

## Variação sazonal da concentração $^{210}\text{Pb}$ medido em amostras de solo da cidade de São Paulo

Gustavo R. de Freitas<sup>1</sup>, Thiago O. Santos<sup>2</sup> and Sandra R. Damatto

<sup>1</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)  
Av. Professor Lineu Prestes 2242  
05508-000 São Paulo, SP  
[gustavo.rfreitas09@gmail.com](mailto:gustavo.rfreitas09@gmail.com)

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)  
Av. Professor Lineu Prestes 2242  
05508-000 São Paulo, SP  
[thi.oli.0107@gmail.com](mailto:thi.oli.0107@gmail.com)

<sup>3</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)  
Av. Professor Lineu Prestes 2242  
05508-000 São Paulo, SP  
[damatto@ipen.br](mailto:damatto@ipen.br)

### RESUMO

Os radionuclídeos naturais são encontrados em todo o meio ambiente terrestre, sendo os principais os pertencentes às séries radioativas naturais do  $^{238}\text{U}$  e do  $^{232}\text{Th}$ . O  $^{226}\text{Ra}$  ( $T_{1/2}=1600\text{a}$ ), da série do  $^{238}\text{U}$ , pode ser encontrado em amostras de solo e sedimento e decai para o  $^{222}\text{Rn}$  ( $T_{1/2} = 3,8\text{ d}$ ), gás nobre e inerte que emana da superfície da terra decaindo para  $^{210}\text{Pb}$  ( $T_{1/2} = 22,3\text{a}$ ), na atmosfera. O  $^{210}\text{Pb}$  retorna à terra como *fallout* seco ou pode ser lavado da atmosfera pela chuva. Embora existam na literatura muitos trabalhos referentes à caracterização química do solo da cidade de São Paulo, poucos trabalhos são encontrados quanto à quantificação do radionuclídeo  $^{210}\text{Pb}$ . O objetivo deste trabalho foi determinar a concentração de atividade do  $^{210}\text{Pb}$  em amostras de solo coletadas no campus do IPEN de agosto de 2014 a abril de 2015 e verificar a variação sazonal deste radionuclídeo. A concentração do radionuclídeo  $^{210}\text{Pb}$  foi determinada pela medida bet total em um detector proporcional de fluxo gasoso de baixo background, após separação radioquímica. Para auxiliar a interpretação dos resultados foram determinados pH, densidade real e aparente, porosidade e a composição granulométrica. As concentrações obtidas de  $^{210}\text{Pb}$  variaram de  $67 \pm 1\text{ Bq/kg}$  a  $144 \pm 13\text{ Bq/kg}$  e apresentaram uma correlação direta, porém inversamente proporcional, com os índices pluviométricos medidos no mesmo período de estudo. As maiores concentrações foram obtidas no período do inverno e as menores na primavera, quando inicia o período chuvoso.

### 1. INTRODUÇÃO

Os radionuclídeos naturais são encontrados na crosta da Terra em todo o meio ambiente, como solo, água e atmosfera, sendo os principais radionuclídeos aqueles que pertencem às séries radioativas naturais do  $^{238}\text{U}$  e do  $^{232}\text{Th}$ . Suas concentrações variam com a localização geográfica, origem geológica dos solos e história climática, hidrológica e agrícola [1,2].

Alguns destes radionuclídeos, como o  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{219}\text{Rn}$ , podem ser utilizados como traçadores em estudos atmosféricos, oceanográficos e limnológicos, onde através de suas medidas pode-se seguir o traçado de processos naturais e artificiais e realizar uma avaliação do impacto antrópico de contaminantes sob o meio ambiente [3-5].

O radionuclídeo  $^{226}\text{Ra}$  ( $T_{1/2} = 1620$  anos), emissor alfa e, o radionuclídeo  $^{210}\text{Pb}$  ( $T_{1/2} = 22,3$  anos), emissor beta, ambos radionuclídeos da série natural do  $^{238}\text{U}$ , são importantes sob o ponto de vista de proteção radiológica, pois contribuem com uma dose significativa devido à irradiação interna [2]. O  $^{226}\text{Ra}$  é encontrado mais frequentemente em amostras de solo e sedimento, proveniente do intemperismo de rochas, e decai para o  $^{222}\text{Rn}$  ( $T_{1/2} = 3,8$  dias), gás nobre e inerte. Este último emana da superfície da terra decaindo para  $^{210}\text{Pb}$  na atmosfera. O  $^{210}\text{Pb}$  retorna à terra como *fallout* seco ou pode ser lavado da atmosfera pela chuva.

