

Sustentabilidade na arquitetura e o estudo dos compostos orgânicos voláteis emitidos por pisos vinílicos em residências

André Luiz de Oliveira Chaves

Arquiteto e urbanista, Instituto de Arquitetura da Universidade de São Paulo, Avenida Trabalhador São Carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos, SP, (16) 33739315, andreochaves@yahoo.com.br

Eduvaldo Paulo Sichiari

Engenheiro de materiais, Instituto de Arquitetura da Universidade de São Paulo, Avenida Trabalhador São Carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos, SP, (16) 33739294, sichieri@sc.usp.br

Guilherme Miola Titato

Químico (bacharel), Laboratório de Cromatografia do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, Avenida Trabalhador São Carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos, SP, (16) 33739966, guilherme@iqsc.usp.br

Alvaro José dos Santos Neto

Farmacêutico-bioquímico, Laboratório de Cromatografia do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, Avenida Trabalhador São Carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos, SP, (16) 33738657, alvarojsn@iqsc.usp.br

Fernando Mauro Lanças

Químico (bacharel), Laboratório de Cromatografia do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, Avenida Trabalhador São Carlense, 400, CEP 13566-590, São Carlos, SP, (16) 33739983, flancas@iqsc.usp.br

Resumo

O presente trabalho é resultado de pesquisa que investigou sobre as emissões de compostos orgânicos voláteis (COVs) por revestimentos vinílicos, aplicados em pisos, no ambiente interno de residências. Para isso, adotou-se uma metodologia, na qual foram analisadas amostras destes revestimentos por cromatografia a gás acoplada a espectrometria de massas. Os resultados obtidos mostraram COVs que podem ser liberados no ar como ésteres, éter glicólicos, alcanos, alcenos, alcoóis, cetonas e antioxidantes, os quais podem causar sintomas como irritações de pele, garganta e dificultar a respiração. Por fim, foram analisados os limites máximos de exposição à estas substâncias, segundo normas internacionais.

Palavras-chave: compostos orgânicos voláteis, pisos vinílicos, edifícios residenciais.

Desde o final do século XIX, durante a Arquitetura Vitoriana, a contaminação do ar interno em decorrência dos revestimentos de piso era um fato de importância pública. De acordo com Aposporos (2008), naquela época, os germes e poeiras, que penetravam por baixo de carpetes e tapetes, proliferavam por falta de limpeza adequada e eram lançados no ar interno dos edifícios a cada movimento das pessoas, trazendo-lhes problemas de saúde. Com isto, estes revestimentos tradicionais foram aos poucos sendo substituídos por novos revestimentos como linóleo, cortiça e borracha (conhecidos como pisos resilientes), que eram mais fáceis de limpar, instalar e resistiam bem ao tráfego de pessoas.

Ao longo dos anos, com o avanço tecnológico, estes revestimentos passaram a ser aperfeiçoados pelos fabricantes e a atender às exigências funcionais como segurança, habitabilidade e durabilidade, impostas pelos ocupantes e construtores dos edifícios, ao

mesmo tempo em que atendiam às exigências estéticas, impostas pela arquitetura. Neste caso, o piso resiliente que melhor respondia a tais exigências era o linóleo, produzido com variedade de cores e estampas, o qual passou a chamar a atenção de arquitetos e designers de interiores, no início do século XX, e a figurar em projetos de arquitetos renomados como Walter Gropius, Mies Van Der Rohe e Le Corbusier.

Podem ser citados alguns casos de aplicação do linóleo em residências projetadas por Le Corbusier, como os edifícios da Villa Fallet, na Suíça, em 1905 (BROOKS, 1997) e da Villa Stein, França, em 1927 (GANS, 2006), e em 1926, nas casas de metrado da Escola Bauhaus, em Dessau, Alemanha, projetadas por Walter Gropius (ASCHENBECK; FRANKE, et al, 2001). Em 1927, o linóleo esteve presente em moradias projetadas por Mies Van Der Rohe, Walter Gropius, Le Corbusier e Pierre Jeanneret, no conjunto



Figura 1 (topo): Revestimento linóleo em um ambiente do Pavilhão de Barcelona, obra de Mies. Fonte: ARGAN. Arte moderna. Companhia das Letras, S.P., 2001.

