

DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DE PLANTAS MEDICINAIS PELO MÉTODO DE ANÁLISE POR ATIVAÇÃO COM NÊUTRONS

Árissa Takamoto^{1,2} e Mitiko Saiki¹

¹ Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP)
Av. Professor Lineu Prestes, 2242
05508-000, São Paulo, SP, Brasil
arissa.takamoto@gmail.com; mitiko@ipen.br

² Instituto de Química - Universidade de São Paulo (IQ - USP)
Av. Professor Lineu Prestes, 748
05508-000 São Paulo, SP, Brasil

RESUMO

As análises de plantas medicinais apresentam grande interesse para o estudo da correlação entre elementos nelas presentes com as suas atividades terapêuticas, bem como identificar os elementos tóxicos prejudiciais à saúde humana. Neste trabalho aplicando o método de análise por ativação com nêutrons (NAA) foram analisadas as plantas medicinais: *Aloe vera* (Babosa), *Morus nigra sp.* (Amoreira) e *Moringa oleífera* (Moringa). As amostras foram coletadas em diferentes localidades e adquiridas em loja de produtos naturais. O preparo consistiu na limpeza, secagem e moagem das folhas. Alíquotas das amostras foram irradiadas com padrões sintéticos de elementos por um período de 16 h e sob fluxo de nêutrons térmicos de $5 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ do reator nuclear IEA-R1. As atividades gama induzidas foram medidas em um espectrômetro de raios gama acoplado a um detector de alta resolução. Os radioisótopos formados foram identificados pela meia vida e energia dos raios gama e as concentrações dos elementos foram calculadas pelo método comparativo. Os resultados das análises dos materiais de referência certificados INCT-TL-1 *Tea Leaves* e INCT-MPH-2 *Mixed Polish Herbs* apresentaram boa precisão e exatidão. Nas plantas analisadas elementos tóxicos como Cu e Cd não foram detectados. Já o As e Sb foram detectados, porém em concentrações muito baixas, na ordem de ng g^{-1} . Pelo método de NAA foi possível determinar a concentração dos elementos As, Br, Ca, Co, Cr, Cs, Fe, K, La, Na, Rb, Sb, Sc e Zn. Resultados obtidos neste trabalho demonstraram a viabilidade de aplicar a NAA no estudo de plantas medicinais.

1. INTRODUÇÃO

As plantas medicinais vem sendo muito utilizadas ao longo de vários anos, entretanto até a metade do século XX, o uso de medicamentos de origem sintética foi mais amplo que o de plantas medicinais, principalmente na sociedade ocidental [1]. Ainda assim, atualmente, 80% da população mundial, predominantemente em países em desenvolvimento, dependem da medicina tradicional [2].

Hoje o aumento pela procura de medicamentos naturais como plantas medicinais deve-se principalmente aos seus baixos custos, à facilidade de aquisição destes produtos sem a prescrição médica, influência da cultura indígena, bem como a preocupação da população pelo uso de drogas sintéticas, que podem apresentar efeitos colaterais indesejáveis. No Brasil há ainda uma rica diversidade vegetal, a maior do mundo, com cerca de 60.000 espécies vegetais superiores catalogadas [3].

Devido ao crescente consumo de fitoterápicos e plantas medicinais torna-se de grande interesse o desenvolvimento de pesquisas científicas em diversas áreas do conhecimento com o objetivo de avaliar a toxicidade, efeitos colaterais, contra indicações, mutagenicidade de plantas medicinais, bem como realizar ensaios farmacológicos e clínicos que comprovem sua eficácia. Apesar das plantas medicinais serem produtos naturais, seu consumo não está livre de efeitos danosos.

As determinações de elementos químicos em plantas medicinais são de grande interesse para posterior estudo da correlação entre os elementos encontrados com as suas atividades terapêuticas bem como para identificação de seus riscos à saúde humana. A ingestão de plantas medicinais contendo elementos tóxicos ou elementos essenciais em altas concentrações pode ocasionar danos à saúde humana.