Calculando-se as concentrações de atividade do  $^{210}\text{Pb}$  em amostras de precipitação pluviométrica é possível estimar o fluxo anual do mesmo, cujos resultados são utilizados no entendimento da cronologia de sedimentos de ambientes marinhos e lacustres [1, 6-11]. O conhecimento quantitativo e qualitativo das deposições atmosféricas é relevante para o entendimento dos ciclos biogeoquímicos de elementos e da influência das atividades antrópicas nestes processos.

O objetivo deste trabalho foi determinar a concentração de atividade do  $^{210}\text{Pb}$  em amostras de solo coletadas no campus do IPEN, de agosto de 2014 a abril de 2015 e verificar a variação sazonal deste radionuclídeo. Para auxiliar a interpretação dos resultados foram determinados o pH, as densidades reais e aparentes, a porosidade e a composição granulométrica

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Área de estudo

As amostras de solo foram coletadas no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, o qual está localizado aproximadamente 10 km a oeste do centro da cidade de São Paulo. A cidade de São Paulo está situada em um plateau na região sudeste do Brasil, nas coordenadas  $23^{\circ}32'S$  e  $46^{\circ}37'O$ , e altitude média de 760 m acima do nível do mar. O clima na cidade é temperado tropical com período de seca no inverno e chuvoso no verão. A temperatura média anual é de  $19,1^{\circ}\text{C}$ , com mínima e máxima de  $15,3^{\circ}\text{C}$  e  $24,9^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. O índice pluviométrico médio anual na cidade variou de 1590 mm a 2081 mm, no período estudado e a direção preferencial dos ventos no campus do IPEN é predominantemente no sentido sul-sudeste.

### 2.2. Coleta e pré-tratamento das amostras e determinação de parâmetros físico-químicos.

As amostras de solo foram coletadas quinzenalmente em uma área de 30 X 30 cm e profundidade de até 5 cm em um ponto localizado no campus do IPEN, coordenadas  $23^{\circ}33'59''S$  e  $46^{\circ}44'15''O$ . No laboratório as amostras foram secas a temperatura ambiente e após secagem moídas em almofariz de porcelana com pistilo, peneiradas em mesh 115 e homogeneizadas.

#### 2.2.1. Composição Granulométrica

A composição granulométrica do solo possibilita a quantificação dos seus componentes, baseado no tamanho das partículas que o constituem e são expressos em percentagem de cada fração granulométrica em relação à fração total de solo seco. As diferentes partículas do solo

são classificadas pelo seu tamanho, de acordo com a classificação apresentada na Tabela 1 [12].

**Tabela 1: Classificação granulométrica dos sedimentos [12]**

<b>Classificação</b>	<b>Phi (<math>\phi</math>)</b>	<b>mm</b>
Areia muito grossa	-1 a 0	2 a 1
Areia Grossa	0 a 1	1 a 0,5
Areia Média	1 a 2	0,5 a 0,25
Areia Fina	2 a 3	0,25 a 0,125
Areia muito fina	3 a 4	0,125 a 0,062
Silte	4 a 8	0,062 a 0,00394
Argila	8 a 12	0,00394 a 0,0002

A determinação da granulometria foi realizada a úmido passando-se 5g da amostra por um conjunto de peneiras capazes de separar as frações em areia, silte e argila utilizando-se água superpura [13].

### **2.2.2. pH das amostras**

A medida do potencial de hidrogênio, pH, fornece o índice de acidez de uma solução em equilíbrio com o solo; geralmente é medido em uma solução solo-solução aquosa. No presente trabalho o pH das amostras de solo coletadas foi medido em H<sub>2</sub>O superpura, CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol.L<sup>-1</sup> e KCl 1,0 mol.L<sup>-1</sup> na proporção 1:25 [14,15].

