

## **AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DE ARGILAS DE CAMPOS GERAIS (MG)**

**João P. M. Martins, Marcelo F. Máduar, Paulo S. C. da Silva**

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/CNEN  
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242  
05508-000 Cidade Universitária, São Paulo, SP  
jpmm0687@hotmail.com

### **ABSTRACT**

There are numerous applications given to clays including oil and water adsorbent, ceramic, whitening of beverages, porcelain, waste treatment, organic carrier molecules in cosmetics and pharmaceuticals, support for catalysts. In the pharmaceutical industry, the clays are used as excipients, diluents, desiccants, emulsifiers, to mask undesirable flavors, isotonic agent such as charger and delivery of active substances. These characteristics have contributed to the expansion of the search for applications of clay minerals in the cosmetic industry. The aim of this study was to determine the elemental composition of clays from Campos Gerais, Minas Gerais, with a view to their applicability in the production of cosmetics. The elements As, Ba, Br, Ce, Cl, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Lu, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Sm, Ta, Tb, Th, U, Yb and Zn were determined by neutron activation analysis and radionuclide activity concentration of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{40}\text{K}$  were determined by gamma spectrometry. It was verified that the activity concentration of radionuclides was in the same concentration as the global average, indicating that these samples do not present a risk of increased radiation exposure. The concentration of most elements determined is less than or equal to the overall mean concentrations, indicated by the values of Continental Upper Crust.

### **1. INTRODUCTION**

Argilas são materiais naturais, de textura terrosa ou argilácea, granulação fina, partículas de forma lamelar ou fibrosa, constituídas essencialmente de argilo-minerais podendo conter outros minerais não argilosos (quartzo, mica, pirita, hematita, etc), matéria orgânica e outras impurezas [1]. Graças aos argilo-minerais, as argilas, na presença de água, desenvolvem uma série de propriedades tais como: plasticidade, resistência mecânica a úmido, retração linear de secagem, compactação, tixotropia e viscosidade de suspensões aquosas que explicam sua grande variedade de aplicações tecnológicas. As argilas podem ser classificadas de duas maneiras: argilas primárias que têm sua origem na decomposição do solo durante anos e se apresentam normalmente na forma de pó e, argilas secundárias que provêm da sedimentação de partículas transportadas pelas chuvas e ventos, estas se apresentam na forma pastosa [2].

São inúmeras as aplicações dadas às argilas: adsorventes de água e óleo, agentes catalíticos, bactericidas, cerâmicas, clareamento de bebidas, cosméticos, fabricação de filtros, porcelanas, tratamento de detritos, carreadoras de moléculas orgânicas em cosméticos e fármacos, suporte para catalisadores, etc. Na indústria farmacêutica, as argilas são utilizadas como excipientes, lubrificantes, diluentes, ligantes, dissecantes, emulsificantes, espessantes,

para mascarar sabores indesejáveis, agente isotônico, como carregador e entregador de substâncias ativas [3].

Tais características têm contribuído para a ampliação da busca por aplicações de argilo-minerais pela indústria cosmética. Em nossos dias, nos quais o interesse pelos cosméticos rejuvenescedores e fortificantes vem crescendo juntamente com a busca por produtos naturais e pela preservação do meio ambiente, faz-se importante o uso desses materiais naturais para tais fins. Porém, duas situações devem ser consideradas quanto ao uso destes materiais: o uso indiscriminado dos mesmos, sem a pesquisa efetiva sobre suas aplicações e benefícios e o uso inadequado.

No Brasil, a região sudoeste de Minas Gerais é conhecida por possuir inúmeros depósitos de argila que são utilizados principalmente na fabricação de materiais cerâmicos e refratários [4]. O uso destas argilas com finalidades cosméticas, por outro lado, é muitíssimo reduzido.

O objetivo deste estudo foi a determinação da composição elementar de argilas da região de Campos Gerais, Minas Gerais, com vistas à sua aplicabilidade na produção de cosméticos e desta forma auxiliar na determinação na aplicabilidade destes materiais que podem também auxiliar a população local. Foram determinados os elementos As, Ba, Br, Ce, Cl, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Lu, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Sm, Ta, Tb, Th, U, Yb e Zn por análise por ativação neutrônica e a concentração de atividade de radionuclídeos  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{40}\text{K}$  por espectrometria gama.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo se situa na porção sudoeste do estado de Minas Gerais, em um município denominado Campos Gerais. Sua população estimada em 2009 foi de 27.964 habitantes. Fica equidistante dos principais centros urbanos do País. Estando aproximadamente a 330 km de São Paulo, 290 km de Belo Horizonte. Tem como limites Alfenas, Três Pontas, Boa Esperança, Paraguaçu, Campo do Meio, Santana da Vargem e Fama. Geologicamente englobava o conjunto de rochas posicionado entre as *nappes* de Passos e Varginha-Guaxupé, na Faixa Brasília meridional. A unidade é composta por rochas ortognaissicas, rochas básicas, ultrabásicas e rochas metassedimentares subordinadamente associadas, subdividindo-se em dois domínios: um a norte contendo ortognaisses e rochas básicas e ultrabásicas e outro ao sul, com paragnaisses, metapelitos e rochas metamáficas da faixa Jacuí-Bom Jesus da Penha [5].

