

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

EMANUELLE DAYANE SCHNEIDER  
MARIA APARECIDA SILVA PORFÍRIO  
MARIANA REINERT SCHROH

**INVESTIGAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL  
ASSOCIADO À DISPOSIÇÃO EM SOLO DE RESÍDUOS ASFÁLTICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2015

EMANUELLE DAYANE SCHNEIDER  
MARIA APARECIDA SILVA PORFÍRIO  
MARIANA REINERT SCHROH

## **INVESTIGAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL ASSOCIADO À DISPOSIÇÃO EM SOLO DE RESÍDUOS ASFÁLTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Engenharia de Produção Civil, do Departamento Acadêmico de Construção Civil - DACOC, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de engenheiro.

Orientador: Prof. Dr. André Nagalli.

CURITIBA  
2015

---

## FOLHA DE APROVAÇÃO

### INVESTIGAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL ASSOCIADO À DISPOSIÇÃO EM SOLO DE RESÍDUOS ASFÁLTICOS.

EMANUELLE DAYANE SCHNEIDER  
MARIA APARECIDA SILVA PORFÍRIO  
MARIANA REINERT SCHROH

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 24 de fevereiro de 2015, pela seguinte banca de avaliação:

---

Orientador – Prof. Dr André Nagalli / UTFPR

---

Profa. Dra Karina Querne de Carvalho / UTFPR

---

Prof. Dr. Adalberto Matoski./ UTFPR

## DEDICATÓRIA

A minha mãe Denise Mônica Coelho e minha tia Doroti de Souza Coelho, exemplos de força e determinação, e que me acompanharam em toda essa trajetória. Também aos meus amigos, minha segunda família, que me apoiaram em todas as dificuldades.

**(Emanuelle Dayane Schneider)**

Ao meu pai Cícero Porfírio e meu avô José Batista (*in memoriam*), grandes homens que viveram no ramo da construção Civil e foram meus exemplos de humildade e determinação. Também devo a vocês por hoje ter conseguido chegar até aqui. Saudades e amor eterno.

**(Maria Aparecida Silva Porfírio)**

Aos meus pais, Luiz Fernando e Sandra, exemplos de caráter, benevolência e bons valores, por serem meus alicerces. Obrigada por serem fonte inesgotável de paciência, amor e dedicação e pelo esforço contínuo que me fez chegar até aqui.

**(Mariana Reinert Schroh)**

## **AGRADECIMENTO**

Agradecemos primeiramente a Deus pela força e proteção para chegarmos até aqui. Foi um caminho longo que seria impossível sem o apoio daqueles que nos acompanharam a cada dia de superação..

Agradecemos em especial ao nosso orientador, André Nagalli, que exigiu de nós mais do que supomos ser capazes de fazer, ao professor Adauto Lima, pelo fornecimento de amostra de resíduo asfáltico, material esse que foi base para nossos estudos e à professora Lúcia Martins, que nos dedicou seu tempo para explicar a parte química desse trabalho. Agradecemos por transmitirem seus conhecimentos, por fazerem do nosso TCC uma experiência positiva e por terem confiado em nós.

Não poderíamos deixar de agradecer também ao Marlon Panizon e a Débora de Mello, futuros mestres e ao Guilherme Cunha, futuro engenheiro, que nos ajudaram diversas vezes com os nossos ensaios e sempre estavam dispostos a nos auxiliar de maneira prestativa. Obrigada também pela amizade e ensinamentos.

Aos professores do DACOC por todo conhecimento transmitido, a Universidade Tecnológica Federal do Paraná – câmpus Curitiba, sede Ecoville - pelo espaço cedido para realização desse trabalho e a todos os demais professores que de alguma forma contribuíram para a nossa formação, obrigada pelo conhecimento e pelo carinho.

Agradecemos também a Pró-Reitoria de Graduação e Educação Profissional da UTFPR, pela bolsa de auxílio financeiro que nos possibilitou fazermos análises em laboratório privado (TECLAB), compra de alguns utensílios e materiais para nossos ensaios.

## **AGRADECIMENTOS EMANUELLE SCHNEIDER**

A minha mãe, Denise Mônica Coelho, por toda dedicação, carinho e esforço para que eu conseguisse chegar até aqui. À minha tia, Doroti de Souza Coelho, por sempre acreditar em meu sucesso. Ao meu irmão, Jorge Korgut Junior, por sempre trazer seu sorriso e alegria, deixando mais fácil essa caminhada.

Agradeço aos meus amigos, Isabela Baena, Carlos Brandl e Juliana Moraes, por sempre estarem dispostos a ajudar e pela motivação durante todo esse trabalho.

Às minhas colegas, que se tornaram amigas, Mariana Schroh e Maria Porfírio, pela parceria no desenvolvimento desse trabalho, e por todos os momentos bons que passamos neste ano.

À todas as pessoas que de alguma forma participaram dessa conquista, com sua torcida e preocupação, muito obrigada.

## **AGRADECIMENTOS MARIA PORFÍRIO**

Aos meus pais, fonte essencial de amor, Maria Silva e Cícero Porfírio (*in memoriam*), agradeço por me guiarem sempre para o melhor caminho, pelas orações e conselhos, vocês são o que tenho de melhor e eu os amo. Ao meu avô, José Batista, que mesmo longe sempre torceu pelo meu sucesso e com certeza está orgulhoso de mim onde quer que esteja.

Agradeço amorosamente às minhas irmãs-amigas-lindas, Márcia, Aldeneide e Adelaide, que compartilharam minhas alegrias e aflições, vocês são as mulheres da minha vida.

Ao meu amor Marlon Marchi, que sabe bem o quanto é difícil essa jornada da engenharia, obrigada por cuidar de mim, ser meu anjo e meu professor motivador. Obrigada pela paciência, carinho, cuidados e doces. Te amo muito.

Às minhas parceiras de TCC e engenheiras, Emanuelle e Mariana, com quem aprendi muito durante todo esse tempo desse estudo, inclusive artes, música e dança (SCHNEIDER *et al.*, 2015).

Amigos de toda vida e momentos, amigos da engenharia ambiental e civil, essa conquista também é para vocês.

Expresso a todos o meu MUITO OBRIGADA!

## **AGRADECIMENTOS MARIANA REINERT SCHROH**

Aos meus pais, Sandra e Luiz Fernando Schroh, pelos bons exemplos, carinho, dedicação, esforço e paciência ao longo desses intermináveis anos, principalmente deste último. Vocês tornaram minhas conquistas possíveis e eu os amo muito.

À minha irmã querida, Ana Luiza Reinert Schroh, pelo companheirismo e amizade e por torcer tanto por mim.

Às minhas colegas, parceiras e amigas, Emanuelle e Maria, pelo trabalho árduo e pelos bons momentos que pudemos dividir.

Aos amigos que encontrei há pouco tempo e aos de longa data, por entenderem minha ausência, aceitarem minhas escolhas e ouvirem pacientemente minhas reclamações.

“Algumas pessoas marcam a nossa vida para sempre: umas porque vão nos ajudando na construção, outras porque nos apresentam projetos de sonho e outras ainda porque nos desafiam a construí-los.”

Autor desconhecido.

## RESUMO

SCHNEIDER, Emanuelle Dayane; PORFÍRIO, Maria Aparecida Silva; SCHROH, Mariana Reinert. **Investigação do potencial de contaminação ambiental associado à disposição em solo de resíduos asfálticos**. 2015. 59f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Produção Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

Estudos vêm demonstrando o potencial contaminante de resíduos asfálticos devido à presença de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs). HPAs são poluentes orgânicos de persistência ambiental e seus efeitos estão relacionados ao desenvolvimento de câncer. A *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) monitora 16 desses componentes classificando-os como poluentes prioritários. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar a presença desses 16 HPAs monitorados em amostras pontuais, retiradas nas cidades de Curitiba e Paranaguá. Para isso, foram adaptados dois métodos de lixiviação: por agitação mecânica e por coluna de percolação. Ambos os métodos têm como princípio o contato do líquido com a matriz sólida, através da dissolução. As análises dos extratos lixiviados foram feitas por cromatografia em fase gasosa,. Foram detectados HPAs em todas as amostras de resíduo asfáltico analisadas. Os compostos encontrados foram: acenaftileno, antraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno e naftaleno. Esses compostos conferem periculosidade aos resíduos, o que representa um alerta em relação aos riscos da disposição inadequada desse material.

Palavras - chave: HPA. Asfalto. Cromatografia. Lixiviação. Resíduos.

## ABSTRACT

SCHNEIDER, Emanuelle Dayane; PORFÍRIO, Maria Aparecida Silva; SCHROH, Mariana Reinert. **Environmental contamination potential research associated with disposal in landfill of asphalt waste**. 2015. 59f. Final Course Assignment - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

Studies have demonstrated the potential contaminant of asphalt waste due to the presence of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). PAHs are organic pollutants environmental persistence and its effects are related to the development of cancer. The United States Environmental Protection Agency (USEPA) monitors 16 of these components classifying them as priority pollutants. This work was developed in order to analyze the presence of these 16 PAHs monitored in individual samples, taken in the cities of Curitiba and Paranaguá. For this, have been adapted two leaching methods: by mechanical agitation and percolation column. Both methods have as a principle the contact of the liquid with the solid matrix by dissolving. The analysis of leachates extracts were made by gas phase chromatography. PAHs were detected in all asphaltic residue samples analyzed. The compounds founds are acenaphthylene, anthracene, phenanthrene, fluoranthene, fluorene and naphthalene. These compounds grant hazardous waste, causing an alert to the risks of improper disposal of this material.

Key - words: HPA. Asphalt. Chromatography. Leaching. Waste.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fórmulas estruturais dos HPAs monitorados pela USEPA. ....	20
Figura 2 - Obra para recuperação de pavimentação em Curitiba.....	29
Figura 3 - Sequência de procedimento metodológicos realizados. ....	35
Figura 4 - Resíduo asfáltico da cidade de Paranaguá (1) e Curitiba (2).....	36
Figura 5 - Sequência de Quarteamento. ....	38
Figura 6 - Moinho de bolas : 1 – Carcaça cilíndrica, 2- Dispositivo de controle de velocidade e 3 – Motor de baixa velocidade.....	39
Figura 7 - Coluna de Percolação: 1 - Erlenmeyer superior; 2 - coluna de percolação; 3 - Erlenmeyer inferior; 4 - mangueiras de silicone.. ....	43
Figura 8 - Agitação mecânica: 1 - dispositivo de controle de rotação; 2 - balão volumétrico contendo amostra e líquido extrator.....	44
Figura 9 - Cromatógrafo Gasoso, HP, modelo 5890, Série II. ....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - HPAs mais encontrados em determinadas fontes emissoras. ....	17
Tabela 2 - Solubilidade em água e peso molecular dos 16 HPAs monitorados pela USEPA. ....	18
Tabela 3 - Classificação dos HPAs monitorados pela USEPA em relação à carcinogenicidade e periculosidade . ....	19
Tabela 4 - Limites de detecção de HPAs de acordo com a Resolução CONAMA nº 460/13 e valores encontrados por Butera et al. (2014). ....	21
Tabela 5 - Área territorial e extensão das rodovias pavimentadas por região.....	22
Tabela 6 - Classificação e definição dos processos de reciclagem de pavimentos. .	27
Tabela 7 - Série de peneiras Normal e Intermediária.....	36
Tabela 8 - Denominação das amostras de acordo com o procedimento de extração do analito.....	37
Tabela 9 - Resultados obtidos para as amostras após a análise por CG, valores encontrados por Butera et al. (2014) e valores limites do CONAMA para as amostras 1CP (amostra 1 por coluna de percolação), 1AM (amostra 1 por agitação mecânica), 2CP (amostra 2 por coluna de percolação) e 2AM (amostra 2 por agitação mecânica).....	44