Neste trabalho foi feita a determinação de elementos químicos em folhas de três espécies de plantas medicinais, *Aloe vera* (Babosa), *Morus nigra sp.* (Amoreira) e *Moringa oleífera* (Moringa) aplicando o método de Análise por Ativação com Nêutrons (NAA). Para avaliar a qualidade dos resultados analíticos, foram realizadas análises de materiais de referência certificados (MRCs).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Aquisição e Preparação de Amostras de Plantas Medicinais

As três espécies de plantas medicinais adquiridas para o presente estudo foram: *Aloe vera* (Babosa), *Morus nigra sp.* (Amoreira) e *Moringa oleífera* (Moringa) sendo que as duas primeiras pertencem à Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao Sistema único de saúde, SUS [4]. Nesta relação do SUS estão as espécies vegetais com potencialidade para avançar nas etapas da cadeia produtiva e de gerar produtos de interesse do Ministério da Saúde do Brasil.

As folhas adultas da *Aloe vera* foram coletadas no jardim de uma residência, em Mirandópolis - SP, e armazenadas em um freezer até o momento do seu preparo para análise. As folhas foram lavadas com água de torneira, e depois com água purificada MILLIQ. Após o completo descongelamento, as folhas da *Aloe vera* foram cortadas em fragmentos com uma faca de titânio e a seguir foram trituradas com o auxílio de um liquidificador com lâminas de titânio. Obteve-se a amostra na forma de uma pasta densa que foi seca pelo processo de liofilização. Este procedimento de secagem foi realizado a uma temperatura de $-49\text{ }^{\circ}\text{C}$ a uma pressão de 36 mbar, no liofilizador da *Thermo Electron Corporation*. O tempo total de secagem durou cerca de 30 horas e a porcentagem de perda de água neste processo de liofilização foi de 96%. Após liofilização moeu-se manualmente o sólido obtido em um almofariz de ágata e em seguida foi peneirado.

Com relação às três amostras analisadas de folha de amoreira, duas foram coletadas em locais distintos, e outra amostra adquirida comercialmente. Uma das amostras de amoreira foi coletada na dependência do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), próximo ao Centro do Reator de Pesquisas (CRPq), e outra na Cidade Universitária, Av. Prof. Luciano Gualberto - Butantã. As folhas destas amostras foram lavadas com água de torneira e depois com água purificada MILLIQ. A seguir, estas folhas foram enxugadas com papel toalha e secas em uma estufa, com circulação de ar forçada, a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ por aproximadamente três dias.

Após a secagem as folhas foram manualmente moídas em almofariz e pistilo de ágata e peneiradas. A seguir as amostras foram ainda submetidas à moagem em moinho vibratório “Pulverisette 0” de ágata da marca *Fritsch* para obtê-las na forma de pó fino.

A amostra de amoreira comercializada e de *Moringa oleífera* foram adquiridas em lojas de produtos naturais. O conteúdo destas amostras era composto por folhas e partes de caules. Os caules foram descartados da análise. Uma amostra representativa de cada planta foi obtida pelo processo de “quarteação”. Após esse procedimento as amostras foram secas em estufa por cerca de três dias a 40°C, seguidas de moagem e peneiração.

2.2. Materiais de Referência Certificados

Foram analisados os materiais de referência certificados (MRCs), INCT-TL-1 *Tea Leaves* e INCT-MPH-2 *Mixed Polish Herbs*, ambos procedentes da Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Warszawa, Polônia, para avaliar a qualidade dos resultados quanto à precisão e a exatidão. Para apresentar os resultados de concentração das análises na base seca foi feita a determinação de umidade dos MRCs. Para isso alíquotas de aproximadamente 300 mg foram secas em estufa, marca Fabbe-Primar, à temperatura de 87°C por aproximadamente 48 horas. Calculou-se as percentagens de perda de umidade dos materiais, cujos resultados foram de 6,11% para INCT-TL-1 *Tea Leaves* e 7,97% para INCT-MPH-2 *Mixed Polish Herbs*.

