

**A inadequabilidade técnica da aplicação da NBR 10.004
para a caracterização e classificação de solos escavados com
potencial de contaminação**

***The technical inadequability of the application of NBR 10.004
for the characterization and classification of excavated soils
with contamination potential***

***La insuficiencia técnica de la aplicación de NBR 10.004
para caracterización y clasificación del suelo escavado con
potencial contaminación***

Fabiana Alves Cagnon¹

Allan Dombrowski Francisco²

Ednilson Viana³

Homero Fonseca Filho⁴

¹ Geóloga e mestre em Hidrogeologia (USP) com 22 anos de experiência profissional contínua na área de consultoria em meio ambiente e gestão de áreas contaminadas. Atualmente atua como sócia-diretora da empresa R&C Projetos em Consultoria Ltda. E-mail: fa.cagnon@uol.com.br

² Gestor Ambiental pela Universidade de São Paulo, Escola de Artes, Ciências e Humanidades. Atualmente atua como coordenador geral de coletas na empresa Bioagri Ambiental Ltda, Piracicaba, São Paulo. E-mail: a.francisco010@gmail.com

³ Biólogo pela Unesp - São José do Rio Preto, Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos. Atua como professor no curso de Gestão Ambiental da Universidade de São Paulo, Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (USP). E-mail: ednilson.viana@gmail.com

⁴ Engenheiro Agrônomo pela ESALQ/USP, aperfeiçoamento em Produção Agrícola Sustentável pela University of Newcastle Upon Tyne, Inglaterra, mestrado em Agronomia pela ESALQ/USP, doutorado em Geociências e Meio Ambiente pelo Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Atua como professor do curso de Gestão Ambiental da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da USP. E-mail: homeroff@usp.br

Resumo: Uma classificação inadequada de solos pode resultar em uma disposição também inadequada destes, com impactos de ordem financeira e ambiental. Assim, o objetivo deste trabalho foi demonstrar, por meio de um estudo de caso, a inadequabilidade de utilização da norma técnica NBR 10.004, concebida para a classificação de resíduos industriais, quando utilizada para caracterizar e classificar solos escavados com potencial de contaminação. Para tanto, fez-se uma avaliação comparativa de resultados analíticos, obtidos por meio de ensaios de lixiviação e solubilização de quatro amostras de solo. De acordo com os resultados obtidos, os solos caracterizados foram classificados como Classe II A – não inerte, ao invés de IIB inerte. Os resultados mostram que é imprescindível a readequação ou um novo método de classificação dos solos, sempre que esse material precisar ser avaliado em função da presença de potencial contaminação, capaz de orientar a sua adequada disposição final.

Palavras-chave: resíduos; contaminação; impacto ambiental; normatização.

Abstract: Inadequate soil classification may result in an inadequate disposal of soil, with financial and environmental impacts. Thus, the objective of this work was to demonstrate, through a case study, the inadequacy of the use of technical standard NBR 10.004, designed for the classification of industrial waste, when used to characterize and classify excavated soils with contamination potential. For that, a comparative evaluation of the analytical results, obtained by means of the leaching and solubilization tests, of four soil samples was carried out. According to the results obtained, the soils characterized were classified as Class II A- not inert, instead of inert IIB. The results show that it is imperative to readjust or a new method of soil classification, whenever this material needs to be evaluated according to the presence of potential contamination, able to guide its adequate final disposal.

Keywords: waste, contamination, environmental impact, standardization.

Resumen: La clasificación incorrecta de los suelos puede dar resultado a una disposición inadecuada de los mismos, causando impactos tanto financieros como ambientales. Por lo tanto, el objetivo de este proyecto, fue demostrar mediante el uso de un estudio de caso la insuficiencia de la norma técnica NBR 10.004, que reglamenta la clasificación de residuos industriales, cuando ésta es usada para caracterizar y clasificar suelos escavados con potencial de contaminación. Para este propósito se realizó una evaluación comparativa de resultados analíticos, obtenidos por medio de ensayos de lixiviación y solubilización de cuatro muestras de suelo. De acuerdo con los resultados obtenidos, los suelos caracterizados fueron clasificados como clase IIA – no inerte, en vez de IIB inerte. Los resultados muestran que es indispensable la re-adaptación de la norma, o un nuevo método de clasificación de los suelos, siempre que este material necesite ser evaluado en función de la presencia de contaminación potencial, que sea capaz de conducir a una disposición final adecuada.

Palabras clave: desechos; contaminación; impacto ambiental; normatización.

