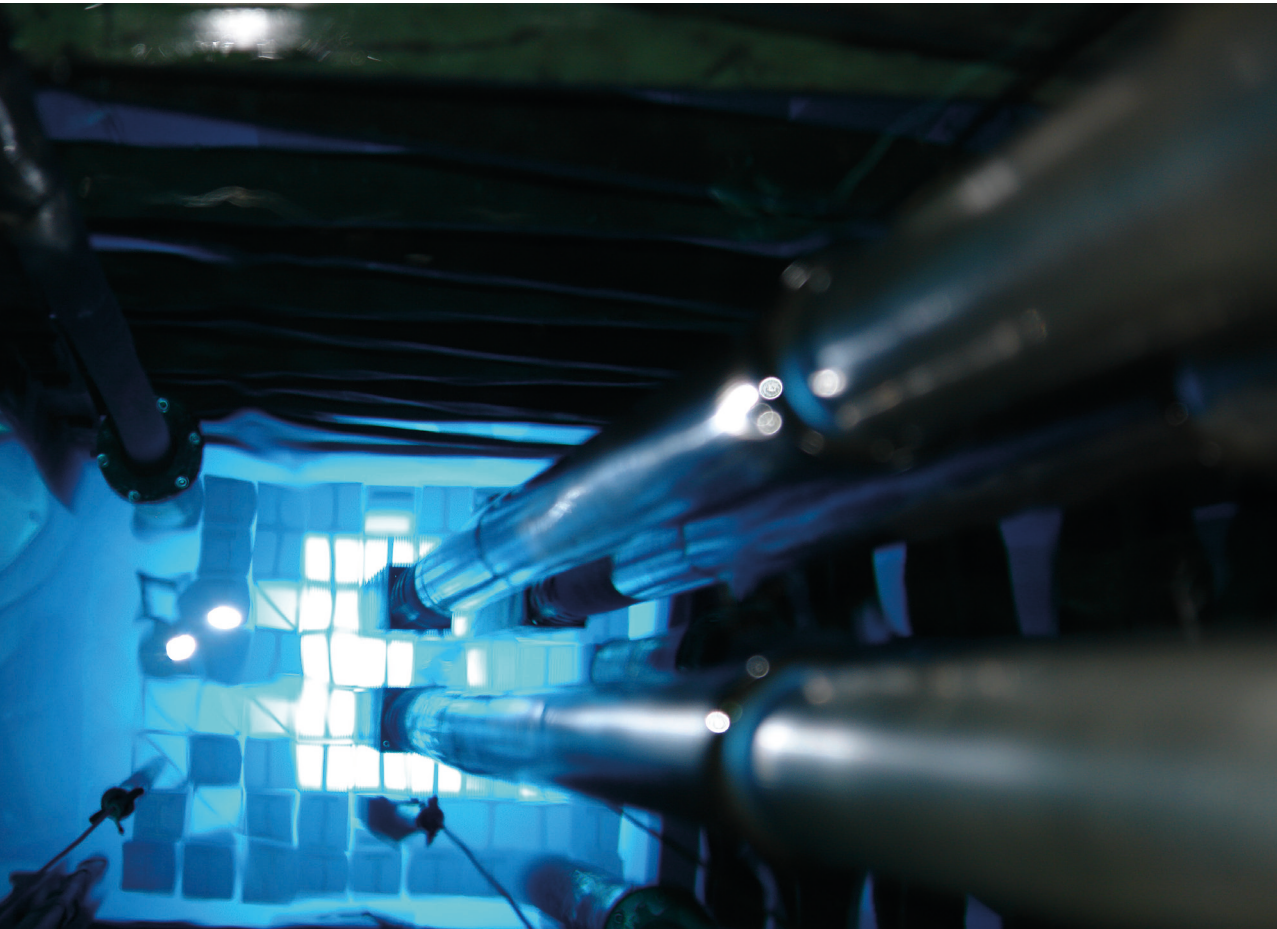


Paulo Sergio Cardoso Da Silva
Guilherme Soares Zahn
Francisco De Assis Souza
organizadores