### **2.2.3. Densidade real, densidade aparente e porosidade**

A densidade real depende da constituição do solo e varia pouco de um solo para outro, a determinação foi realizada segundo EMBRAPA [16]. Os solos foram secos a temperatura ambiente e pesados 20,0g em balão volumétrico de 50mL e o volume foi completado com álcool etílico com o auxílio da bureta. O cálculo da densidade real foi determinado a partir da expressão (1).

$$D_p = M/(V_b - V_a) \text{ (g/mL)} \quad (1)$$

Onde:

$D_p$  = Densidade real (g/mL)

$M$  = Massa da amostra (g)

$V_b$  = Volume do balão (mL)

$V_a$  = volume de álcool etílico gasto (mL)

A densidade aparente mede o grau de compactação do solo e foi determinada segundo EMBRAPA [16]. Foram pesados 35 mL da amostra de solo seco em uma proveta de 100mL,

a qual foi batida dez vezes sobre lençol de borracha de 5mm com uma altura de aproximadamente 10cm. Repetiu-se por mais duas vezes este procedimento até o nível da amostra atingir o traço de aferimento da proveta. O cálculo foi determinado segundo a expressão (2).

$$D_a = M_a/V_p \text{ (g / mL)} \quad (2)$$

Onde:

$D_a$  = Densidade aparente (g /mL)

$M_a$  = Massa do solo seco (g)

$V_p$  = Volume da proveta(mL)

A porosidade de uma amostra de solo expressa a medida do espaço poroso entre os grãos que formam o solo e foi determinada segundo EMBRAPA [16]. O cálculo da porosidade depende das densidades reais e a aparentes; esse cálculo foi determinado segundo a expressão (3).

$$P_t = 100 (a - b) / a \text{ (\%)} \quad (3)$$

Onde:

a = densidade real

b = densidade aparente

### 2.3. Procedimento radioquímico para determinação de $^{210}\text{Pb}$

O radionuclídeo  $^{210}\text{Pb}$  foi determinado segundo Damatto [17]. Uma alíquota de 1,00g de cada amostra, em duplicata, foi dissolvida com ácidos minerais e  $\text{H}_2\text{O}_2$  em digestor de micro-ondas e submetida ao procedimento radioquímico para determinação de  $^{210}\text{Pb}$ .

As amostras dissolvidas foram avolumadas para 1 L em béquer de 2 L onde foram adicionados, carregadores de  $\text{Pb}^{2+}$  e  $\text{Ba}^{2+}$ , ácido cítrico  $2 \text{ mol.L}^{-1}$  e indicador vermelho de metila. A solução foi agitada com agitador magnético e adicionou-se  $\text{NH}_4\text{OH}$  25% até a viragem para o meio básico e levada a chapa aquecedora para aquecimento onde adicionou-se sob agitação  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $3 \text{ mol.L}^{-1}$ .

O sobrenadante foi descartado e ao precipitado adicionou-se ácido nitrilo tri-acético (NTA) para dissolução do mesmo em meio  $\text{NaOH}$   $6 \text{ mol.L}^{-1}$ . Após a dissolução adicionou-se  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (25 mg/mL) e ácido acético glacial para a precipitação e o Pb permanece em solução complexado com o NTA. O sobrenadante com o Pb complexado foi separado por centrifugação e adicionou-se a quente  $\text{Na}_2\text{S}$   $1 \text{ mol.L}^{-1}$ , para precipitar o chumbo como sulfeto. O precipitado foi dissolvido a quente com ácido nítrico 50% e o pH da solução foi ajustado entre 4,5 e 5 com uma solução de acetato de amônio 40% . A solução foi aquecida e adicionou-se cromato de sódio,  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  30% para precipitação do chumbo como cromato. A solução foi filtrada à vácuo com papel de filtro e o rendimento químico foi determinado gravimetricamente.

A medida foi realizada em detector proporcional de fluxo gasoso de baixo background, marca Berthold, por 200 minutos após 10 dias da precipitação de  $^{210}\text{Pb}$  como cromato. A concentração de  $^{210}\text{Pb}$  foi determinada segundo a expressão (4).

$$A = \frac{R_a - R_0}{R_q \cdot E \cdot M \cdot (1 - e^{-\lambda t})} \quad (\text{mBq g}^{-1}) \quad (4)$$

Onde:

A = concentração de atividade da amostra em  $\text{mBq g}^{-1}$

$R_a$  = taxa de contagem total da amostra em cps

$R_0$  = taxa de contagem da radiação de fundo em cps

$R_q$  = rendimento químico

E = eficiência de contagem em  $\text{cps dps}^{-1}$

M = massa da amostra em g

t = tempo transcorrido entre a precipitação do  $\text{PbCrO}_4$  e a contagem em dias

$\lambda$  = constante de desintegração do  $^{210}\text{Bi}$  ( $0,183\text{d}^{-1}$ )

A radiação de fundo do equipamento de medida foi realizada fazendo uma medida com tempo de contagem igual da amostra, 200 minutos. O valor obtido para cada detector foi utilizado no cálculo da concentração de atividade do  $^{210}\text{Pb}$ .