1 INTRODUÇÃO

Os solos, dependendo da condição em que são gerados na construção civil ou outras atividades humanas, podem ser considerados como resíduos sólidos, havendo contaminação ou não. Nesse contexto, alguns conceitos são necessários para situar o solo no escopo deste artigo, como os conceitos de rejeito, resíduo, resíduo sólido, resíduos da construção civil, solo impactado e solo limpo, como descritos abaixo:

- **Rejeito:** Qualquer material que não tenha mais uso para o gerador e que foi descartado, depois de esgotadas todas as possibilidades de aproveitamento;
- **Resíduo sólido:** Qualquer material que não seja mais do interesse do gerador, sendo portanto, descartado e podendo ocorrer nos estados sólido, semissólido, líquido ou gasoso;
- **Resíduos da construção civil (RCC):** Resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas etc.;
- **Solo impactado:** Todo solo com presença comprovada de compostos químicos, correlacionados a uma determinada fonte de contaminação, em concentrações acima de algum dos valores de referência determinados pela Agência Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb);
- **Solo limpo:** Todo solo escavado de área sem potencial de contaminação ou solo removido de áreas com potencial de contaminação ou contaminada que foi analisado e está comprovadamente não impactado por compostos em concentrações acima de algum dos valores de referência determinados pela Agência Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb).

A presença cada vez maior de solos escavados contaminados ou com potencial de contaminação, sob a forma de RCC, tem levado à utilização de normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), destinadas à caracterização e classificação de resíduos sólidos. Esse uso é uma alternativa à falta de normativa específica para identificar áreas ou locais adequados para a disposição final de solo escavado com potencial de contaminação ou contaminado.

A classificação desses resíduos sob a forma de solo, por outro lado, vai indicar, dentre outros mecanismos de gerenciamento, os caminhos de destino mais adequados desse solo. Por isso a aplicação de uma estratégia inadequada de classificação desses solos resulta em uma disposição também inadequada, com impactos de ordem financeira e também ambiental.

Algumas vezes, a classificação inadequada pode vir a subestimar aspectos específicos de qualidade do solo contaminado. Por exemplo, quando os solos apresentam contaminação por compostos orgânicos voláteis, esses compostos não são avaliados em ensaios padrão para caracterização de resíduos sólidos, mas podem estar presentes no solo e assim podem causar impactos expressivos.

Dessa forma, é fundamental que os gestores da obra, governamentais ou não governamentais, se valham de métodos capazes de caracterizar e classificar o solo com potencial de contaminação, com vistas a identificar áreas adequadas de disposição e, com isso, evitar potenciais prejuízos e impactos.

Na literatura nacional e internacional, o tema ora apresentado é bastante escasso, não havendo um método consagrado que contemple estratégias específicas para caracterização e classificação de solo com potencial de contaminação com vistas a essa disposição. A agência ambiental americana propõe restrições para a disposição de solo contaminado em aterro e dá diretrizes específicas para isso com base na qualidade do solo e nas características das áreas de disposição. De maneira geral, as práticas de gerenciamento de solos contaminados no Brasil e, em especial, no Estado de São Paulo, limitam-se à utilização das normas da ABNT, muitas vezes com acréscimos no sumário analítico dos ensaios de amostra bruta dos contaminantes potencialmente presentes nesses solos, em função do uso da área e da fonte potencial de contaminação.

Por meio de pesquisa bibliográfica, é possível constatar que o tema contaminação de solos e águas subterrâneas é relativamente recente, até mesmo em países desenvolvidos e precursores de leis a esse respeito. Outra constatação é que a maioria das diretrizes, leis e normas relacionadas ao tema, dizem respeito à gestão do passivo ambiental, tendo como foco a reabilitação do meio para uso seguro e não a gestão de obra quando esta

intercepta uma área contaminada. Da mesma forma ocorreu no Brasil e, em especial, no Estado de São Paulo.

No cenário nacional, o principal marco foi a publicação da Resolução CONAMA n. 420 (2009) que, assim como a Lei Estadual de SP n. 13.577 de 8 de julho de 2009 (SÃO PAULO, 2009), sancionada pelo Decreto Estadual de SP n. 59.263 de 5 de junho de 2013 (SÃO PAULO, 2013), estabelece diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas. No Estado de São Paulo a publicação da Lei Estadual n. 13.577/09 foi um marco importante no gerenciamento de áreas contaminadas, pois prevê instrumentos integrados para a prevenção da contaminação e para a remediação dessas áreas. Entretanto nenhuma dessas leis e normativas tratam da questão específica da disposição de solo contaminado.