CONTRIBUIÇÕES DO REATOR IEA-R1 PARA A PESQUISA NUCLEAR

WARP2: II Workshop Anual do Reator de Pesquisas



CONTRIBUIÇÕES DO
REATOR IEA-R1 PARA A
PESQUISA NUCLEAR

Conselho editorial

André Costa e Silva

Cecilia Consolo

Dijon de Moraes

Jarbas Vargas Nascimento

Luis Barbosa Cortez

Marco Aurélio Cremasco

Rogério Lerner

Blucher Open Access

PAULO SERGIO CARDOSO DA SILVA
GUILHERME SOARES ZAHN
FRANCISCO DE ASSIS SOUZA
(organizadores)

CONTRIBUIÇÕES DO
REATOR IEA-R1 PARA A
PESQUISA NUCLEAR
WARP2: II Workshop Anual do
Reator de Pesquisas

21 e 22 de novembro de 2019
Centro do Reator de Pesquisas
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

2022

Contribuições do Reator IEA-R1 para a Pesquisa Nuclear

WARP2: II Workshop Anual do Reator de Pesquisas

© 2022 Paulo Sergio Cardoso da Silva, Guilherme Soares Zahn e Francisco de Assis Souza

Editora Edgard Blücher Ltda.

Publisher Edgard Blücher

Editor Eduardo Blücher

Coordenação editorial Jonatas Eliakim

Produção editorial Thaís Costa

Diagramação Taís do Lago

Capa Laércio Flenic

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar
04531-934 – São Paulo – SP – Brasil
Tel 55 11 3078-5366
contato@blucher.com.br
www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer
meios, sem autorização escrita da Editora.

Todos os direitos reservados pela Editora
Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Workshop anual do reator de pesquisas (2. : 2019 :
São Paulo)

Contribuições do reator IEA-R1 para a pesquisa
nuclear WARP 2 / organizado por Paulo Sergio Cardoso
da Silva, Guilherme Soares Zahn, Francisco de Assis
Souza. -- São Paulo : Blucher, 2022.

478 p : il.

21 e 22 de novembro de 2019 - Centro do Reator de
Pesquisas

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

Bibliografia

ISBN 978-65-5550-147-6 (impresso)

ISBN 978-65-5550-148-3 (eletrônico)

1. Pesquisa nuclear 2. Física nuclear I. Título II. Silva,
Paulo Sergio Cardoso da III. Zahn, Guilherme Soares IV.
Souza, Francisco de Assis IV. IPEN

21-5617

CDD 539.7

Índices para catálogo sistemático:

1. Pesquisa nuclear

COMITÊ ORGANIZADOR

Paulo Sergio Cardoso da Silva

Guilherme Soares Zahn

Francisco de Assis Souza

COMITÊ CIENTÍFICO

Paulo Sergio Cardoso da Silva

Guilherme Soares Zahn

Francisco de Assis Souza

Frederico Antônio Genezini

APOIO

O Comitê Organizador agradece o apoio do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), do Departamento de Ensino do IPEN e da Marinha do Brasil, para a realização do II Workshop Anual do Reator de Pesquisas.



ESTUDO DE AMOSTRAS DE INTERESSE NAS ÁREAS DO MEIO AMBIENTE E DA SAÚDE UTILIZANDO O REATOR NUCLEAR IEA-R1

Mitiko Saiki

Centro do Reator de Pesquisas – IPEN-CNEN/SP
Av. Professor Lineu Prestes, 2242
05508-000 São Paulo – SP
mitiko@ipen.br