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados as datas das coletas, os índices pluviométricos (IP), mm, valores de pH, densidade real ( $D_r$ ) e aparente ( $D_a$ )  $\text{g.mL}^{-1}$ , porosidade %, composição granulométrica % e concentração de  $^{210}\text{Pb}$  em  $\text{mBq.g}^{-1}$ .

**Tabela 2: Data de coleta, índices pluviométricos (mm), pH em KCl 1,0 mol.L<sup>-1</sup>, CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol.L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>O superpura, densidade real e aparente, porosidade, composição granulométrica (% areia, % silte e % argila) e concentração de <sup>210</sup>Pb (mBq.g<sup>-1</sup>)**

Data de coleta	IP mm	pH			Dr g.mL <sup>-1</sup>	Da g.mL <sup>-1</sup>	Porosidade %	Areia %	Silte %	Argila %	<sup>210</sup> Pb mBq.g <sup>-1</sup>
		KCl	CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O							
		1 mol.L <sup>-1</sup>	0,01 mol.L <sup>-1</sup>								
04/08/14	35	6,86	6,58	7,20	2,38	1,11	53,2	64,2	8,9	26,6	138 ± 2
29/08/14		6,57	6,43	7,07	2,81	1,30	53,6	73,6	6,4	19,7	105 ± 1
12/09/14	72	7,05	6,54	6,69	2,41	1,21	49,6	70,6	4,4	20,3	144 ± 13
26/09/14		6,03	6,29	6,99	2,25	1,18	47,4	69,4	4,7	25,2	95 ± 9
10/10/14	22	5,14	6,09	6,24	2,47	1,21	51,1	75,1	4,2	18,6	94 ± 7
24/10/14		6,07	5,87	6,53	2,36	1,14	51,7	76,0	4,9	16,3	71 ± 1
07/11/14	264	5,98	5,95	6,97	2,47	1,12	54,7	69,4	11,2	19,2	74 ± 7
24/11/14		6,78	6,76	7,34	2,44	1,24	49,3	70,2	6,8	20,0	80 ± 9
08/12/14	302	5,90	5,94	6,89	2,22	1,18	47,0	74,0	8,6	13,4	86 ± 5
22/12/14		7,80	7,66	8,27	2,36	1,18	50,3	72,6	10,2	15,4	101 ± 11
09/01/15	207	5,87	6,17	6,61	2,41	1,13	53,2	74,8	8,6	16,2	79 ± 7
23/01/15		7,85	7,74	8,30	2,35	1,25	46,9	66,6	10,6	19,6	101 ± 11
06/02/15	235	6,01	6,44	6,26	2,33	1,32	43,3	67,6	10,0	18,0	64 ± 1
20/02/15		5,60	5,81	6,36	2,44	1,18	51,6	83,4	5,8	10,0	82 ± 6
08/03/15	206	5,79	5,80	6,53	2,37	1,21	48,9	79,2	7,0	12,4	74 ± 3
24/03/15		6,04	6,18	6,61	2,22	1,16	47,9	77,8	7,2	14,80	113 ± 13
13/04/15	49	5,77	5,81	6,66	2,45	1,24	49,2	71,0	8,2	17,00	67 ± 5
30/04/15		5,57	5,75	6,60	2,41	1,21	49,8	73,4	8,4	14,40	94 ± 3

Na Fig. 1 são apresentados a composição granulométrica das amostras de solos coletada. Nestas amostras a porcentagem de areia variou de 64,2 a 83,4%, de silte variou de 4,2 a 11,2% e de argila variou de 10,0 a 26,6%. Segundo de Lepsch [15] os solos do presente trabalho podem ser classificados como franco-arenosos, em sua maioria maior porcentagem de areia.