Os estudos envolvendo a metodologia de gestão ambiental de obras em áreas contaminadas limitam-se a apresentar a disposição do solo escavado da obra, visando ao atendimento a leis, normas e exigências realizadas pelos órgãos ambientais na emissão das licenças. Não há uma estratégia de caracterização específica e sistematizada, embasada no levantamento prévio de informações, que permitam classificar os solos de forma a orientar a sua disposição.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi demonstrar, por meio de um estudo de caso, a inadequabilidade da utilização de uma norma técnica concebida para a classificação de resíduos industriais, quando utilizada para caracterizar e classificar solos escavados com potencial de contaminação, de forma a orientar a sua disposição final.

A seguir apresenta-se a definição de alguns conceitos que fundamentam a avaliação conduzida no decorrer dos estudos ora apresentados.

2 GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SOLOS ESCAVADOS

Por definição, segundo a Lei 12.305 de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em seu artigo 13, os resíduos da construção civil (RCC) são: “...os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluindo os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis” (BRASIL, 2010a; BRASIL, 2010b).

De acordo com a Resolução CONAMA n. 307/2002 (BRASIL, 2002), que trata das diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, os RCC são agrupados em quatro classes (A, B, C e D), em função das características do material em termos de maior/menor facilidade de reciclagem ou reutilização, e em relação a sua periculosidade. Pela referida resolução, os resíduos classe “A” são os que apresentam maior potencial de aproveitamento em reciclagem ou reutilização e não proporcionam periculosidade ao meio ambiente. Os resíduos Classe “D” são considerados perigosos por conter substâncias potencialmente prejudiciais à qualidade ambiental.

Por outro lado, a Resolução CONAMA n. 307/2002 (BRASIL, 2002) não prevê que um resíduo classe “B”, como por exemplo a madeira, possa se tornar um resíduo perigoso quando estiver contaminada com óleo PCB (Bifenilas policlorados, do inglês *polychlorinated biphenyl*).

Dessa forma, teoricamente, ter-se-ia uma alteração na classe da madeira, passando de um resíduo classe “B” para um resíduo classe “D”. Esse é um dos motivos pelo qual a resolução CONAMA n. 307 tem pouca aplicabilidade na gestão de resíduos quando se buscam meios de classificação.

As informações sobre a destinação e produção de RCC são escassas, mas estimativas indicam que, no município de São Paulo, pelo menos 45% dos resíduos gerados são provenientes das atividades de construção ou demolição, seja por empresas ou pela geração domiciliar (SCHNEIDER, 2003; ABRELPE, 2012; ANGULO et al., 2012; SÃO PAULO, 2014).

Uma pesquisa conduzida pelo Sindicato da Construção Civil em 2012, para o Estado de São Paulo, com 40 construtoras que atuam em 55 municípios do Estado, demonstrou que o tema gestão de solo escavado com potencial de contaminação é uma questão que possui poucas informações e falta de procedimentos estabelecidos – a questão que prevaleceu entre os entrevistados foi: “Estabelecer procedimentos (documentação) para o transporte e destinação de solo, especificamente entre obras da mesma empresa ou doação do solo para áreas que queiram aproveitá-lo para aterro” (SINDUSCON-SP, 2012).

Em função da ausência de norma e/ou legislação específica para a disposição de solos contaminados, a Agência Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) recomenda a aplicação das mesmas normas de caracterização e classificação de resíduos sólidos industriais para solos escavados com po-

tencial de contaminação, de forma a orientar a sua disposição (ABNT, 2004a; 2004b; 2004c; 2004d). A maioria das diretrizes, leis e normas relacionadas ao tema, dizem respeito à gestão do passivo ambiental, tendo como foco a reabilitação do meio para uso seguro e não a gestão de obra quando esta intercepta uma área contaminada Cagnon et al. (2015). Essa orientação deve ser aplicada também para materiais provenientes de demolição de paredes e pisos de unidades industriais ou postos de combustíveis, e que estejam visivelmente contaminados com compostos orgânicos. Após esses ensaios, esse resíduo será classificado como Classe IIA, Classe IIB ou Classe I, em função dos resultados analíticos dos ensaios de lixiviação e solubilização dos materiais ensaiados.

A NBR 10.004 é parte de um grupo de testes que envolvem formas de amostragem e diferentes análises laboratoriais, em diferentes tipos de resíduos sólidos, simulando as reações que o material teria ao ser exposto no ambiente, nas condições de intemperismo impostas pela dinâmica externa da terra. O seu objetivo é classificar os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública para, dessa forma, auxiliar no manuseio e destinação correta desse material (ABNT, 2004a).