RESUMO

Nesta revisão são apresentados os principais trabalhos desenvolvidos para aprimoramento e aplicações de técnicas analíticas nucleares ao estudo de amostras de interesse nas áreas do meio ambiente e da saúde. Aplicando a análise por ativação com nêutrons seguida de separação radioquímica (RNAA) e medições usando detectores de cintilação de iodeto de sódio foram determinados elementos poluentes coletados em filtros de papel. Os traçadores radioativos foram utilizados para estudo de formação de complexos, no desenvolvimento de métodos de separação radioquímica de elementos interferentes nas análises e na determinação da abrasividade de materiais dentários. Com o advento dos detectores de alta resolução de Ge, de microcomputadores e de softwares para análise de espectros gama surgiram novas perspectivas para aplicações da análise instrumental por

ativação com nêutrons (INAA) com a possibilidade de uma análise multielmentar nos mais variados tipos de matrizes. Foram realizadas análises de biomonitores da poluição aérea para identificação de fontes poluidoras e estudo da correlação entre os elementos poluentes e doença das populações. Na área da saúde, foram obtidos resultados de um grande número de amostras de tecidos (cérebro, pulmão, osso, soro sanguíneo, cabelos, dentes) de humanos para o estudo de doenças, de materiais dentários, de produtos farmacêuticos (plantas medicinais, medicamentos sintéticos) e de amostras de nanopartículas. Os aspectos positivos que resultaram do desenvolvimento destas pesquisas foram a renovação e o crescimento de conhecimentos que reverteram na minha formação de uma pesquisadora e formadora de recursos humanos.

1. INTRODUÇÃO

A caracterização de amostras de interesse nas investigações das áreas da saúde e do meio ambiente por meio de técnicas nucleares constitui uma das aplicações mais relevantes dos reatores nucleares de pesquisa. Dentre os diversos temas de pesquisa desenvolvidos com o uso do reator IEA-R1 estão os trabalhos que mostram o crescente aprimoramento de conhecimentos no campo de aplicações de técnicas nucleares e da qualidade dos dados obtidos nas análises dos mais variados tipos de matrizes. Além disso, convém ressaltar dos resultados gerados com a utilização do reator IEA-R1 tanto no desenvolvimento para trabalhos de publicação, na realização de pesquisas de cooperação e no desenvolvimento de temas de dissertações e teses que resultaram na formação de recursos humanos especializados no campo nuclear.

Este trabalho apresenta uma breve revisão dos principais trabalhos desenvolvidos pela autora por meio do uso de traçadores radioativos, análise por ativação com separação radioquímica (RNAA) e análise instrumental por ativação com nêutrons (INAA).

2. PESQUISAS DESENVOLVIDAS NA ÁREA DO MEIO AMBIENTE E SAÚDE

Nesta revisão os trabalhos desenvolvidos são apresentados divididos em dois grupos:

- análise por ativação com nêutrons com separação radioquímica (RNAA) juntamente com as aplicações de traçadores radioativos;

- análise instrumental por ativação com nêutrons (INAA), sendo que este último de INAA foi subdividido em aplicações na área ambiental e da saúde.

2.1. Análise por Ativação com Nêutrons com Separação Radioquímica (RNAA) e Aplicações de Traçadores Radioativos

Nos anos de 1970 a RNAA foi aplicada para determinação As, Br, Hg, Sb e Se em material particulado do ar coletado em filtros [1]. As medições das atividades gama após separação radioquímica foram feitas usando analisadores multicanais acoplado a um cristal de cintilação de NaI(Tl). A qualidade destes resultados foi avaliada pelo rendimento químico determinado usando traçadores radioativos. Os dados obtidos apresentaram sensibilidade, entretanto o equipamento de contagem disponível era muito simples sendo necessário empregar procedimentos trabalhosos e demorados para separar os radionuclídeos de interesse de todas as atividades interferentes.

Os traçadores radioativos foram aplicados no estudo da formação de complexos entre lantanídeos e tetraciclina bem como foram verificadas as possibilidades de separação de diversos elementos usando este complexante. Empregando a extração com solventes dos complexos de tetraciclina e lantanídeos, foi estudada a formação de complexos mononucleares e determinadas as constantes de constantes de estabilidade dos complexos [2]. Usando traçadores radioativos foi verificada a possibilidade de separação entre Zn e Sc, U e Np e do U de elementos de terras raras, Th de Pa e Ba [3].

