

ELEMENTOS INORGÂNICOS PRESENTES EM AÇÚCARES CONSUMIDOS NO BRASIL E NA ARGENTINA

Salles, P.M.B.^{1*}, Menezes, M.Â.B.C.² e Campos, T.P.R.¹

¹ Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Departamento de Engenharia Nuclear (DEN)
* Pós-graduação em Ciências e Técnicas Nucleares

² Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear/Comissão Nacional de Energia Nuclear (CDTN/CNEN),
Serviço de Reator e Técnicas Analíticas (SERTA)
Av. Presidente Antônio Carlos nº 6627, CEP 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil

RESUMO

Os constituintes inorgânicos presentes nos açúcares ocorrem na forma de íons, sais, em complexos moleculares orgânicos ou como compostos insolúveis. A ocorrência desses elementos pode ser devido a fatores naturais decorrentes do plantio vegetal, mas as atividades antrópicas também são contribuintes para a contaminação dos ecossistemas naturais. Logo, há interesse cada vez maior em se determinar e quantificar os contaminantes na cadeia alimentar, inclusive os radionuclídeos naturais, considerando os aspectos relativos à radioproteção e aos efeitos secundários que possam causar ao organismo consumidor. Em relação ao tório, os seus isótopos naturais além de emissores gama, são emissores alfa, cuja contaminação interna, principalmente por meio da ingestão, representa grande preocupação com relação aos prejuízos para a saúde humana. Este estudo teve como objetivo verificar a presença de elementos inorgânicos, incluindo o tório, em amostras de açúcar cristal e mascavo disponíveis para o consumo no Brasil e na Argentina. Os elementos químicos foram determinados pela técnica de ativação neutrônica, método k_0 padronizado, utilizando o reator TRIGA MARK I IPR-R1 localizado no CDTN/CNEN, em Belo Horizonte. Os elementos Au, Br, Co, Hf, K, Na, Sb, Sc e Zn foram encontrados nas amostras de açúcar analisadas disponíveis para consumo em ambos os países. O Th foi encontrado em amostra de açúcar mascavo disponível para consumidores no Brasil. Os resultados de concentração foram discutidos comparando os valores encontrados com os valores máximos previstos nas legislações internacionais, brasileiras e argentina vigentes. A ingestão de Th induz a fixação deste elemento nos ossos, pois tem comportamento semelhante ao cálcio, podendo contribuir para o surgimento do câncer ósseo. Este estudo foi uma pesquisa preliminar, pois mais amostras deverão ser analisadas; entretanto, pode-se concluir que a detecção daqueles elementos em amostras de açúcar é relevante, visto que a ingestão dos contaminantes a longo prazo representa um risco à saúde.

Palavras chave: Açúcares, elementos inorgânicos, k_0 -INAA, tório

1. INTRODUÇÃO

O açúcar pode ser produzido a partir de diversas plantas, mas disponibilizado para consumo comercial é proveniente da cana-de-açúcar e da beterraba [1]. Comercialmente, o termo "açúcar" se refere à sacarose [2,3]. O percentual de sacarose na cana é de 60%, enquanto que na beterraba este percentual cai para 15% a 20%. Logo, é mais vantajoso economicamente produzir açúcar de cana. Porém, sob o ponto de vista químico, não há diferença entre o açúcar proveniente de cana e de beterraba, pois em ambos há praticamente 100% de sacarose. Por isso, as empresas não são obrigadas a informar nos rótulos de seus produtos a procedência do açúcar, se é de cana ou de beterraba [1].

¹ pauladesalles@yahoo.com.br

Os constituintes inorgânicos da cana-de-açúcar ocorrem na forma de íons, sais, integrantes de complexos moleculares orgânicos ou como compostos insolúveis. Os principais cátions são o K, elemento que aparece em maior quantidade (60% das cinzas presentes no caldo), Ca, Fe, Al, Na, Mg, Mn, Cu e Zn. Entre os ânions destacam-se os fosfatos, cloretos, sulfatos, nitratos, silicatos e oxalatos [4,5].