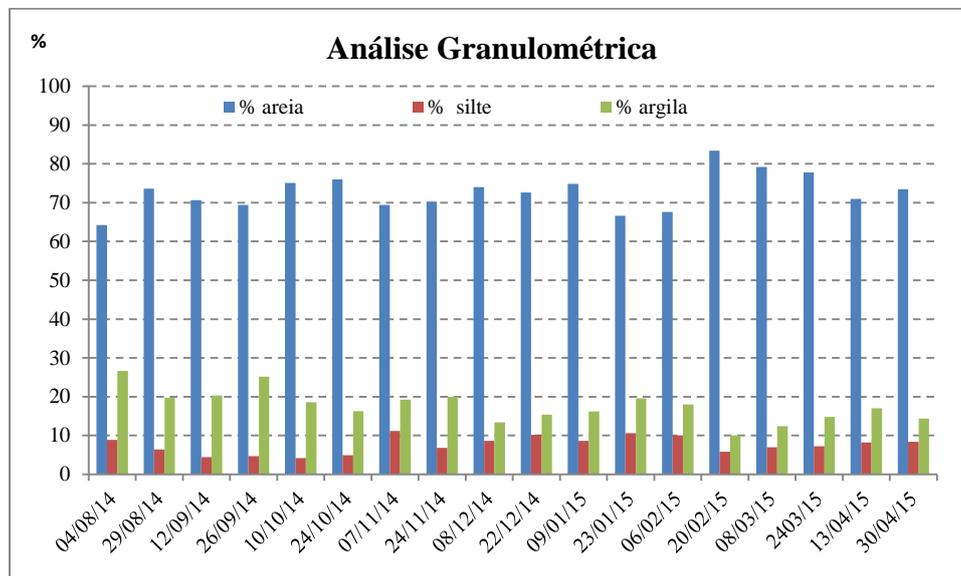


Figura 1: Composição granulométrica das amostras de solo coletadas

Na Fig. 2 são apresentados os índices pluviométricos, IP, em mm, do período de estudo obtidos do Programa de Monitoração Radiológica Ambiental, PMRA, do IPEN [18].

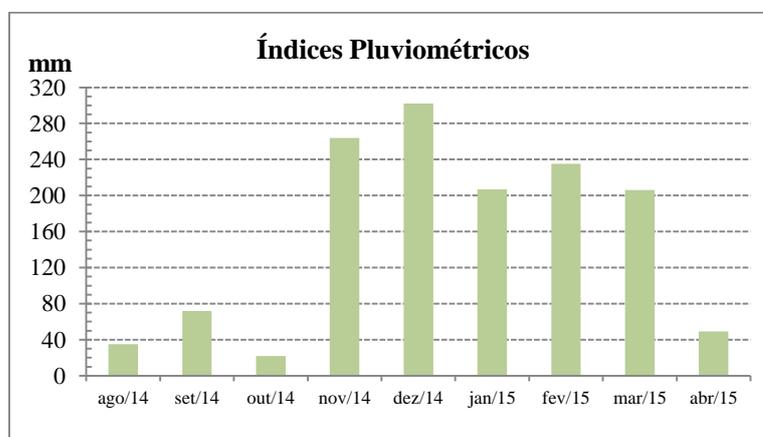
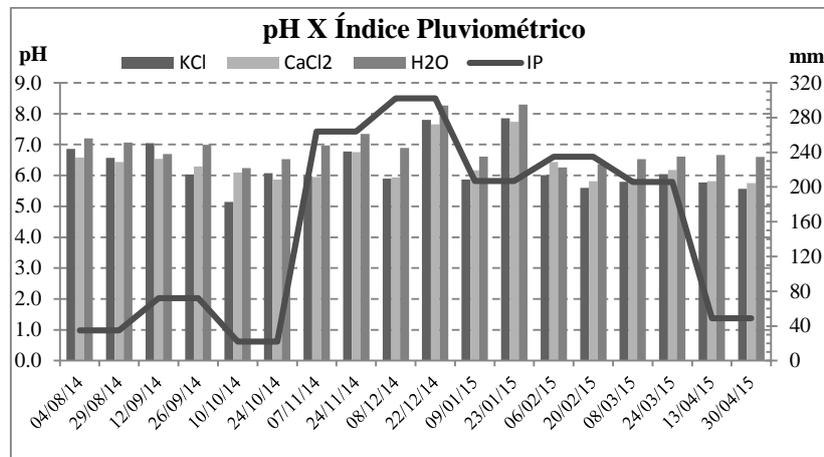


Figura 2: Índices pluviométricos em mm do local onde foram coletados os solos.

Os meses que apresentaram maior IP foram os meses de novembro de 2014 e de janeiro a março de 2015, meses correspondentes ao fim da primavera e verão, caracterizando o clima temperado tropical da cidade de São Paulo.