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ARRA	<i>Asphalt Recycling and Reclaiming Association</i>
BCP	Bifenil Policlorado
CG	Cromatografia Gasosa
CLAE	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNIT	Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes
FID	Detector por ionização de chamas
HPA	Hidrocarboneto Policíclico Aromático
NBR	Norma Brasileira
RAP	Resíduos Asfálticos de Pavimentação
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SMOP	Secretaria Municipal de Obras Públicas
SQD	<i>Soil Quality Degree</i>
TECLAB	Laboratório de Tecnologia em Análises Ambientais
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
VI	Valor de Intervenção
VP	Valor de Prevenção
VRQ	Valor de Referência de Qualidade

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVO .....	17
2.1	Objetivo Geral.....	17
2.1.1	Objetivos Específicos .....	17
2.2	Justificativa .....	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1	Panorama geral dos resíduos asfálticos.....	18
3.2	Pavimentação Asfáltica .....	25
3.3	Impactos ambientais.....	32
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	34
4.1	Coleta das amostras.....	35
4.2	Preparação da amostra .....	36
4.3	Extração do analito .....	40
4.3.1	Coluna de Percolação .....	41
4.3.2	Agitação mecânica .....	42
4.4	Cromatografia .....	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
6	CONCLUSÃO .....	51
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	52
	REFERÊNCIAS.....	52

## 1 INTRODUÇÃO

Com a crescente preocupação em relação às questões ambientais, inúmeras medidas vêm sendo tomadas a fim de amenizar os impactos causados pela sociedade. Tendo em vista o crescimento da geração de resíduos sólidos por parte da população, faz-se necessário o estudo da disposição daquilo que não tem serventia, reduzindo o potencial de contaminação de solos, água e ar, de modo que não se coloque em risco a saúde humana, assim como de outros seres vivos.

O Brasil é um país cujo transporte é predominantemente rodoviário. Essa característica faz com que haja número significativo de obras para construção de novas rodovias, além de manutenção das existentes. Dentro das cidades, também se observa um momento de reurbanização, com investimentos para construção de viadutos, trincheiras e pontes com o intuito de reorganizar o trânsito. Essas obras envolvem pavimentação, e, portanto, a geração de resíduos asfálticos. Em Curitiba, estima-se que são gerados 50 mil m<sup>3</sup> ao ano desse tipo de resíduo (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2014).

Com o intuito de orientar o gerenciamento dos resíduos sólidos, é feita classificação na norma brasileira ABNT NBR 10.004:2004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2004a), na qual são especificados componentes que podem ser prejudiciais ao ambiente e que necessitam de tratamento e destinação adequada. Mas para a correta classificação de um resíduo, é necessário conhecer seus constituintes e como estes podem interagir com o meio.

Segundo a Resolução CONAMA nº 307/02 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), os resíduos provenientes de substituição ou retirada de pavimentação asfáltica são classificados como Classe A, por serem considerados entulho da construção civil e devem ser destinados, quando possível, para reciclagem ou reutilização na forma de agregado, ou para aterro de resíduos da construção civil.

Rotineiramente, resíduos de Classe A são classificados por exceção como de Classe IIB, conforme a ABNT NBR 10.004:2004 (ASSOCIAÇÃO..., 2004a), por serem considerados inertes (JOHN; AGOPYAN, 2003). Porém, os autores acreditam que os resíduos de construção e demolição (RCD) mais comuns, caso

submetidos à análise, seriam classificados como não inertes, visto que poderiam conter contaminações importantes, que culminariam em riscos ambientais.

No entanto, muitas cidades não possuem áreas específicas para disposição desses entulhos, o que propicia a destinação incorreta e possível contaminação do solo, corpos hídricos e seres vivos.

Os asfaltos são misturas complexas com considerável variedade de compostos orgânicos (Binet *et al.*, 2002), dentre eles, os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs). Estudos em matrizes ambientais, como derivados da combustão de carvão, exaustão dos veículos, óleos lubrificantes, fumaça do cigarro, dentre outros, têm demonstrado que os HPAs presentes nestas misturas são os principais responsáveis pelo potencial de toxicidade (Campo *et al.*, 2006). Vários trabalhos têm relatado efeitos adversos produzidos pelos HPAs, principalmente os relacionados ao desenvolvimento de câncer.

Dentro desse contexto, neste trabalho foram adaptados métodos para avaliar a presença de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos - HPAs - em duas amostras de resíduo asfáltico: uma retirada da região do bairro Pinheirinho, na cidade de Curitiba e outra proveniente da avenida Portuária em Paranaguá.

## 2 OBJETIVO

### 2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo detectar a presença de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) em resíduos asfálticos em amostras coletadas nas cidades de Curitiba/PR e Paranaguá/PR.

#### 2.1.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Adaptar a metodologia para extração de HPAs em amostras de resíduos asfálticos;
- Analisar por cromatografia gasosa a presença de HPAs nas amostras;

### 2.2 Justificativa

Em virtude dos recentes investimentos em infraestrutura, em âmbito nacional e local, incentivados tanto por políticas econômicas de aceleração de crescimento quanto por exigência de instituições regulamentadoras que realizaram grandes eventos no país, houve crescimento significativo do número de obras de pavimentação na região de Curitiba, assim como ocorreu nas principais capitais do país. Como consequência intrínseca, houve aumento, também, da quantidade gerada de resíduos asfálticos.

Butera *et al.* (2014) investigaram a característica inerte do resíduo asfáltico. Há, também, o interesse em incorporar outros tipos de resíduos e adições, nem sempre inertes, que complementem a massa asfáltica, aprimorando propriedades mecânicas do pavimento além de dar finalidade para materiais refugados.

Caso se confirme que o resíduo asfáltico é um material inerte, a destinação deste para aterros de construção civil é suficiente para preservação ambiental. Entretanto, por haver pouco respaldo bibliográfico a respeito do real impacto causado pela disposição direta no solo, não há como descartar seu potencial contaminante, o que faz com que esse trabalho seja mandatário.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Panorama geral dos resíduos asfálticos

A temática dos Resíduos da Construção Civil no Brasil vem se tornando foco em estudos devido à interferência na saúde pública, proteção ao ambiente e qualidade de vida da população. Na Resolução CONAMA nº 307/02 é estabelecido que os resíduos da construção civil podem ser descritos como:

os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliças ou metralha.

Os RCDs, gerados em grande quantidade e diversidade, são geralmente descartados de forma irregular (NUNES, 2010). Na legislação, é permitido que, quando os resíduos não são enviados para a reciclagem, devem ser alocados em aterros do tipo IIB, nos quais é dispensada a impermeabilização do solo, mas é obrigatória a implantação de sistema de drenagem de água pluvial, programa de monitoramento ambiental e acompanhamento geotécnico. Esses resíduos devem ser dispostos de modo a permitir sua reciclagem futura ou recuperação da área para posterior urbanização, confinando-os no menor volume possível e sem causar danos à saúde pública. Sendo assim, os "bota-foras", como são conhecidas as áreas clandestinas de descarte de RCD, estão proibidos. No mesmo contexto, também não é permitido descarte em encostas, corpos d'água, lotes vagos, em áreas protegidas por lei ou em aterros destinados para resíduos sólidos urbanos.

Porém, a escassez de áreas de destinação final licenciadas e de empresas recicladoras autorizadas pelo poder público dentro do perímetro urbano, torna o descarte de inertes dispendioso e propicia a ilegalidade. A disposição inadequada de resíduos ocasiona impactos ambientais, que vão além do comprometimento do solo e corpos de água. Pode haver proliferação de vetores de importância sanitária, além de catação em condições insalubres na região da disposição (BESEN *et al.*, 2010).

Tendo em vista que os resíduos asfálticos da pavimentação (RAP) provenientes da manutenção e retirada de pavimentos são considerados RCD,

enquadrados como Classe A, conforme Art. 3º da Resolução CONAMA nº 448/12, devem ser destinados como citado anteriormente.

Na ABNT NBR 10.004:2004 (ASSOCIAÇÃO..., 2004a), os resíduos sólidos são classificados segundo o processo ou atividade que lhes deu origem, comparando seus constituintes e características com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto a saúde e ao ambiente é conhecido. Nesse contexto, os resíduos são divididos em perigosos (Classe I), não perigosos e não inertes (Classe IIA) e não perigosos inertes (Classe IIB).

Para que os resíduos asfálticos de pavimentação sejam destinados para aterros do tipo IIB, eles devem ser inertes, ou seja, quando submetidos a contato estático ou dinâmico com a água, não podem ter seus componentes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água definidos na norma ABNT NBR 10.004:2004 (ASSOCIAÇÃO..., 2004a).

Segundo Butera *et al.* (2014), para classificar um resíduo como inerte, leva-se em consideração apenas suas propriedades inorgânicas, havendo poucos estudos que identifiquem seus componentes orgânicos. Na ABNT NBR 10.004:2004 (ASSOCIAÇÃO..., 2004a), no anexo C, são listadas substâncias que conferem periculosidade aos resíduos, entre elas, vários hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA). A presença de um desses compostos no resíduo é suficiente para classificá-lo como perigoso (SISINNO *et al.*, 2003). Butera *et al.* (2014) realizaram ensaios em amostras de RCDs de aterros dinamarqueses a fim de determinar teores de HPA e de bifenil policlorado (BCP), através de extração por micro-ondas assistidas e análises por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), e concluíram que em todas as amostras contendo resíduo asfáltico, as proporções de HPA ficaram acima do permitido pela legislação local.

Fernandes *et al.* (2007) avaliaram a presença de HPAs em ligantes asfálticos no nordeste brasileiro. Os autores identificaram a presença de 8 tipos de HPAs, mediante resultados por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE).

Os HPAs são estruturas constituídas de dois ou mais anéis benzênicos, gerados pela queima incompleta de combustíveis fósseis, processos diagenéticos de formação de combustíveis fósseis, na exaustão de motores a gasolina, na combustão do diesel e em outros processos de combustão parcial no qual o carbono

ou combustível não são convertidos em monóxido ou dióxido de carbono. Estes compostos são dificilmente degradáveis e tendem a se acumular nos mais diversos setores ambientais, devido a suas propriedades físico-químicas (COTTA *et al.*, 2009).