Os traçadores radioativos foram também utilizados no estudo de determinações de elementos tóxicos Ni e Pb que não apresentam características nucleares favoráveis para INAA pelo método chamado de radioareagente. Este método consiste em medir a atividade do traçador deslocado do complexo de EDTA marcado com o elemento de interesse para determinação [4,5]. Uma das vantagens dos métodos radioreagentes é a possibilidade de sua aplicação mesmo em laboratórios que não dispõem de reatores nucleares, pois o fornecimento de traçadores é suficiente para analisar um número grande de amostras ambientais.

Um trabalho de grande interesse desenvolvido não só na área de odontologia, mas também na indústria de cremes dentais, foi sobre a aplicação do método traçador ^{32}P na determinação da abrasividade de dentifrícios e agentes abrasivos utilizados na produção de dentifrícios [6] e também na avaliação do desgaste da dentina pelos materiais restauradores [7].

2.2. Análise Instrumental por Ativação com Nêutrons (INAA)

Com o advento dos detectores de alta resolução, microcomputadores, softwares mais aprimorados para análise de espectros e não necessidade da etapa da dissolução de amostras irradiadas, os elementos químicos presentes numa amostra passaram a ser identificados pela meia-vida e a energia dos raios gama dos radionuclídeos formados. Desta maneira a RNAA passou a ser utilizada para obtenção de dados mais exatos e precisos quando o elemento não poderia ser determinado instrumentalmente.

Com as novas perspectivas para aplicações da INAA e a possibilidade de uma análise multielementar e a possibilidade do controle dos resultados pelas análises de materiais de referência certificados (MRC), esta técnica foi aplicada nos mais variados tipos de matrizes dentre eles as amostras de interesse na área do meio ambiente e da saúde.

2.2.1. Aplicações da INAA em estudos de interesse ambiental

Para avaliar os potenciais riscos decorrentes da poluição atmosférica eram realizadas análises físico-químicas que fornecem dados da qualidade do ar no tempo da medição. Porém com o conhecimento da relação existente entre os poluentes do ar e os elementos acumulados nos biomonitores, a INAA tornou uma técnica bastante adequada para as pesquisas do meio ambiente, possibilitando análise de um grande número de amostras sem a necessidade de dissolução da amostra.

Conseqüentemente a aplicação de biomonitores (líquens, cascas de árvores e folhas de plantas superiores, tecidos de animais) tornou se bastante popular devido à vantagem de monitoramento de poluentes acumulados a um longo período de tempo e em extensas áreas geográficas. Saiki e colegas [8] aplicaram a INAA no estudo da variabilidade das concentrações de elementos acumulados no biomonitor *Canoparmelia texana* coletado com diferentes tempos de exposição em distintos pontos de amostragens. Para escolha de espécie apropriada para biomonitoramento, Coccaro e colegas [9] aplicaram a INAA na análise de *C. texana*, *C. caroliniana*, *Parmotrema tinctorum*, *Parmotrema sancti-angeli* e *Usnea*. A espécie *C. texana* aplicada no biomonitoramento do município de Santo André da Região Metropolitana de São Paulo indicou que as amostras da Estação Capuava e Escola Estadual José H. de Paula apresentam as mais elevadas concentrações de vários elementos [10].

Fuga e colegas [11] monitorando os poluentes atmosféricos pela análise de líquen *C. texana* da Região Metropolitana de São Paulo verificaram altas

concentrações de Ba e Mn nas vizinhanças de uma indústria petroquímica e de Co em São Miguel Paulista devido a sua emissão de uma indústria metalúrgica. Ferreira e colegas [12] verificaram concentrações mais altas de As, Ca, Co, Cr, Fe, Hf, Sb e Th em amostras da espécie *C. texana* coletadas na cidade industrial de São Mateus do Sul, PR, Brasil do que daquelas coletadas numa área limpa da Mata Atlântica, SP devido provavelmente às emissões de indústrias de cerâmica e de xisto de óleo.