A NBR 10.004 trata dos procedimentos gerais sobre o processo de classificação, informando as principais definições, fluxograma de classificação e anexos de “A” até “H”, contendo informações sobre fonte geradoras e substâncias que conferem periculosidade aos materiais. Nos anexos A e B dessa norma, são descritas várias fontes geradoras de resíduos perigosos. Caso o resíduo não tenha sua fonte geradora conhecida, outras características são pesquisadas na amostra como: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Ao apresentar qualquer uma dessas características, conforme os procedimentos da norma, o resíduo é classificado como perigoso, Classe I.

O grupo de normas que estão relacionadas com a NBR 10.004 são a NBR 10.005 (ABNT, 2004b), NBR 10.006 (ABNT, 2004c) e a NBR 10.007 (ABNT, 2004d). A NBR 10.005 trata dos procedimentos para obtenção do extrato lixiviado de resíduos sólidos, em que são analisados os compostos provenientes da lixiviação do resíduo em análise. Os resultados não podem ultrapassar o valor máximo permitido das substâncias mencionadas no

Anexo F da NBR 10.004. Caso isto aconteça, o resíduo é considerado perigoso- Classe I (ABNT, 2004b).

A NBR 10.006 apresenta os procedimentos para a obtenção do extrato solubilizado de resíduos sólidos. Os resultados não podem ultrapassar o valor máximo permitido das substâncias mencionadas no anexo G da NBR 10.004. Caso isto aconteça, o resíduo é considerado não inerte- Classe II – A (ABNT, 2004c).

A NBR 10.007, intitulada “Amostragem de resíduos sólidos”, estabelece procedimentos e métodos de amostragens, assim como a forma de preservação das amostras. Essa norma indica meios de obtenção de amostras representativas para as análises laboratoriais (ABNT, 2004d).

Observando a grande abrangência da NBR 10.004 e a importância do processo de classificação de resíduos, essa norma torna-se uma importante ferramenta na área de gerenciamento de resíduos sólidos, dando subsídios para o descarte ou destino final.

Os solos sem indícios de contaminação são destinados a “aterro de inertes”. Geralmente são recebidos nesses locais apenas terra e entulho (concreto moído). Já os aterros sanitários partem do princípio básico do aterramento dos resíduos compactados, buscando ocupar a menor área possível e recebendo diversos tipos de resíduos mediante a caracterização físico-química do material. Por isso, nesse caso, recorre-se às normas da ABNT. Os aterros sanitários podem receber resíduos da construção civil desde que em pequena quantidade, de forma que não haja a desestabilização dos taludes.

Os Aterros Sanitários possuem sistemas de proteção ambiental, não permitindo a contaminação dos arredores e são, em sua maioria, capazes de capturar os gases e líquidos gerados na decomposição dos resíduos orgânicos. Os Aterros Sanitários não utilizam a Resolução CONAMA n. 307 para o recebimento dos resíduos, visto que essa resolução é focada apenas nos resíduos da construção civil. Sendo os solos correlacionáveis aos demais resíduos da construção civil, em geral são tratados como resíduos inertes (Classe IIB), ou seja, não seriam modificados por transformações no ambiente após a sua disposição final.

Todo resíduo sólido e também solo com potencial de contaminação ou contaminado, segundo orientação da Cetesb, devem ser enviados para dis-

posição final em áreas licenciadas, acompanhados da devida documentação que inclui laudos analíticos para caracterização de resíduos de acordo com as normas da ABNT, e certificado para disposição final e transporte (CADRI).

Usualmente a Cetesb orienta que aos ensaios de caracterização de resíduo, conforme preconizam as normas da ABNT (ABNT, 2004b; ABNT, 2004c; ABNT, 2004d), quando conduzidos em amostras de solo contaminado, deverão ser acrescidos os parâmetros identificados acima dos valores de intervenção da Cetesb (CETESB, 2014), sempre que estes não estiverem no sumário analítico proposto pela referida norma. Em relação a essa orientação, é preciso esclarecer que não existe um consenso em relação a qual dos valores de intervenção deva ser utilizado, para que se considere um solo como contaminado. Se é o valor de intervenção industrial, agrícola ou residencial, visto que esses valores foram definidos, considerando o potencial de risco associado ao uso do local e não propriamente com vistas a identificação de uma área de disposição final. A Resolução CONAMA n. 420 também apresenta valores de referência para contaminação dos solos.