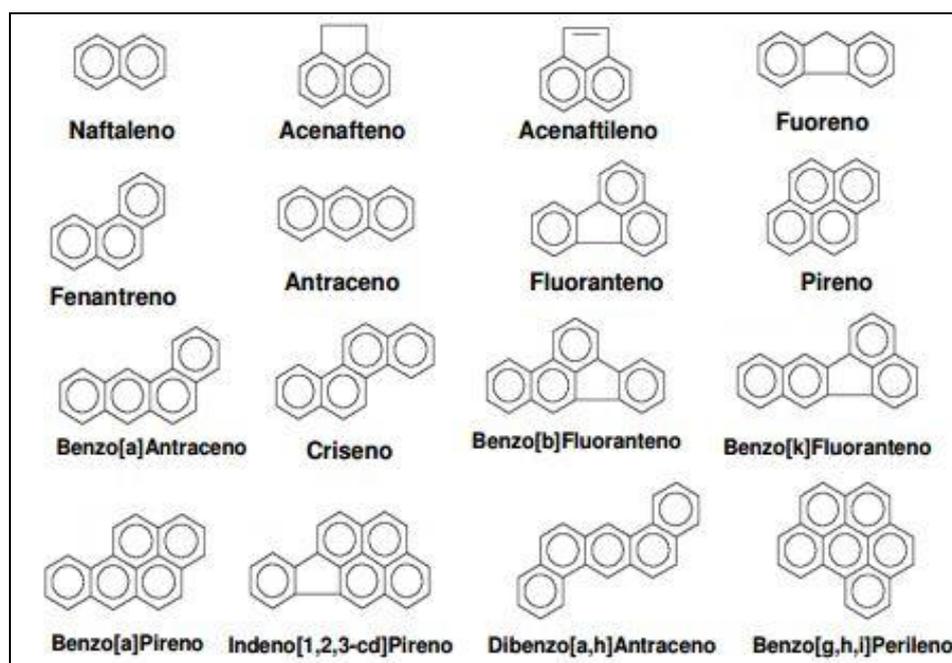


Figura 1 - Fórmulas estruturais dos HPAs monitorados pela USEPA.  
Fonte: Adaptado de Poppi (2000).

Segundo Khalili *et al.* (1995 *apud* SOUZA, 2007) e Martens *et al.* (1997 *apud* SOUZA, 2007), certos HPAs são encontrados mais comumente nas fontes emissoras citadas na Tabela 1.

**Tabela 1 - HPAs mais encontrados em determinadas fontes emissoras.**

<b>Fontes Emissoras</b>	<b>Principais HPAs emitidos</b>
Combustão Diesel	fluoreno, naftaleno, acenaftileno, fenantreno e antraceno
Combustão Gasolina	naftaleno, fluoreno, benzo(e)pireno, acenaftileno, pireno e acenafteno
Forno de Coque	naftaleno, acenaftileno, fenantreno, fluoreno, antraceno e fluoranteno
Queima da Madeira	acenaftileno, naftaleno, antraceno, fenantreno, benzo(a)pireno e benzo(e)pireno
Combustão de Carvão Mineral	criseno e benzo(k)fluoranteno
Veículos a Combustão	benzo(g, h, i)perileno, coroneno e fenantreno
Incineração	pireno e fluoranteno
Material Particulado de Estradas	fenantreno, fluoranteno e pireno
Combustão de Óleos	fluoreno, fluoranteno e pireno

Fonte: Khalili *et al.* (1995 apud SOUZA, 2007) e Martens *et al.* (1997 apud SOUZA, 2007),

Na Tabela 2 são apresentadas as características de solubilidade em água e peso molecular dos 16 HPAs monitorados pela USEPA.

**Tabela 2 - Solubilidade em água e peso molecular dos 16 HPAs monitorados pela USEPA.**

Componente	Solubilidade em água (mg/L)	Peso Molecular (g/mol)
Naftaleno	31	128
Acenaftileno	16,1	152
Fluoreno	1,9	166
Fenantreno	1,1	178
Fluoranteno	0,26	202
Pireno	0,132	202
Antraceno	0,045	178
Benzo(a)pireno	0,038	252
Benzo(a)antraceno	0,0094	228
Acenafteno	0,004	154
Dibenzo(a,h)antraceno	0,00249	278
Criseno	0,002	228
Benzo(b)fluoranteno	0,0015	252
Benzo(k)fluoranteno	0,0008	252
Benzo(g,h,i)perileno	0,00026	276
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,000022	276

**Fonte: Adaptado de Netto (2000).**

A solubilidade em água é uma característica que influencia na capacidade de difusão do componente no ambiente através da exposição a chuva. O peso molecular tem relação direta com a volatilidade: quanto menor o peso molecular, mais volátil é o componente.

Por serem poluentes orgânicos de persistência ambiental, podendo, após transformações metabólicas, tornarem-se carcinogênicos com potencial mutagênico, a *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) incluiu 16 tipos de HPAs

em sua lista de poluentes prioritários, e tem desenvolvido métodos para monitoramento dessas substâncias no ambiente (COTTA *et al.*, 2009). Dessa lista, 9 são citados na ABNT NBR 10.004:2004 (ASSOCIAÇÃO..., 2004a) como indicadores de periculosidade. Na Tabela 3, encontra-se a classificação dessas substâncias em relação a sua atividade carcinogênica e periculosidade.

**Tabela 3 - Classificação dos HPAs monitorados pela USEPA em relação à carcinogenicidade e periculosidade.**

<b>Componente</b>	<b>NBR 10.004:2004</b>	<b>Atividade carcinogênica</b>
Acenafteno	Não mencionado	Não carcinogênico
Acenaftileno	Não mencionado	Não carcinogênico
Antraceno	Não mencionado	Não carcinogênico
Benzo(a)antraceno	Confere periculosidade	Não carcinogênico
Benzo(b)fluoranteno	Confere periculosidade	Carcinogênico
Benzo(k)fluoranteno	Confere periculosidade	Não carcinogênico
Benzo(a)pireno	Confere periculosidade	Muito carcinogênico
Benzo(g,h,i)perileno	Não mencionado	Não carcinogênico
Criseno	Confere periculosidade	Fracamente carcinogênico
Dibenzo(a,h)antraceno	Confere periculosidade	Muito carcinogênico
Fenantreno	Não mencionado	Não carcinogênico
Fluoranteno	Confere periculosidade	Não carcinogênico
Fluoreno	Não mencionado	Não carcinogênico
Indeno(1,2,3-cd)pireno	Confere periculosidade	Não carcinogênico
Naftaleno	Confere periculosidade	Não carcinogênico
Pireno	Não mencionado	Não carcinogênico

Fonte: Adaptado de Castro (2010).

O Anexo II da Resolução CONAMA nº 460/13 - Lista de valores orientadores para solos e para águas subterrâneas - define concentrações limites de substâncias químicas presentes em solos e águas subterrâneas para subsidiar o controle da poluição, visando à proteção da qualidade e o gerenciamento de áreas contaminadas. Esses valores devem ser usados como referência para os limites de contaminantes encontrados em solo e água e não para caracterizar o resíduo em si.

Nessa resolução estão indicados três valores orientadores, o Valor de Referência de Qualidade (VRQ), Valor de Prevenção (VP) e Valor de Intervenção (VI). O VRQ é a concentração de determinada substância que define um solo como limpo ou a qualidade natural da água subterrânea. O VP é concentração de determinada substância, acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea. Por fim, o VI é a concentração de determinada substância acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana.

**Tabela 4 - Limites de detecção de HPAs de acordo com a Resolução CONAMA nº 460/13 e valores encontrados por Butera *et al.* (2014).**

<b>Componente</b>	<b>Butera <i>et al.</i> (2014) (mg/kg ST)</b>	<b>CONAMA 460:2013 (mg/kg ST)</b>
Acenafteno	0,75	Não mencionado
Acenaftileno	0,8	Não mencionado
Antraceno	8,1	0,039
Benzo(a)antraceno	9,1	0,025
Benzo(b)fluoranteno	15	Não mencionado
Benzo(k)fluoranteno	19	0,38
Benzo(a)pireno	7,5	0,052
Benzo(g,h,i)perileno	9,1	0,57
Criseno	9,6	8,1
Dibenzo(a,h)antraceno	21	0,08
Fenantreno	2,4	3,3
Fluoranteno	20	Não mencionado
Fluoreno	0,33	Não mencionado
Indeno(1,2,3-cd)pireno	Não mencionado	0,031
Naftaleno	0,16	0,12
Pireno	18	Não mencionado

**Fonte: Adaptado do CONAMA (2013) e Butera *et al.* (2014).**

Considerando os resultados obtidos por Butera *et al.* (2014), fica implícito o questionamento do caráter não contaminante dos RAP e se a disposição normatizada é suficiente para garantir segurança ambiental.

### **3.2 Pavimentação Asfáltica**

Apesar de todas as tecnologias existentes, maquinário aplicado, métodos de ensaios e procedimentos executivos, a pavimentação não é uma invenção recente (SENS, 2012).

A França foi o país que mais investiu na modernização dessa área, vista sua preocupação com pavimentos de qualidade e relacionados com erosões do solo; compactação do pavimento, drenagem e abaulamento na superfície da estrada (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Um dos setores de significativa contribuição na geração de RAP é a indústria da construção de obras rodoviárias, já que está fortemente ligada ao desenvolvimento econômico e integração nacional através do setor de transporte. Embora seja responsável pela ligação de zonas produtoras e consumidoras e de criar inúmeros empregos (CNT, 2013), este setor possui forte potencial na geração de resíduos, uma vez que as rodovias brasileiras são projetadas e implantadas sem ênfase nas questões ambientais em todas as suas fases (GRIGIO, 2010).

Segundo dados da Confederação Nacional de Transportes (2013), o Brasil possui 1.713.885 km de rodovias pavimentadas e não pavimentadas entre Municipais, Estaduais e Federais. As estradas não pavimentadas compõe maioria, com 88,2% de estradas de chão, contra apenas 11,8% de rodovias pavimentadas.

**Tabela 5 - Área territorial e extensão das rodovias pavimentadas por região.**

Região	Área	Extensão das rodovias - km		
	km <sup>2</sup>	Total	Pavimentadas	Não Pavimentadas
Brasil	8.515.767,00	1.713.885,00	202.589,00	1.511.296,00
Norte	3.853.676,90	147.250,00	20.462,00	126.788,00
Nordeste	1.554.291,60	443.906,00	58.477,00	385.429,00
Sudeste	924.620,70	533.435,00	70.536,00	462.899,00
Sul	576.774,30	384.752,00	40.434,00	344.318,00
Centro-Oeste	1.606.403,50	204.542,00	29.180,00	175.362,00

Fonte: Adaptado de CNT, 2013.

Ainda que em minoria, a pavimentação das estradas indica ter forte potencial gerador de resíduo tanto durante sua execução, nas mais diversas etapas

do empreendimento, quanto durante sua manutenção periódica, que se torna requisito imprescindível para qualidade do pavimento (MENDES; OLIVEIRA, 2008; CNT, 2013).

Segundo Bernucci *et al.* (2008), os pavimentos não apresentam ruptura súbita, mas se deterioram a partir do momento que passam a ser solicitados. Tendo em vista o aumento do número de veículos e o avanço tecnológico que aumenta a capacidade de carga dos caminhões, as vias e rodovias brasileiras, que de forma geral não acompanham esses avanços, não conseguem atender a vida útil estimada em projeto, que pode ser de 10, 20 ou 50 anos (RAMALHO, 2010), fato que culmina em manutenções precoces e repetitivas, além da substituição de pavimentos, visando atender a demanda nas estradas ou dentro das cidades.

O ciclo de vida do pavimento pode ser descrito em cinco fases: extração de materiais e produção, construção, manutenção, utilização e fim de vida. Dessa maneira, os riscos de contaminação dos solos e lençol freático é faz real nas obras de pavimentação durante sua existência (SANTERO *et al.*, 2011 *apud* COELHO *et al.*, 2011).