Saiki e colegas [13] analisaram *C. texana* coletada em diversos pontos da cidade de São Paulo e verificaram há uma associação entre as concentrações determinados elementos neles presentes com a taxa de mortalidade devido às doenças cardio-respiratórias.

Com relação ao uso de plantas superiores no biomonitoramento da poluição aérea tem se o trabalho de Sumita e colegas [14] que avaliaram a possibilidade do uso da *Tradescantia pallida* no monitoramento da poluição aérea. Para isso esta espécie foi cultivada em vasos e exposta em pontos considerados altamente poluídos da cidade de São Paulo nos bairros de Congonhas e Cerqueira Cesar e em um ponto da região considerada limpa em Caucaia do Alto, SP. A análise multielementar da *T. pallida* indicou a potencialidade do seu uso como acumulador de poluentes aéreos. Em outro trabalho, a planta *T. pallida* foi analisada para estabelecer um protocolo adequado para amostragem e tratamento destas amostras para biomonitoramento da poluição ambiental [15].

Zampiere e colegas [16] aplicaram a INAA na avaliação do acúmulo de minerais em *Aechmea blanchetiana* (Bromeliaceae) cultivadas *in vitro* em meios contaminados de Zn para determinação dos índices de translocação de Ca, Co, Fe, K e Zn e verificaram que a espécie apresenta tolerância a altos níveis de Zn, possibilitando a sua aplicação no biomonitoramento de áreas contaminadas de Zn.

Para biomonitoramento de alumínio em cascas de árvores, Noyori e colegas [17] demonstraram a aplicabilidade da INAA na quantificação do Al em cascas de arvores contendo Si e P que interferem na determinação de Al. Santos e colegas [18] estudaram diferenças de acúmulo de elementos poluentes com a porosidade da casca, diâmetros do tronco das árvores e espessura da camada superficial da casca utilizada para análise.

Além do uso de plantas como biomonitores, fígados da Garça Branca Grande (*Ardea alba*) foram analisados na avaliação da contaminação na Região Metropolitana de São Paulo e foi verificado que os teores diversos elementos estão mais elevados ou dentro da faixa de valores da literatura para aves de regiões contaminadas [19,20].

2.2.2. Aplicações de INAA em estudos de interesse na área da saúde

Com o aperfeiçoamento das técnicas analíticas e o conhecimento da função dos elementos químicos nos organismos humanos, INAA vem sendo aplicada para estudo da correlação existente dos teores de elementos com as doenças humanas. Os tipos de matrizes analisados foram os tecidos ou fluidos biológicos e produtos consumidos pelos indivíduos.

Dentre as pesquisas sobre elementos químicos em tecidos humanos, tem se a de cabelos de pacientes de uma clínica médica cujos valores obtidos foram comparados com os de grupo controle [21] e os de cabelos de idosos saudáveis que foram comparados com os valores estabelecidos pelos laboratórios clínicos ou dados da literatura [22].

A INAA foi também aplicada na análise de ossos humanos para uma comparação com os valores da literatura. Os elementos determinados foram Br, Ca, Cl, Cs, Cr, Fe, Mg, Mn, Na, P, Rb, Sr e Zn. O P foi determinado pela medida da atividade beta do ^{32}P no detector Geiger Muller [23].

Na área da saúde odontológica, a INAA foi aplicada no estudo de dentes humanos por meio das análises de dentes de leite, permanentes e da dentina e esmalte individualmente [24]. Posteriormente foi feita uma comparação entre os teores de elementos presentes nos esmaltes e dentinas bem como entre dentes cariados e sem cáries [25].

Na INAA de amostras de tecido pulmonar de grupo de mineradores da usina de carvão e de um grupo controle foi verificado que elementos Sc, Hf, Th, U e lantanídeos da poeira da mina de carvão são retidos nos pulmões dos mineradores [26].