A presença de elementos inorgânicos em açúcar pode ocorrer devido a fatores naturais decorrentes do plantio do vegetal, como localização geográfica da plantação, tipo de solo, conteúdo das águas de drenagem e do tipo de plantação cultivada nas proximidades. No entanto, as atividades antrópicas, como a intervenção nos solos para o desenvolvimento de atividades agropecuárias, a exploração mineral, os resíduos sólidos e de processos industriais são contribuintes importantes para a contaminação de ecossistemas naturais [6].

A concentração total de traços de metais e de outros elementos químicos pode variar de acordo com os diferentes tipos de solo [7]. Considera-se que a incorporação desses subprodutos da cana-de-açúcar ao solo pode aumentar a sua composição natural de macro e micro nutrientes, incluindo a presença de metais [8,9] e de radionuclídeos em sua composição. Rochas fosfatadas podem conter concentrações substanciais de urânio, tório, rádio e de seus produtos de decaimento. Fertilizantes a base de fosfatos, quando aplicados em campos inférteis durante o cultivo, poderiam elevar os níveis de radioatividade do solo [9,10], sendo identificados como fonte de emissão de metais para o ar, solo, água, plantas e animais por meio da cadeia alimentar [11,12].

O açúcar é reconhecidamente classificado como um ingrediente alimentar seguro. Entretanto, por ser um produto que passou por diversos procedimentos envolvendo produtos químicos, contato com equipamentos e estocagem, ensacamento, distribuição e embalagem pode conter diversos contaminantes [13], que são capazes de comprometer a segurança alimentar do produto. A partir do momento em que a fonte de alimento apresenta elementos inorgânicos em sua composição esses podem se tornar fonte potencial de ingestão por seres humanos.

A maioria das espécies vegetais que crescem em solos, principalmente poluídos, absorvem diversos elementos [14]. O acúmulo de traços de metais, metaloides e demais elementos inorgânicos em solos agrícolas é de interesse crescente, devido a questões de segurança alimentar por apresentarem potenciais riscos para a saúde humana, assim como para os ecossistemas do solo [15].

Cerca de vinte e cinco elementos são considerados essenciais para o organismo humano [16-20]. Há dificuldades em se estabelecer exatamente os mecanismos através dos quais os íons metálicos exercem seus efeitos tóxicos, pois os íons metálicos estabilizam e ativam muitas proteínas e também são requeridos por muitas enzimas. Muitas proteínas contêm grupos sulfidrílica que podem se ligar a um metal macio [21]. Este é um dos mecanismos prováveis de ocorrer entre proteínas e metais. O efeito tóxico de alguns metais à semelhança dos mecanismos de absorção também está relacionado ao fato destes substituírem os metais essenciais em seus sítios de atuação. Assim, a identificação da presença e determinação da concentração de elementos químicos associados ao açúcar, possivelmente como contaminantes, é relevante porque o consumo desse alimento irá provocar um aumento da ingestão dos contaminantes inorgânicos, sendo então necessário determinar qual a parcela de contribuição do açúcar na ingestão desses elementos e a possibilidade de provocar doenças.

Dessa forma, este estudo teve como objetivo verificar a presença de elementos inorgânicos, incluindo o tório, em amostras de açúcar cristal e mascavo disponíveis para o consumo no Brasil e na Argentina.

2. MÉTODO

2.1. Coleta de Amostras

As amostras de açúcar cristal e mascavo analisadas neste estudo estavam acondicionadas em sachês industrializados de conteúdo entre 3 e 5 g, disponibilizados para os consumidores em locais públicos no Brasil e na Argentina, como cafés, bares e restaurantes. Entretanto, não se tem conhecimento do local de produção do açúcar ou cultivo de sua matéria prima, assim como de sua origem vegetal da cana-de-açúcar ou da beterraba.

2.2. Análises das Amostras

A técnica utilizada para a determinação dos elementos químicos foi a de Ativação Neutrônica, método k_0 padronizado, k_0 -INAA [23-25], seguindo a metodologia de amostras grandes recém-estabelecida no Laboratório de Ativação Neutrônica, Serviço de Reator e Técnicas Analíticas (SERTA), CDTN/CNEN (Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear/Comissão Nacional de Energia Nuclear).