A hipótese da presente pesquisa é que, devido às características minerais naturais do solo e o gerenciamento dos resíduos da construção civil, é esperado que, por meio da NBR 10.004, esse solo seja classificado como um resíduo Classe IIA ao invés de Classe IIB, ou seja, não perigoso e não inerte, devido à solubilidade de alguns constituintes presentes no solo, principalmente os metais. De acordo com Lima e Cabral (2013), análises realizadas de acordo com a NBR 10.004 em RCC, provenientes da cidade de Fortaleza (CE), apontam para esse fato, em que os resíduos são classificados como Classe IIA ao invés de Classe IIB, pois os resíduos considerados no estudo foram misturados, ou seja, continham resíduos de gesso, blocos, britas, areia, solos etc., não sendo feitas as análises apenas do solo, isoladamente.

Resíduos que apresentam uma característica não inerte (Classe IIA) terão sua destinação com um custo de 3 a 4 vezes maior do que o processo de destinação de um material inerte. Mesmo que o alto teor de metais presente no solo seja um fator de origem natural, dada a sua presença acima dos valores máximos permitidos (VMP) na NBR 10.004, o solo será classificado como Classe IIA.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O método propõe a condução dos estudos em duas etapas principais: Coleta de amostras de solo e ensaios de caracterização; Avaliação comparativa dos resultados analíticos e classificação.

3.1 Coleta de amostras de solo e ensaios de caracterização

As amostras foram coletadas de acordo com o que preconiza a ABNT (2004d) para resíduos sólidos, em quatro locais distintos no município de São Paulo, onde ocorriam obras civis. Os materiais utilizados foram: trado manual do tipo holandês composto por hastes e barrilhete de aço inoxidável, frascos estéreis de vidro (200g), frascos estéreis de polietileno (500 g), pá e bandeja de aço inoxidável. O solo foi perfurado com a utilização do trado manual limpo até a profundidade de 0,80 cm, momento em que foi retirada a primeira alíquota da amostra, com aproximadamente 400 g de solo. Essa primeira alíquota (amostra simples) foi enviada ao laboratório para análise de compostos orgânicos voláteis (VOC). As demais alíquotas coletadas nas profundidades de 0,85 cm, 0,90 cm e 0,95 cm foram transferidas para a bandeja de aço inoxidável, homogeneizadas e, dessa mistura, foi retirada uma amostra composta que foi imediatamente transferida para os frascos. Todas as amostras foram preservadas a temperaturas de até $4^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ e enviadas ao laboratório para análise de acordo com o *holding time* estabelecido para cada parâmetro a ser analisado (ABNT, 2004d; CETESB, 1999). Os ensaios de caracterização foram conduzidos em laboratórios acreditados conforme ABNT (2005).

3.2 Avaliação comparativa dos resultados analíticos e classificação

A avaliação comparativa dos resultados analíticos das amostras de solo foi feito com base em todas as concentrações obtidas nos ensaios de solubilidade (ABNT, 2004c) e lixiviado (ABNT, 2004b). Esses valores foram comparados entre si e também com os valores máximos permitidos (VMPs), conforme estabelecido na NBR 10.004. Dessa forma, foi possível verificar quais elementos químicos foram detectados em concentrações acima dos VMPs nos extratos dos ensaios de solubilizado e lixiviado. Com base nos

resultados, os solos foram classificados de acordo com as normas da ABNT em resíduos Classe I – perigoso, Classe II A – não inerte ou Classe II B inerte.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação aos resultados obtidos nos ensaios de lixiviado (Tabelas 1 e 1A), todas as três amostras apresentaram concentrações abaixo dos valores máximos permitidos (VPMs) estabelecidos em ABNT (2004a), e não foram detectadas substâncias orgânicas, à exceção de traços de benzo(a)pireno na amostra A4 (Tabelas 1A).

Tabela 1 – Resultados das análises de amostra bruta e ensaios de extrato lixiviado

| Parâmetros analisados* | Limite de quantificação | Amostra | Amostra | Amostra | Amostra |
|--------------------------------|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | A1 | A2 | A3 | A4 |
| Porcentagem de sólidos (% p/p) | 0,05 | 55,1 | 75,3 | 65,5 | 81,6 |
| pH | 2 a 13 | 8,16 | 7,85 | 8,1 | 8,34 |
| Sulfeto (mg/kg) | - | <2 | 9,8 | <2 | <1 |
| Cianeto (mg/kg) | 0,3 | <0,4 | <0,3 | <0,3 | 0,6 |