2.3. Preparação dos Padrões Sintéticos de Elementos

Inicialmente foram preparadas soluções padrão individuais e mistas de elementos a partir de soluções certificadas de concentrações de elementos da *Spex Certiprep, USA*. Alíquotas de 50 µL de cada uma das soluções padrão de elementos simples ou multielementares foram pipetadas sobre tiras de papel filtro (*Whatman nº 40*) de dimensões de 1,5 cm x 3,5 cm. As massas dos elementos nos padrões sintéticos (em µg) foram: As (1,502); Br (5,008); Ca (498,95); Cd (9,996); Co (0,15035); Cr (2,01095); Cs (0,6001); Cu (100,19); Fe (360,30); K (500,65); La (0,6007); Mo (3,01045); Na (200,33); Rb (9,990); Sb (0,6009); Sc (0,080); Se (8,00705) e Zn (36,041). As tiras de papel filtro, com as soluções pipetadas, foram deixadas em dessecador a temperatura ambiente por um dia para a secagem das alíquotas. Após secagem, as tiras foram dobradas com auxílio de pinças de aço inoxidável e colocadas em invólucros de polietileno, de dimensões de aproximadamente 2,0 cm x 2,0 cm. Estes invólucros de polietileno foram confeccionados usando folhas de polietileno previamente desmineralizadas com solução de HNO₃ p.a., diluído 1:5 (v/v) e água purificada MILLIQ, seguida de secagem a temperatura ambiente.

2.4. Procedimento de Análise por Ativação com Nêutrons (NAA)

Cerca de 200 mg de cada uma das amostras de plantas e dos materiais de referência certificados (MRCs) foram pesados, em invólucros de polietileno, usando uma balança da marca *Shimadzu* de modelo AEL-405M com precisão de 0,00001g.

Para irradiação as amostras e padrões sintéticos foram envoltos individualmente em folhas de alumínio. As amostras e os MRCs, juntamente com os padrões sintéticos foram colocados em um dispositivo chamado “coelho” de alumínio, irradiados sob fluxo de nêutrons térmicos da ordem de $4,5 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ por um período de 16h no reator nuclear de pesquisa IEA-R1.

Após um tempo de decaimento de cerca de três dias, os padrões e as amostras, irradiados, foram montados em suportes individuais de aço inoxidável (“panelinhas”) para as medições das atividades gama induzidas. As medidas de atividades gama dos radioisótopos formados foram feitas usando um detector semiconductor de Ge hiperpuro ligado a um analisador digital de espectro DSA 1000 ambos da marca Canberra.

Foram realizadas três séries de contagens para diferentes tempos de decaimento, a primeira após cerca de três dias de decaimento, a segunda após dez dias e a terceira após dezessete dias de decaimento. As contagens foram feitas para diferentes tempos de decaimento para detecção de um grande número de elementos bem como para eliminar o problema de interferências espectrais na análise. Os tempos de contagens dos padrões foram de 5400 s e para as amostras estes tempos variaram de 20000 s a 50000 s.

Os espectros gama obtidos foram processados usando programa de computação Genie 2000, versão 3.1 da Canberra. A identificação dos radioisótopos foi feita pelas suas características nucleares: energias dos raios gama e meias vidas [5]. Os radioisótopos utilizados foram: ^{76}As ; ^{82}Br ; ^{47}Ca ; ^{115}Cd ; ^{60}Co ; ^{51}Cr ; ^{134}Cs ; ^{64}Cu ; ^{59}Fe ; ^{42}K ; ^{140}La ; ^{99}Mo ; ^{24}Na ; ^{86}Rb ; ^{122}Sb ; ^{46}Sc ; ^{75}Se e ^{65}Zn . As concentrações dos elementos foram calculadas pelo método comparativo de análise por ativação, aplicando-se a relação 1 [6].

$$C_a = [m_p \cdot A_a \cdot e^{0,693(t_{da} - t_{dp})/t_{1/2}}] / [M_a A_p] \quad (1)$$

Em que os índices a e p se referem à amostra e padrão, respectivamente; C_a = concentração do elemento na amostra; A = taxas de contagens; M_a = massa total de amostra; m_p = massa do elemento no padrão; $t_{1/2}$ = meia vida do radioisótopo considerado; t_d = tempo de decaimento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão os resultados das concentrações dos elementos obtidos nos MRCs juntamente com os valores dos respectivos certificados, para comparação. As percentagens de erro relativo foram calculadas somente para os elementos que apresentaram valores certificados.