A análise por Ativação Neutrônica é uma técnica analítica nuclear que determina a composição química elementar. Baseia-se na medida da radioatividade artificial de uma amostra na qual, mediante a irradiação com nêutrons, foi induzida a radioatividade [22, 26, 27]. Para que seja aplicada essa técnica, é necessário que se disponha de um irradiador de nêutrons. Neste estudo foi utilizado o reator de pesquisa TRIGA MARK I IPR-R1 localizado no CDTN/CNEN.

Para a execução da análise, as amostras foram acondicionadas acompanhadas por monitor de fluxo de nêutrons que é uma liga de Al-Au (0,1%), irradiadas por 8 horas, submetidas à espectrometria gama e determinação das concentrações dos elementos identificados pelos seus radionuclídeos. Para o controle de qualidade, foram analisadas amostras de material de referência IAEA/Soil 7 (solo) e GBW 0805 Tea leaves (folhas de chá), analisadas nas mesmas condições que as amostras [25].

O sistema de detecção gama foi composto de detector gama HPGe com eletrônica associada e programa de aquisição de espectros Genie 2000, CANBERRA. A avaliação dos espectros gama foi realizada com o programa HyperLab [28,29] e as concentrações elementares foram obtidas por cálculos executados com o programa Kayzero for Windows® (*Kayzero for Windows for reactor neutron activation analysis (NAA) using the k_0 standardization method Version 2, User's Manual, 2005*) específico para o método k_0 .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os resultados experimentais e os recomendados das amostras de referência IAEA/Soil 7. Pode-se observar que os resultados experimentais estão de acordo com os certificados.

Os resultados das amostras de açúcar mascavo e cristal coletados em amostras de açúcar disponíveis aos consumidores brasileiros e argentinos estão apresentados na Tabela 2. Os elementos Al, Mg e Mn não se encontram nas tabelas porque os seus produtos de ativação são radionuclídeos de meias vidas curtas e neste trabalho o esquema de irradiação aplicado foi para determinar elementos cujos radionuclídeos são de meias vidas médias e longas. O elemento Pb não foi determinado, pois não apresenta características nucleares adequadas para ser analisado por ativação neutrônica.

Tabela 1: Resultados certificados e experimentais dos materiais de referência

Elementos	GBW 0805 (Tea leaves)		IAEA/Soil7	
	Valores Certificados (mg kg ⁻¹)	Valores Experimentais (mg kg ⁻¹)	Valores Certificados (mg kg ⁻¹)	Valores Experimentais (mg kg ⁻¹)
As	0,191 ± 0,03	0,199 ± 0,017	13,4 ± 0,85	13,2 ± 0,5
Ba	15,7 ± 2,04	14,8 ± 1,2	159*	149 ± 9
Ca	2840 ± 227,20	3134 ± 195	163000*	165900 ± 6400
Ce	0,686 ± 0,09604	0,74 ± 0,04	61 ± 6,50	59 ± 2
Co	NR	< 1	8,9 ± 0,85	9,0 ± 0,5
Cr	NR	< 0,1	60 ± 12,50	62 ± 3
Cs	NR	< 0,1	5,4 ± 0,75	5,3 ± 0,2
Fe	373,0 ± 26,11	399 ± 14	25700*	26750 ± 930
Hf	NR	< 1	5,1 ± 0,35	4,8 ± 0,2
K	19700 ± 1379,00	20860 ± 733	12100*	12190 ± 480
La	0,458 ± 0,0229	0,44 ± 0,02	28 ± 1,00	28 ± 1
Na	142 ± 14,20	159 ± 6	2400*	2422 ± 22
Nd	NR	< 2	30 ± 6	28 ± 1
Rb	36,9 ± 1,476	39 ± 1	51 ± 4,50	49 ± 4
Sb	0,037 ± 0,00333	0,042 ± 0,002	1,7 ± 0,20	1,6 ± 0,1
Sc	NR	< 0,01	8,3 ± 1,05	8,7 ± 0,3
Sm	NR	< 1	5,1 ± 0,35	4,90 ± 0,03
Sr	10,8 ± 1,84	12,4 ± 0,9	NR	< 50
Ta	NR	< 0,1	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,1
Tb	NR	< 0,2	0,6 ± 0,2	0,63 ± 0,03
Th	0,105 ± 0,0126	0,114 ± 0,004	8,2 ± 1,05	7,8 ± 0,3
U	NR	< 0,1	2,6 ± 0,55	2,1 ± 0,2
Yb	NR	< 0,1	2,4 ± 0,35	2,3 ± 0,1
Zn	38,7 ± 3,87	38 ± 3	104 ± 6,0	108 ± 5