Com relação às análises de sangue humano, esta análise requer cuidados especiais na sua coleta e estocagem, entretanto ela é considerada como uma matriz bastante adequada para diagnose de doenças devido à possibilidade de obter amostras de um grande grupo de populações. Além disso, estas determinações não levam apenas ao conhecimento do papel que eles desempenham no metabolismo humano, mas também permite estabelecer uma base importante para a diagnose de doenças e intoxicações. Saiki e colegas [27] aplicaram a INAA na análise de soro sanguíneo de uma população de idosos saudáveis para um estudo comparativo com os valores os valores utilizados nas clinicas bem como para avaliar as diferenças nos teores dos elementos entre distintas faixas etárias e gêneros. Em outro trabalho, Saiki e colegas [28] avaliaram a correlação existente entre elementos presentes no soro sanguíneo e os parâmetros bioquímicos e hematológicos do sangue.

No estudo de doenças neurodegenerativas, uma das hipóteses que têm ganhado considerável atenção é o envolvimento da toxicidade dos elementos traço. Assim, alterações nas concentrações dos elementos traço têm sido correlacionadas com desordens degenerativas neurológicas e a homeostase dos metais no cérebro tornando importante tanto para o funcionamento quanto para a prevenção de doenças cerebrais, uma vez que o cérebro é um órgão no qual se concentram diversos elementos. Leite e colegas [29] e Saiki e colegas [30] mostraram que há diferença entre as concentrações de elementos em diferentes partes do cérebro (hipocampo, frontal, temporal, occipital, parietal e cerebelo) para uma população normal e para indivíduos com declínio cognitivo.

Dentre amostras de interesse na área da saúde os produtos farmacêuticos incluindo os fármacos sintéticos, fitoterápicos e plantas medicinais vêm sendo analisados aplicando a INAA O estudo da composição elementar destes produtos merece especial atenção uma vez que muitos deles são comercializados sem a apresentação da prescrição médica em feiras livres, lojas de produtos naturais e podem conter elementos tóxicos ou elementos essenciais em quantidades não concordantes com as das bulas.

Vaz e colegas [31] determinaram Br, Ca, Cl, Cs, Fe, K, La, Mg, Mn, Na, Rb e Zn em extratos de plantas medicinais aplicando INAA e os elementos Hg e Se pela RNAA para identificação e de compostos responsáveis pelo efeito terapêutico das plantas. Yamashita e colegas [32] verificaram que há diferenças entre as três espécies da planta medicinal do gênero *Casearia* com relação às suas concentrações de elementos Cl, Co, Cs, Cr, La, Mn, Na e Sc indicando uma possível diferença também nos seus efeitos farmacológicos. Também Moreira e colegas [33] analisaram ervas medicinais (*Ginseng*, *Gingo biloba*, *Centella asiática*, *Amoreira* e *Aloe vera*) de diferentes procedências e idades das plantas para estudo da relação entre o conteúdo elementar e seus efeitos terapêuticos.

Dentre os trabalhos sobre análise de medicamentos sintéticos, as concentrações de Br, Ca, Co, Cr, Fe, K, La, Na, Sc e Zn foram determinadas em nove amostras de aspirina comercializados na cidade de São Paulo e comparados com os valores da literatura [34].

Aplicando a INAA os elementos Br, Ca, Cl, K, Mg, Na, Rb, Se e Zn foram determinados em venenos de três espécies de serpentes (*jararacuçu*, *cascavel* e *jararaca*) para o conhecimento do papel dos elementos na sua ação farmacológica [35] e em venenos de três subespécies *de cascavel* para avaliar as suas atividades biológicas [36].

Recentemente Paes e colegas [37] sintetizaram, para aplicações biomédicas, as nanopartículas de óxido de ferro recobertas com óleo de açaí e empregaram a INAA na determinação de ferro.

3. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Esta revisão fornece uma visão das publicações desenvolvidas por meio do uso do reator nuclear IEA-R1 no estudo de amostras de importância na área da saúde e meio ambiente. A técnica analítica nuclear de ativação com nêutrons é uma importante ferramenta para quantificação de elementos e os dados obtidos mostram a evolução na sua qualidade bem como o crescimento de suas aplicações em temas de pesquisa de atualidade. Devido à alta sensibilidade, precisão e exatidão dos resultados a INAA pode ser considerada como uma das técnicas de melhor escolha para quantificação de um grande número de elementos nos vários tipos de matrizes. Assim os aspectos mais positivos que resultaram do desenvolvimento destas pesquisas foram o crescimento de conhecimentos que reverteram na minha formação de pesquisador e da formação de recursos humanos especializados.

AGRADECIMENTOS

À Fundação à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

1. MIYAMARU, M.; LIMA, F.W. Aplicação do método de análise por ativação à determinação de poluentes atmosféricos. *Rev Bras Tecnol*, v. 4, p.133-140, 1973.
2. SAIKI, M.; LIMA, F.W. Determination of the stability constants for the complexes of rare earth elements and tetracycline. *J Radioanal Chem*, v. 36, p.435-450, 1977.
3. SAIKI, M.; NASTASI, M. J. C.; LIMA, F. W. Use of tetracycline as complexing agent in radiochemical separations. *J Radioanal Chem*, v. 64, p. 83-116, 1981.
4. MAZZILLI, B.; SAIKI, M. Uso de traçadores radioativos em reações químicas: deslocamento de complexos zinco-níquel com determinação quantitativa de níquel. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE QUÍMICA, 1983-1984, Rio de Janeiro-RJ. *Anais [...]*. v. 34-35, n. 1-4, p. 117-124.

5. FIGUEIREDO, A. M.; SAIKI, M.; LIMA, F. W. Application of the radioreagent method for trace determination of lead. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 88, p. 241-257, 1985.
6. CAMARGO, L. M. C. *et al.* Evaluation of the precision in the dentifrice abrasivity measurements obtained by a radiotracer method. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 249, p.487- 489, 2001.
7. ADACHI, L. K.; SAIKI, M.; CAMPOS, T. N. An *in vitro* investigation of human enamel wear by restorative dental materials. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 249, p.465-468, 2001.
8. SAIKI, M. *et al.* Determination of trace elements in lichens by instrumental neutron activation analysis. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 217, p.111-115, 1997.
9. COCCARO, D. M. D. *et al.* Evaluation of trace element in different species of lichens by neutron activation analysis. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 244, p.141-145, 2000.
10. SAIKI, M. *et al.* Analysis of lichen species for atmospheric pollution biomonitoring in the Santo André municipality, São Paulo, Brazil. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 273, p. 543-547, 2007.
11. FUGA, A. *et al.* Atmospheric pollutants monitoring by analysis of epiphytic lichens. *Environ Pollut*, v. 151, p. 334-340, 2008.
12. FERREIRA, A. B. *et al.* Elemental composition evaluation in lichens collected in the industrial city of São Mateus Sul, Paraná, Brazil. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 291, p. 71-76, 2012.
13. SAIKI, M. *et al.* Correlation study of air pollution and cardio-respiratory diseases through NAA of an atmospheric pollutant biomonitor. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 299, p. 773-779, 2014.
14. SUMITA, N. M. *et al.* *Tradescantia pallida* cv. *purpurea* boom in the characterization of air pollution by accumulation of trace elements. *J Air Waste Manag Assoc*, v. 53, p. 574-579, 2003.
15. SAIKI, M.; ALVES, E. R. INAA applied to *Tradescantia pallida* plant study for environmental pollution monitoring. *Czechoslovak J Phys*, v. 53, p. A189-A193, 2003.
16. ZAMPIERE, M. C. T. *et al.* Acúmulo de minerais em *Aechmea blanchetiana* (Baker) L.B. Smith (Bromeliaceae), contaminadas com zinco em cultivo *in vitro*. *Hoehnea*, v. 39, p. 379-385, 2012.