Figura 2: Revestimento linóleo em um ambiente do Armstrong DLW Linoleum, Le Corbusier house. Fonte: manufacturer: Armstrong DLW, Germany > Collections > Products > Articles > Philosophy <armstrong.de/boden>.

habitacional Weissenhof Estate, construído para a exposição de Stuttgart (SIEDLUNGSHÄUSER, 2011). Schulze & Windhorst (2012) também revelam que o piso foi aplicado em obras arquitetônicas de Mies, como no Pavilhão de Barcelona, na Feira Mundial de 1929; na Tugendlat House, na Tchecoslováquia em 1930, e nas torres de apartamentos da Lake Shore Drive, em Chicago, Illinois, EUA, em 1950.

Entretanto, em 1941, durante a Segunda Guerra, o linóleo começou a perder prestígio ao ser aplicado como revestimento no convés de navios de guerra da Marinha dos EUA, pois era considerado um produto muito inflamável (BEACH, 1955). Associado a este fato, as desvantagens deste material passaram a ser melhor conhecidas, como a fragilidade à maioria dos produtos químicos de limpeza, que afetam as suas propriedades antibacterianas; a suscetibilidade aos danos que podem ser causados pela água; e a facilidade de reter umidade, quando ele é aplicado sobre contrapiso de concreto nos edifícios (JESTER, 2014).

Com isto, o poli(cloreto de vinila), denominado como vinil ou PVC, elaborado pela primeira vez por Waldo Semon em 1926, passou a substituir o linóleo na aplicação como revestimento de pisos, pois além de ser mais barato e menos inflamável, apresenta maior resistência aos produtos químicos de limpeza, à água e à umidade; é um material resiliente como o linóleo, com capacidade semelhante de recuperar a forma original após sofrer choque ou deformação (APOSOROS, 2008). Além do que, o revestimento vinílico apresenta boas características de durabilidade e de versatilidade, oferecendo várias opções de cores e desenhos (SICHIERI, FERREIRA, CARAM et al, 2005).

Nos anos 1950 e 1960, em pleno Modernismo, arquitetos e designers de interiores perceberam os ganhos nas propriedades do novo material e assim passaram a especificá-los em programas de necessidades que demandavam o uso de pisos resilientes, duráveis e fáceis de higienizar, como era o caso dos projetos de hospitais, escolas, ou qualquer outro edifício com grande movimentação de pessoas. De acordo com Ford (1945), havia também a qualidade estética dos revestimentos vinílicos, que incorporavam designs novos, com padrões abstratos e geométricos, além de combinações de cores diferentes, havendo destaque para as estampas xadrez e listradas.

Mudanças na composição do revestimento

A partir dos anos 1950, muitas das qualidades demonstradas pelos revestimentos à base de PVC referiam-se às suas composições, nas quais era utilizado o amianto como principal componente de carga além de ligantes à base de resinas e solventes orgânicos. Com isto as empresas conseguiam produzir placas leves, brilhantes, e em uma ampla gama de cores (FRIEDMAN, 2013), além de que a adição do amianto na composição dos produtos de revestimento fazia com que eles obtivessem boa resistência ao fogo, calor e agentes químicos (ARMSTRONG, 2013).

Entretanto, anos depois, pesquisas indicaram que o amianto oferecia riscos à saúde humana, pois o material é composto por fibras tão pequenas que ao serem suspensas no ar não são vistas pelo olho humano e podem ser inaladas sem que as pessoas percebam. Por isto, as pessoas que trabalhavam na linha de produção dos revestimentos vinílicos sempre estavam sob o risco de inalar partículas de amianto durante a jornada, e como resultado tinham uma chance maior de desenvolver doenças respiratórias, incluindo o câncer. Assim, a partir de 1980, foi proibido o uso de amianto na composição destes revestimentos e em seu lugar passou a ser usada a fibra de vidro (FRIEDMAN, 2013).

A mudança na composição dos revestimentos vinílicos eliminava os riscos de intoxicação, mas não interferia em suas propriedades que há alguns anos antes haviam sido aperfeiçoadas, no que diz respeito ao desempenho antiderrapante e redutor de ruído, tornando-os mais solicitados no mercado internacional. Deve ser destacado que em 1975, foi introduzido o tratamento com camada de poliuretano na superfície dos revestimentos, para facilitar a limpeza do piso instalado, reduzir os custos de manutenção e o impacto sobre eles (WAKS e ROQUES, 2012).