Oito amostras foram coletadas na região de Campos Gerais (MG) em recipientes plásticos e armazenadas para análises. As amostras foram inicialmente classificadas de acordo com a sua coloração e cada amostra recebeu um código com o qual ficou relacionada em todos os procedimentos analíticos. O pré-tratamento das amostras consistiu de secagem, moagem e peneiramento. Para a secagem, as amostras foram quarteadas e aproximadamente 300g foi colocado em estufa por períodos de 24 horas a 40°C até obtenção de peso constante. Após a secagem as amostras foram passadas por peneiras de 2,0 mm para a retirada de galhos, folhas e raízes eventualmente presentes. Em seguida, as amostras foram moídas manualmente com gral e pistilo de porcelana e tamisadas com a malha de 0,08 mm para as análises posteriores.



**Figura 1: Localização dos pontos de coleta das argilas analisadas neste estudo.**

Para a determinação do teor de umidade aproximadamente 5 g das amostras foram colocadas em cadinhos de porcelana e submetidas à temperatura de 100°C em estufa por 24 horas. Para determinação do teor de matéria orgânica, as amostras, após secagem a 100°C foram submetidas à temperatura de 500°C em mufla por períodos de 2 horas até obtenção de peso constante e para determinação de perda ao fogo, as mesmas amostras foram submetidas à temperatura de 1000°C por períodos de 2 horas até peso constante.

Outra alíquota de cada amostra proveniente dos 300g pesados e secos inicialmente foi separada para ser analisada por espectrometria de raios gama para a determinação das quantidades de  $^{40}\text{K}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$ . Para determinação dos radionuclídeos por espectrometria gama, aproximadamente 100g de amostra foram colocados em frascos com capacidade de 100 mL, selados e deixados em repouso por um período mínimo de 30 dias para obtenção do equilíbrio radioativo. As concentrações de atividade foram determinadas após contagens de 20.000s em detector de Ge-Hiperpuro Canberra GX2520 com eficiência nominal de 25% para a energia gama de 1,3 MeV e janela de berílio para detecção de baixas energias. Foi aplicada correção devido à auto-atenuação para determinação de  $^{210}\text{Pb}$  em 46,5keV, contando-se uma fonte de  $^{210}\text{Pb}$  colocada em cima de cada amostra. Os fatores de atenuação foram calculados conforme descrito por Cutshall et al. [6].

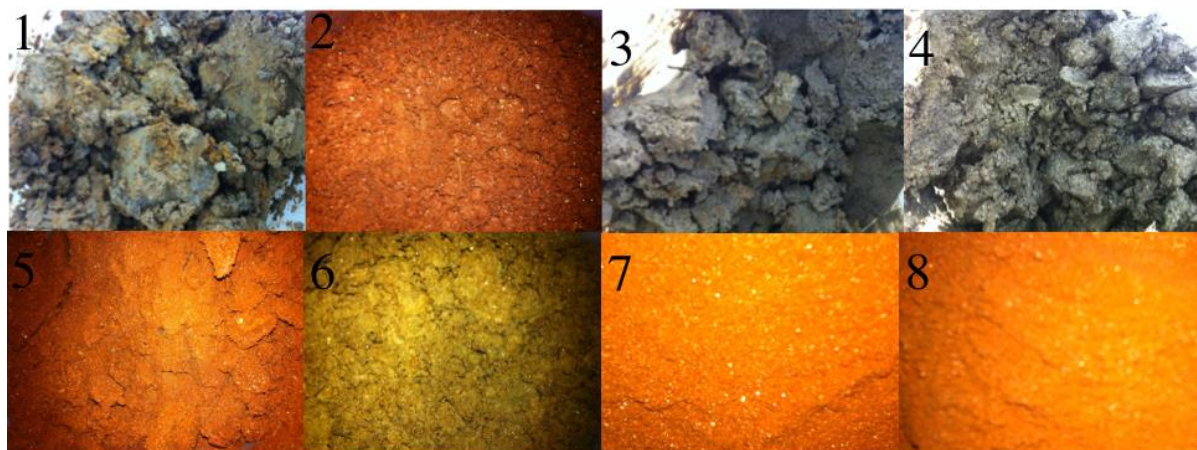
Para determinação das concentrações dos elementos As, Ba, Br, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, K, La, Lu, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Sm, Ta, Tb, Th, U, Yb, Zn e Zr aproximadamente 150mg de amostra foram embalados em sacos de polietileno previamente limpos e irradiados, juntamente com materiais de referência por 8 horas no reator IEA-R1 do IPEN sob um fluxo de nêutrons de  $1 \text{ a } 5 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Os materiais de referência utilizados foram Estuarine Sediment (SRM 1646a) e Montana Soil (SRM 2710) ambos do National Institute of Standards and Technology (NIST). Após a irradiação, esperou-se um período de sete dias para realização da primeira contagem para determinação dos elementos de meias-vidas de até três dias e, um período de duas semanas para determinação dos elementos de meias-vidas maiores. A contagem das amostras irradiadas para determinação das concentrações foi feita em detector de Ge-Hiperpuro EG & G Ortec GEM 60210 com eficiência nominal de 60% para a energia gama de 1,3MeV.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando analisadas macroscopicamente as amostras foram classificadas de acordo com a coloração com que se apresentaram *in natura* como mostrado na Tabela 1 e Figura 2.

