:

Trata-se de um projeto que tem a finalidade de ser a Tese de doutorado de Eduardo Eudes Nóbrega de Araújo, pertencente ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da UFPE, que tem como orientador Prof. Dr. Luiz Alcino Monteiro Gueiros e Co-orientador: Prof. Dr. José Araújo dos Santos Júnior, estes buscarão investigar, por meio de ativação neutrônica, quantitativa e qualitativa, os radionuclídeos acumulados nos organismos de indivíduos que habitam a região da jazida de urânio paraibana, através do uso de dentes e ossos alveolares como bioindicadores, promovendo o estudo comparativo dessas estruturas, através da microtomografia computadorizada (μ CT) e tomografia de coerência óptica (TCO), com propósito de averiguar possíveis influências nas suas composições.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivos Geral: Verificar os níveis de radionuclídeos acumulados ao longo da vida de habitantes da área uranífera paraibana e circunjabências através do seu rastreamento em dentes e ossos alveolares.

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS

Bairro: Cidade Universitária

CEP: 50.740-600

UF: PE

Município: RECIFE

Telefone: (81)2126-8588

E-mail: cepccs@ufpe.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
PERNAMBUCO CENTRO DE
CIÊNCIAS DA SAÚDE / UFPE-



Continuação do Parecer: 1.200.616

- Qualificar os radionuclídeos presentes nos dentes e ossos alveolares avaliados;
- Determinar possíveis alterações estruturais nos dentes e ossos alveolares;
- Comparar a efetividade das técnicas imaginológicas da μ CT e da TCO nas análises de possíveis alterações estruturais, provenientes do acúmulo de radionuclídeos, nos dentes e ossos alveolares utilizados no estudo.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Os riscos e benefícios estão adequados para sua proposta.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A pesquisa trata-se de um estudo transversal que pretende abranger a 200 pessoas, pertencentes a população do município de São José de Espinharas, localizado no estado da Paraíba, onde há a presença de jazida uranífera, bem como as populações de algumas das cidades circunvizinhas (Patos, São Mamede, Santa Luzia, São José do Sabugí e Junco do Seridó). Cada participante, usuário dos serviços públicos de atenção básica à saúde, doará seu material biológico que constará de 1 (um) elemento dentário, removido por razões periodontais, ortodônticas ou protéticas, e/ou as espículas ósseas alveolares resultante do processo de exodontia, em caso de necessidade de regularização óssea, para posteriormente serem analisada pelas técnicas imaginológicas.

As análises radiométricas serão desenvolvidas no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, em São Paulo-SP; o Laboratório de Tomografia de Física dos Solos (DEN-UFPE), disponibilizará o uso do Tomógrafo de raios X, e o Departamento de Física da UFPE, com uso do Tomógrafo de Coerência Óptica.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

O pesquisador responsável obedecendo a Resolução CNS N°466/12 anexou os seguintes documentos que atendem a resolução:

- 1- Os currículos dos pesquisadores;
- 2- Folha de Rosto devidamente preenchida e carimbada;
- 3- O cronograma e orçamento estão adequadas a proposta;
- 4- A Carta de Anuência das Secretarias de Saúde dos municípios envolvidos.
- 5- A carta de anuência do Laboratório de Tomografia de Física dos Solos (DEN-UFPE).
- 6- Anexou a carta de anuência do Departamento de Física da UFPE.

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS

Bairro: Cidade Universitária

CEP: 50.740-600

UF: PE

Município: RECIFE

Telefone: (81)2126-8588

E-mail: cepccs@ufpe.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
PERNAMBUCO CENTRO DE
CIÊNCIAS DA SAÚDE / UFPE-



Continuação do Parecer: 1.200.616

7- Carta de anuência do IPEN-SP.

8- O TCLE encontra-se em linguagem clara e adequado a sua pesquisa.

Recomendações:

Sem recomendações.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O pesquisador responsável poderá executar sua pesquisa, estando a mesma adequada e obedecendo o que pede a resolução 466/12.

Considerações Finais a critério do CEP:

As exigências foram atendidas e o protocolo está APROVADO, sendo liberado para o início da coleta de dados. Informamos que a APROVAÇÃO DEFINITIVA do projeto só será dada após o envio do Relatório Final da pesquisa. O pesquisador deverá fazer o download do modelo de Relatório Final para enviá-lo via "Notificação", pela Plataforma Brasil. Siga as instruções do link "Para enviar Relatório Final", disponível no site do CEP/CCS/UFPE. Após apreciação desse relatório, o CEP emitirá novo Parecer Consubstanciado definitivo pelo sistema Plataforma Brasil.