O material mais utilizado para pavimentação é o asfalto, tendo em vista que suas propriedades propiciam boa impermeabilização, boa ligação entre os agregados e resistência à maioria dos ácidos, álcalis e sais (BERNUCCI *et al.*, 2008). Os pavimentos asfálticos são mais econômicos que os de concreto, além de serem flexíveis, fáceis de executar e reparar (BAUER, 1994). No Brasil, 95% das estradas pavimentadas utilizam revestimento asfáltico, sendo também o tipo de revestimento mais empregado no mundo para pavimentar vias (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Os asfaltos são materiais betuminosos, ou seja, constituídos predominantemente por betumes, com consistência sólida ou semissólida quando estão em temperatura ambiente (PETRUCCI, 1998). Podem ter origem natural, serem resultantes da destilação fracionada do petróleo ou da destilação do carvão, da madeira, do linhito ou turfas. Os asfaltos naturais são mais densos que os asfaltos artificiais, devido a maior concentração de minerais e por possuírem sua fração volátil mais fixa. Porém, seu consumo é mais restrito devido à abundância e menor custo dos asfaltos artificiais (BAUER, 1994).

Segundo definição na ABNT NBR 7207:1982 (ASSOCIAÇÃO..., 1982), o pavimento asfáltico é uma estrutura de camadas sobrepostas em que as mais resistentes estão dispostas na parte superior. A plataforma do terreno onde o pavimento é aplicado denomina-se subleito. Acima do subleito, quando tecnicamente necessárias, podem ser executadas camadas de reforço para aumentar a qualidade do leito e garantir maior regularidade nas espessuras das demais camadas. A base, camada essencial à execução do pavimento, tem função de distribuir os esforços para o subleito. Acima da base está o revestimento asfáltico, com objetivo de resistir as solicitações, impermeabilizar a via e proporcionar boas condições de tráfego aos usuários.

A ausência de danos estruturais permite que a restauração necessária para correção de defeitos funcionais superficiais seja feita por revestimentos como lama asfáltica, tratamento superficial simples, microrrevestimento asfáltico, concreto asfáltico e mistura do tipo camada porosa de atrito, isolados ou combinados e antecidos ou não por fresagem (BERNUCCI *et al.*, 2008).

A fresagem é um processo onde parte da espessura do pavimento é retirada da pista e uma nova camada é colocada em substituição à antiga. Pode ser combinada com o processo de reciclagem do pavimento retirado.

Em relação à temperatura, esse processo pode ser realizado de maneiras a frio ou a quente. No preparo a frio, a realização é feita sem pré-aquecimento do pavimento (temperatura ambiente), ocorrendo, dessa forma, a quebra parcial dos agregados e, conseqüentemente, alteração da curva granulométrica do material existente na pista. A técnica a quente é executada com pré-aquecimento do revestimento, fazendo com que a resistência do corte seja atenuada e a curva granulométrica do material não acarrete alteração significativa (BONFIM, 2007).



**Figura 2 - Obra para recuperação de pavimentação em Curitiba.  
Fonte: PMC, 2013.**

A utilização em larga escala do método da fresagem é recente. Quando não empregado, costuma-se utilizar aplicação sucessiva de camadas de recapeamento, o que causa problemas com alturas sob viadutos, túneis e passarelas, aparecimento de degraus nos acostamentos e até maquiar fissuras existentes na camada inferior que possam se propagar para a camada aplicada, comprometendo a resistência do pavimento (CASTRO, 2003).

O material fresado reutilizado em revestimento pode ter granulometria corrigida com adição de novos materiais (Al, 1986). Essa correção granulométrica do material fresado (estabilização granulométrica) se destaca, pois, aliada a compactação (estabilização mecânica), possibilita a maximização da resistência ao cisalhamento do material e à rigidez; importantes do ponto de vista estrutural pois ocasionam reflexos no desempenho (SPECHT *et al.*, 2013).

A reciclagem consiste na reutilização da mistura asfáltica deteriorada e envelhecida para produção de uma nova mistura, sendo necessária adição de agentes rejuvenescedores para reativar as propriedades do asfalto (BERNUCCI *et al.*, 2008). O método traz vantagens no sentido de evitar que o resíduo seja

destinado a aterros ou disposto de forma inadequada e reduzir a exploração de jazidas minerais (CASTRO, 2003).

A necessidade de equipamentos especializados dificulta o processo e faz com que a reciclagem não seja a realidade de muitas regiões, pois não são todos os municípios que possuem esse maquinário. Além disso, devido à heterogeneidade do material, são necessários estudos sobre o comportamento da mistura reciclada, em relação a seu tempo de envelhecimento e interação com o cimento asfáltico novo (VASCONCELOS; SOARES, 2004).

Para isso, é fundamental conhecer o pavimento que se pretende reciclar, começando pelos dados históricos de tráfego, drenagem, materiais utilizados e manutenções. É necessária a análise de cada componente isolado para verificar a sua interferência no processo e, por essa razão, quando identificada grande variedade de componentes, a reciclagem pode ser tornar inviável economicamente (DNIT, 2006).

Os estudos que visam estudar a incorporação de componentes aos pavimentos, principalmente como destinação alternativa dos mais diversos resíduos, aumenta ainda mais a necessidade de avaliação detalhada dos RAPs para viabilizar o processo de reciclagem.

Bonfim (2007) classifica os tipos de reciclagem, apresentados na Tabela 6. De acordo com os dados da Associação de Reciclagem Asfáltica dos Estados Unidos, essa classificação é definida em cinco categorias principais para diferentes métodos de reciclagem: a frio, a quente, a quente *in situ*, a frio *in situ* e profunda (ARRA, 2001).

**Tabela 6 - Classificação e definição dos processos de reciclagem de pavimentos.**

<b>Classificação</b>	<b>Definição</b>	
Geometria Original	Sem modificação	Cotas do greide mantidas
	Com modificação	Cotas do greide não mantidas
Local de Processamento	Em usina	Fixa ou móvel, quente ou frio
	<i>In situ</i>	-
	Mista	In situ da reciclagem da base e aplicação de reciclagem a quente processada em usina com material fresado
Fresagem do material	A frio	Realizado na temperatura ambiente
	A quente	Realizado com pré aquecimento do pavimento
Profundidade de corte	Superficial	Somente da camada de revestimento
	Profunda	Camada de revestimento, base até a sub-base
Mistura reciclada	Mistura a quente	PMF
	Mistura a frio	CBUQ, PMQ
Uso da mistura	Como base reciclada	-
	Como camada de ligação	-
	Como revestimento	-
Materiais adicionados	Agregados	Correção granulométrica
	Cimento Portland e Cal	Aumento da capacidade estrutural
	Emulsão especial e CAP	Rejuvenescimento
	Misturas Asfálticas	Adição do material fresado

**Fonte: Adaptado de Bonfim (2007).**

Quando se fala em resíduo asfáltico, não se pensa apenas no asfalto puro, mas nos agregados e em outros compostos que podem ter sido incorporados ao material betuminoso para execução do revestimento. Aliado a isso, na retirada do pavimento, outras camadas podem estar agregadas a esse material.

Estudos relacionados à pavimentação viária, tanto na parte revestimento como na base e sub-base, demonstraram algumas alternativas satisfatórias com reutilização de resíduos industriais, pneus e resíduos da construção civil (RCD), já que os volumes gerados são elevados e o consumo de matérias primas, transporte e o despejo de resto de materiais na natureza podem ser reduzidos. Na década de 40, iniciou-se a história da adição de borracha de pneus em materiais para pavimentação asfáltica, denominado Ramflex. Mas somente na década de 80, foram

consideradas alternativas para minimização dos problemas ambientais causados pela disposição desses resíduos. De forma pioneira, a Prefeitura do Município de São Paulo implantou em 1991 a primeira usina recicladora de RCD do Brasil (CARNEIRO *et al.*, 2001), com a finalidade de produzir agregados para sub-base de pavimentos.

Como exemplo de materiais que podem ser adicionados à mistura asfáltica, pode-se citar o polímero EVA, que melhora as propriedades mecânicas quando comparado com o asfalto convencional (D'ANTONA; FROTA, 2011). Além disso, Oda e Junior (2001) comprovaram aumento de resistência ao acúmulo de deformação permanente e ao aparecimento de trincas por fadiga ao incorporarem borracha de pneus em ligantes asfálticos utilizados em obras de pavimentação. Bringel *et al.* (2006) comprovaram que a adição de 4,5% do copolímero de estireno e butadieno (SBS) melhora o desempenho dos ligantes, mas tem a desvantagem de não ser um material inerte, tornando-se um potencial contaminante. Da mesma maneira, ao adicionarem poliestireno na mistura asfáltica, Infante *et al.* (2007) verificaram redução da deformação plástica e aumento da estabilidade da massa asfáltica, além de proporcionarem destinação ambientalmente correta para o material refugado. Idate e Kulkarni (2014) estudaram a incorporação de resíduos industriais na composição de pavimentos asfálticos, ensaiando amostras com areia de fundição, betume e resíduos de construção, chegando a conclusão de que o uso desses materiais para pavimentação é econômico e eficiente. Porém, as análises foram feitas em relação às propriedades mecânicas e de durabilidade do pavimento em comparação com a mistura convencional, não sendo levadas em consideração propriedades químicas potencialmente contaminantes do solo.

### 3.3 Impactos ambientais

Baumard *et al.* (1998) referem-se aos HPAs em seus estudos como contaminantes difundidos no ambiente através das fontes humanas, sendo eles estudados devido as suas propriedades mutagênicas, carcinogênicas e também conhecidos por promoverem a formação de moléculas dessa natureza em organismos vivos que acumulam-se na cadeia alimentar.

Os HPAs são liberados na atmosfera como uma mistura complexa de compostos durante a combustão incompleta de matérias orgânicas e podem ser emitidos pela descarga de veículos automotores, queima de carvão, fuligem de chaminé, exaustão de incineração de plantas e rejeitos, queima de rejeitos na agricultura, fumaça de cigarro, aplicações de asfalto, entre outras situações (POPPI, 2000; RIBEIRO, 2001).

Na atmosfera, os HPAs podem ser encontradas na fase gasosa ou adsorvidas no material particulado. A concentração de cada componente em ambas as fases é função de sua volatilidade e de sua afinidade pelas superfícies das partículas atmosféricas (NETTO *et al.*, 2000).

No solo, os HPAs encontram-se comumente fixos no material constituinte e ficam retidos nas camadas superiores. Dessa maneira, pode haver contaminação do solo, comprometimento da qualidade de vida, geração de incômodos e risco a população que dele depende, seja pelo fato de fornecer nutrientes para produção agrícola quanto por ser suporte físico para um povoado que possa crescer naquele ambiente, além de estar atrelado as problemáticas diretas com transmissão desses agentes contaminantes aos recursos hídricos.

A água subterrânea é de grande importância social por inúmeras razões. Uma das quais é que normalmente oferece fonte direta e higienicamente segura de água potável para consumo da população e para abastecer o setor agrícola, industrial e doméstico (MATTHESS, 1990 *apud* BAKARI, 2014). Como exemplo, os recursos hídricos subterrâneos que estão se tornando extremamente vulneráveis a uma infinidade de fontes de poluição antropogênicas (APPELO; POSTMA, 2005

*apud* BAKARI, 2014), destacando a disposição de potenciais contaminantes sobre o solo, como elucidado neste trabalho.