**Tabela 1: Classificação das amostras quanto à coloração**

Amostra	Coloração
1	Azul mista
2	Vermelha dourada
3	Branca
4	Azul
5	Vermelha 1
6	Amarela
7	Vermelha 2
8	Vermelha 3



**Figura 2. Amostras *in natura* (fotos do autor)**

Na Tabela 2 são mostrados os resultados obtidos nas análises térmicas: teor de umidade, carbono orgânico e perda ao fogo. Pode-se observar que a amostra 7, argila vermelha 2, é a que apresenta o menor teor de umidade enquanto que o maior foi observado na amostra 1, azul mista. A amostra 1 também foi a que apresentou o maior teor de matéria orgânica e de perda ao fogo. Os menores teores de matéria orgânica e perda ao fogo foram observados na amostra 3. O teor de perda ao fogo está relacionado às águas intercaladas, de coordenação, de hidroxilas dos argilominerais e hidróxidos, como  $\text{Al}(\text{OH})_3$  e  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , e componentes voláteis, de matéria orgânica (linhito, ceras e derivados do ácido úmico), de sulfetos, sulfatos e carbonatos existentes nas amostras.

Na tabela 3 são apresentados os resultados obtidos por espectrometria gama. As concentrações de atividade médias globais para solo, de acordo com a UNSCEAR [7], são: para o  $^{40}\text{K}$  de  $400 \text{ Bq kg}^{-1}$ , variando de  $140$  a  $850 \text{ Bq kg}^{-1}$ ; para o  $^{226}\text{Ra}$ ,  $35 \text{ Bq kg}^{-1}$  variando de  $17$  a  $60 \text{ Bq kg}^{-1}$ , e para o  $^{232}\text{Th}$  de  $30 \text{ Bq kg}^{-1}$ , variando de  $11$  a  $64 \text{ Bq kg}^{-1}$ . Pode-se observar pelos valores obtidos para as amostras deste estudo, que os radionuclídeos determinados estão todos contidos nos intervalos de concentração média global. As maiores

concentrações de atividade de  $^{40}\text{K}$  foram obtidas nas amostras 3 e 4, argilas branca e azul. As maiores concentrações de  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  foram obtidas nas amostras 4, 1 e 3. Observa-se também que estes resultados estão de acordo com o que foi obtido para Th e U (Tabela 4). Comparando-se os resultados obtidos neste trabalho com amostras de solo argiloso da região do cerrado mineiro [8] verifica-se que as concentrações de atividades aqui obtidas são menores para todos os radionuclídeos determinados.

**Tabela 2: Teores de umidade, matéria orgânica e perda ao fogo em porcentagem.**

	Umidade %	Matéria orgânica (%)	Perda ao fogo (%)
1	5,01	12,72	13,63
2	1,86	9,88	10,73
3	1,08	3,91	4,22
4	1,55	6,24	6,85
5	2,57	6,84	7,39
6	1,55	6,07	6,73
7	0,97	7,62	8,55
8	1,43	9,35	10,54

Excetuando-se a amostra 2, todas as demais encontram-se em desequilíbrio radioativo na série do  $^{238}\text{U}$ , como pode ser observado pelos valores das concentrações de atividade do  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$ . Na série do tório, por outro lado, convertendo-se os valores de  $^{232}\text{Th}$  da tabela 5 em  $\text{Bq kg}^{-1}$ , observa-se que somente as amostras 7 e 8 encontram-se em desequilíbrio.

