

# Amostragem de solo multi-incremento e direcionada aplicadas em área com Bifenilas Policloradas (PCBs)

*Multi-increment soil sampling and direct used in a site with occurrence of Biphenyls Polychlorinated (PCBs)*

Gabriela Kristensen Ciantelli <sup>(1)</sup>, Alexandre Magno de Souza Maximiano <sup>(2)</sup>, Juliana Mantovani <sup>(2)</sup>, Jacilene Vieira dos Santos <sup>(3)</sup>, Marcos Tanaka Riyis <sup>(4)</sup>

<sup>1</sup> GEOCIA – Geologia e Engenharia Ambiental

<sup>2</sup> Tecnohidro Engenharia Ambiental Ltda

<sup>3</sup> Centro Universitário Senac

<sup>3</sup> Centro Universitário Senac/ ECD Sondagens Ambientais Ltda

{gabriela.ciantelli@geociarc.com.br, maximiano@tecnohidro.com.br, mantovani@tecnohidro.com.br, jacierusso@yahoo.com.br, marcos@ecdambiental.com.br}

**Resumo.** Para a caracterização dos passivos ambientais, principalmente quando esse passivo está associado aos solos, é de extrema importância que as amostras coletadas sejam representativas da realidade da área. Uma das alternativas para investigação no solo é a amostragem multi-incremento, que tem por objetivo a utilização de múltiplas amostras, dentro de uma área particular, denominada unidade de decisão, para criar uma alíquota representativa para análise laboratorial, com o objetivo de determinar uma concentração média da referida unidade de decisão, diminuindo, desta forma, as incertezas relacionadas à investigação em relação a estratégias de amostragem convencionais, como exemplo a locação dos pontos de coleta de amostras direcionadas. Sendo assim, este estudo foi desenvolvido para de avaliar duas diferentes técnicas de amostragem de solo utilizadas para investigação de Bifenilas Policloradas (PCBs): a amostragem multi-incremento e a amostragem direcionada. A partir dos resultados verificou-se que os dois tipos de amostragem apresentaram resultados diferentes, quanto a identificação de contaminação por PCB no solo.

**Palavras chaves:** áreas contaminadas, bifenilas policloradas (PCB), amostragem de solo, técnica de amostragem multi-incremento, técnica de amostragem direcionada.

*To characterize the environmental contamination, especially when the contamination is associated with soils it is important collect representative samples of the reality of the area. An alternative to investigate soil is the multi-increment sampling, using multiple samples within a particular area, called the decision unit, to create a representative sample for laboratory analysis in order to determine a average concentration of the decision unit, reducing the uncertainties related to the research over conventional sampling strategies, for example the direct samples. This study was designed to evaluate two different soil sampling techniques for the investigation of polychlorinated biphenyls (PCBs): a multi-increment sampling and direct sampling. The result was different results for samples collected by different techniques.*

**Key words:** contamination áreas, polychlorinated biphenyls, soil sampling, multi-incremental sampling, direct sampling

**InterfacEHS** – Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade  
Vol. 10 no 1 – Junho de 2015, São Paulo: Centro Universitário Senac  
ISSN 1980-0894

© 2015 todos os direitos reservados - reprodução total ou parcial permitida, desde que citada a fonte

Portal da revista InterfacEHS: <http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/>  
E-mail: [interfacehs@sp.senac.br](mailto:interfacehs@sp.senac.br)

## 1. Introdução

Os passivos ambientais são legados do desenvolvimento tecnológico e industrial, sobretudo de uma época em que a gestão ambiental não era praticada e o meio ambiente e os recursos econômicos eram vistos de maneira completamente dissociada (ROCCA, 2013).

Algumas substâncias podem ser eliminadas no meio ambiente sem riscos de danos ao ser humano, não sendo necessariamente tóxicas. Outras, como as Bifenilas Policloradas requerem certos cuidados.

Neste contexto, o encaminhamento de soluções para áreas contaminadas por parte dos órgãos que possuem a atribuição de administrar os problemas ambientais deve contemplar um conjunto de medidas que assegurem tanto o conhecimento das características e dos impactos causados por essas substâncias, quanto a criação e aplicação de instrumentos necessários à tomada de decisão e às formas e níveis de intervenção mais adequados, sempre com o objetivo de minimizar os riscos à população e ao ambiente, decorrentes da existência das mesmas (CETESB, 1999).

Desta forma, são necessárias novas estratégias técnicas, visando a minimização do risco que as áreas contaminadas podem gerar à saúde humana, ao meio ambiente e a outros bens a proteger (CETESB, 1999), para que a área avaliada tenha uma utilização segura.

Contudo, em função da necessidade do controle ambiental por parte dos órgãos reguladores e fiscalizadores, vem crescendo a necessidade do estabelecimento de procedimentos técnicos científicos para investigações ambientais nas mídias de interesse (solo, águas subterrâneas, ar ambiente, entre outros) que proporcionem dados suficientes para avaliar as áreas contaminadas, quanto ao potencial de risco à saúde humana e ao meio ambiente que estas contaminações podem gerar. Sendo assim, o estabelecimento de procedimentos para investigação ambiental vem contribuindo para os processos decisórios ocorram com mais rapidez nesses órgãos, bem como a otimização de custos de projeto.