A comparação entre os resultados obtidos e os valores dos certificados indica boa concordância. Os valores das percentagens de erro relativo obtidos nos dois MRCs, para a maioria dos elementos, variam de 0,0 a 7,9%, excetuando-se somente para o As no MRC *Tea Leaves* (INCT-TL-1), devido às baixas taxas de contagens do ^{76}As obtidos na contagem deste material. Os valores de desvio padrão relativo, para ambos os MRCs analisados, *Tea Leaves* e *Mixed Polish Herbs*, foram para a maioria dos elementos inferiores a 9,4%. As únicas exceções foram para o Sb no material *Tea Leaves*, e o As no material *Mixed Polish Herbs*, isso se deve provavelmente às baixas concentrações destes elementos nas amostras.

Tabela 1: Concentrações de elementos nos MRCs *Tea Leaves* (INCT-TL-1) e *Mixed Polish Herbs* (INCT-MPH-2). Resultados na base seca do material.

Elemento	<i>Tea Leaves</i> (INCT-TL-1)				<i>Mixed Polish Herbs</i> (INCT-MPH-2)			
	M ± DP ^a	DPR ^b (%)	ER ^c (%)	Valor do Certificado	M ± DP ^a	DPR ^b (%)	ER ^c (%)	Valor do Certificado
As, ng g ⁻¹	75,7 ± 6,0	7,9	28,6	106 ± 21	184 ± 21	11,4	3,7	191 ± 23
Br, µg g ⁻¹	13,28 ± 0,50	3,8	7,9	12,3 ± 1,0	8,18 ± 0,32	3,9	6,1	7,71 ± 0,61
Ca, %	0,595 ± 0,033	5,5	2,2	0,582 ± 0,052	1,102 ± 0,075	6,8	2,0	1,08 ± 0,07
Co, ng g ⁻¹	404 ± 21	5,2	4,4	387 ± 42	209 ± 14	6,7	0,5	210 ± 25
Cr, µg g ⁻¹	1,93 ± 0,11	5,7	1,0	1,91 ± 0,22	1,813 ± 0,091	5,0	7,3	1,69 ± 0,13
Cs, µg g ⁻¹	3,71 ± 0,12	3,2	2,7	3,61 ± 0,37	73,9 ± 4,9	6,6	2,7	76 ± 7
Fe, µg g ⁻¹	522 ± 49	9,4	-	432 ^d	498 ± 16	3,2	-	460 ^d
K, %	1,69 ± 0,11	6,5	0,6	1,70 ± 0,12	1,924 ± 0,047	2,4	0,7	1,91 ± 0,12
La, ng g ⁻¹	964 ± 38	3,9	4,4	1000 ± 70	555 ± 35	6,3	2,8	571 ± 46
Na, µg g ⁻¹	24,2 ± 1,6	6,6	3,6	24,7 ± 3,2	386 ± 29	7,5	-	350 ^d
Rb, µg g ⁻¹	83,6 ± 4,1	4,9	2,6	81,5 ± 6,5	10,72 ± 0,83	7,7	0,2	10,7 ± 0,7
Sb, ng g ⁻¹	53,3 ± 7,0	13,1	-	50 ^d	66,3 ± 4,6	6,9	1,2	65,5 ± 9,1
Sc, ng g ⁻¹	254,0 ± 7,9	3,1	4,5	266 ± 24	123,0 ± 6,0	4,9	0,0	123 ± 9
Zn, µg g ⁻¹	36,4 ± 2,9	8,0	4,9	34,7 ± 2,7	31,52 ± 1,98	6,3	5,9	33,5 ± 2,1

a: Média aritmética e desvio padrão de 6 a 7 determinações, b: Desvio padrão relativo, c: Erro relativo, d: Valores informativos.