**Tabela 3: Concentrações de atividade obtidas para as amostras em  $\text{Bq kg}^{-1}$**

Amostra	K-40	Pb-210	Ra-226	Ra-228
1	$150 \pm 10$	$44 \pm 6$	$36,8 \pm 0,8$	$31 \pm 1$
2	$211 \pm 12$	$26 \pm 5$	$25,2 \pm 0,6$	$28 \pm 1$
3	$736 \pm 35$	$42 \pm 7$	$29,8 \pm 0,7$	$40 \pm 1$
4	$738 \pm 35$	$48 \pm 7$	$32,9 \pm 0,7$	$52 \pm 1$
5	$118 \pm 8$	$20 \pm 4$	$10,1 \pm 0,4$	$15 \pm 1$
6	$418 \pm 21$	$31 \pm 6$	$25,4 \pm 0,6$	$28 \pm 1$
7	$196 \pm 11$	$20 \pm 5$	$18,3 \pm 0,5$	$30 \pm 1$
8	$293 \pm 16$	$23 \pm 5$	$18,9 \pm 0,6$	$25 \pm 1$

A Farmacopeia Brasileira não estabelece valores permitidos para os teores de elementos radioativos em produtos cosméticos. A Comissão Europeia [9] para proteção radiológica estabelece que é proibida a adição intencional de elementos radioativos em cosméticos, no entanto, também não estabelece valores máximos permitidos para a matéria prima. As concentrações de atividade determinadas em lamas medicinais, sedimentos e rochas sedimentares de diversas regiões, tais como Cuba, Itália, Albânia e Egito [10 - 13] são da mesma ordem de grandeza que aquelas observadas para as amostras analisadas neste estudo.

**Tabela 4: Resultados obtidos por análise por ativação neutrônica, em mg kg<sup>-1</sup>, exceto onde indicado %.**

	As	Ba	Br	Ca(%)	Ce	Co	Cr	Cs
1		160 30	6,0 0,4	0,4 0,1	71 1	7,9 0,1	144 5	2,3 0,2
2		355 41	1,3 0,2	0,36 0,09	80 2	48,2 0,6	100 3	3,3 0,2
3		1894 165	4,7 0,2	0,16 0,04	165 3	1,65 0,05	17,5 0,9	1,7 0,1
4		746 65	2,6 0,3	0,45 0,07	92 2	14,1 0,2	85 3	3,7 0,1
5	2,43 0,09	167 29	2,73 0,07	0,15 0,05	71 2	3,5 0,4	40 1	0,9 0,2
6	0,6 0,2	737 96	1,3 0,2	0,7 0,1	92 2	14 1	52 2	2,3 0,2
7	3,1 0,1	298 45	1,56 0,04	0,30 0,07	33,2 0,8	5,9 0,6	46 1	0,9 0,1
8	2,44 0,09	353 48	1,28 0,04	0,20 0,04	26,1 0,6	4,2 0,5	45 1	0,78 0,04

	Eu	Fe(%)	Hf	K(%)	La	Lu	Na(%)
1	1,85 0,04	4,42 0,06	6,0 0,2		43,3 0,4	0,58 0,02	0,052 0,003
2	5,71 0,09	5,08 0,07	8,1 0,2		153 1	1,17 0,03	0,010 0,002
3		0,79 0,01	15,0 0,4	1,9 0,5	105 1	0,76 0,02	0,186 0,008
4	2,10 0,03	2,28 0,03	9,7 0,2	1,5 0,5	49,1 0,4	0,562 0,008	0,070 0,003
5	0,09 0,02	2,62 0,04	7,2 0,3	0,6 0,1	2,87 0,02	0,08 0,01	0,0139 0,0005
6	1,34 0,04	2,92 0,05	14,9 0,5	2,1 0,2	46,3 0,3	0,42 0,02	0,514 0,015
7	0,16 0,01	4,09 0,07	7,0 0,2	1,0 0,2	4,64 0,04	0,08 0,01	0,0180 0,0005
8	0,19 0,00	3,60 0,06		1,4 0,2	5,93 0,06	0,10 0,01	0,0219 0,0006

	Nd	Rb	Sb	Sc	Se	Sm	Tb
1	33 2	31 3	0,23 0,05	28,6 0,2		9,18 0,08	1,0 0,1
2	120 10	40 3	0,39 0,06	14,5 0,1	0,4 0,1	33,8 0,3	3,1 0,2
3	85 5	93 4		6,37 0,05	0,3 0,1	23,1 0,1	2,4 0,1
4	48 4	135 4	0,12 0,02	16,3 0,1	0,21 0,06	11,29 0,09	1,21 0,04
5		7 2	0,23 0,02	6,41 0,05		0,531 0,005	
6	23 2	57 4	0,09 0,03	10,17 0,08		9,43 0,08	1,1 0,1
7	3 1	11 3	0,25 0,03	8,69 0,07	0,3 0,1	0,750 0,008	
8	7,4 0,6	18 1	0,24 0,03	9,55 0,08		0,93 0,01	0,11 0,08