Neste sentido, nos últimos anos, esta necessidade leva profissionais e acadêmicos atuantes na área ambiental a dedicar esforços para o desenvolvimento de técnicas para a investigação e gerenciamento destes passivos.

Conforme descrito em USEPA (2002), uma das alternativas para investigação de solo em áreas contaminadas é a análise multi-incremento, que tem por objetivo a utilização de múltiplas amostras de incremento, dentro de uma área particular, denominada unidade de decisão, para criar uma alíquota representativa para análise laboratorial, com o objetivo de determinar uma concentração média da unidade de decisão, diminuindo as incertezas relacionadas à investigação quando comparadas a estratégias de amostragem convencionais, como a coleta de amostras direcionadas.

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a diferença entre os resultados analíticos obtidos pelos métodos de amostragem de solo a partir da metodologia de amostragem multi-incremento e amostragem direcionada para uma área contaminada com Bifenilas Policloradas (PCB). Os objetivos específicos do trabalho são: verificar procedimentos técnicos aplicados para investigação do solo através da amostragem multi-incremento em áreas com potencial de contaminação; verificar procedimentos técnicos aplicados para investigação do solo através da amostragem direcionada em áreas com potencial de contaminação; aplicar as metodologias em campo, a fim de obter amostras para submeter a análise laboratorial quantitativa e comparar os resultados obtidos por meio das metodologias de amostragem de solo aplicadas.

## 2. Fundamentação Teórica

### Bifenilas Policloradas (PCB)

Segundo Policarpo (2008), dentre as substâncias químicas malélicas aos seres vivos e ao meio ambiente, existe um grupo que se destaca por sua alta toxicidade, denominados Poluentes Orgânicos Persistentes (POP).

Conforme definidos na Convenção de Estocolmo, os POPs são formados por 12 compostos: Dioxinas, Furanos, Bifenilas Policloradas (PCB), Hexaclorobenzenos (HCB), Aldrin, Dieldrin, Endrin, Clordano, Toxafeno, Mirex, Dicloro-difenil-tricloroetano (DDT) e Heptacloro (FONTENELE et al, 2009).

Bifenilas Policloradas – Polychlorinated Biphenyls – PCB, objeto deste estudo, é o nome genérico dado à classe de compostos organoclorados, resultante da reação da bifenila com cloro anidro na presença de catalisador (PENTEADO & VAZ, 2001).

As Bifenilas são formadas por dois anéis de Benzeno unidos por uma ligação carbono-carbono, com 1 a 10 átomos de cloro substituindo os átomos de hidrogênios nas posições 2-6 e 2'-6' dos anéis aromáticos. As moléculas de PCB podem apresentar diversas substituições possíveis dos átomos de cloro, sendo possível obter até 209 combinações diferentes, denominadas congêneres (PENTEADO & VAZ, 2001).

Dentre os 209 congêneres de PCB, existem 7 que são denominados PCB Indicadores, por serem mais facilmente encontrados em misturas comerciais de PCB, são eles: PCB-28, 52, 101, 118, 138, 153 e 180. De acordo com Cocco (2011), estes foram responsáveis por mais de 90% da contaminação mundial por PCB. Entre os 209 congêneres, 12 apresentam toxicidade semelhantes às Dioxinas, sendo denominados PCB-LD, são eles: PCB-77, 81, 105, 114, 118, 123, 126, 156, 157, 167, 169 e 189. No desenvolvimento do presente trabalho, os 19 congêneres especificados neste parágrafo foram analisados, os 7 indicadores e os 12 de maior toxicidade.

Conforme Silva (2008), os PCBs são líquidos em temperatura ambiente, são lipossolúveis, apresentam baixa solubilidade em água, não são voláteis, têm alto ponto de ebulição, possuem estabilidade térmica, química e excelentes propriedades dielétricas, atuando como isolante elétrico, permitindo dessa forma, uma ampla aplicação comercial.

Os PCBs, de acordo com Policarpo (2008), são altamente adsorvidos no solo, ligando-se à matéria orgânica, devido à sua alta hidrofobicidade. Além disso, possui baixa volatilidade, reduzida solubilidade e é mais denso que a água, por isso, pode ser considerado um DNAPL (dense non-aqueous phase liquid), ou seja, tende a se apresentar como fase livre imiscível em água.

Os PCBs tiveram sua sintetização inicial na Alemanha, no início do século XIX, e sua produção em escala industrial a partir de 1922. Rahuman (2000) afirma que todo o PCB existente no mundo foi sintetizado, não existindo, portanto, fontes naturais dessas substâncias. Os compostos de PCB eram utilizados em sistemas de trocadores de calor, em pesticidas, como óleo de corte, fluido dielétrico em transformadores e capacitadores, fluidos hidráulicos, lubrificantes, plastificantes para tintas, etc. (SILVA et al, 2007).

Devido às implicações à saúde e impacto ao ambiente, o uso e a produção de PCB foram severamente restritos em muitos países. Em 1972, o Japão e a Suécia proibiram o uso e a produção, já os Estados Unidos proibiram em 1977. No Brasil, a proibição do uso, comercialização e produção ocorreu a partir de 1981, entretanto, o nosso país permitiu o funcionamento de equipamentos já instalados até sua substituição integral ou troca por fluidos isentos de PCBs (SILVA et al, 2007).