Os impactos ambientais da construção de rodovias, bem como os materiais utilizados para esse fim, podem-se destacar na gestão dos recursos hídricos e solos, uma vez que esses são possíveis receptores do escoamento de ambientes rodoviários principalmente em estação de chuvas, quando provavelmente há potencial de lixiviação dos constituintes químicos desses materiais e possibilidade de transporte para a superfície adjacente e corpos d'água do subsolo.

Em virtude de suas propriedades físico-químicas e da distribuição ambiental, o risco de contaminação humana por HPAs é significativo, de fato, devido ao seu caráter lipofílico e seus derivados, podem ser absorvidos pela pele, por ingestão ou por inalação, sendo rapidamente distribuídos pelo organismo. A quantidade absorvida por inalação varia de acordo com o grau de contaminação atmosférico, que está diretamente relacionado com a urbanização, ao tráfego de veículos automotores (principalmente motores diesel) e com o tipo e a industrialização da área (NETTO *et al.*, 2000).

#### 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados na coleta e preparação das amostras, assim como na realização dos ensaios.

Na figura 3 está demonstrada a sequência dos procedimentos realizados para a execução deste trabalho.

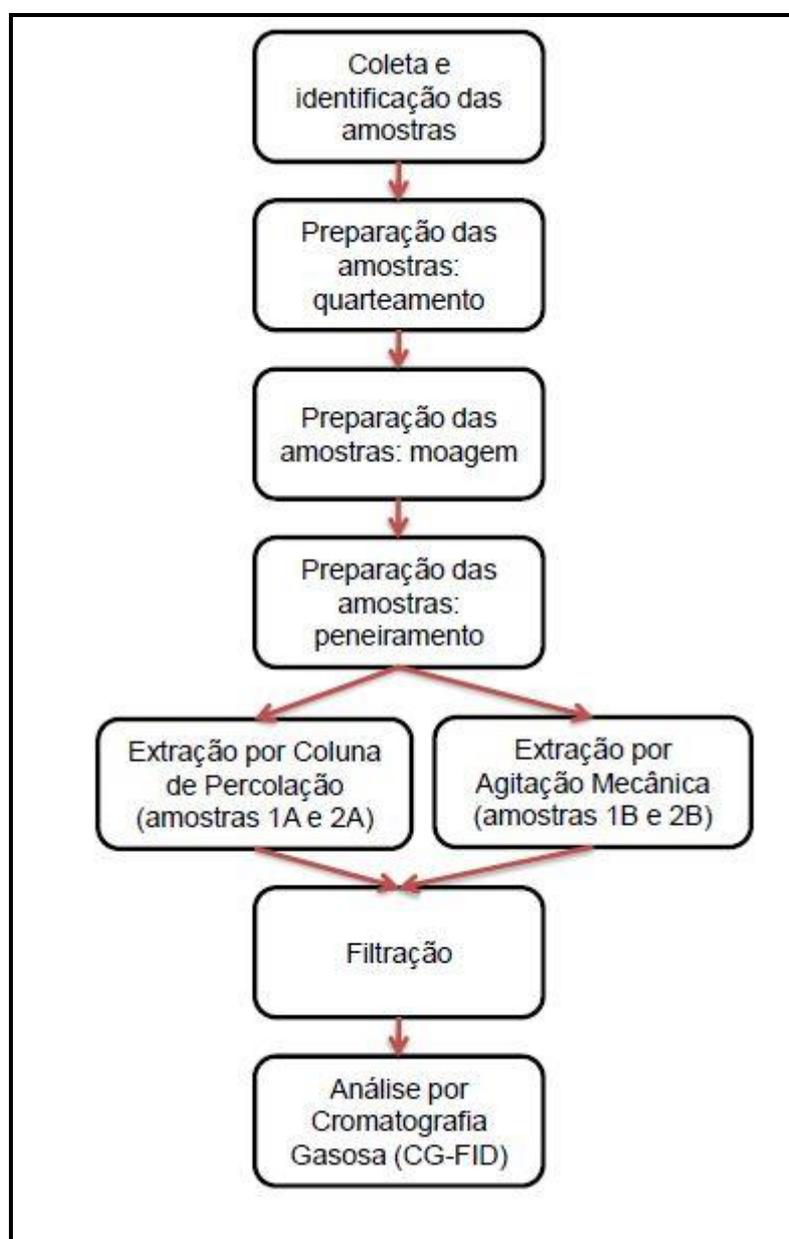


Figura 3 - Sequência de procedimento metodológicos realizados.

Fonte: Autoria própria

#### 4.1 Coleta das amostras

Os resíduos asfálticos usados no presente estudo são provenientes de fontes distintas do Estado do Paraná.

Foram coletadas amostras da cidade de Paranaguá e da cidade de Curitiba, destacadas nesse estudo como Amostra 1 e Amostra 2, respectivamente. A Amostra 1 correspondeu ao resíduo asfáltico decapado, proveniente do recapeamento da Avenida Portuária, no bairro Dom Pedro II em Paranaguá. O traço utilizado na sua confecção corresponde a faixa B do DER, sendo pó e pedrisco (80%), brita 1 (14%) e CAP (6%). A Amostra 2 dispôs de resíduo asfáltico fresado, derivado do trecho recapado no ano de 2014, situado na Rua André Ferreira Barbosa, no bairro do Pinheirinho e com traço de mesma composição descrita anteriormente. Foram coletados em torno de 30 kg de cada amostra.



Figura 4 - Resíduo asfáltico da cidade de Paranaguá (1) e Curitiba (2).

Fonte: Autoria própria.

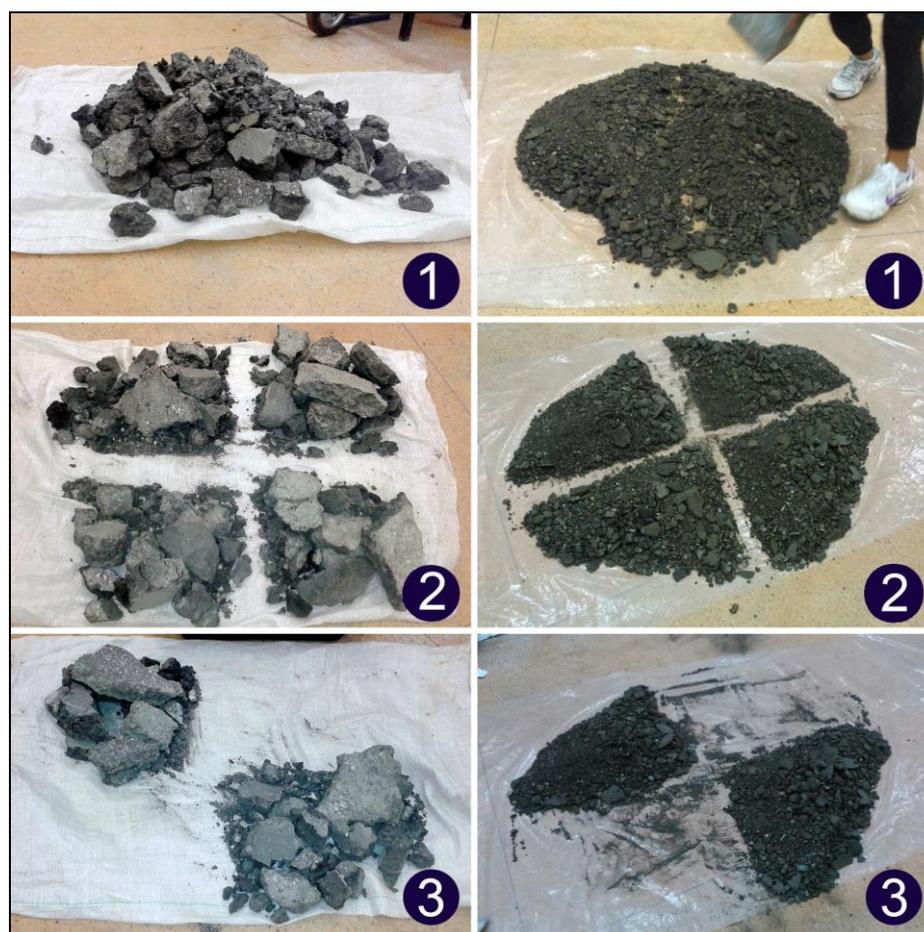
#### 4.2 Preparação da amostra

Com o intuito de obter amostras representativas quanto a sua natureza e características, foram seguidas as precauções e diretrizes da ABNT NM 26:2009 (ASSOCIAÇÃO..., 2009).

Primeiramente foram feitos os recebimentos e inspeções das amostras coletadas para a retirada de material orgânico, vidros e plásticos. Na sequência, as amostras foram transferidas para sacos limpos e levadas para o Laboratório de Mecânica dos Solos da UTFPR, campus Ecoville e reservadas em recipiente vedado, etiquetado e identificado, até a realização do quarteamento.

Para realização do quarteamento, utilizou-se como referência o método descrito pela ABNT NBR 10.007/2004 (ASSOCIAÇÃO..., 2004c).

Para as amostras em estudo, foram seguidos os procedimentos de quarteamento manual. Os resíduos asfálticos da Amostra 1 foram distribuídos sobre piso revestido por lona plástica, para evitar perda de material ou possível contaminação da amostra por outros resíduos. Na sequência, o material foi revolvido com auxílio de pás para obter sua homogeneização completa e foi formada uma pilha em formato cônico. O cone foi rebatido na superfície e dividido em quatro partes iguais, seguido da remoção de dois quartos opostos de material (em sentido diagonal), conforme Figura 5 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Os outros dois quartos opostos de material remanescentes foram reunidos e um novo quarteamento foi realizado da mesma forma. Essa operação foi repetida mais duas vezes até obter a quantidade de amostra necessária para os ensaios, de aproximadamente 3 kg. Esse procedimento foi igualmente executado para a Amostra 2.



**Figura 5 - Sequência de Quarteamento.**

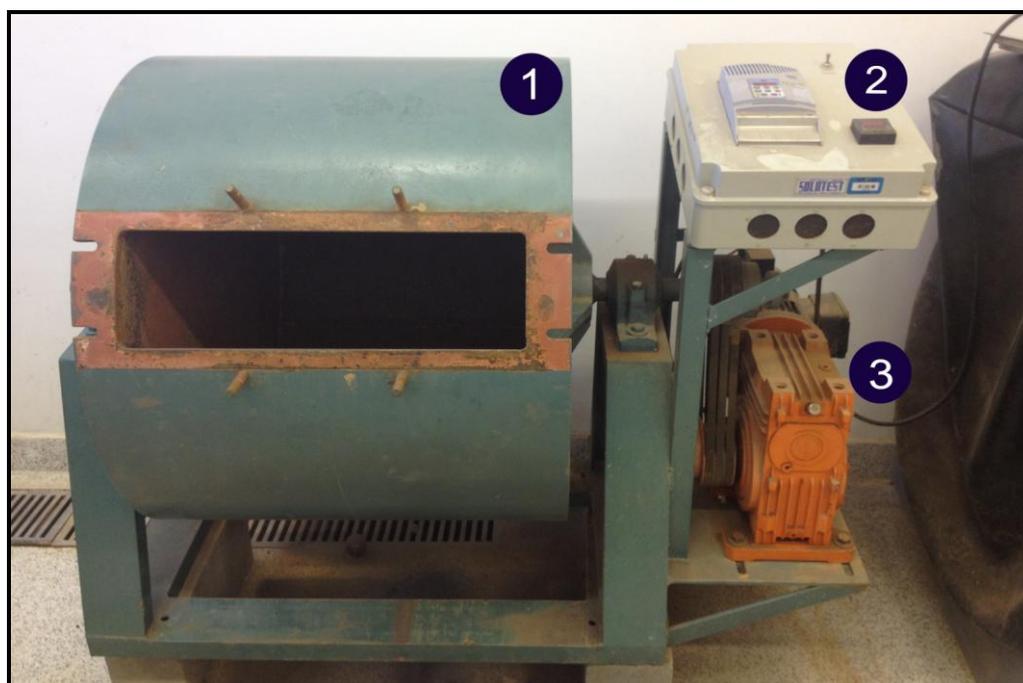
**Fonte: Autoria própria.**

Após quarteadas, as amostras foram dispostas em bandejas metálicas, com identificação, e levadas à estufa em temperatura de 50 °C por 72 h para secagem. Essa se fez necessária para diminuir o teor de umidade da amostra, facilitando os procedimentos posteriores.