A melhoria das propriedades mecânicas somadas à característica de isolamento termo-acústico incluíam os revestimentos vinílicos entre os produtos *sintéticos* para forração e acabamento mais solicitados por projetistas e construtores para a selagem dos edifícios, pois, de acordo com Brickus e Neto (1998), com o movimento mundial de conservação

de energia iniciado nos anos 1970, passou-se a adotar produtos que vedassem melhor os ambientes fechados, melhorando a eficiência dos aparelhos de refrigeração e aquecimento, principalmente nos países desenvolvidos localizados em clima frio.

Revestimentos vinílicos no Brasil

A introdução do revestimento de piso vinílico no mercado brasileiro e na arquitetura brasileira ocorreu durante a construção de Brasília, no final dos anos 1950, sendo utilizado na maioria dos edifícios públicos da capital. Entretanto, nas três décadas seguintes, não houveram mudanças no mercado nacional de pisos, que era dominado por componentes de madeira, pedra e cerâmica. Além disso, poucos produtos vinílicos importados chegaram neste período, em razão do difícil momento econômico que o país atravessava e da crise internacional do petróleo instalada nos anos 1970, o que impactava no custo da matéria prima destes produtos (INSTITUTO DO PVC, 2013).

Figura 3: Projeto da arquiteta Monalisa Leal o revestimento de piso com manta vinílica que absorve o ruído a até 18 decibéis, sobre resina autonivelante. Fonte: (MELLO, 2014).

Assim, a partir dos anos 1990, o mercado nacional de pisos viveu um período de grandes transformações. A abertura às importações e a valorização do Real permitiram a introdução de novos pisos, como foi o caso dos laminados de madeira, dos carpetes elaborados com novos processos e especialmente dos revestimentos vinílicos, em forma de placas e mantas, com diferentes composições e grande variedade de estampas e cores, a ser detalhado no presente artigo. Por outro lado, as empresas nacionais que haviam iniciado as atividades para aumentar a produtividade em suas unidades industriais tiveram que reduzir seus preços.

Exemplos de utilização de revestimentos vinílicos em edifícios considerados marcos arquitetônicos no país são a manta da linha Paviflex Chroma, marca Tarkett, na área de piso de uma enfermaria, na reforma do Hospital Israelita Albert Einstein, projeto do arquiteto Rino Levi, construído em SP entre 1958 e 1971 (TARKETT-FADEMAC, 2014), e





Figura 4: O revestimento garantiu rapidez na instalação e proporcionou resistência adequada à demanda do ambiente, no Edifício Martinelli, SP. Fonte: <aecweb.com.br/prod/cont/m/allura-flex_8446_16552_9857>.

a aplicação de placas e régulas da linha Allura Flex, marca Forbo, na área de piso dos últimos cinco andares do quase centenário Edifício Martinelli, em São Paulo, pelo escritório do arquiteto Paulo Lisboa (MELLO, 2014).

Em 2004, o setor constatou uma nova tendência para pisos vinílicos e o crescimento destes produtos foi retomado no mercado brasileiro de pisos, graças a fatores como conforto térmico, acústico, facilidade de manutenção, entre outros. Por outro lado, inovações no processo de fabricação tornaram ainda melhores o acabamento e a sensibilidade ao toque, tornando muito difícil a diferenciação visual entre um piso vinílico e um piso de madeira. Entretanto, no Brasil, ainda é predominante a utilização da cerâmica entre os pisos, devido às características climáticas e à cultura de nossa sociedade (ABIPLAST, 2012)

Ciclo de vida do revestimento de vinil

A avaliação do ciclo de vida (ACV) de um produto identifica toda a energia e os impactos ambientais significativos no decorrer de sua fabricação, distribuição, utilização, manutenção e descarte. No caso do revestimento vinílico, a ACV demonstra que ele assume duas situações paradoxais, pois, de um lado beneficia o meio ambiente ao ser

extremamente durável e não precisar ser substituído com a mesma frequência que outros pisos, como o linóleo e a cerâmica, demandando menos energia e recursos para ser produzido. Por outro lado, o seu processo de produção representa alto risco para os fabricantes e o meio ambiente, em razão das substâncias tóxicas usadas na sua composição. Mas, tal questão só pode ser compreendida quando se sabe como o vinil é produzido.