## **Amostragem de Solo para Investigação de Áreas Contaminadas**

Para CETESB (1999), quando um volume de solo precisa ser caracterizado, não se exige que todo ele seja examinado, sendo necessário que amostras representativas desse volume sejam coletadas, a fim de assegurar a obtenção de informações confiáveis a respeito da existência, concentração e distribuição na área de estudo das substâncias químicas de interesse. Essas amostras devem ser tão representativas quanto possível do material original ou da área a ser caracterizada.

Para CETESB (2012), os tipos principais de metodologia para estabelecer um plano de amostragem são: Direcionado; Aleatório Simples; Aleatório Estratificado; Sistemático; Ranqueado; Agrupado; e, Composta / Multi-incremento.

Para o presente estudo, dois métodos para amostragem de solo foram selecionados, a amostragem de solo multi-incremento e a amostragem de solo direcionada, ambas utilizadas no processo de identificação de áreas contaminadas.

### **Amostragem de Solo Multi-Incremento**

Segundo o Manual de Orientação Técnica para a Implementação do Plano de Contingência da Secretaria do Meio Ambiente no Estado do Hawaí nos Estados Unidos (Hawaii HEER TGM, 2008), a amostragem multi-incremento tem sido amplamente utilizada para investigações ambientais de substâncias não voláteis em solos superficiais, mas também pode ser utilizada para a coleta de subsuperficiais, para contaminantes voláteis ou não voláteis.

Esta metodologia de amostragem multi-incremento no solo é uma técnica destinada a reduzir ou limitar a variabilidade estatística quando comparadas com a amostragem direcionada. Ela fornece uma estimativa mais representativa e reprodutível da média de concentração de analitos em uma área específica de interesse, denominadas de "unidade de decisão" (UD).

Uma unidade de decisão pode ser definida como área, volume ou conjunto de objetos tratados como uma unidade simples no processo de tomada de decisão onde as amostras serão coletadas, podendo ser a unidade em sua totalidade ou até mesmo subáreas dentro da unidade. (ALS, 2011).

Em relação ao número de incrementos a serem coletados em cada unidade de decisão, de acordo com Hawaii HEER TGM (2008), a amostra multi-incremento da UD deve ser preparada considerando a coleta de no mínimo 30 incrementos de solo em uma unidade de decisão especificada, e combinar estes incrementos numa única amostra.

Usualmente, cada incremento é coletado em quantidades que podem variar de 5 a 50 gramas, resultando em uma amostra de 150 a 1500 gramas (CETESB 2012). A homogeneização dos incrementos que irão compor a amostra multi-incremento da unidade de decisão depende do tipo de solo e suas características. Entre as usualmente utilizadas, cita-se: Secagem, Desagregação, Peneiramento, Moagem.

Na maioria dos casos a amostra (incrementos), é peneirada, para obtenção de partículas <2,0mm e em algumas situações <0,250mm, processo que pode ser realizado em campo ou no laboratório (CETESB, 2012).

Para esta técnica de amostragem o Manual de Orientação Técnica para a Implementação do Plano de Contingência do Estado do Hawaí (Hawaii HEER TGM, 2008) recomenda a coleta de amostras em triplicata, ou seja, três repetições usando a mesma abordagem, para validação estatística do método, pela metodologia do desvio padrão ou média aritmética do UCL 95% (limite superior de confiança).

A amostragem multi-incremento é benéfica porque reduz os custos significativamente da investigação, pois apenas uma alíquota será submetida à análise química em laboratório, formada a partir de sub amostras sistematicamente distribuídas por toda

a área da unidade de decisão, reduzindo as incertezas, maximizando a chance de se encontrar os *hot spots* (CETESB, 2012) e embasando melhor a tomada de decisão a respeito das etapas seguintes do processo de diagnóstico de uma área contaminada.

Esta metodologia não é boa na relação custo-benefício em solo subsuperficial, nem quando os custos de obtenção das amostras são significativos. Também não é recomendada para substâncias voláteis (ex. Hg, Compostos Orgânicos Voláteis) e não é vantajosa quando estão disponíveis técnicas de medições *in situ* (ex. *in situ* XRF) (CETESB, 2012).

A amostragem multi-incremento se diferencia da amostragem composta por atribuir número mínimo de incremento igual a 30 e por considerar a coleta em triplicata da amostra. Estes procedimentos dão validade estatística ao método, pela metodologia do desvio padrão ou média aritmética do UCL 95% (Hawaii HEER TGM, 2008; CETESB, 2012).

### **Amostragem de Solo Direcionada**

Segundo CETESB (1999), e de acordo com a norma ISO/DIS 10381-1, na amostragem direcionada a locação dos pontos de amostragem é realizada de acordo com o conhecimento já existente a respeito das fontes e das vias de disseminação da contaminação, evidências visuais de contaminação do solo ou aplicação de métodos de *screening* na área.

Em contrapartida, a CETESB (1999), considera que um esquema de amostragem direcionada pode ser afetado por um grande número de fatores que podem falsificar os resultados, acarretando em uma amostragem pouco representativa da área.