NR, não reportado; *, valor informativo

Tabela 2. Elementos inorgânicos em amostras de açúcar cristal e mascavo

Elementos	Amostras Coletadas na Argentina		Amostras Coletadas no Brasil	
	Açúcar Cristal (mg kg ⁻¹)	Açúcar Mascavo (mg kg ⁻¹)	Açúcar Cristal (mg kg ⁻¹)	Açúcar Mascavo (mg kg ⁻¹)
As	0,001 – 0,02	0,001 – 0,021	< 0,01	0,01 – 0,29
Au	0,00001 – 0,0004	0,0002 – 0,00002	0,00003 – 0,00018	0,0001 – 0,0006
Ba	< 1	< 2	< 1	0,1 – 1,2
Br	0,001 – 0,05	0,002 – 0,05	0,001 – 0,009	0,1 – 2,7
Ca	< 150	26 – 146	< 150	283 – 1726
Cd	< 1	< 1	< 0,1	< 0,1
Ce	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,005 – 0,048
Co	0,001 – 0,004	0,001 – 0,02	0,001 – 0,007	0,001 – 0,037
Cr	< 0,07	< 0,07	0,01 – 0,03	0,03 – 0,70
Cs	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,0004 – 0,0067
Cu	< 20	< 20	< 20	< 20
Fe	< 4	< 4	0,4 – 2,6	2 – 43
Hf	0,001 – 0,01	0,001 – 0,01	0,001 – 0,011	0,0005 – 0,0080
Hg	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
K	4 – 114	5 – 195	0,2 – 5,9	177 – 5044
La	< 0,002	0,0003 – 0,003	< 0,02	0,001 – 0,019
Na	0,01 – 3,7	0,1 – 4,5	1 – 3	0,4 – 10,5
Nd	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Rb	< 0,2	0,16 – 0,03	< 0,2	< 0,02
Sb	0,0002 – 0,01	0,0003 – 0,005	0,001 – 0,008	0,0005 – 0,0083
Sc	0,0001 – 0,0003	0,0002 – 0,003	0,0001 – 0,0002	0,0001 – 0,0036
Se	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Sm	< 0,0002	0,00004 – 0,0005	< 0,0002	0,3 – 3,2
Sn	< 100	< 100	< 100	< 100
Sr	< 2	< 2	< 2	0,3 – 3,2
Th	< 0,004	< 0,004	< 0,004	0,0004 – 0,0039
Zn	1 – 25	1 – 25	1 – 26	1 – 29

Como resultado, verificou-se que os elementos Au, Br, Ca, Co, Hf, K, La, Na, Sb, Sc, Sm e Zn foram encontrados nas amostras de açúcar analisadas disponíveis para consumo em ambos os países. O açúcar mascavo adquirido no Brasil apresentou maior quantidade de contaminantes, contendo os elementos Ba, Ce, Cr, Cs, Fe, Sr e Th que não foram detectados nas amostras disponíveis na Argentina.

O açúcar mascavo não passa por processo de cristalização ou refino, tendo como característica a sua produção, normalmente artesanal, para qual não são utilizados procedimentos de purificação do caldo, assim como a separação e secagem do açúcar [30]. Logo, é grande a possibilidade de determinados elementos como o ferro e diversos outros elementos na forma de sais minerais [31] serem mantidos no produto final, o que justifica os maiores teores e a presença de diferentes elementos em amostras de açúcar mascavo.