Os resultados das medidas das concentrações de As, Br, Ca, Co, Cr, Cs, Fe, K, La, Na, Rb, Sb, Sc e Zn obtidos nas folhas das plantas medicinais *Morus nigra* sp. (Amoreira) estão apresentados na Tabela 2, e os de *Aloe vera* (Babosa) e *Moringa oleífera* (Moringa) na Tabela 3.

Tabela 2: Concentrações de elementos nas amostras de Amoreira. Resultados na base seca do material.

Elemento	Amoreira comercial		Amoreira USP		Amoreira IPEN	
	M ± DP ^a	DPR ^b (%)	M ± DP ^a	DPR ^b (%)	M ± DP ^a	DPR ^b (%)
As, ng g ⁻¹	59,6 ± 3,0	5,1	9,39 ± 0,13	1,4	19,7 ± 1,2	6,1
Br, µg g ⁻¹	30,8 ± 1,4	4,5	1,924 ± 0,054	2,8	2,88 ± 0,15	5,2
Ca, %	2,29 ± 0,12	5,2	1,674 ± 0,097	5,8	2,77 ± 0,11	4,0
Co, ng g ⁻¹	428 ± 23	5,4	52,5 ± 5,2	9,9	55 ± 12	21,8
Cr, ng g ⁻¹	802 ± 70	8,7	132,5 ± 1,0	0,8	196,7 ± 1,9	1,0
Cs, ng g ⁻¹	117,0 ± 1,2	1,0	77,8 ± 4,6	5,9	133,7 ± 2,8	2,1
Fe, µg g ⁻¹	1298 ± 92	7,1	94,0 ± 8,7	9,2	88,1 ± 3,0	3,4
K, %	2,095 ± 0,041	2,0	2,06 ± 0,16	7,7	2,286 ± 0,012	0,5
La, ng g ⁻¹	2103 ± 95	4,5	905 ± 48	5,3	1661 ± 58	3,5
Na, µg g ⁻¹	36,92 ± 0,85	2,3	46,8 ± 3,6	7,6	28,1 ± 2,3	8,1
Rb, µg g ⁻¹	17,55 ± 0,56	3,2	39,7 ± 1,9	4,7	50,3 ± 2,0	4,0
Sb, ng g ⁻¹	16,6 ± 1,2	7,2	71,8 ± 7,3	10,1	85 ± 11	12,4
Sc, ng g ⁻¹	306 ± 18	5,9	3,97 ± 0,22	5,5	6,43 ± 0,38	5,9
Zn, µg g ⁻¹	23,42 ± 0,46	2,0	46,1 ± 5,5	11,9	22,73 ± 0,62	2,7

a: Média aritmética e desvio padrão de 3 a 4 determinações, b: Desvio padrão relativo.

Uma comparação entre os resultados obtidos para as três amostras de amoreira, na Tabela 2, mostra que há uma diferença entre as concentrações dos elementos, apesar das amostras serem da mesma espécie. Estas diferenças entre as amostras eram esperadas, uma vez que os teores de elementos nas plantas dependem do solo e do meio ambiente onde elas foram cultivadas. A amostra de Amoreira comercial apresentou as concentrações de As, Br, Co, Cr, Fe, La e Sc mais elevadas que das duas amostras que foram coletadas. As três amostras de amoreira apresentaram concentrações de Ca, Cs, K, Na e Zn na mesma ordem de grandeza.

Na amostra de *Aloe vera* o elemento As não foi detectado, devido à interferência causada pela elevada concentração de Na (6166 µg g⁻¹) presente nesta amostra. A alta atividade de ²⁴Na de meia vida 14,96 h impediu a realização das medições do ⁷⁶As de meia vida 26,32h, após três dias de decaimento, bem como mascarou a atividade menos intensa do ⁷⁶As. No caso da amostra de *Moringa oleífera* o As não foi detectado provavelmente à concentração muito baixa desse elemento na amostra.

Tabela 3: Concentrações de elementos nas amostras de *Aloe vera* e *Moringa oleífera*. Resultados na base seca do material.