O objetivo principal da amostragem direcionada é fazer uma varredura sobre a presença ou ausência de contaminação a níveis de interesse, entretanto, não permite deduções estatísticas, e é útil quando há histórico confiável e a quando a investigação tiver como foco locais relativamente pequenos ou situações simples (CETESB, 2012).

A locação dos pontos de amostragem é realizada com o conhecimento já existente a respeito vias de disseminação da contaminação, evidências visuais de contaminação do solo, aplicação de métodos de investigação rápida focada na avaliação das áreas com maior concentração de contaminantes - "*hot spots*" (CETESB, 2012).

## **3. Metodologia da Pesquisa**

A amostragem direcionada, largamente utilizada nos estudos de áreas contaminadas no Brasil, possui limitações, especialmente devido à heterogeneidade da matriz ambiental (solo). A amostragem multi-incremento tem como objetivo descartar ou não a área avaliada (unidade de decisão), através de uma metodologia com validação estatística (Hawaii HEER TGM, 2008). Se a unidade de decisão (UD) não apresentou concentração detectável do composto químico de interesse, pode-se afirmar, com 95% de confiança, que aquela área não está impactada por aquele composto químico. Se apresentou, é preciso subdividir a UD em novas UD's e/ou aprofundar os estudos com amostras direcionadas, e conseqüentemente, mais análises químicas.

Esse é um assunto recente no país, com algumas incertezas e dúvidas dos profissionais sobre os procedimentos recomendados pelo órgão ambiental. A escolha desse tema se deu exatamente para tentar discutir um pouco mais esse assunto, para verificar se a amostragem direcionada pode levar a conclusões equivocadas e para verificar se uma área com excelentes informações sobre a fonte potencial precisaria também, passar por uma amostragem multi-incremento para se ter uma conclusão boa sobre o impacto da UD.

A partir da escolha do tema, buscou-se fundamentação teórica para planejamento da etapa de campo. Em campo, foram coletadas amostras, por diferentes metodologias e submetidas à análises químicas.

Foram coletadas 6 amostras direcionadas, dentro dos antigos berços onde ficavam as fontes potenciais geradoras de contaminação por PCBs. Esses berços estão na área da UD, portanto, a amostragem multi-incremento foi realizada de acordo com o protocolo do Hawaii, coletando-se 32 amostras em intervalos espaciais regulares, dentro da UD, que incluía os berços.

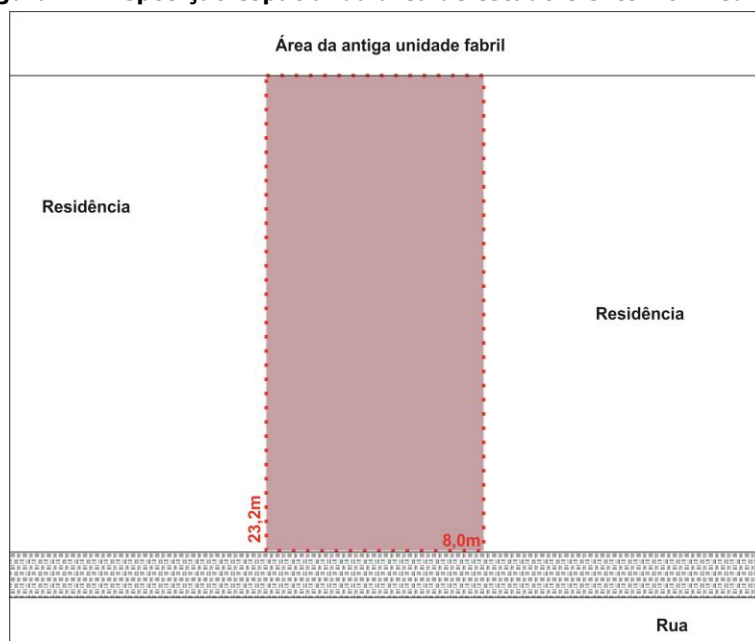
O detalhamento dos procedimentos está descrito no item 4.

#### 4. Estudo de Caso

A área de estudo foi tratada como sigilosa. A referida área faz parte de uma antiga área fabril, na qual eram desenvolvidas atividades de fabricação e manutenção de transformadores.

Foi selecionada para o presente estudo somente uma pequena área da antiga fábrica, com dimensões de 8,0 por 23,2m, totalizando 186m<sup>2</sup> (Figura 1), na qual era realizado o armazenamento de ascarel em 3 tanques aéreos com capacidade volumétrica de 15.000 litros cada.

**Figura 1 - Disposição espacial da área de estudo e entorno imediato.**



LEGENDA

 Área de Estudo

#### Procedimentos Utilizados Para Amostragem Multi-incremento

A unidade de decisão foi definida como a área total (186m<sup>2</sup>). Na unidade de decisão foram executadas 32 sondagens utilizando tipo manual com trado tipo concha de 1". A disposição das sondagens foi feita em 4 fileiras de 8 sondagens cada. Durante as sondagens, foi coletada uma amostra por sondagem no horizonte de 0 a 0,3m, considerado como horizonte superficial.