Devido as características físicas (tamanho de grãos) da Amostra 1, foi necessária moagem do resíduo asfáltico, sendo utilizado neste trabalho o Moinho de Bolas Solotest, indicado para materiais de difícil fragmentação como o da Amostra 1. O moinho de bola é constituído de carcaça cilíndrica horizontal de ferro, revestido internamente com placas que gira sobre mancais e contém no seu interior bolas de aço, movido por motor de baixa velocidade. Ao girar este cilindro foi provocado o cascadeamento das bolas que, em atrito com o material depositado internamente,

ações de choque e cisalhamento provocaram redução do material a menor granulometria.

O procedimento de moagem foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil da UTFPR, campus Curitiba, sede Ecoville. A Amostra 1 foi mantida no moinho por uma hora com velocidade constante de 100 rpm.



**Figura 6 - Moinho de bolas : 1 – Carcaça cilíndrica, 2- Dispositivo de controle de velocidade e 3 – Motor de baixa velocidade.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Visando os ensaios posteriores e a limitação dos equipamentos utilizados para extração do analito, foi necessário realizar o peneiramento das Amostras 1 e 2 para selecionar os agregados passantes pela peneira de 2,4mm. Como base desse procedimento, utilizou-se a ABNT NBR NM 248:2003 (ASSOCIAÇÃO..., 2003). No entanto, foram utilizadas peneiras a partir da 4,75 mm a 1,18 mm, tendo em vista o interesse somente dos grãos descritos acima.

As peneiras foram previamente limpas e encaixadas de modo a formar um único conjunto, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo e provido com fundo de peneira adequado. Em seguida, foi realizada agitação manual no conjunto por um minuto para obter os grãos necessários para o estudo, ou seja, o passante na peneira 2,4 mm, sendo que o material retido foi descartado. A agitação das peneiras foi feita em movimentos laterais e circulares alternados, tanto no plano horizontal quanto inclinado. Por ser peneiramento de agregados graúdos, os grãos não foram pressionados pela tela, conforme indicado na ABNT NBR NM 248:2003 (ASSOCIAÇÃO..., 2003).

**Tabela 7: Série de peneiras Normal e Intermediária.**

<b>Série Normal</b>	<b>Série Intermediária</b>
75 mm	-
-	63,0 mm
-	50,0 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25,0 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,40 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

**Fonte: Adaptado de ABNT NBR NM 248:2003 (ASSOCIAÇÃO..., 2003).**

### 4.3 Extração do analito

A extração foi realizada por meio de dissolução em líquido, procedimento denominado lixiviação. Como a água é o principal agente do intemperismo, as técnicas empregadas - coluna de percolação e agitação mecânica – simularam a degradação do material devido à ação da natureza.

Para acelerar a extração do analito, foi utilizada mistura entre água ultrapura obtida do equipamento *Mega Purity Water Purification System* e etanol a 20%.

A escolha da utilização da água ultrapura ao invés da água do sistema de abastecimento público se deu por aquela ser isenta de contaminantes, sais, substâncias orgânicas e microorganismos, sendo apropriada à realização dos ensaios.

Ambos os ensaios, Coluna de Percolação e Agitação Mecânica, foram realizados uma vez para cada amostra no Laboratório de Limnologia, da UTFPR, campus Curitiba, sede Ecoville. Na Tabela 8 está indicada a denominação usada para cada amostra, de acordo com o procedimento de extração.

**Tabela 8 - Denominação das amostras de acordo com o procedimento de extração do analito.**

<b>Amostra</b>	<b>Denominação</b>	<b>Procedimento de Extração</b>
Amostra 1	1CP	Amostra 1 - Extração por Coluna de Percolação
	1AM	Amostra 1 - Extração por Agitação Mecânica
Amostra 2	2CP	Amostra 2 - Extração por Coluna de Percolação
	2AM	Amostra 2 - Extração por Agitação Mecânica

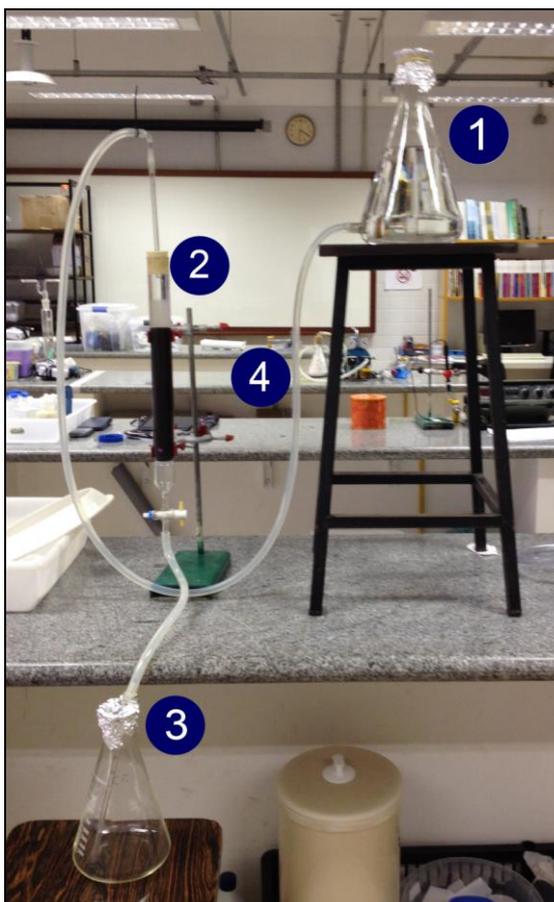
**Fonte: Autoria própria.**

#### 4.3.1 Coluna de Percolação

Inicialmente, a coluna de percolação foi preenchida com amostra a ser analisada e empacotada de forma a minimizar os vazios e assegurar resistência à passagem do líquido extrator através da coluna. O empacotamento da amostra na coluna foi realizado manualmente com impactos intensos externos à coluna com auxílio de béquer plástico para em toda extensão da coluna. O empacotamento foi feito pela primeira vez para atestar o volume necessário para a realização do ensaio. A amostra foi retirada da coluna, pesada, para definir a relação entre amostra e líquido extrator, e reempacotada.

A coluna foi posicionada verticalmente na haste metálica de apoio e conectada com Erlenmeyer de 2 L de capacidade superior e inferior através das mangueiras de silicone. O líquido extrator foi depositado no Erlenmeyer superior, de forma a iniciar o fluxo através da coluna, e recirculado repetidamente por 5 dias, conforme demonstrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Os lixiviados das amostras extraídas por esse método, 1CP e 2CP, foram filtrados e transferidos para garrafas âmbar identificadas e acondicionadas em caixas térmicas com gelo para manter as características e assegurar a confiabilidade dos resultados das análises das amostras de resíduos asfálticos.



**Figura 7 - Coluna de Percolação: 1 - Erlenmeyer superior; 2 - coluna de percolação; 3 - Erlenmeyer inferior; 4 - mangueiras de silicone.**  
Fonte: Autoria própria.

#### 4.3.2 Agitação mecânica

Considerando as indicações da ABNT NBR 10.005:2004 (ASSOCIAÇÃO..., 2004b), a extração do analito também foi feita através de agitador mecânico por rotação, conforme demonstrado na , mantendo a mesma proporção entre líquido extrator e matriz sólida do ensaio da coluna de percolação.

A amostra foi inserida no balão volumétrico com capacidade de 500 ml, com etanol 20% nas seguintes quantidades: 425 ml de líquido extrator e 50 g de resíduo asfáltico da amostra 1AM e 500 ml de líquido extrator e 63 g de resíduo asfáltico para a amostra 2AM. O balão foi acoplado ao motor com rotação de 40 rpm durante 5 dias.

Os lixiviados obtidos pelo método de agitação mecânica, 1AM e 2AM, foram filtrados e transferidos para garrafas âmbar identificadas e acondicionadas em caixas térmicas com gelo para manter as características e assegurar a confiabilidade dos resultados das análises das amostras de resíduos asfálticos.



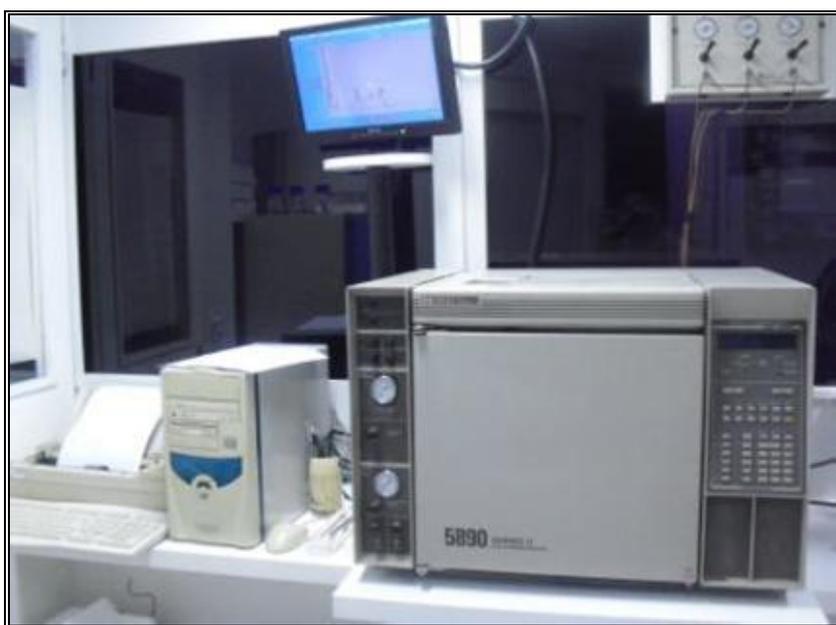
**Figura 8 - Agitação mecânica: 1 - dispositivo de controle de rotação; 2 - balão volumétrico contendo amostra e líquido extrator.**  
Fonte: Autoria própria.

#### 4.4 Cromatografia

Os extratos obtidos das amostras 1CP, 1AM, 2CP e 2AM foram encaminhados ao Laboratório de Tecnologias em Análises Ambientais (TECLAB), localizado na Avenida das Torres, 2281, na cidade de São José dos Pinhais/PR, para a realização das análises de Cromatografia Gasosa acoplada ao Detector por Ionização de Chama (FID).