Tabela 1A – Resultados das análises de amostra bruta e ensaios de extrato lixiviado

| Parâmetros analisados | Limite de quantificação | Amostra | | | |
|--|-------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| | | A1 | A2 | A3 | A4 |
| NBR 10.005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Inorgânicos (mg/L) | | | | | |
| Arsênio | 0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Bário | 0,01 | 0,24 | 0,259 | 0,15 | 0,349 |
| Cádmio | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Chumbo | 0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Cromo | 0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Fluoreto | 0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 0,1 |
| Mercurio | 0,00005 | <0,00005 | <0,00005 | <0,00005 | <0,00007 |
| Prata | 0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Selênio | 0,008 | <0,008 | <0,008 | <0,008 | <0,008 |
| NBR 10.005:2004 - Lixiviado - Parâmetros Orgânicos (mg/L) | | | | | |
| 1,1-Dicloroetano | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| 1,2-Dicloroetano | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| 2,4,5-Tetraclorofenol | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| 2,4,5-Triclorofenol | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| 2,4,6-Triclorofenol | 0,0005 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 |
| 2,4-Diclorofenol | 0,0005 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 |
| 2,4-Dinitrotolueno | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Aldrin+Dieldrin | 0,00003 | <0,00003 | <0,00003 | <0,00003 | <0,00003 |
| Benzeno | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Cloreto de vinila | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| DDD (isômeros) | 0,0005 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 |
| Endrin | 0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |

| Parâmetros analisados | Limite de quantificação | Amostra | | | |
|--|-------------------------|----------|----------|----------|----------------|
| | | A1 | A2 | A3 | A4 |
| NBR 10.005:2004 - Líxiado - Parâmetros Inorgânicos (mg/L) | | | | | |
| Hexaclorobenzeno | 0,0005 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 |
| Hexacloroetano | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| 3+4-Metilfenol (m+p-Cresol) | 0,002 | <0,002 | <0,002 | <0,002 | <0,002 |
| Metoxicloro | 0,0005 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 |
| Nitrobenzeno | 0,0002 | <0,0002 | <0,0002 | <0,0002 | <0,0002 |
| 2-Metilfenol (o-Cresol) | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Pentaclorofenol | 0,0005 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 |
| Piridina | 5 | <5 | <5 | <5 | <5 |
| Tetracloro de Carbono | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Tetracloroetano | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Toxafeno | 0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| Heptacloro e Heptacloro Epóxido | 0,00002 | <0,00002 | <0,00002 | <0,00002 | <0,00002 |
| Metilietilcetona | 5 | <5 | <5 | <5 | <5 |
| 1,4-Diclorobenzeno | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| 2,4,5-Triclorofenol | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Benzo(a)pireno | 0,00005 | <0,00005 | <0,00005 | <0,00005 | 0,00006 |
| Clordano (isômeros) | 0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| Clorobenzeno | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Clorofórmio | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Hexaclorobutadieno | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Tricloroetano | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Lindano (g-HCH) | 0,00005 | <0,00005 | <0,00005 | <0,00005 | <0,00005 |

Os resultados obtidos com os ensaios do extrato solubilizado revelam que todas as quatro amostras apresentaram concentrações elevadas de alumínio e, em uma delas (amostra A4), também o ferro excedeu o VMP, como apresentado na Tabela 2. Todas as amostras tinham coloração avermelhada típica de presença de óxido de ferro e características de Latossolo.

Tabela 2 – Resultados dos Ensaios de Extrato solubilizado

| Parâmetros analisados | Limite de quantificação | Amostra | | | |
|---|-------------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| | | A1 | A2 | A3 | A4 |
| NBR 10.006:2004 - Solubilizado - Parâmetros Inorgânicos (mg/L) | | | | | |
| Alumínio | 0,01 | 0,53 | 0,309 | 0,27 | 2,30 |
| Arsênio | 0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Bário | 0,01 | 0,293 | 0,405 | 0,287 | 0,277 |
| Cádmio | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Chumbo | 0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Cianeto | 0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 |
| Cloreto | 0,5 | 3,20 | 6,50 | 3,50 | 3,80 |
| Cobre | 0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 |
| Cromo | 0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Ferro | 0,01 | 0,168 | 0,092 | 0,086 | 0,679 |
| Fluoreto | 0,05 | <0,1 | <0,1 | <0,05 | 0,2 |
| Índice de Fenóis | 0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 |
| Manganês | 0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Nitrato (como N) | 0,1 | 1,00 | 1,80 | 1,50 | 0,90 |
| Prata | 0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 |
| Selênio | 0,008 | <0,008 | <0,008 | <0,008 | <0,008 |
| Sódio | 0,5 | 13,40 | 15,90 | 10,90 | 9,00 |
| Surfactantes (como LAS) | 0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 |
| Zinco | 0,01 | 0,048 | 0,051 | 0,033 | 0,032 |
| Merúrio | 0,000075 | <0,00007 | <0,00007 | <0,00007 | <0,00007 |
| Sulfato | 5 | 59,80 | 130,00 | 27,50 | 24,50 |