Cada uma das 32 amostras foi chamada de incremento. O acondicionamento dos incrementos foi realizado em bandeja de aço e inox e seguido dos procedimentos:

peneiramento em 2mm, espalhamento do material na bandeja em camada de aproximadamente 0,5cm de espessura. A sub-amostragem foi feita em campo, através da coleta de 32 porções pequenas (aproximadamente 5g), com colher de inox, colocada no frasco de vidro para envio ao laboratório.

A partir dos procedimentos supracitados, foi coletada uma amostra, denominada de MI.

A Foto 1 foi tirada durante os trabalhos de campo.

**Foto 1 – Parte da área, ilustrando onde foram executadas as sondagens para coleta dos incrementos, além de um dos berços onde tinha-se os tanques aéreos.**



### **Procedimentos Utilizados Para Amostragem de Solo Direcionada**

Para as amostragens direcionadas foram consideradas as localizações dos antigos tanques aéreos na área. Foram executadas 06 sondagens utilizando manual com trado tipo concha de 1", sendo que para cada tanque foram consideradas duas sondagens e conseqüentemente a coleta de duas amostras de solo, no horizonte de 0 a 0,3m, considerado como horizonte superficial.

A partir dos procedimentos supracitados, foram coletadas 06 amostras, denominada de P-1, P-2, P-3, P-4, P-5 e P-6.

### **Procedimentos Utilizados Para Análises Químicas Laboratoriais**

A preservação da amostra desde a coleta até o laboratório obedeceu rigorosamente o definido no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostra (CETESB 2011).

O laboratório responsável pelas análises químicas foi o Analytical Technology, devidamente certificado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), seguindo os requisitos estabelecidos pela ABNT NBR ISSO/IEC 17025.

A metodologia utilizada pelo laboratório responsável para as amostras de solo foi baseada no Método USEPA 8082A.

## 5. Resultados e discussão

Este item apresenta os resultados químicos das amostras coletadas pelas metodologias: direcionada e multi-incremento, além da avaliação comparativa dos resultados obtidos nestas metodologias.

A Tabela 11 apresenta os resultados das análises químicas de PCBs para a amostra coletada pela metodologia multi-incremento, enquanto a Tabela 22 apresenta os resultados das análises químicas de PCBs para as amostras coletadas pela metodologia direcionada.

**Tabela 1 - Resultados analíticos da amostra coletada pela metodologia multi-incremento para PCBs.**

PARÂMETROS	UNIDADE	INTERVENÇÃO RESIDENCIAL	MI
2,2',4,5,5' Pentachlorobifenila (#101)	µg/kg	-	16,2
2,3,3',4,4' - Pentaclorobifenil (#105)	µg/kg	-	21,6
2,2',3,4,4',5' Hexaclorobifenila (#138)	µg/kg	-	48,4
2,2',4,4',5,5' Hexaclorobifenila (#153)	µg/kg	-	41,7
2,3,3',4,4',5 - Hexaclorobifenil (#156)	µg/kg	-	4,5
3,3',4,4',5,5' - Hexaclorobifenil (#169)	µg/kg	-	20,1
2,2',3,4,4',5,5' Heptaclorobifenila (#180)	µg/kg	-	48,4
Somatória Bifenilas Policloradas Indicadores	µg/kg	30	154,7
Somatória Bifenilas Policloradas Analisadas	µg/kg	-	200,9

Observação: Os congêneres 28, 52, 77, 81, 114, 118, 123, 126, 157, 167 e 189 apresentaram concentração inferior ao limite de quantificação.



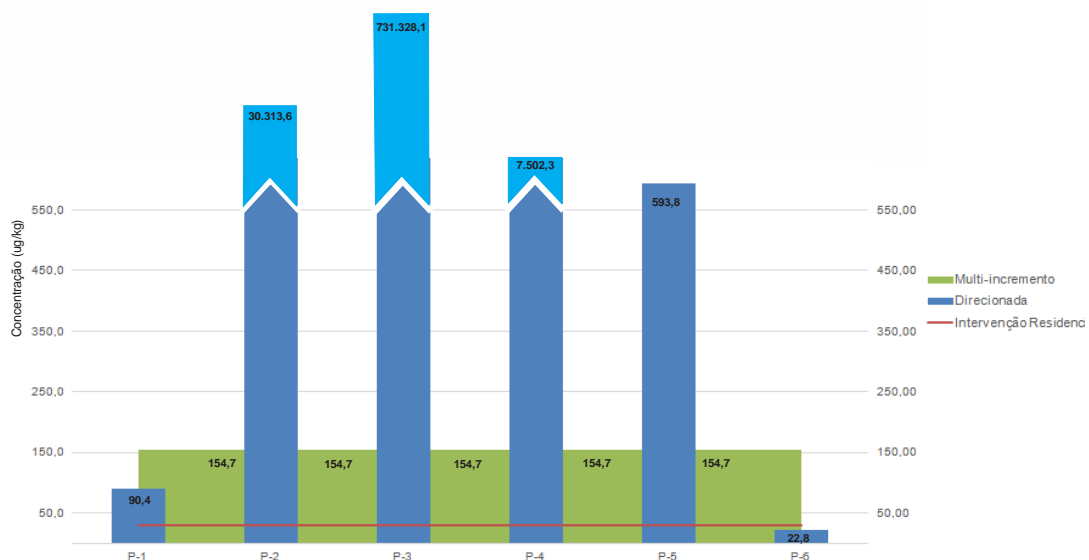
**Tabela 2 - Resultados analíticos das amostras coletadas pela metodologia direcionada para PCBs.**