Elemento	<i>Aloe vera</i>		<i>Moringa oleífera</i>	
	M ± DP ^a	DPR ^b (%)	M ± DP ^a	DPR ^b (%)
Br, µg g ⁻¹	8,02 ± 0,62	7,7	35,0 ± 1,4	4,0
Ca, %	2,72 ± 0,12	4,4	2,06 ± 0,14	6,8
Co, ng g ⁻¹	615 ± 24	3,8	20,9 ± 1,6	7,6
Cr, ng g ⁻¹	507 ± 37	7,3	93,6 ± 3,4	3,6
Cs, ng g ⁻¹	50,2 ± 2,9	5,9	131,6 ± 9,1	6,9
Fe, µg g ⁻¹	51,1 ± 2,2	4,3	90,7 ± 4,2	4,6
K, %	3,06 ± 0,15	4,9	1,715 ± 0,034	2,0
La, ng g ⁻¹	1239 ± 49	4,0	2578 ± 97	3,8
Mo, %	- ^c	-	1,759 ± 0,076	4,3
Na, µg g ⁻¹	6166 ± 528	8,6	80,0 ± 6,4	8,0
Rb, µg g ⁻¹	50,3 ± 1,5	3,0	16,46 ± 0,91	5,5
Sb, ng g ⁻¹	34,3 ± 2,5	7,3	15,6 ± 1,5	9,6
Sc, ng g ⁻¹	3,97 ± 0,24	6,0	8,65 ± 0,12	1,4
Zn, µg g ⁻¹	193,6 ± 9,9	5,1	19,65 ± 0,88	4,5

a: Média aritmética e desvio padrão de 3 a 5 determinações, b: Desvio padrão relativo, c: Não detectado.

Em relação aos resultados de desvio padrão relativo obtidos, nas Tabelas 2 e 3, verifica-se que a maioria dos resultados apresentaram desvio padrão relativo inferiores a 10% indicando uma boa precisão. Esses resultados, obtidos pelas análises em replicatas, também indicam a homogeneidade das amostras preparadas com relação aos elementos determinados.

Nas análises das plantas medicinais os elementos Ca e K foram obtidos em altas concentrações, na ordem de percentagem, Br, Fe, Na, Rb e Zn em concentrações na ordem de µg g⁻¹, em concentrações menores As, Co, Cr, Cs, La, Sb e Sc na ordem de ng g⁻¹. O elemento Ca apresenta ação neutralizante de modo que o uso plantas medicinais evita lesões estomacais quando utilizadas oralmente. Já o K é conhecido pela sua ação diurética, bem como age no organismo humano alterando o ritmo cardíaco.

Entre as plantas analisadas, a folha de *Aloe vera*, apresentou mais alta concentração de Zn. O Zn é um elemento conhecido pela sua ação como agente cicatrizante, e esta planta medicinal é frequentemente utilizada para tratamento de ferimentos e queimaduras [7].

O elemento Mo foi detectado apenas na amostra de folhas de *Moringa oleífera*. O Mo é um elemento essencial em vários processos enzimáticos do organismo humano [8, 9], algumas importantes fontes desse elemento na nossa alimentação estão em leguminosas e vegetais de folhas verde escuras. No Brasil a planta *Moringa* é utilizada como suplemento alimentar para a população com carência nutricional [10].

Os elementos tóxicos Cu e Cd não foram detectados nas análises, e os elementos As e Sb, foram obtidos em concentrações muito baixas, na ordem de ng g^{-1} .

Determinação dos limites de detecção e quantificação: foram calculados os limites de detecção e de quantificação dos elementos para o material de referência certificado, *Tea Leaves*, e para a amostra, Amoreira USP, e os resultados obtidos, Tabela 4, indicam a alta sensibilidade da técnica de NAA.

Tabela 4: Limites de Detecção e de Quantificação na análise do Material de Referência Certificado *Tea Leaves* (INTC-TL-1) e da amostra Amoreira USP.