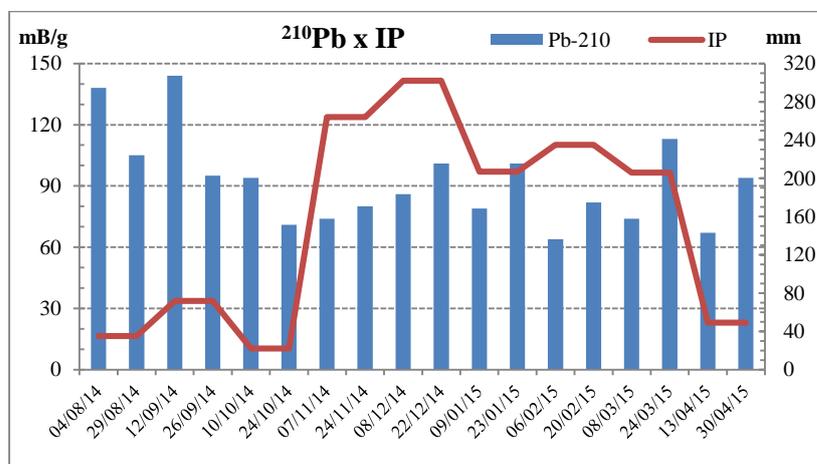
Na Fig.3 é apresentada a correlação entre os valores de pH e os dos IP mensais do período estudado. Pode-se observar com os resultados obtidos um leve aumento do pH nos meses onde o IP foi maior, indicando uma provável lavagem da atmosfera pela chuva e assim

consequentemente um aumento na concentração de íons nas amostras de solo ocasionando o maior valor de pH. Os meses que apresentaram menores IP, também apresentaram menores valores de pH e praticamente constantes.



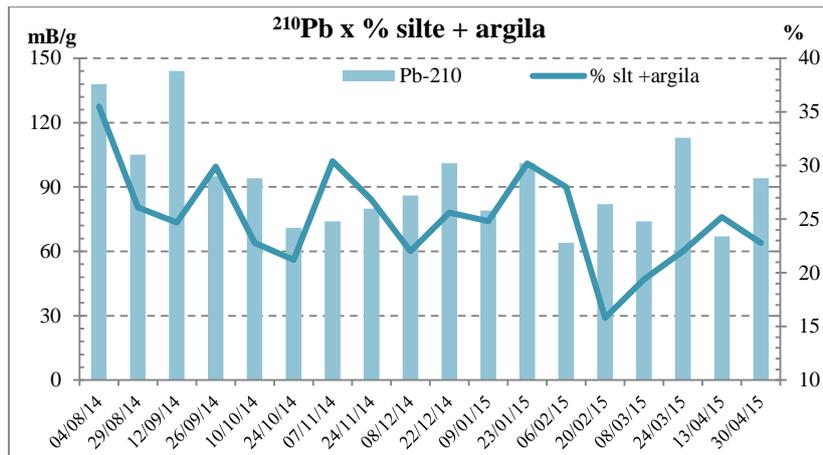
**Figura 3: Índices pluviométricos e pH**

Na Fig.4 é apresentada a correlação entre as concentrações de  $^{210}\text{Pb}$ ,  $\text{mBq.g}^{-1}$ , e os IP. Pode-se observar uma correlação inversa entre as concentrações e os IP, pois os maiores valores de concentração de  $^{210}\text{Pb}$  foram obtidos nos meses de menores IP e os menores valores nos meses de maior IP.