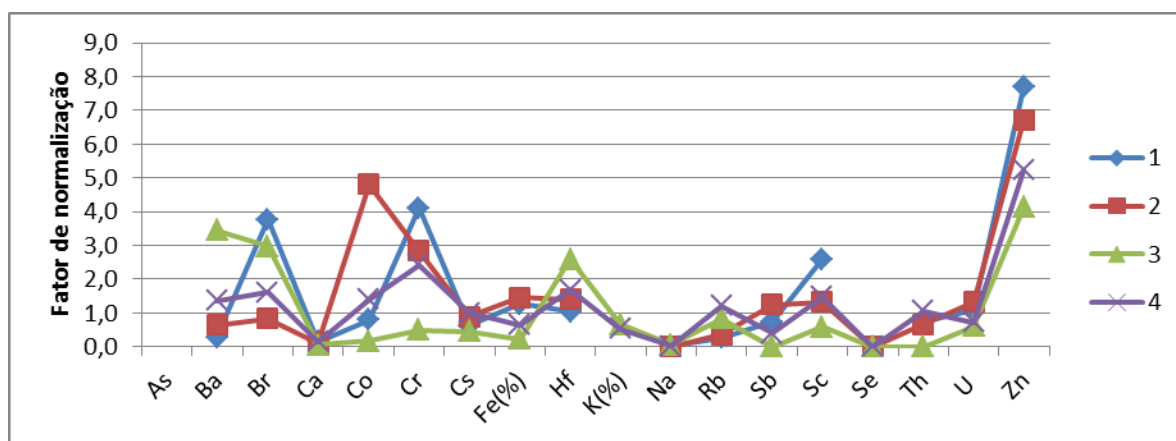
  

	Th	U	Yb	Zn
1	7,9 0,1	3,1 0,2	3,3 0,2	546 11
2	7,17 0,09	3,7 0,5	6,4 0,3	476 10
3		1,7 0,1	4,5 0,2	294 6
4	11,4 0,1	2,04 0,07	3,0 0,1	371 7
5	3,44 0,08	0,78 0,06	0,33 0,09	197 7
6	7,6 0,1	1,9 0,2	2,4 0,2	301 10
7	3,92 0,09	1,00 0,08	0,34 0,06	246 9
8	3,65 0,07	0,89 0,08	0,38 0,02	37 3

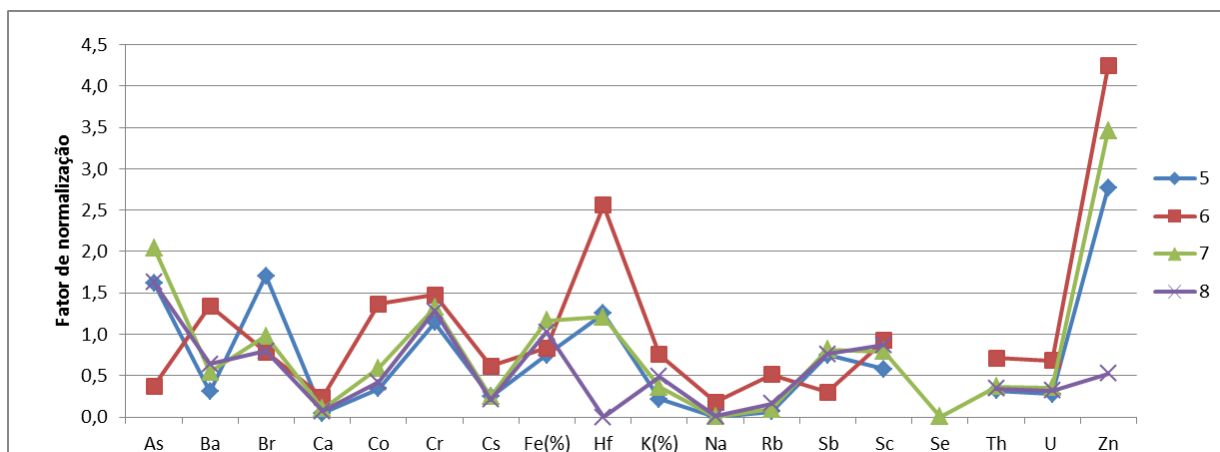
Na tabela 4 são apresentados os resultados obtidos por análise por ativação neutrônica. Pode-se observar pelos resultados que as diferentes argilas coletadas na região de Campos Gerais apresentam uma grande variação quanto a sua composição elementar. Os maiores coeficientes de variação foram apresentados pelos os elementos Co, Eu, La, Na e Sm. Comparadas à argilas de uso cosmético e medicinal [10; 14] as amostras analisadas neste estudo apresentam concentrações semelhantes ou ligeiramente superiores, dependendo o elemento.