Neste trabalho foi empregado o Método 8100 (*UNITED...*, 1986), proposto pela USEPA, para detectar e determinar a concentração de HPAs através de cromatografia gasosa (CG). O método fornece condições cromatográficas para a detecção de níveis de HPAs, incluindo os 16 de interesse da USEPA.

O detector utilizado pelo TECLAB foi o Detector por Ionização de Chama (FID), o qual é composto por uma chama de hidrogênio e um prato coletor. O efluente passa da coluna do CG através da chama, a qual o divide em moléculas orgânicas e produz íons. Os íons são recolhidos em um eletrodo negativo e produzem um sinal elétrico.



**Figura 9 - Cromatógrafo Gasoso, HP, modelo 5890, Série II.**  
Fonte: Autoria própria.

Foi utilizado cromatógrafo gasoso da marca Hewlett Packard (HP), modelo 5890 Série II, com injetor Splitless/Normal. A coluna foi a Capilar - VF - 5ms *Agilent Technologies*, com 30 m de comprimento, 0,25 mm de diâmetro interno e 0,25 µm de espessura do filme. O injetor operou no modo *splitless* com temperatura de 200 °C. A separação foi realizada com programação de temperatura do forno, sendo a temperatura inicial de 35 °C mantida isotérmica por 2 minutos, seguida de aumento linear até 95 °C (12 °C/min durante 5 minutos) e até 265 °C (10 °C/min) mantida por 12 minutos. A temperatura do detector foi de 250 °C, operado com uma chama de Hidrogênio com vazão de 15 a 25 mL/min e o gás de arraste utilizado foi o Nitrogênio, com vazão de 6 a 8 mL/min. O padrão utilizado foi o *PAH Mix*, obtido da empresa *Accustandard*, em conjunto com o solvente diclorometano.

Foram necessários cerca de 14 dias para a emissão dos laudos das análises de cada amostra.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram detectados HPAs nas amostras de resíduos asfálticos analisadas.

Para a amostra 1CP, foram detectados 6 HPAs dos 16 HPAs em estudo, acenaftileno, antraceno, fenantreno, fluoreno, fluoranteno e naftaleno. Na amostra 1AM, foram detectados acenaftileno, antraceno, fenantreno, fluoreno e naftaleno. Nas amostras 2CP e 2AM, foram encontrados acenaftileno, antraceno, fenantreno e naftaleno, tanto para a amostra extraída por Coluna de Percolação, quanto por Agitação Mecânica.

Na Tabela 9 são apresentados os resultados experimentais para os teores de HPAs obtidos nos lixiviados de resíduos asfálticos após análise por cromatografia gasosa (CG). Também estão expostos os valores encontrados por Butera *et al.* (2014) e os valores limites permitidos para solos pela Resolução CONAMA nº 460.

Os demais HPAs não mencionados na Tabela 9, tiveram seus valores abaixo do limite de detecção do equipamento cromatográfico.

**Tabela 9 - Resultados obtidos para as amostras após a análise por CG, valores encontrados por Butera *et al.* (2014) e valores limites do CONAMA para as amostras 1CP (amostra 1 por coluna de percolação), 1AM (amostra 1 por agitação mecânica), 2CP (amostra 2 por coluna de percolação) e 2AM (amostra 2 por agitação mecânica).**

HPAs	AMOSTRAS (mg/kg)				Butera <i>et al.</i> (2014) (mg/kg)	CONAMA 460:2013 Solos (mg/kg)
	1CP	1AM	2CP	2AM		
Acenaftileno	0,0027	0,1998	0,1411	0,3454	0,8000	Não mencionado
Antraceno	0,0621	0,0036	0,0117	0,1910	8,1000	0,0390
Fenantreno	0,0619	0,0036	0,0119	0,1910	2,4000	3,3000
Fluoranteno	0,0471	<0,02	<0,02	<0,02	20	Não mencionado
Fluoreno	0,1739	0,2734	<0,06	<0,06	0,33	Não mencionado
Naftaleno	0,0081	0,1780	0,0933	0,0729	0,1600	0,1200

Fonte: Adaptado: Butera *et al.* (2014), CONAMA 460/13, NBR 10.004: 2004 (ASSOCIAÇÃO..., 2004), Castro (2010) e autoria própria.

Os limites de concentração definidos na Resolução CONAMA nº 460/13, sumariamente apresentados na Tabela 9, definem valores orientadores de qualidade no solo, enquanto os valores obtidos após as análises cromatográficas das amostras 1CP, 1AM, 2CP e 2AM, indicam as concentrações na matriz sólida. No entanto, vale ressaltar que o antraceno, para as amostras 1CP, 2CP e 2AM, e o naftaleno para a amostra 1AM, foram detectados acima dos limites de concentrações estabelecidas pelo CONAMA nº 460/13 e, portanto, podem ser agente potencial contaminante do solo.

Entre os HPAs detectados, o fluoranteno, encontrado na amostra 1CP, e o naftaleno, encontrado em todas as amostras, conferem periculosidade ao resíduo, segundo descrito na ABNT NBR 10.004:2004 (ASSOCIAÇÃO..., 2004).

Castro (2010) destaca a atividade carcinogênica dos 16 HPAs prioritários da USEPA em seu estudo com uso de tensoativo em solo argiloso, dentre eles os que foram detectados em todas as amostras desse estudo que corresponderam a atividade não carcinogênica, porém, com inocuidade ambiental das amostras.

A utilização do etanol a 20% como líquido extrator teve como objetivo de aumentar a solubilidade dos compostos na matriz líquida, sendo possível observar que os componentes detectados nas amostras analisadas são os mais solúveis em água. Assim, a não detecção dos demais HPAs não significa, necessariamente, sua ausência nas amostras, pois como os analitos foram extraídos por lixiviação, a baixíssima solubilidade de alguns compostos dificulta sua detecção.

Comparando os métodos de lixiviação, para amostra 1CP, extraída por coluna de percolação, foi detectado um componente a mais (Fluoranteno) do que na amostra 1AM, extraída por agitação mecânica. Ressalta-se que cada procedimento foi realizado uma única vez, com um tipo de solvente (etanol 20%). Portanto, estudos complementares ser realizados objetivando investigar se há soluções/solventes mais eficientes neste processo de extração. Contudo, nota-se que o método de ensaio adotado foi capaz de promover minimamente a extração dos parâmetros de interesse, revelando sua utilidade.

Em relação às concentrações, embora os valores de concentração sejam bastante diferentes, há concordância com relação à presença das substâncias, o que indica a não inocuidade ambiental das amostras. Além disso, não foi detectada

padronização nas quantidades de concentrações, não sendo possível indicar um dos métodos como mais eficiente. Porém, levando em consideração a facilidade de montagem e manutenção do ensaio, o método por agitação mecânica se apresentou mais vantajoso. O método de extração por coluna de percolação demanda maior tempo no preparo do ensaio, a recirculação do líquido extrator deve ser contínua e em meio a este processo pode haver a colmatação na membrana porosa interna à coluna, devido à granulometria da amostra.

Os aspectos referentes aos procedimentos de extração coluna de percolação e agitação mecânica tiveram resultados coerentes, pois, permitiram a detecção das mesmas substâncias em quase todas as amostras. Todavia, há diferenças significativas entre as concentrações encontradas. Atribui-se tal diferença não só às características intrínsecas dos métodos, mas também à pequena quantidade de amostras analisadas (simplificada). Por se tratar de um estudo inicial, julgam-se válidas as análises realizadas, mas recomenda-se a realização de novos ensaios a fim de verificar a acurácia dos experimentos.

Os resultados obtidos por Butera *et al.* (2014) apresentaram concentrações superiores aos encontrados para as amostras 1CP, 1AM, 2CP e 2AM. Essa discrepância pode ser devida ao fato de que os autores utilizaram método de micro-ondas assistidas para extração dos analitos, que garante baixo consumo de solventes, alta eficiência de extração e reduzido tempo de análise (PINO *et al.*, 2000) em comparação com os métodos utilizados nesse trabalho. Além disso, os autores não especificam a composição dos resíduos asfálticos analisados, o que dificulta a comparação, considerando a variabilidade dos materiais que compõem os resíduos asfálticos. As amostras analisadas por Butera *et al.* (2014) podem, por hipótese, conter maiores concentrações de contaminantes do que as amostras analisadas neste estudo.

## 6 CONCLUSÃO

Os métodos desenvolvidos para extração de HPAs de resíduos asfálticos por lixiviação, com utilização de coluna de percolação e agitação mecânica, se mostraram eficientes, tendo em vista que, combinado com a análise por cromatografia gasosa, foi possível a detecção das substâncias procuradas.

A detecção dos HPAs nas amostras de resíduo asfáltico suscita um alerta em relação à orientação de destinação desse material. O naftaleno foi identificado em todas as amostras e sua presença deve ser destacada, pois esse componente é citado na NBR 10004:2004 como substância que confere periculosidade aos resíduos sólidos.

Esse estudo mostrou a presença de HPAs nas amostras de resíduos asfálticos analisadas, o que sugere um potencial de contaminação do ambiente, abrindo espaço para investigações mais aprofundadas em relação à quantificação dessas substâncias nesse tipo de resíduo, bem como sua correta disposição, e os efeitos nocivos para o solo, água e seres vivos.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ainda há muitas linhas de estudo que podem ser seguidas objetivando a análise de HPAs em resíduos asfálticos, tanto no sentido de aprofundar e comprar a presença desses componentes, como em avaliar a influência dessa combinação no ambiente. Algumas sugestões são:

- Propor método de extração do analito em que seja possível maior controle dos parâmetros ambientais que possam afetar o lixiviado.
- Testar outros solventes de extração de HPAs nas matrizes.
- Analisar os HPAs por outro método cromatográfico como, por exemplo, a Cromatografia Líquida de Alta Eficácia (CLAE).
- Analisar a influência dos HPAS presentes no resíduo asfáltico em espécies mais sensíveis, através de ensaios de ecotoxicidade.
- Analisar o solo sujeito à disposição do resíduo asfáltico através de simulações de precipitações pluviais.

## REFERÊNCIAS

ASPHALT INSTITUTE – AI. **Asphalt Hot-Mix Recycling**. United States, The Asphalt Institute, 1986. Disponível em: <<http://infohouse.p2ric.org/ref/33/32444.pdf>>. Acesso: 12 jun. 2014.

ASPHALT RECYCLING AND RECLAIMING ASSOCIATION - ARRA. **Basic Asphalt Recycling Manual**. Disponível em: <<http://www.cdrecycling.org/assets/concrete-recycling/1-124-barm1.pdf>>. Acesso em: 29 mai. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004a.

\_\_\_\_\_. **NBR 10.005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.

\_\_\_\_\_. **NBR 10.007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004c.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BAKARI, Ali. Assessing the Impact of anthropogenic activities on groundwater quality in Maiduguri, Nigeria. **The International Journal Of Engineering And Science (IJES)**, n. 4, 2004. Disponível em: <<http://www.theijes.com/papers/v3-i4/Version-6/F03406035040.pdf>>. Acesso em: 08 jul. 2014.

BAUER, Luis A. F. **Materiais de Construção Civil 2**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994.