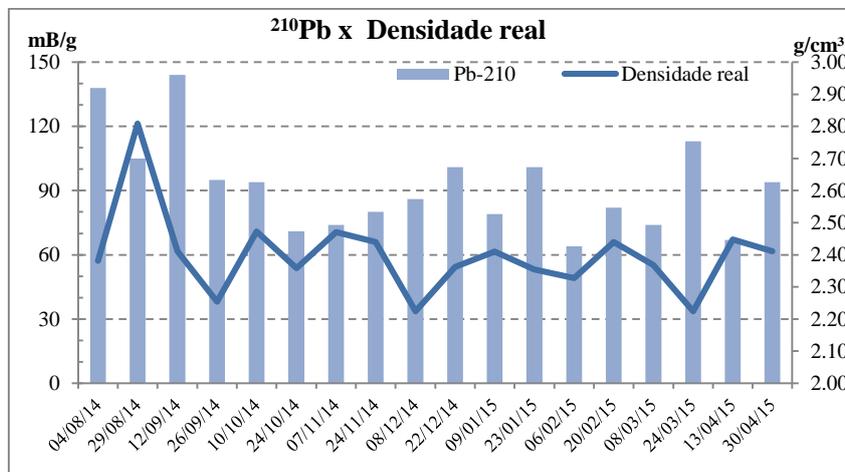


**Figura 4: Concentração de  $^{210}\text{Pb}$  em  $\text{mBq.g}^{-1}$  e índices pluviométricos**

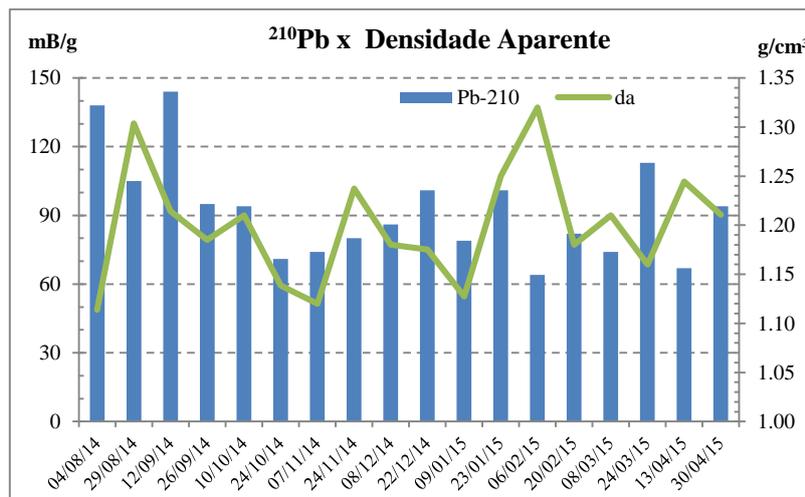
Nas Fig.5, Fig.6, Fig.7 e Fig.8 são apresentadas as correlações da concentração de  $^{210}\text{Pb}$  com a porcentagem de silte + argila, densidade real, densidade aparente e porosidade, respectivamente. As maiores concentrações de  $^{210}\text{Pb}$  foram obtidas nas amostras que apresentaram maiores porcentagens de fração fina, na maioria das amostras, confirmando a afinidade de elementos metálicos pela fração fina do solo e nos meses do inverno, onde ocorreram os menores índices pluviométricos. Verificou-se também que as maiores concentrações de  $^{210}\text{Pb}$  foram obtidas na maioria das amostras que apresentaram maiores valores de densidade real, aparente e porosidade.



**Figura 5: Concentrações de  $^{210}\text{Pb}$  e % Silte + Argila.**



**Figura 6: Concentrações de  $^{210}\text{Pb}$  e densidade real**



**Figura 7: Concentração de  $^{210}\text{Pb}$  e densidade aparente**

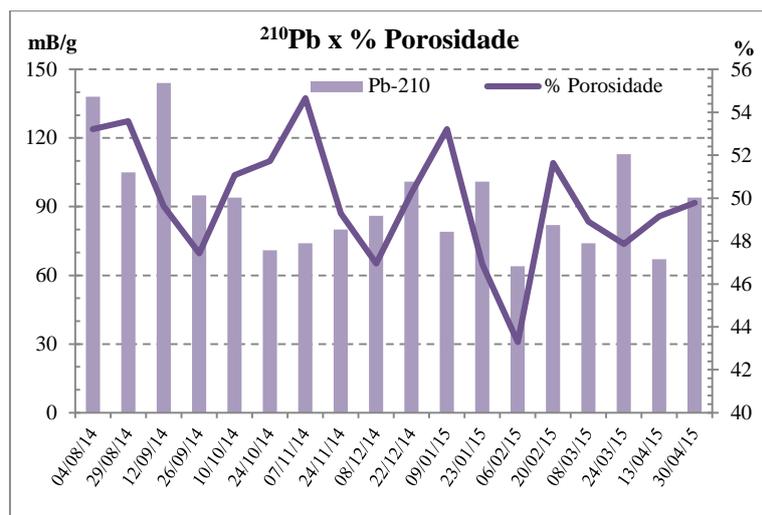


Figura 8: Concentrações de <sup>210</sup>Pb em comparação com a porosidade

#### 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados resultados preliminares de concentração de <sup>210</sup>Pb medidos em amostras de solo coletadas quinzenalmente no campus do IPEN, de agosto de 2014 a abril de 2015.

As concentrações obtidas de <sup>210</sup>Pb variaram de  $67 \pm 1$  Bq/kg a  $144 \pm 13$  Bq/kg e apresentaram uma correlação direta, porém inversamente proporcional, com os índices pluviométricos medidos no mesmo período de estudo. As maiores concentrações foram obtidas no período do inverno e as menores na primavera, quando inicia o período chuvoso.

Verificou-se também que as maiores concentrações de <sup>210</sup>Pb foram obtidas nas amostras que apresentaram maiores porcentagens de fração fina, devido a afinidade de elementos metálicos pela fração fina do solo.