Para avaliar o padrão de distribuição dos elementos nas argilas analisadas neste trabalho foi feita uma normalização utilizando-se os valores da Crosta Continental Superior (CCS) [15]. Esta normalização consiste em dividir o valor obtido na amostra pelo valor de referência da CCS e visa determinar o grau de enriquecimento de um dado elemento em relação aos valores médios observado na CCS. Nas Figuras 3 e 4 estão representados os fatores de normalização obtidos para os elementos determinados, exceto os elementos terras raras (ETR). Verifica-se, pela Figura 3 que a amostra 1 é enriquecida nos elementos Br, Cr, Sc e Zn; a amostra 2 é enriquecida nos elementos Co, Cr e Zn; a amostra três, nos elementos Ba, Br, Hf e Zn; e a amostra 4 é enriquecida em Cr e Zn. Pela Figura 4 verifica-se um enriquecimento em Zn na amostra 5; Hf e Zn na amostra 6; As e Zn na amostra 7 e a amostra 8 é a que apresenta-se mais semelhante à composição da CCS.

Na figura 6 é apresentado o dendrograma para os elementos e radionuclídeos determinados nas argilas analisadas neste estudo. Verifica-se que dois grandes grupos foram formados; o primeiro é composto basicamente pelos elementos terras raras e os elementos Co, Fe, Sb, U e Zn e o segundo grupo contém os demais elementos e os radionuclídeos, indicando que, embora as argilas analisadas possuam grande variabilidade em suas concentrações, provavelmente os elementos pertencentes a cada um destes grupos estão ligados à diferentes fases minerais. Na Figura 7 encontra-se o dendrograma obtido em função das amostras. Dois grupos foram obtidos e verifica-se que as amostras 5, 7 e 8, pertencentes ao primeiro grupo, apresentam maior similaridade entre si e diferem significativamente das amostras 1, 2, 3, 4 e 6, pertencentes ao segundo grupo. Ainda no segundo grupo, pode-se observar maior similaridade entres as amostras 1 e 2 e entre as amostras 4 e 6.

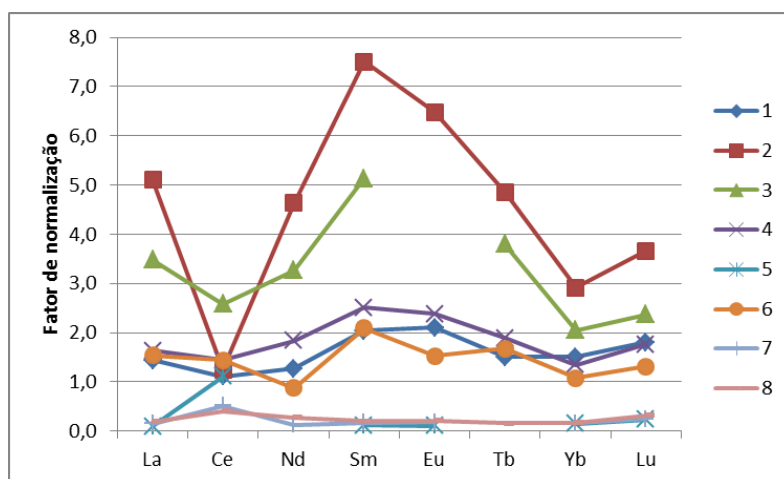


**Figura 3: Distribuição da concentração elementar em função da crosta continental superior para as amostras de 1 a 4.**



**Figura 4: Distribuição da concentração elementar em função da crosta continental superior para as amostras de 5 a 8.**

Na Figura 5 pode ser observada a distribuição da razão entre os ETR nas amostras e suas concentrações na CCS. Foi verificado que as amostras 5 e 8 apresentam-se empobrecidas, enquanto que as amostras 2 e 3 apresentam-se enriquecidas em relação à crosta.



**Figura 5: Distribuição da concentração dos elementos terras raras em função da crosta continental superior para todas as amostras.**