PARÂMETROS	Unidade	Intervenção Residencial	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6
3,3',4,4' - Tetraclorobifenil (#77)	µg/kg	-	-	-	-	13.488,5	-	-
3,4,4',5 - Tetraclorobifenil (#81)	µg/kg	-	-	2.377,9	-	1.146,0	-	-
2,3,3',4,4' - Pentaclorobifenil (#105)	µg/kg	-	-	-	-	-	24,6	-
2,3,4,4',5 - Pentaclorobifenil (#114)	µg/kg	-	21,2	-	-	6.275,0	-	-
2,3',4,4',5 Pentaclorobifenila (#118)	µg/kg	-	-	3.781,9	-	-	34,9	-
2',3,4,4',5 - Pentaclorobifenil (#123)	µg/kg	-	-	7.857,6	-	5.498,5	-	-
3,3',4,4',5 - Tetraclorobifenil (#126)	µg/kg	-	17,1	-	-	-	-	-
2,3,3',4,4',5' - Hexaclorobifenil (#157)	µg/kg	-	-	5.878,5	-	-	-	-
2,3',4,4',5,5' - Hexaclorobifenil (#167)	µg/kg	-	-	-	-	3.131,2	-	-
2,2',5,5' Tetraclorobifenila (#52)	µg/kg	-	-	1.073,4	-	-	-	-
2,2',4,5,5' Pentachlorobifenila (#101)	µg/kg	-	-	6.281,2	91.306,7	557,2	61,6	1,5
2,2',4,4',5,5' Hexaclorobifenila (#153)	µg/kg	-	56,0	-	-	-	-	1,1
2,2',3,4,4',5' Hexaclorobifenila (#138)	µg/kg	-	34,4	10.628,2	183.657,1	1.934,4	190,3	8,1
2,2',3,4,4',5,5' Heptaclorobifenila (#180)	µg/kg	-	-	8.548,9	456.364,3	5.010,7	307,0	12,0
Somatória Bifenilas Policloradas Indicadores	µg/kg	30	90,4	30.313,6	731.328,1	7.502,3	593,8	22,8
Somatória Bifenilas Policloradas Analisadas	µg/kg	-	128,7	46.427,6	731.328,1	37.041,5	618,4	22,8

Observação: Os congêneres 156, 169,189 e 28 apresentaram concentração inferior ao limite de quantificação.

O Gráfico 1 apresenta as concentrações dos PCBs indicadores considerando as 06 amostras coletadas pela metodologia direcionada e a concentração obtida na amostra coletada pela metodologia multi-incremento, além do valor de intervenção residencial.

**Gráfico 1 – Concentrações de Bifenilas Policloradas Indicadores.**



O valor máximo de concentração demonstrado nos eixos do gráfico foi de 550µg/kg visando facilitar a visualização devido à escala, porém concentrações mais elevadas que 850µg/kg foram obtidas nas amostras P-2, P-3 e P-4.

A amostra coletada pela metodologia de multi-incremento, denominada de MI, apresentou concentração de 154,7 µg/kg e encontra-se apresentada em verde no Gráfico 1. Enquanto as amostras direcionadas, denominadas de P-1 a P-6, encontram-se apresentadas na cor azul. Já o valor de intervenção (30µg/kg) encontra-se representado pela linha vermelha.

A amostra direcionada coletada no P-1, quantificada analiticamente em 90,4µg/kg, apresentou concentração aproximadamente 3 vezes superior ao valor de intervenção (30µg/kg) e inferior a concentração da amostra multi-incremento (154,7µg/kg).

As amostras direcionadas P-2, P-3, P-4 e P-5, apresentaram concentrações superiores tanto ao valor de intervenção residencial quanto a concentração obtida na amostra multi-incremento. Nas referidas amostras (P-2 a P-5) é possível observar elevada discrepância entre os resultados analíticos obtidos.

Cabe destaque à amostra direcionada coletada no P-3, a qual apresentou concentração quantificada em 731.328,1µg/kg. Tal concentração apresenta-se aproximadamente 24.300 vezes superior ao valor de intervenção considerado. E apresenta-se 4.727 vezes superior à concentração da amostra multi-incremento.

Já a concentração de 22,8µg/kg, obtida na amostra direcionada P-6 é inferior ao valor de intervenção considerado.

As concentrações obtidas em todas as amostras direcionadas apresentaram concentrações discrepantes entre si. Cabe destaque aos pontos P-3 e P-6, distantes aproximadamente 15 metros, e que apresentam concentrações discrepantes (22,8 e 731.328,1µg/kg) indicando grande heterogeneidade na distribuição espacial do contaminante.

Se for considerada a média aritmética das concentrações das 06 amostras pontuais obtém-se 128.313,5µg/kg, valor 829 vezes superior à concentração obtida na amostra multi-incremento, que foi de 154,7 µg/kg. Comparando-se a média ao valor de intervenção obtém-se ainda maior (4.277 vezes).