| Parâmetros analisados | Limite de quantificação | Amostra | | | |
|---|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | | A1 | A2 | A3 | A4 |
| NBR 10.006:2004 - Solubilizado - Parâmetros Inorgânicos (mg/L) | | | | | |
| NBR 10.006:2004 - Solubilizado - Parâmetros Orgânicos (mg/L) | | | | | |
| 2,4,5-Tetraclorofenol | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| 2,4,5-Triclorofenol | 0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| 2,4-Diclorofenol | 0,0005 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 |
| Aldrin+Dieldrin | 0,00003 | <0,00003 | <0,00003 | <0,00003 | <0,00003 |
| Clordano (isômeros) | 0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| DDT (isômeros) | 0,0005 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 |
| Endrin | 0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| Hexaclorobenzeno | 0,0005 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 |
| Metoxicloro | 0,0005 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 | <0,0005 |
| Toxafeno | 0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 |
| Heptacloro e Heptacloro Epóxido | 0,00002 | <0,00002 | <0,00002 | <0,00002 | <0,00002 |
| Lindano (g-HCH) | 0,00005 | <0,00005 | <0,00005 | <0,00005 | <0,00005 |

A avaliação conduzida, pelo fato de demonstrar uma discrepância na classificação desses solos, permitiu concluir pela inadequabilidade do uso dos métodos de caracterização e classificação destinados aos resíduos sólidos, quando se tratar de solos escavados com potencial de contaminação, visto que os resultados não refletem a má qualidade desses solos. De acordo com os resultados obtidos, os solos foram classificados como Classe II A – não inerte, em função da presença de compostos naturalmente presentes em solos brasileiros como alumínio e ferro, e não em função de algum tipo de contaminação. Dessa forma, é possível concluir que as características intrínsecas dos solos brasileiros, em especial da cidade de São Paulo, são suficientes para que sejam ultrapassados os Valores Máximos Permitidos (VMPs) estabelecidos em ABNT (2004a), mesmo que essa situação seja de caráter natural.

Assim, fica confirmada a hipótese proposta neste estudo, em que se aponta para a necessidade de meios alternativos de caracterização físico-química dos solos, evitando-se assim, dentre outras consequências, a oneração dos custos para destinação final. A falta de procedimentos específicos acarretam diversos impactos de ordem financeira e ambiental tais como gastos excessivos de recursos financeiros com deslocamentos do material para aterros de resíduos sólidos, muitas vezes distantes das obras, e potenciais impactos ambientais decorrentes da disposição de solos efetivamente contaminados em aterros de inertes, visto que a classificação inadequada pode não somente subestimar a existência de contaminação nos solos como também superestimar.

De acordo com SINDUSCON-SP (2012), cuja pesquisa incluiu 40 construtoras que atuam em 55 municípios do Estado de São Paulo, a tratativa com solos é uma questão que possui poucas informações e falta de procedimentos estabelecidos – a questão que prevaleceu entre os entrevistados foi: “Estabelecer procedimentos (documentação) para o transporte e destinação de solo, especificamente entre obras da mesma empresa ou doação do solo para áreas que queiram aproveitá-lo para aterro.” Além disso, com o estabelecimento de procedimentos mais claros sobre a reutilização de solos, serão poupados tantos os recursos naturais como recursos financeiros e propiciará uma gestão mais eficiente dos resíduos.

O presente tema, tanto no cenário nacional como no internacional, é marcado por diretrizes pontuais e específicas sem que se tenha consenso ou ampla discussão a respeito, sendo escassos os estudos que sistematizam os métodos de caracterização e classificação de solos escavados contaminados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, verificou-se a inadequabilidade da classificação de solos com potencial de contaminação por meio da utilização da norma NBR 10.004. Esses resultados mostram que é imprescindível a readequação ou um novo método de caracterização e classificação dos solos existentes para fins de disposição final, capazes de orientar a adequada disposição final de solo escavado, sempre que esse material precisar ser avaliado em função da presença de potencial contaminação. Fica confirmada a hipótese proposta neste estudo, em que se aponta para a necessidade de meios alternativos de caracterização físico-química dos solos. Dessa forma, o presente trabalho sugere uma avaliação do procedimento atualmente utilizado no Brasil, em especial no estado de São Paulo, para identificação de áreas para disposição de solo escavado contaminado ou com potencial de contaminação, que utiliza ensaios de caracterização e classificação de acordo com as normas da ABNT.