De acordo com o Vinyl Institute (2009), o poli(cloreto de vinila) é produzido a partir da reação em fase gasosa de etileno e cloro, a qual inicialmente gera o dicloreto de etileno (EDC), o qual é submetido a alta temperatura e pressão para produzir o monômero cloreto de vinila (VCM), que é então polimerizado para resultar em poli(cloreto de vinila). Depois a resina é misturada com modificadores selecionados e aditivos tais como plastificantes, estabilizantes térmicos, lubrificantes, antioxidantes e corantes, para que o produto final tenha o desempenho pretendido.

O processo de mistura destes componentes acontece em misturador de alta velocidade do tipo batedeira, até que a temperatura de massa atinja 80 - 90°C. Os poros na massa da resina favorecem a incorporação dos aditivos líquidos, os quais são lentamente adicionados à massa

que é misturada a baixa velocidade. Após esta absorção dos líquidos, a velocidade é novamente aumentada para a adição de cargas minerais, e a mistura é descarregada quando a temperatura atinge 110 - 120 °C. Então, a mistura é aquecida até fundir e apresentar consistência pastosa, sendo em seguida submetida à operação de calandragem para resultar em lâminas que são gravadas em relevo e cortadas em placas com dimensões padronizadas, então arrefecidas e embaladas (RODOLFO; NUNES e ORMANJI, 2006).

Após ser finalizado este processo, o revestimento fica composto basicamente de 36% de resina de PVC; de 42% de carga como carbonato de cálcio e de 22% de aditivos (CLAUSEN, HANSEN, GUNNARSEN et al., 2004). Quanto às funções específicas de cada aditivo, o lubrificante reduz a barreira ao movimento entre a resina de PVC fundida e os demais componentes, sem alterar suas propriedades; o antioxidante impede ou retarda o processo de degradação da resina de PVC por oxidação; o estabilizante térmico controla a formação de ácido clorídrico que poderia comprometer o desempenho do produto final; e o corante ou pigmento atua na estética do produto ou melhora a estabilidade da resina de PVC à radiação UV (RODOLFO; NUNES e ORMANJI, 2006).

Quanto aos aditivos plastificantes, estes agem diminuindo a intensidade das interações entre as cadeias de PVC, deixando a resina vinílica *maleável*. Neste tipo de aplicação, o plastificante mais utilizado é o composto orgânico dioctil ftalato (DOP) ou di (2-etilhexil) ftalato (DEHP) (RODOLFO; NUNES e ORMANJI, 2006), o qual é fisicamente incorporado à resina de PVC (ZAIONCZ, 2004) e, portanto, pode ser volatilizado quando a resina é submetida às altas temperaturas durante o processamento do produto por calandragem (RODOLFO; NUNES e ORMANJI, 2006). Por ser uma substância tóxica, o plastificante DOP representa consideráveis riscos à saúde humana e ao ambiente (THORTON, 2002).

Outros aditivos como o lubrificante e o antioxidante que podem ser, respectivamente, hidrocarbonetos e fosfitos, embora em quantidade menor que o DOP, também são compostos orgânicos voláteis. Quanto à cola usada para fixar o revestimento vinílico no piso, esta é à base de tolueno, derivado monometilado do benzeno relativamente volátil

(pressão de vapor = 40 mm Hg a 31,80°C), cujos vapores são inflamáveis e produzem efeitos irritantes nos olhos e trato respiratório.

Segundo Jones (1999), as concentrações de COVs são muito maiores em edifícios novos ou após reformas, e isso ocorre porque muitos compostos são emitidos para o ar em maiores proporções em um curto período de tempo logo após a aplicação do produto, com decaimento rápido e exponencial das emissões que, após esse período inicial, prosseguem em menores concentrações. No caso do revestimento vinílico, a maioria destes COVs pode ser liberada durante o seu processo de colagem, pois, de acordo com a Tarkett-Fadamac (2014), neste procedimento existe um tempo entre 24 e 72 horas, chamado tempo de secagem, após o qual o revestimento poderá ser colocado em uso normal.

Encerrando-se esta análise de ciclo de vida, Gesimondo e Postell (2011) afirmam que as mantas e placas de revestimentos vinílicos, que contêm plastificantes, produzem substâncias tóxicas quando são queimadas. Com isto, contribuem mais para o impacto ambiental, quanto a ecotoxicologia, poluição atmosférica, destruição do ozônio e mudanças climáticas globais, do que os pisos com materiais alternativos como cortiça e linóleo. Entretanto, o ciclo de vida dos componentes vinílicos é de 18 anos e o ciclo de vida dos componentes com cortiça e linóleo é de 50 anos.