Em relação à legislação vigente, a brasileira, ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária [32] no Decreto nº 55871 de 26 de Maio de 1965 prevê valores máximos de aditivos e contaminantes inorgânicos em alimentos para As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, Se e Zn. Já a Portaria 685 de 27 de Agosto de 1998 [33] estabelece valores normativos para a presença de As, Cd, Cu, Hg, Pb e Sn. As duas normas determinam as quantidades de As e Pb em açúcar, sem especificar qual tipo [34]. No presente estudo, resolveu-se reportar os valores previstos no Decreto de 1965, assim como da Portaria de 1998, assumindo-se os valores da legislação mais recente.

Em termos de legislação internacional, a legislação argentina, representada pelo “Código Alimentario Argentino” [35] estabelece o limite para os elementos As, Cu e Pb no açúcar branco, cristal e refinado. A ICUMSA (*International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis*) [36] especifica para açúcar de cana valores máximos para As e Pb em açúcar cristal e refinado, e As, Cd, Cu, Hg, Pd e Zn, em mascavo. Para o de beterraba, há valores para As, Cu e Pb. A Tabela 3 apresenta os valores máximos especificados de elementos inorgânicos em açúcar de cana, sendo ele mascavo ou refinado, e em açúcar de beterraba tanto no exterior, como no Brasil e na Argentina.

Tabela 3. Concentrações máximas de contaminantes em açúcar para consumo previstos na legislação

Elem.	Legislação Internacional			Legislação Brasileira	Legislação Argentina
	Açúcar de Cana		Açúcar de Beterraba	Açúcar de Cana	
	Mascavo	Cristal e Refinado		Açúcar em Geral e Alimentos	Cristal e Refinado
	ICUMSA 800/1200 (mg kg ⁻¹)	De Cana ICUMSA 45 (mg kg ⁻¹)	ICUMSA 45 (mg kg ⁻¹)	ANVISA (mg kg ⁻¹)	Código Alimentario Argentino (mg kg ⁻¹)
As	0,5	0,5	1,0	1,0**	1,0
Cd	0,05	NP	NP	1,0**	NP
Cr	NP	NP	NP	0,1*	NP
Cu	1,0	NP	NP	30,0**	2,0
Hg	1,0	NP	NP	0,01**	NP
Sb	NP	NP	NP	2,0**	NP
Se	NP	NP	NP	0,3**	NP
Sn	NP	NP	NP	150,0**	NP
Zn	3,0	NP	NP	50,0*	NP

Elem, elementos; NP, não previsto; *, 1965; **, 1998.

Observando-se a Tabela 3, verifica-se que em relação a As, Cd, Cu, Hg, Se e Sn, nenhum grupo de amostra se igualou ou excedeu os valores previstos na legislação brasileira, argentina ou internacional. Em contrapartida, as concentrações de Zn em açúcar mascavo, tanto em amostras de açúcar comercializadas no Brasil, como em amostras comercializadas na Argentina, excederam os valores máximos recomendados de 3,0 mg kg⁻¹, de acordo com ICUMSA 800/1200. O grupo de açúcar mascavo brasileiro apresentou resultados mais elevados do que os encontrados no açúcar disponível na Argentina. Dentre os elementos detectados, o Cr e o Zn foram os que apresentaram maiores concentração quando comparados aos valores estabelecidos pelas legislações internacionais e brasileiras.

Apesar de as legislações brasileiras, argentina e internacional não considerarem a presença de Th como contaminante de alimentos, incluído o açúcar, este foi detectado no açúcar mascavo disponível para consumo no Brasil. É importante ressaltar que a transferência de radionuclídeos de solos agrícolas para humanos pode ser prejudicial se a dose máxima é ultrapassada [37-39] causando sérios problemas de saúde. Uma vez que os radionuclídeos se acumulam no corpo humano, certos tecidos podem apresentar níveis de radioatividade mais elevados do que o limite padrão [38], havendo a possibilidade de surgir doenças como câncer [41]. É importante lembrar que o tório determinado é o ²³²Th, 100% de abundância isotópica,

meia vida de $1,41 \times 10^{10}$ anos, emissor gama de 12,3 keV e alfa, de energias de 3,953 e 4,083 MeV, e responsável pela série radioativa natural 4n [42].

Para o Th a principal fonte de preocupação é a contaminação interna. No caso deste elemento, de 0,02 a 0,05% da fração contaminante é absorvida pelo trato digestório. Da parcela absorvida, 70% são fixados na porção mineral da matriz do endóstio e se distribui para todo o tecido ósseo com uma meia-vida biológica de 22 anos [43].