Elementos	<i>Tea Leaves</i> (INTC-TL-1)		Amoreira USP	
	L_D^a	L_Q^b	L_D^a	L_Q^b
As, ng g^{-1}	17,5	53,3	5,4	16,8
Br, $\mu\text{g g}^{-1}$	0,02	0,07	0,01	0,03
Ca, $\mu\text{g g}^{-1}$	92,7	281,6	95,8	290,5
Co, ng g^{-1}	4,2	12,9	1,7	5,2
Cr, ng g^{-1}	46,8	145,4	28,4	84,9
Cs, ng g^{-1}	8,3	25,3	3,9	11,8
Fe, $\mu\text{g g}^{-1}$	2,5	7,7	1,0	3,1
K, $\mu\text{g g}^{-1}$	76,6	234,2	17,7	53,6
La, ng g^{-1}	1,9	5,7	1,0	2,9
Na, $\mu\text{g g}^{-1}$	0,5	1,4	0,5	1,7
Rb, $\mu\text{g g}^{-1}$	0,14	0,44	0,06	0,20
Sb, ng g^{-1}	2,2	6,7	1,0	3,1
Sc, ng g^{-1}	0,5	1,5	0,22	0,66
Zn, $\mu\text{g g}^{-1}$	0,13	0,38	0,06	0,20

a: limite de detecção, b: limite de quantificação.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na análise dos materiais de referência certificados demonstraram a viabilidade de aplicar o procedimento de análise por ativação com nêutrons (NAA) na determinação multielementar em plantas medicinais. Os resultados das análises dos MRCs indicaram uma boa precisão e exatidão.

Pelos resultados da NAA das plantas medicinais pode-se concluir que os elementos As, Br, Ca, Co, Cr, Cs, Fe, K, La, Na, Rb, Sb, Sc, Zn podem ser determinados com boa precisão, o que indica também a boa homogeneidade das amostras com relação a estes elementos. Os elementos tóxicos As e Sb foram detectados em concentrações muito baixas e os elementos Cd e Cu não foram detectados.

Os resultados obtidos nas análises de plantas medicinais indicaram a possibilidade de obter um perfil bastante completo da composição elementar das plantas medicinais pelo método de

NAA, possibilitando um estudo da correlação entre os elementos neles presentes com as propriedades medicinais das plantas estudadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e Á. Takamoto agradece ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica PIBIC.

REFERÊNCIAS

1. T.M.S. Moreira, H.R.N. Salgado, R.C.L.R. Pietro, “O Brasil no contexto de controle de qualidade de plantas medicinais”, *Revista Brasileira de Farmacognosia*, **Volume 20**, n.3, pp.435-440 (2008).
2. E.P. Springfield, P.K.F. Eagles, G. Scott, “Quality assessment of South African herbal medicines by means of HPLC fingerprinting”, *Journal of Ethnopharmacology*, **Volume 101**, pp.75-83 (2005).
3. G.T. Prance, “Floristic inventory of the tropics: where do we stand?”, *Annals of the Missouri Botanical Garden*, **Volume 64**, pp.559-684 (1977).
4. “RENISUS – Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse ao SUS Espécies vegetais”, <http://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2014/maio/07/renisus.pdf> (2017).
5. IAEA. *Practical aspects of operating a neutron activation analysis laboratory*, International Atomic Energy Agency, IAEA-TECDOC-564, (1990).
6. D. De Soete, R. Gilbels, J. Hoste, *Neutron activation analysis*, Wiley Interscience, New York, pp.140 (1972).
7. V.S. Freitas, R.A.F. Rodrigues, F.O.G. Gaspi, “Propriedades farmacológicas da Aloe vera (L.) Burm. f.”, *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, **Volume 16**, n. 2, pp.299-307 (2014).
8. R. R. Mendel, “Cell biology of molybdenum”, *International Union of Biochemistry and Molecular Biology*, **Volume 35**, n. 5, pp. 429-434 (2009).
9. G. Schwarz, A. A. Belaidi, “Molybdenum in Human Health and Disease”, *Metal Ions in Life Sciences*, **Volume 13**, pp. 415-450 (2013).
10. E.S. Siguemoto, *Composição nutricional e propriedades funcionais do murici (Byrsomina crassifolia) e moringa (Moringa Oleifera)*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo (2013).