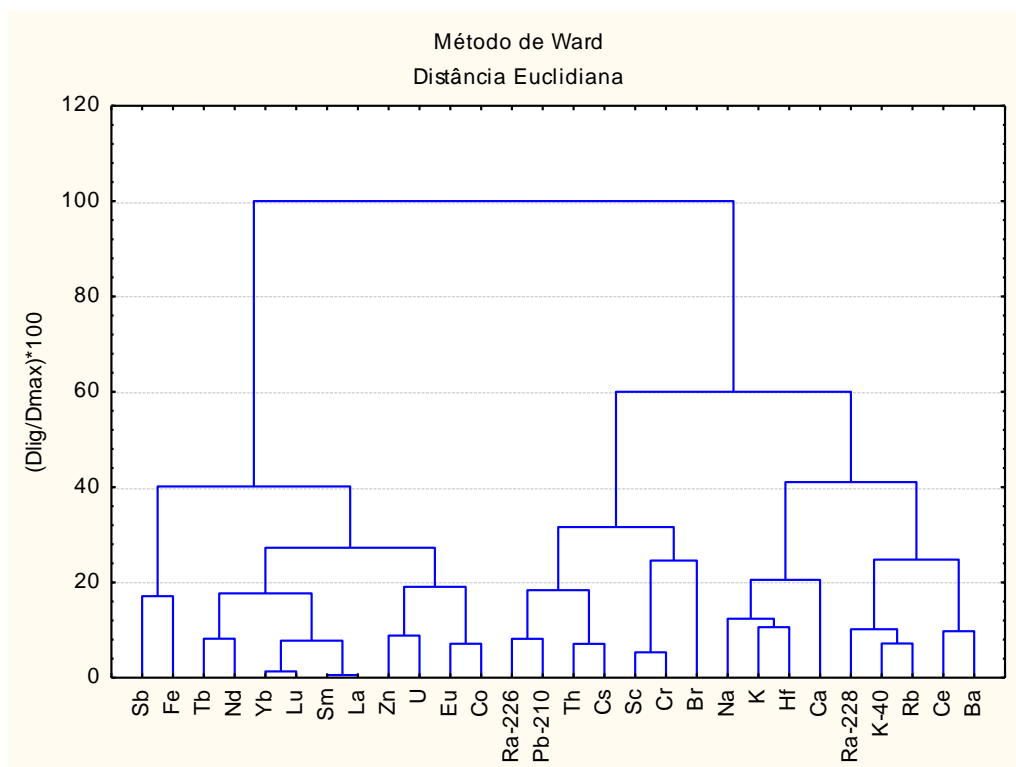
#### 4. CONCLUSÕES

Foram analisadas amostras de argilas coletadas na região de Campos Gerais, Minas Gerais e foram determinadas as concentrações elementares, concentrações de atividade, teor de umidade, matéria orgânica e perda ao fogo. A amostra 1 foi a que apresentou o maior teor de umidade, matéria orgânica e perda ao fogo. O menor teor de umidade foi observado na amostra 7 e de matéria orgânica e perda ao fogo na amostra 3. De acordo com os valores de perda ao fogo encontrados, as amostras 1, 2, 7 e 8 devem apresentar as maiores quantidade de argilo-minerías. A concentração de atividade dos radionuclídeos determinados está contida nos intervalos de concentração média global, indicando que estas amostras não apresentam

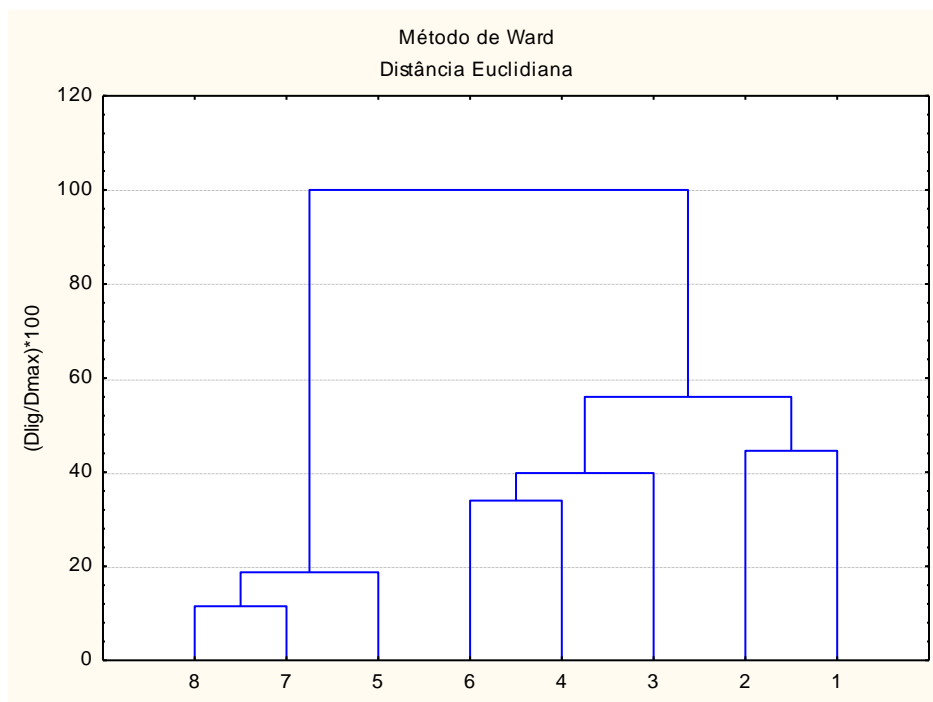


risco de aumento de exposição à radiação. A concentração da maioria dos elementos determinados é igual ou menor à concentração média global, indicada pelos valores da Crosta Continental Superior. Verificou-se que entre os elementos, apenas Cr, Hf, Zn e os elementos terras raras apresentam enriquecimento em relação à CCS. Apesar das variações observadas quanto à cor e composição química verificou-se semelhança entre as amostras 5, 7 e 8, entre as amostras 4 e 6 e entre as amostras 1 e 2.