BESEN, Gina R. Resíduos sólidos: vulnerabilidades e perspectivas. In: SALDIVA P. *et al.* **Meio ambiente e saúde: o desafio das metrópoles**. São Paulo: Ex Libris, 2010.

BERNUCCI, Liedi B.; MOTTA Laura M. G.; CERATTI, Jorge. A. P.; SOARES, Jorge. B. **Pavimentação Afáltica**: formação básica para engenheiros. Disponível em: [http://www.proasfalto.com.br/07\\_download.htm](http://www.proasfalto.com.br/07_download.htm). Acesso em: 30 mai. 2014.

BINET, S.; PFOHL-LESZKOWICZ. A.; BRANDT. H.; LAFONTAINE M.; CASTEGNARO M. Bitumen Fumes: Review of Work on the Potential Risk to Workers and the Present Knowledge on its Origin. **The Science of the Total Environment**. United States of America. 2000. Disponível em: <<https://comitatosavignano.files.wordpress.com/2009/05/sciencetotalenv300-2002-binet-bitumenfumesrisk.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2015.

BONFIM, Valmir. **Fresagem de pavimentos asfálticos**. 3. ed. São Paulo: Exceção, 2007.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº. 307**, de 05 de julho de 2002. Brasília DF, n. 136, 2002.

\_\_\_\_\_. **Resolução nº 448**, de 18 de janeiro de 2012. Brasília DF, n. 14, 2012.

\_\_\_\_\_. **Resolução nº 460**, de 30 de dezembro de 2013. Brasília DF, n. 249, 2013

BRINGEL, Raquel M.; ALENCAR, Ana E. V.; LUCENA, Maria C. C.; SOARES, Jorge B.; SOARES, Sandra A. Comportamento Reológico do ligante asfáltico modificado por SBP e diluente aromático como compatibilizante. In: ENCONTRO DE ASFALTO, 18., 2006. Rio de Janeiro. **Anais Eletrônicos...** Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP, 2006. Disponível em: <[http://www.researchgate.net/publication/261063352\\_Caracterizao\\_Qumica\\_e\\_Reoloca\\_de\\_Afaltos\\_Modificados\\_por\\_Copolmero\\_de\\_Etileno\\_e\\_Acetato\\_de\\_Vinila](http://www.researchgate.net/publication/261063352_Caracterizao_Qumica_e_Reoloca_de_Afaltos_Modificados_por_Copolmero_de_Etileno_e_Acetato_de_Vinila)>. Acesso em 02 ago. 2014.

BUTERA, Stefania; CHRISTENSEN, Thomas. H.; ASTRUP, Thomas.F. **Composition and leaching of construction and demolition waste: inorganic elements and organic compounds**. Journal of Hazardous Materials, 2014.

CAMPO, Laura; ADDARIO, Liliana; BURATTI, Marina; SCIBETTA, Licia; LONGHI, Omar; VALLA, Carla; CIRLA, Piero E.; MARTINOTTI, Irene; FOÀ, Vito.; FUSTINONI, Silvia. Biological monitoring of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons by determination of unmetabolized compounds in urine. **Toxicology Letters**, v. 162. 2006.

CARNEIRO, Alex P.; BRUM, Irineu A. S. de; CASSA, José C. S. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção**: Projeto Entulho Bom. Salvador: Editora da Universidade Federal da Bahia (EDUFBA), 2001.

CASTRO, Danielle B. de. **Estudo em modelo físico 1D e 3D de remediação eletrotécnica com uso de tensoativo em solo argiloso contaminado com óleo cru**. 2010. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

CASTRO, Luciana N. de. **Reciclagem à Frio in situ com Espuma de Asfalto**. 2003. 156 f. Dissertação (Mestrados em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

COELHO, Johnny G. M.; MONTEIRO, Luany J. P.; SOUSA, João G. M.; DIAS, Carmen G. B. T. Asfalto ambientalmente correto: uma nova tendência de mercado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 39, 2011. Blumenau. **Anais Eletrônicos...Juiz de Fora: ABENGE**, 2011. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2011/sextoestec/art1889.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES - CNT. **Pesquisa CNT de rodovias**, 2013. Disponível em: <<http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/index.aspx>> Acesso em: 19 jun. 2014.

COTTA, Jussara A. O.; RESENDE, Maria O. O., LANDGRAF, Maria D. **Avaliação de solventes de extração por ultrassom usando-se cromatografia líquida de alta eficiência para a determinação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em solos contaminados**. Química Nova, São Paulo, v. 32, n. 8, out. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v32n8/v32n8a09.pdf>>. Acesso em: 03 ago. 2014.

D'ANTONA, Daniela M. G.; FROTA, Consuelo A. da. Estudo de Misturas Asfálticas com Ligante Modificado pelo Polímero EVA para Pavimentos Urbanos de Manaus - AM. **Polímeros**, Manaus, v. 21, n. 1, 2011. Disponível em: <<http://www.readcube.com/articles/10.1590/S0104-14282011005000007>>. Acesso em: 12 ago. 2014.

DEGANI, Ana Luiza G., CASS, Quezia B., VIEIRA, Paulo C. **Cromatografia, um breve ensaio**. Química Nova Escola, Campinas, n.7, 1998. Disponível em: <<http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc07/atual.pdf>>. Acesso em 10 ago. 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA ESTRUTURA DE TRANSPORTES, DNIT. **Manual de Pavimentação**, 2006. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/Manual\\_de\\_Pavimentacao\\_Versao\\_Final.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf)>. Acesso em 21 jul. 2014.

FERNANDES, Paulo R. N. **Caracterização de ligante asfáltico brasileiro e avaliação da presença de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs)**. 2007. 86 f. Dissertação (Mestrado em Química Inorgânica) - Universidade Federal do Ceará (UFCE), Fortaleza - CE, 2007.

GRIGIO, Gledson C.S. **Estrutura de Gestão Ambiental na Fase Pós-Aprovação da Avaliação de Impacto Ambiental: Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas**. 2010. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, São Paulo, 2010.

IDATE, Atul Ashok; KULKARNI, Sushma Shekhar. Utilization of Industrial Waste in Pavement. **Current Trends in Technology and Science**. Índia, n. 3, 2014. Disponível em: <<http://www.ctts.in/assets/upload/7959ctts-340106%20vol-3%20iss-4.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2014.

INFANTE, Ana S. F.; LIZCANO, Fred A. R.; BARRERA, Diana. H.; JÍMENEZ, Christian.; BOHÓRQUEZ, Natalia. Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente. **Revista Ingeniería e investigación**, Bogotá, v. 27, n. 3, dez. 2007. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/643/64327302.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2014.

NETTO, Annibal D. P.; MOREIRA, Josino C.; DIAS, Ana E. X. O.; ARBILLA, Graciela; OLIVEIRA, Luiz F. V. F.; OLIVEIRA, Anabela S.; BAREK, Jiri Barek. Avaliação da contaminação humana por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e seus derivados nitrados (NHPAS): uma revisão metodológica. **Química Nova**, Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <<http://www.s bq.org.br/publicacoes/quimicanova/qnol/2000/vol23n6/09.pdf>>. Acesso em 26 dez 2014.

NUNES, Kátia. R. A. **Avaliação de Investimentos e de Desempenho de Centrais de Reciclagem para Resíduos Sólidos de Construção e Demolição**. 2004. 275 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2004.

OLIVEIRA, Edieliton. G de; MENDES, Osmar. **Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição: estudo de caso da Resolução 307 do CONAMA**. Disponível em: <[http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/GERENCIAMENTO%20DE%20RES%20C3%84DUOS%20DA%20CONSTRU%20C3%87%20C3%83O%20CIVIL%20E%20DEMOLI%20C3%87%20C3%83O%20-%20ESTUDO%20DE%20CASO%20DA%20RESOL\\_\\_\\_\\_.pdf](http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/GERENCIAMENTO%20DE%20RES%20C3%84DUOS%20DA%20CONSTRU%20C3%87%20C3%83O%20CIVIL%20E%20DEMOLI%20C3%87%20C3%83O%20-%20ESTUDO%20DE%20CASO%20DA%20RESOL____.pdf)>. Acesso em: 16 jun. 2014.

PETUCCI, Eládio G.R. **Materiais de Construção**. 11 ed. São Paulo: Globo, 1998.

PINO, V., AYALA, J.H, AFONSO, A.M, GONZALEZ, V. **Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in marine sediments by high-performance liquid chromatography after microwave-assisted extraction with micelar media.** Journal of Chromatography, 2000.

POPPI, Nilva Ré. **Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e outras substâncias orgânicas na combustão de madeira para produção de carvão e em particulado atmosférico da cidade de Campo Grande /MS.** Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química, 2000.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. Prefeitura cadastra empresas para reciclagem de resíduos asfálticos. **Agência de Notícias da Prefeitura de Curitiba,** Curitiba, 16 jan. 2014. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/prefeitura-cadastra-empresas-para-reciclagem-de-residuos-asfalticos/31728>>. Acesso em 17 mai. 2014.

RAMALHO, Adeilzia Maria Coêlho. **Análise das tensões e deformações em camada de pavimentos flexíveis.** 2010. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil na área de Geotecnia) - Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Pernambuco, 2010.

SENS, Fabricio. **Análise das características do revestimento asfáltico aplicado nas vias urbanas de Lages – SC.** 2012. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Civil. Universidade do Planalto Catarinense, Lages, 2012.

SISINNO, Cristina L. S.; NETTO, Annibal D. P.; REGO, Eliane C. P. do; LIMA, G. S. V. Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em resíduos sólidos industriais: uma avaliação preliminar do risco potencial de contaminação ambiental e humana em áreas de disposição de resíduos. **Caderno de Saúde Pública,** Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, abr. 2003. Disponível em: <<http://www.scielosp.org/pdf/csp/v19n2/15434.pdf>>. Acesso em: 29 jul. 2014.

SOUZA, Wesley R. de. **Análise de hidrocarbonetos policíclico aromáticos - HPAs - em sedimentos do Ribeirão do Funil na região de Ouro Preto.** 2007. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Ouro Preto, 2007.

SPECH, Luciano P.; PIRES, Gustavo.M; VITORELO, Thiago; HISRH, Fábio; BERGMAM, Eduardo. C; TIEFENSEE, Marisa. D. Utilização de material fresado como camada de pavimento: Estudo Laboratorial e aplicação em campo. In:

REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 42, 2013. Gramado. **Anais Eletrônicos...** Rio de Janeiro: ABPv, 2013. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2014/01/trabalho-08.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2014.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Method 8100:** Polynuclear Aromatic Hydrocarbons. 1986. Disponível em: <<http://www.epa.gov/solidwaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/8100.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2015.

VASCONCELOS, Kamilla L.; SOARES, Jorge B. Influência do percentual de fresado e do envelhecimento de curto prazo na dosagem de misturas asfálticas recicladas a quente. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 18, 2004. Florianópolis. **Anais Eletrônicos...** Rio de Janeiro: ANPET, 2004. Disponível em: <[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:hLhze9CdwIYJ:www.det.ufc.br/index.php%3Foption%3Dcom\\_docman%26task%3Ddoc\\_download%26gid%3D59%26Itemid%3D143+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:hLhze9CdwIYJ:www.det.ufc.br/index.php%3Foption%3Dcom_docman%26task%3Ddoc_download%26gid%3D59%26Itemid%3D143+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br)>. Acesso em: 15 jul. 2014.