A disposição de solos limpos em aterros destinados a resíduos sólidos está em desacordo com a legislação, além de caminhar em direção oposta a um dos princípios das políticas federal e estadual de resíduos sólidos, que é a minimização de resíduos, reutilização, reciclagem, redução e recuperação dos resíduos. Dessa forma, pode-se observar que o atual modelo de gerencialmente de resíduos da construção civil, no tocante a solos contaminados ou com potencial de contaminação, não é a forma mais eficiente para garantir um processo sustentável de gerenciamento.

REFERÊNCIAS

ANGULO, Sérgio Cirelli et al. Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação. Engenharia Sanitaria e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 16, n. 3, jul./set. 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v16n3/v16n3a13>>. Acesso em: 15 out. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*. São Paulo: Grappa, 2012. 116p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO/IEC 17.025: Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração. Rio de Janeiro, 2005. 37p.

_____. *NBR 10.004*: Classificação de Resíduos. Rio de Janeiro, 2004a, 71p.

_____. *NBR 10.005*: Lixiviação de Resíduos- Procedimento. Rio de Janeiro, 2004b. 16p.

_____. *NBR 10.006*: Solubilização de Resíduos- Procedimento. Rio de Janeiro, 2004c. 3p.

_____. *NBR 10.007*: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004d. 21p.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010a. Regulamento Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Seção 1, p.3.

_____. Decreto n. 7.404, de 23 de dezembro de 2010b. Regulamenta a Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 23 dez. 2010a. Seção 1, p. 1.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece outras diretrizes. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 30 dez. 2009, p. 81-4.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 17 jul. 2002. Seção 1, p. 95-6. Alterada pela Resolução n. 348/04 (alterado o inciso IV do art. 3º)

CAGNON, F. A. *et. al.* Implantação de ferrovias de alta velocidade: contribuição metodológica para o gerenciamento ambiental de obras lineares em áreas contaminadas e potencialmente contaminadas. *Revista Transportes*, v. 23, n. 2, p. 117-23, 2015.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Decisão de Diretoria n. 045/2014E/C/I*, de 20 de fevereiro de 2014. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014,

em substituição aos Valores Orientadores de 2005 e dá outras providências. São Paulo, 2014.

_____. *Amostragem de Solo – 6300*, de setembro de 1999. Manual de Gerenciamento de Áreas contaminadas. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/solo/areas_contaminadas/anexos/download/6300.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2014.

LIMA, A. S.; CABRAL, A. E. B. Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza (CE). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 18, n. 2, p. 169-76, abr./jun. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v18n2/a09v18n2.pdf>>. Acesso em: 30 dez. 2013.

SÃO PAULO (Estado). *Panorama dos resíduos sólidos em São Paulo: versão preliminar*. São Paulo, 2014. 209p. Disponível em: <www.ambiente.sp.gov.br/cpla/files/2014/01/PANORAMA_RS_web.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2014.

_____. Decreto n. 59.263, de 05 de Junho de 2013. Regulamenta a Lei n. 13.577, de 8 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá outras providências correlatas. *Diário Oficial - Executivo*. São Paulo, SP, 6 jun. 2013, p. 1.

_____. Lei n. 13.577, de 8 de julho de 2009. Dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá outras providências correlatas. *Diário Oficial - Executivo*. São Paulo, SP, 9 jul. 2009, p. 1.

_____. Lei n. 12.300, de 16 de março de 2006. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. *Diário Oficial - Executivo*. São Paulo, SP, 17 mar. 2006. p. 1.

SCHNEIDER, D. M. *Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo*. 2003. Dissertação (Mestrado em de Saúde Pública)- Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2003. Acesso em 19 jan. 2014. Disponível em: <http://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/Dissert_Schneider_-_Dis_de_RCC_na_Cidade_de_S%C3%A3o_Paulo.pdf>.

SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO (SINDUSCON-SP). *Resíduos da construção civil e o Estado de São Paulo*. 2012. 85p. Disponível em: <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/municípioverdeazul/2012/08/residuos_construcao_civil_sp.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2017.