A partir dos resultados apresentados é possível afirmar que a contaminação encontra-se distribuída de forma heterogênea na área de estudo. Acredita-se que a concentração obtida no P-3 tenha superestimado a concentração da amostra multi-incremento, porém não de forma tão significativa, visto a grande diferença nos resultados analíticos de tais amostras (154,7 e 731.328,1µg/kg).

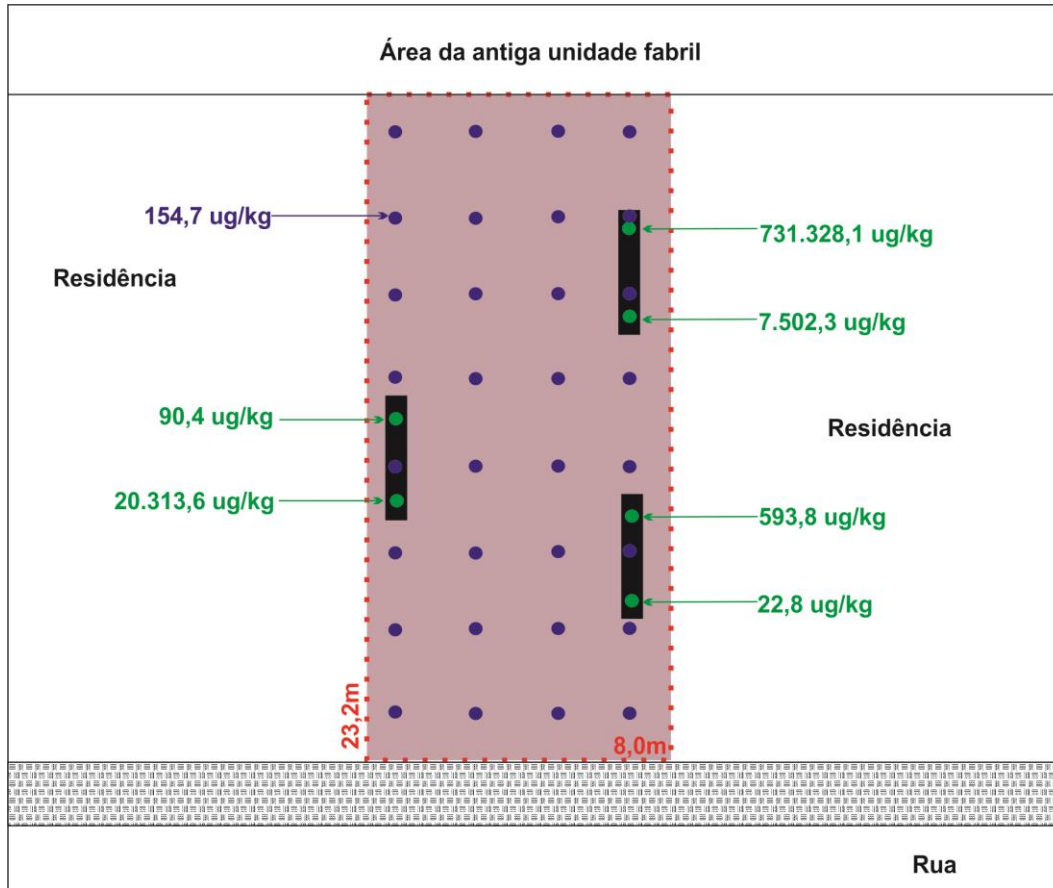
Considerando que a amostra multi-incremento foi coletada através de alíquotas distribuídas de forma uniforme em toda a área, as alíquotas coletadas distantes dos tanques (áreas fontes) provavelmente encontram-se isentas de concentrações de PCBs, subestimando a concentração obtida na amostra multi-incremento.

A amostragem multi-incremento, portanto, concluiu que a UD (portanto, a área avaliada) encontra-se, com certeza, contaminada pela presença de PCBs, porém, essa metodologia não consegue determinar a distribuição da contaminação na UD. Para reduzir essa incerteza, caso necessário, a UD deve ser subdividida em novas UD's.

No caso da amostragem direcionada, os resultados mostraram que, mesmo quando se tem informações prévias muito boas sobre a localização das potenciais fontes, a heterogeneidade do meio pode levar a decisões erradas, por exemplo, se o ponto P-6 fosse considerado representativo da área toda por conter uma fonte potencial.

A Figura 3 apresenta a distribuição das concentrações na área de estudo.

**Figura 1 – Distribuição das concentrações de PCBs indicadores na área de estudo.**



**LEGENDA**

- Área de Estudo
- Amostra Multiincremento
- Amostra Direcionada
- Tanques Aéreos

**6. Conclusão**

Conforme discutido anteriormente, foram obtidos resultados diferentes quanto a presença de PCBs no solo em concentrações acima dos limites de intervenção adotados, quando considerados os resultados analíticos das amostras de solo direcionadas e os resultados analíticos da amostragem de solo por meio da técnica multi-incremento.

No caso da amostragem direcionada, onde foram coletadas amostras de solo em pontos onde era conhecida a presença fontes de contaminação no passado, foram obtidas concentrações acima dos valores orientadores adotados em 05 das 06 amostras coletadas.