#### AGRADECIMENTOS

Bolsa de Iniciação Científica PROBIC - CNPq/CNEN nº 05/2014.

#### REFERÊNCIAS

1. R. Winkler, & G Rosner, "Seasonal and long-term variation of <sup>210</sup>Pb concentration in air, atmospheric deposition rate and total deposition velocity in south Germany", *Sci. Total Environ.* **263**, pp 57-68 (2000).
2. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation - UNSCEAR *Sources and effects of ionizing radiation*, **1**, (2000).

3. J. M Smoak, W.S Moore, R.C. Thunell, T. J Shaw, “Comparison of  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Th}$ , and  $^{210}\text{Pb}$  fluxes of major sediment components in the Guaymas Basin, Gulf of California”. *Marine Chemistry*. **65**: pp 177-194. (1999).
4. G. Kim, L. Y Alleman, T.M. Church, “Atmospheric depositional fluxes of trace elements,  $^{210}\text{Pb}$ , and  $^7\text{Be}$  to the Sargasso Sea”. *Global Biogeochem. Cycles*. **13 (4)**: 1183-1192. (1999)
5. J. K Cochran, H Feng, D Amiel, A. Becck, “Natural radionuclides as tracers of coastal biogeochemical process”. *J. Geoch. Exploration*. **88**: pp376-379 (2006).
6. G. A. Peck, & J. D. Smith, “Determination of  $^{210}\text{Po}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in rainwater using measurements of  $^{210}\text{Po}$  and  $^{210}\text{Bi}$ ”, *Anal. Chim. Acta*. **422**: pp113-120 (2000).
7. S. Caillet, P Arpagaus, F Monna; J.Dominik, “Factors controlling  $^7\text{Be}$  and  $^{210}\text{Pb}$  atmospheric deposition as revealed by sampling individual rain events in the region of Geneva, Switzerland”. *J. Environ. Radioactivity*. **53**: pp 241-256 (2001).
8. M. Baskaran, 2011. “Po-210 and Pb-210 as atmospheric tracers and global atmospheric Pb - 210 fallout: a Review”. *J. Environ. Radioactivity*. **102**: pp 500-513 (2011).
9. R Fujiyoshi, T Yamaguchi, N. Takekoshi, K. Okamoto, T. Sumiyoshi, I. Kobal, J. Vaupotic, “Tracing depositional consequences of environmental radionuclides ( $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Pb}$ ) in Slovenian forest soils.” *Cent. Eur. J. Geosci.* **3(3)**: pp 291-301, ( 2011).
10. L Gaspar, A. Navas, J. Machin, D. E. Walling, “Using  $^{210}\text{Pb}$  measurements to quantify soil redistribution along two complex toposequences in Mediterranean agroecosystems, northern Spain”. *Soil & Tillage Research*, **130**: pp81-90, (2013).
11. S. R. Damatto, J. J Messias, B. P Mazzilli, “Seasonal variation of  $^{210}\text{Pb}$  concentration measured in rainfall in São Paulo – Brazil”. *International Topical Conference on Po and Radioactive Pb isotopes - Sevilla – España – 26 to 28 October*, (2009)
12. Resolução nº 344 de 25 de março de 2004 Publicada no DOU nº 087, de 07/05/2004, págs. 56-57.
13. S. R. Damatto, Radionuclídeos naturais das séries do  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$ , elementos traço e maiores determinados em perfis de sedimento da Baixada Santista para avaliação de áreas impactadas. Tese (Doutorado). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo (2010).
14. K Reichardt, & L. C Timm, *Solo, Planta e Atmosfera. Conceitos, Processos e Aplicações* – Manole, 2004. São Paulo, Brasil

15. I. F. Lepsch. *19 lições de Pedologia*. Oficina de Textos, 2011, São Paulo Brasil.
16. EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Ministério da Agricultura e Abastecimento. 2ª ed. rev. atual. Ed. Embrapa, Rio de Janeiro, 1997.
17. S. R. Damatto, B. Mazzilli, A. Y. Sakamoto, D. I. T. Fávaro, “Recent sedimentation rates and trace elements determined in cores from Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil” *In: 3rd International Nuclear Chemistry Congress, Palermo - Itália (2011)*.
18. Relatório PMRA - *Relatório de Avaliação do Programa de Monitoração Radiológica Ambiental do IPEN 2012*. Relatórios do SGI. Sistema de Gestão Integrada do IPEN. São Paulo, 21/07/2013.