O Th é um metal tetravalente com raio iônico de $1,10 \text{ \AA}$ e, assim como o urânio, o seu tamanho iônico provoca comportamento semelhante ao cálcio bivalente [44]. Sendo assim, por possuir comportamento semelhante ao Ca no organismo, o órgão que sofre maior dano causado pelo tório natural é o osso [45] e por isso é fonte de preocupação quanto ao surgimento de câncer ósseo. O restante do tório absorvido é capaz de se acumular no fígado e demais tecidos, com meia-vida biológica de 700 dias, ou também pode ser excretado pelos rins [43].

4. CONCLUSÕES

Os resultados das análises revelaram a presença nas amostras de açúcar, de elementos como Au, Ce, Cs, Hf, La, Sc, Sm e Th, que não constam da lista dos elementos essenciais ao ser humano e que são potencialmente tóxicos, pois tendem a se ligar a sítios com enxofre, como o grupo sulfidila (-SH) em proteínas por serem metais macios [21,46]. Considerando que o consumo médio de açúcar do brasileiro seja de 10 a 15 kg por ano [47], esta tendência levanta a possibilidade de risco à saúde, principalmente se há um longo período de ingestão dos alimentos contendo concentrações elevadas de contaminantes que podem trazer malefícios à saúde dos indivíduos consumidores.

Os elementos Au, Br, Ca, Co, Hf, K, La, Na, Sb, Sc, Sm e Zn foram encontrados nas amostras de açúcar analisadas disponíveis para consumo em ambos os países. O Th foi encontrado em amostra de açúcar mascavo disponível para consumidores no Brasil.

É importante ressaltar que as concentrações de elementos inorgânicos presentes no açúcar cristal e mascavo são diferentes e variam de acordo com as características da região em que é produzido, com o processo de produção e com a tecnologia empregada. O açúcar mascavo foi o açúcar que apresentou maior variedade de contaminantes em sua composição, incluindo o Th, que é também de interesse sob o ponto de vista de proteção radiológica. A presença e diversidade de elementos no açúcar mascavo podem ser explicadas pelo fato de este tipo de açúcar não passar por processos industriais aos quais são submetidos os açúcares cristal e refinado. Logo, é importante estudar a absorção e distribuição desses elementos contaminantes em vegetais e solos de cultivo, de modo a auxiliar na identificação das causas de contaminação do alimento por elementos inorgânicos e radionuclídeos.

Este estudo [48] foi uma pesquisa preliminar, pois mais amostras deverão ser analisadas, entretanto, os resultados permitem sugerir que sejam estabelecidos limites máximos recomendados não apenas para alimentos em geral, mas também para açúcares especificamente. A presença desses elementos no açúcar representa um risco à saúde a longo prazo.