Uma vez que não existem normas estabelecendo limites para as concentrações elementares e de radionuclídeos para cosméticos, pode-se considerar que as amostras coletadas em Campos Gerais podem ser utilizadas com esta finalidade visto que sua composição é muito semelhante àquela encontrada em solos e sedimentos em geral.



**Figura 6: Dendrograma obtido a partir das concentrações dos elementos e radionuclídeos determinados.**



**Figura 7: Dendrograma obtido para o agrupamento das amostras analisadas.**

## REFERENCES

- 1 - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, ARGILAS BRANCAS E VERMELHAS, [http://www.pormin.gov.br/informacoes/arquivo/argilas\\_branca\\_vermelha\\_propriedades\\_aplicabilidade\\_ocorrencias.pdf](http://www.pormin.gov.br/informacoes/arquivo/argilas_branca_vermelha_propriedades_aplicabilidade_ocorrencias.pdf), acessado em julho de 2013.
- 2 - “O poder das argilas: geoterapia,” <http://www.casaclean.com.br/downloads/O-poderdasArgilas.pdf>, acessado em julho de 2013.
- 3 - É. Teixeira-Neto, Â. A. Teixeira-Neto, “Modificação química de argilas: desafios científicos e tecnológicos para obtenção de novos produtos com maior valor agregado”, *Quim. Nova*, **32** (3): 809-817 (2009).
- 4 - L. A. Gaspar Junior, A. F. D. C. Varajão, M. H. O. Souza, M. M. T. Moreno, “Estudo comparativo das argilas das olarias dos municípios de Alfenas e Areado, MG”, *Cerâmica*, **58**: 404-411 (2012).
- 5 - C. V. G. Turbay, C. M. Valeriano, A. Rossi, Rocha, V. G. M. Silva, “Geologia do complexo Campos Gerais ao sul de Alpinópolis, sudoeste de Minas Gerais”, *Geonomos*, **16**(2): 79 – 90 (2008).
- 6 - Cutshall, N. H., Larsen, I. L. e Olsen, C. R., Direct analysis of  $^{210}\text{Pb}$  in sediments samples: self absorption corrections. *Nuclear Instruments and Methods*, **206**: 309-312 (1983).

7 - UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the effects of Atomic Radiation. **Sources Effects and Risks of Ionizing Radiation**. Report to the general Assembly. United Nations, New York, NY. 2000.

8 - V. M. F. Jacomino, K. A. P. Oliveira, M. H. T. Taddei, M. C. Siqueira, M. E. D. P. Carneiro, M. R. L. Nascimento, D. F. Silva, J. W. V. Mello, “Radionuclides and heavy metal contents in phosphogypsum samples in comparison to cerrado soils”, *Bras. Ci. Solo*, **33**:1481-1488, 2009.

9 – European Commission, Radiation Protection 146, A Review of Consumer Products Containing Radioactive Substances in the European Union, 2007.

10 - Paulo S.C. Silva, Sônia M.B. Oliveira, Luciana Farias, Déborah I.T. Fávaro, Barbara P. Mazzilli, Chemical and radiological characterization of clay minerals used in pharmaceuticals and cosmetics, *Applied Clay Science* **52**: 145–149 (2011).

11 - Díaz Rizo, O.; Gelen Rudnikas, A.; Arado López, J. O., D’Alessandro Rodríguez, K.; González Hernández, P.; Fagundo Castillo, J. R.; Blanco Padilla, D., Radioactivity levels and radiation hazard of healing mud from San Diego River, Cuba, *J. Radioanal Nucl. Chem.* **295**:1293–1297, (2013).

12 – Tateo, F.; Ravaglioli, A.; Andreoli, C.; Bonina, F.; Coiro, V.; Deguetto, S.; Giaretta, A.; Menconi Orsini, A.; Puglia, C.; Summa, V. The in-vitro percutaneous migration of chemical elements from a thermal mud for healing use. *Appl. Clay Sci.* **44**: 83 (2009).

13 – Tsabaris, C.; Eleftheriou, G.; Kapsimalis, V.; Anagnostou, C.; Vlastou, R.; Durmish, C.; Kedhi, M., Kalfas, C. A. Radioactivity levels of recent sediments in the Butrint Lagoon and the adjacent coast of Albania. *Appl. Radiat. Isot.*, **65**:445 (2007).

13 - El-Arabi, A. M.; Abbady, A.E.; Hussein, A. S.; Gamma-ray measurements of natural radioactivity in sedimentary rocks from Egypt. *Nucl. Sci. Technol.* **17**: 123–128(2006).

14 – Mascolo, N.; Summa, V.; Tateo, F.; “In vivo experimental data on the mobility of hazardous chemical elements from clays”. *Applied Clay Science*, **25**: 23-28 (2004).

15 - Wedepohl, K.H. (1995). The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta.* **59**: 1,217-1,239