Informamos, ainda, que o (a) pesquisador (a) deve desenvolver a pesquisa conforme delineada neste protocolo aprovado, exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao voluntário participante (item V.3., da Resolução CNS/MS Nº 466/12).

Eventuais modificações nesta pesquisa devem ser solicitadas através de EMENDA ao projeto, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas.

Para projetos com mais de um ano de execução, é obrigatório que o pesquisador responsável pelo Protocolo de Pesquisa apresente a este Comitê de Ética relatórios parciais das atividades desenvolvidas no período de 12 meses a contar da data de sua aprovação (item X.1.3.b., da Resolução CNS/MS Nº 466/12). O CEP/CCS/UFPE deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo (item V.5., da Resolução CNS/MS Nº 466/12). É papel do/a pesquisador/a assegurar todas as medidas imediatas e adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e ainda, enviar notificação à ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária, junto com seu posicionamento.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS

Bairro: Cidade Universitária

CEP: 50.740-600

UF: PE

Município: RECIFE

Telefone: (81)2126-8588

E-mail: cepccs@ufpe.br

**Comitê de Ética
em Pesquisa
Envolvendo
Serres Humanos**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE
PERNAMBUCO CENTRO DE
CIÊNCIAS DA SAÚDE / UFPE-**



Continuação do Parecer: 1.200.616

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Outros	Anuência de São José do Sabugí.pdf	23/04/2015 07:59:51		Aceito
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_474535.pdf	23/04/2015 08:03:56		Aceito
Declaração de Pesquisadores	Curriculo-Pesquisador.pdf	24/04/2015 11:04:38		Aceito
Declaração de Pesquisadores	Curriculo-Orientador.pdf	24/04/2015 11:05:02		Aceito
Declaração de Pesquisadores	Curriculo-Coorientador.pdf	24/04/2015 11:05:29		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETO DO DOUTORADO (Submissão ao CEP).docx	24/04/2015 11:08:33		Aceito
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_474535.pdf	24/04/2015 11:09:07		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE (alterado).docx	10/07/2015 00:24:07		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE incapazes (alterado).docx	10/07/2015 00:24:33		Aceito
Outros	Anuência de São José de Espinharas.jpg	10/07/2015 00:56:43		Aceito
Outros	Anuência de São Mamede.pdf	10/07/2015 00:57:16		Aceito
Outros	Anuência de Santa Luzia.PDF	13/08/2015 17:10:36		Aceito
Outros	Anuência do Departamento de Física.pdf	13/08/2015 17:10:55		Aceito
Outros	Anuência do Junco do Seridó.jpg	13/08/2015 17:11:22		Aceito
Outros	Anuência IPEN-SP.pdf	13/08/2015 17:11:36		Aceito
Outros	Carta de Anuência DEN.pdf	13/08/2015 17:11:54		Aceito
Outros	Carta Resposta CEP-UFPE.docx	13/08/2015 17:21:35		Aceito
Folha de Rosto	Nova Folha de Rosto.pdf	13/08/2015 17:38:40		Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	anuencia_de_patos.docx	24/08/2015 11:38:14	Eduardo Eudes Nóbrega de Araújo	Aceito
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_474535.pdf	24/08/2015 11:43:09		Aceito

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS

Bairro: Cidade Universitária

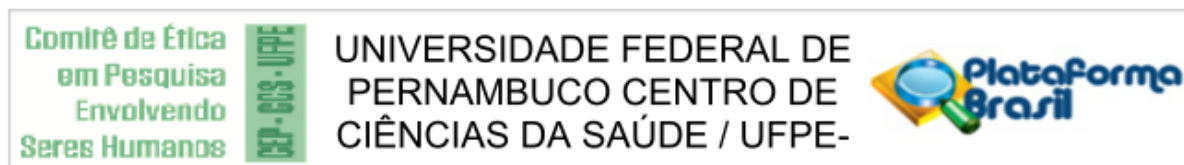
CEP: 50.740-600

UF: PE

Município: RECIFE

Telefone: (81)2126-8588

E-mail: cepccs@ufpe.br



Continuação do Parecer: 1.200.616

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

RECIFE, 26 de Agosto de 2015

Assinado por:

Gisele Cristina Sena da Silva Pinho
(Coordenador)

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS

Bairro: Cidade Universitária

CEP: 50.740-600

UF: PE

Município: RECIFE

Telefone: (81)2126-8588

E-mail: cepccs@ufpe.br