5. REFERÊNCIAS

1. Smulderes, M.J.M., Esselink, G.D., Everaert, I., De Riek, J., Vosman, B. "Characterisation of sugar beet (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) varieties using microsatellite markers". *BMC Genetics*, v. **18**, pp. 11-41 (2010).
2. Draycott, A.P., Christenson, D.R. *Nutrients for sugar beet production: Soil-plant relationships*. CABI Publishing, Wallingford, United Kingdom (2003).
3. Junk, W.R., Pancoast, H.M. *Handbook of sugars: for processors, chemists and technologists*. 2nd ed. AVI Publishing Company, Westport, Ireland (1973).
4. Chen, J.C.P., Chou, C. *Cane Sugar Handbook. A manual for cane sugar manufacturers and their chemists*. 12nd.ed. New York John Wiley & Sons (1993).
5. Chou, C.C., Iqbal, K., Min, Y.G., Gao, D.W., Duffaut, E. "SAT process as a replacemant for sulfitation in mill white sugar production". *International Sugar Journal*, v. **108**, pp. 247-253 (2006).
6. Alumaa, P., Kirso, U., Petersell, V., Steinnes, E. "Sorption of toxic heavy metals to soil". *International Journal of Hygiene and Environment Health*, v. **204**, pp. 375-6, (2002).
7. Ross, S.M. *Toxic metals in soil-plants systems*. Chichester, West Sussex, England: John Wiley & Sons, (1996).
8. Ramalho, J.F.G.P., Amaral Sobrinho, N.M.B. "Metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso de resíduos agroindustriais". *Floresta e Ambiente*, v. **8**, pp. 120-129 (2001).
9. Akhtar, N., Tufail, M., Ashraf, M. "Natural environmental radioactivity and estimation of radiation exposure from saline soils". *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. **1**, pp. 279-285 (2005).
10. Akhtar, N., Tufail, M., Ashraf, M., Mohsin-Iqbal, M. "Measurement of environmental radioactivity for estimation of radiation exposure from saline soil of Lahore, Pakistan". *Journal of Radiation Measurements*, v. **39**, pp. 11-14 (2005).
11. Awotoye O.O., Oyedele, D.J., Anwadike, B.C. "Effects of cow-dung and rock phosphate on heavy metal content in soils and plants". *Journal of Soil Science and Environmental Management*, v. **2**, pp. 193-197 (2010).
12. Javied, S., Mehmood, T., Chaudhry, M.M., Tufail, M., Irfan, N. "Heavy metal pollution from phosphate rock used for the productionof fertilizer in Pakistan." *Microchemical Journal*, v. **91**, pp. 94-99 (2008).
13. Ioannidou, M.D., Zachariadis, G.A., Anthemidis, A.N., Stratis, J.A. "Direct determination of toxic trace metals in honey and sugars using inductively coupled plasma atomic emission spectrometry". *Talanta*, v. **65**, pp. 92-97 (2005).
14. Baker, A.J.M. "Accumulators and excluders—strategies in the response of plants to heavy metals". *Journal of Plant Nutrition*, v. **3**, pp. 643-654 (1981).
15. McLaughlin, M.J., Parker, D.R., Clarke, J.M. "Metals and micronutrients—food safety issues. *Field Crops Research*", v. **60**, pp. 43-163 (1990).
16. Hay, R.W. *Bio-inorganic chemistry*. Chichester: Ellis Horwood, (1987).
17. Manahan, S. E. *Toxicological chemistry: a guide to toxic substances in chemistry*. 4. Ed. Chelsea: Lewis Publishers (1991).
18. Mertz, W. The essential trace elements. *Science*, v. **213**, pp. 1332-1338 (1981).
19. Sigel, H. *Metal ions in biological systems*. New York: Marcel Dekker (1979).
20. Sigel, H. *Concepts on metal ion toxicity*. New York: Marcel Dekker (1986).
21. Cotton, F.A., Wilkinson, G.; Gaus, P. L. *Basic inorganic chemistry*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons (1987).