Deve-se destacar que uma área potencialmente contaminada não apresenta necessariamente substâncias no solo ou na água subterrânea, em concentrações superiores aos limites de investigação adotados. Desta forma, em um plano de amostragem baseado em amostras de solo direcionadas, é imprescindível que sejam

investigadas todas as prováveis fontes de contaminação conhecidas, de forma a evitar que resultados nulos obtidos em amostras pontuais, como a amostra P-6, sejam considerados como representativos de uma área mais abrangente.

Sendo assim, fica evidente a importância de um modelo conceitual prévio muito bem definido, no caso da adoção de um plano de amostragem com coleta de amostras de solo direcionadas.

No caso da amostragem multi-incremento, onde foi obtida uma concentração aproximadamente 05 vezes superior ao limite de intervenção adotado, fica evidente a eficiência do método na identificação de contaminação em áreas onde não se tem um modelo conceitual bem definido, mesmo quando considerada a atenuação nos resultados analíticos em decorrência da homogeneização das amostras coletadas na malha de sondagens.

Destaca-se que, em casos de detecção de substâncias em concentrações superiores aos limites estabelecidos em amostras coletadas por meio da técnica multi-incremento, podem ser indicados aprofundamentos nos estudos, como por exemplo, a segmentação da unidade de decisão em sub-áreas, a fim de posicionar com maior precisão o centro de massa da contaminação.

Desta forma, comparando-se metodologias de amostragem de solo, os resultados quase sempre serão diferentes, devido à heterogeneidade do meio. A amostragem direcionada, mesmo que locada em fonte potencial, pode ter resultados distintos devido à heterogeneidade. A amostragem multi-incremento mostra-se favorável uma vez que acertará na tendência, mesmo que com resultados subestimados.

## 7. Agradecimentos

Ao laboratório Analytical Technology, o qual subsidiou este estudo com recurso financeiro através da realização das análises químicas.

## Referências

ALS ENVIRONMENTAL. Disponível em: <http://www.caslab.com/news/incremental-sampling-methodology.html>. Acesso em 25/10/2014.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Caderno da Gestão de Conhecimento – Técnicas de Investigação de Áreas Contaminadas (Parte 1)**. São Paulo, SP: CETESB, 2012.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. São Paulo, SP: CETESB, 1999.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL E AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostra**. Brasília, DF 2011.

COCCO, Roberta. **Resíduos de Bifenilos Policlorados em arroz e feijão do Estado do Rio Grande do Sul**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2011.

FONTENELE, Eveline G. Pereira; MARTINS, Manoel R. Alves; QUIDUTE, Ana Rosa Pinto; JUNIOR, Renan Magalhães Montenegro. Contaminantes ambientais e os interferentes endócrinos. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, São Paulo, vol. 54, n.1, p.6 – 16, 2010. Disponível em [http://www.abem-sbem.org.br/edicoes\\_anteriores](http://www.abem-sbem.org.br/edicoes_anteriores). Acesso em: 03 ago. 2014, as 14:00:44.

ISO 10381-1. **Soil Quality Sampling. Part 1: Guidance on the design of sampling programmes**. 2002.

PENTEADO, José Carlos Pires; VAZ, Jorge Moreira. O legado das Bifenilas Policloradas (PCBs). **Química Nova**, São Paulo, vol. 24, n. 3, p. 390-398, mai.-jun. 2001. Disponível em [www.quimicanova.sbq.org.br](http://www.quimicanova.sbq.org.br). Acesso em: 02 ago. 2014, 09:09:34.

POLICARPO, Nara Angélica. **Tratamento de solos contaminados com Bifenilas Policloradas (PCBs)**. 2008. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2008.

RAHUMAN, M.S.M. Mujeebur; PISTONE, Luige; TRIFIRO, Ferruccio; MIERTUS, Stanislav. Destruction Technologies for Polychlorinated Biphenyls. **ICS-UNIDO Publications**, 2000.

ROCCA, Alfredo. **Modelos e Ferramentas de Gestão Ambiental: os passivos ambientais e a contaminação do solo e das águas subterrâneas**. 3ª Ed. São Paulo: Editora SENAC, 2013. 250, 251 e 256 p.

SILVA, Claudio Eduardo de Azevedo e; TORRES, João Paulo Machado; MALM, Olaf. Toxicologia das Bifenilas Policloradas. **Oecologia Brasiliensis**. Rio de Janeiro, n.2, p.179-187, 2007.

SILVA, Dannielle Janaine. **Tratamento de materiais contaminados com Bifenilas Policloradas (PCBs) via extração convencional e fluido supercrítico**. 2008. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.

STATE OF HAWAII DEPARTMENT OF HEALTH, Office of Hazard Evaluation and Emergency Response. **Technical Guidance Manual for the Implementation of the Hawaii State Contingency Plan, Section 4: Soil Sample Collection Approaches**. Hawai – EUA. 2008.

USEPA. Method 8082A. **Polychlorinated Biphenyls By Gas Chromatography**. Revision 1. February 2007.

Recebido em 31/03/15 e Aceito em 24/06/15.