17. NOYORI, A.; SAIKI, M.; SOARES, G. S. Aluminum determination by instrumental neutron activation analysis in tree barks. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 314, p. 935-940, 2017.
18. SANTOS, E. C. *et al.* A study on tree bark samples for atmospheric pollution monitoring. *In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE*, 21-25 out. 2019, Santos–SP. *Proceedings* [...], 2019. p. 856-866. Sigla do evento: INAC.
19. SILVA, R. C. A.; SAIKI, M. Concentrations of trace elements in livers of the Great Egret (*Ardea alba*) from the metropolitan region of São Paulo, SP, Brazil. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 291, p. 119-122, 2012.
20. SILVA, R. C. A. *et al.* The great (*Ardea alba*) as a biomonitor of trace element contamination in the São Paulo Metropolitan Region, Brazil. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 319, p. 447-458, 2018.
21. SAIKI, M. *et al.* Determination of trace elements in human head hair by neutron activation analysis. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 26, p. 25-28, 1998.
22. SAIKI, M. *et al.* Determination of trace elements in scalp hair of an elderly population by neutron activation analysis. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 276, p. 53-57, 2008.
23. SAIKI, M. *et al.* Instrumental neutron activation analysis of rib bone samples, and of bone reference materials. *Biol Trace Elem Res*, v. 71-72, p. 41-46, 1999.
24. SOARES, M. A. B.; ADACHI, E. M.; SAIKI, M. INAA of enamel and dentine samples of a group of children and adults. A comparative study. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 276, p. 49-52, 2008.
25. SAIKI, M.; ADACHI, L. K.; ADACHI, E. M. Elemental comparison in sound and carious human teeth by instrumental neutron activation analysis. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 282, p. 29-32, 2009.
26. SAIKI, M.; SALDIVA, P. H. N.; ALICE, S. H. Evaluation of trace elements in lung samples from coal miners using neutron activation analysis. *Biol Trace Elem Res*, v. 71-72, p. 291-297, 1999.
27. SAIKI, M. *et al.* Trace element contents in serum of healthy elderly population of metropolitan São Paulo area in Brazil. *J Trace Elem Med Biol*, v. 21, p. 70-73, 2007.
28. SAIKI, M. *et al.* Evaluation of serum trace element, biochemical and hematological data of a healthy elderly group residing in São Paulo city, Brazil. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 281, p. 107-111, 2009.

29. LEITE, R. P. P. *et al.* Determination of trace elements in human brain tissues using neutron activation analysis. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 278, p. 581-584, 2008.
30. SAIKI, M. *et al.* Trace element concentrations differences in regions of human brain by INAA. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 296, p. 267-272, 2013.
31. VAZ, S. M. *et al.* Neutron activation analysis of medicinal plant extracts. *J. Radioanal Nucl Chem*, v. 195, p. 185-191, 1995.
32. YAMASHITA, C. I. *et al.* Characterization of trace elements in *Casearia* medicinal plants by neutron activation analysis. *Appl Rad Isot*, v. 63, p. 841-846, 2005.
33. MOREIRA, H. S. *et al.* Elemental composition of herbal medicines sold over-the counter in São Paulo city, Brazil. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 290, p. 615-621, 2011.
34. MIYOSHI, E. K.; SAIKI, M. Trace element impurity determinations in aspirin tablets by INAA. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 280, p. 299-301, 2009.
35. SAIKI, M. *et al.* Analysis of brazilian snake venoms by neutron activation analysis. *J Radioanal Nucl Chem*, v. 151, p. 271-276, 1991.
36. LAPORTA-FEREIRA, I. L. *et al.* Comparative analyses of inorganic elements in venoms from three subspecies of *Crotalus durissis* from Brazil. *J Nat Toxins*, v. 6, p.103-110, 1997.
37. PAES, S. C. *et al.* Açai oil as an alternative in the synthesis and coating of iron oxide nanoparticles. *In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE*, 21-25 out. 2019, Santos–SP. *Proceedings [...]*, 2019. p. 2437-2442. Sigla do evento: INAC.