22. De Corte, F. *The k_0 -Standardization Method: A Move to the Optimization of Neutron Activation Analysis*. Ph.D. Thesis. GENT University (1987).
23. Menezes, M.Â.B.C., Sabino, C.V.S., Franco, M.B., Kastner, G. Montoya Rossi, F.E.H. “ k_0 - Instrumental Neutron Activation establishment at CDTN. Brazil: a successful story”. *J. Radioanal. and Nucl. Chem.*, v. **257**, pp. 627 (2003).
24. Menezes, M. Â. B. C.; Jacimovic, R. “Optimised k_0 -instrumental neutron activation method using the TRIGA MARK I IPR-R1 reactor at CDTN/CNEN. Belo Horizonte. Brazil. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A - Accelerators. Spectrometers. Detectors and Associated Equipment”. v. **564**. p. 707-715. 2006.
25. Menezes, M. Â. B. C.; Jacimovic, R. “Implementation of a methodology to analyse cylindrical 5-g sample by neutron activation technique. k_0 method. at CDTN/CNEN. Belo Horizonte. Brazil”. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. v. **300**. pp. 523-531 (2014).
26. Adloff, J.P., Guillaumont, R. *Fundamentals of radiochemistry*. Boca Raton: CRC Press (1993).
27. Lieser, K. H. *Nuclear and radiochemistry: fundamentals and applications*. Weheim: VCH Verlagsgesellschaft mbH (1997).
28. HYPERLAB “HyperLab Software”. www.hlabsof.com (2013)
29. Simonits, A., Ostor, J., Kalvin, S., Fazekas, B. “HyperLab: A new concept in gamma-ray spectrum analysis”. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. **257**, pp. 589-595 (2003).
30. Parazzi, C., Jesus, D.A., Lopes, J.J.C., Valsechi, O.A. “Análises microbiológicas do açúcar mascavo”. *Bioscience Journal*, v. **25**, pp. 32-39 (2009).
31. Mezaroba, S., Meneguetti, C.C., Groff, A.M. “Processos de produção do açúcar de cana e os possíveis reaproveitamos dos subprodutos e resíduos resultantes do sistema.” In: *IV Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial*, Campo Mourão, 17 a 19 de novembro, FECILCAM (2010).
32. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasil. *Decreto nº 55871, de 26 de Março de 1965*. Modifica o Decreto nº 50 040, de 24 de janeiro de 1961, referente a normas reguladoras do emprego de aditivos para alimentos, alterado pelo Decreto nº 691, de 13 de Março de 1962. D.O.U. Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 09 de Abril de 1965. Brasília, DF.
33. ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasil. *Portaria nº 29, de 13 de janeiro de 1998*. Aprova o regulamento técnico referente a alimentos para fins especiais. D.O.U. Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 30 de março de 1998. Brasília, DF.
34. Leal, A.S., Menezes, M.Â.B.C., Rodrigues, R.R., Andonie, O., Vermaercke, P., Sneyers, L. “A comparative neutron activation analysis study of common generic manipulated and reference medicines commercialized in Brazil”. *Applied Radiation and Isotopes*, v. **66**, pp. 1307-1312 (2008).
35. Codigo Alimentario Argentino. <http://www.alimentosargentinos.gov.ar> (1990).
36. ICUMSA – *International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis*. www.icmsa.org (2013).
37. International Commission for Radiation Protection (ICRP). *Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides*. Ingestion and inhalation coefficients, ICRP Publication 72 (Ann. ICRP 26 (1)) (Oxford: Pergamon) (1996).
38. International Atomic Energy Agency, (IAEA). *Measurement of radionuclides in food and the environment*. Technical Report Series No. 295, IAEA, Vienna (1989).

39. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic *Radiations* (UNSCEAR), *Ionizing radiation: source effects and biological effects*. Report to the General Assembly with Annexes 107–140 (1982).
40. International Atomic Energy Agency, (IAEA). *Measurement of radionuclides in food and environment*. IAEA Technical Report Series 295, Vienna, IAEA (1990).
41. Giuffré L.C.L., Ratto MS, Marban L. “Heavy metals input with phosphate fertilizers used in Argentina”. *Journal of Science for Total Environment*, v. **204**, pp. 245-250 (1997).
42. THORIUM-WASTE. <http://www.thorium-waste.com/Radiation.html> (2015).
43. Ramos, G.F.R. “*Determinação de isótopos de urânio e tório e polônio em perfis de sedimentos da baixada santista, SP*”. Dissertação em Tecnologia Nuclear, IPEN, São Paulo, 72p (2010).
44. Rio, M.A.P. “*Indústrias de Mineração Não Nucleares e o Aumento da Exposição à Radiação Natural*”. Tese em Biologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 130 p. (1999).
45. Tomida, R.M. “*Determinação de Iodo-131 e Tório em Urina*”. Dissertação em Energia Nuclear, Instituto de Energia Atômica, São Paulo, 72p (1978).
46. Pearson, R.G., Songstad, J. Application of the Principle of Hard and Soft Acids and Bases to Organic Chemistry. *Journal of American Chemical Society*, v. **89**, pp. 1827-36 (1967).
47. Ismail, A.I., Tanzer, J.M., Dingle, J.L. “Current trends of sugar consumption in developing societies”. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, v. **25**, pp. 438-443 (1997).
48. Salles, P.M.B., Menezes, M.Â.B.C., Campos, T.P.R. “Inorganic Elements in Sugar Samples”. In: *4th International Nuclear Chemistry Congress*, 14 a 19 de setembro, Maresias, São Paulo, Brasil, Book of Abstracts (2014)