Os efeitos dos COVs sobre a saúde humana

A exposição aos COVs em concentrações elevadas pode levar a irritação dos olhos e do trato respiratório, além de causar reações de sensibilidade nos olhos, pele e pulmões. Num estudo experimental, Otto et al (1992) observaram que indivíduos expostos a uma mistura contendo 22 COVs em concentrações de 25 µg/m³ desenvolveram sintomas de enxaquecas, sonolência, fadiga e confusão. Em concentrações muito elevadas (≥ 188 µg/m³), COVs como o tolueno podem causar sintomas de apatia, vertigens, tonturas e confusão. Entretanto, tais sintomas podem evoluir para convulsões, coma e possivelmente morte, se o indivíduo é exposto a concentrações superiores a 35000 µg/m³ (SANDMEYER, 1982). Contudo estas concentrações nunca foram observadas em ambiente não industrial (MARTINS, 2003).

Embora as pesquisas internacionais, há décadas, revelassem os efeitos deletérios destas substâncias à saúde humana, até o final dos anos 1990 considerava-se que apenas uma boa ventilação era o suficiente para a manutenção da qualidade do ar interno (QAI) aceitável, uma vez que apenas os ocupantes do ambiente fechado eram tidos como emissores de poluentes, devido à expiração de gás carbônico. Com o passar dos anos houve uma mudança desta visão, já que se reconheceu que a presença dos poluentes nesses ambientes estava relacionada não só com os ocupantes e suas atividades, mas também com os materiais utilizados na construção dos edifícios, com os equipamentos e mobiliário, com os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, e com a qualidade do ar exterior (BLUYSSSEN, 2008).

No entanto, alheios a estes problemas, os revestimentos vinílicos de piso são especificados nos ambientes internos dos edifícios, há mais de meio século, inclusive fazendo parte de obras arquitetônicas no decorrer da história, como já mencionado. Ironicamente, até o presente, mesmo havendo trabalhos científicos como Carlstedt, Jönsson and Bornehag (2012), Borrelli (2007) e Thorton (2002), comprovando os problemas que acompanham o uso do vinil, arquitetos, designers e engenheiros seguem especificando estes componentes sintéticos em seus projetos, valendo-se da grande variedade de soluções e do melhorado desempenho destes componentes, sem terem o conhecimento sobre tais agravantes,

assim como os usuários consumidores em geral.

De fato, as informações que chegam ao mercado sobre estes revestimentos, apenas se referem às suas vantagens tais como as características relacionadas à facilidade, economia e rapidez de instalação; à versatilidade de cores e estampas; à facilidade de adesão sobre pisos existentes; ao fato de serem antialérgicos e não acumuladores de poeira; não degradáveis quimicamente com bases, sais e ácidos; resistentes a quase todos os produtos de limpeza e de fácil manutenção; além de promoverem isolamento termo-acústico e elétrico (SIMÕES E LEITE, 1997).

Adicionalmente, os formatos com que se apresentam, como placas, réguas e mantas, semiflexíveis e flexíveis (figura 5), facilitam suas aplicações em qualquer ambiente interno.

Objetivos

Com base neste contexto, o objetivo da pesquisa foi o estudo quantitativo e qualitativo de compostos orgânicos voláteis presentes em amostras de revestimentos vinílicos para pisos, utilizados no interior de edifícios residenciais, seguida da verificação da influência destas substâncias sobre a saúde dos ocupantes e a qualidade do ar nestes ambientes. Estas verificações, por sua vez, consistem na análise da concentração limite de exposição máxima permissível de COVs conforme critérios estabelecidos por normas

Figura 5: Os diferentes tipos de revestimentos vinílicos que são comercializados. Fonte: Manual geral de instalação da Tarkett-Fadamac, 2014.



internacionais; da identificação das doenças que podem ser causadas pela exposição a estes produtos e do estabelecimento de informações sobre os contaminantes que eles apresentam, de forma a esclarecer os profissionais de arquitetura.

Metodologia

Caracterização dos componentes

Os revestimentos vinílicos, selecionados para os experimentos, pertencem às linhas Paviflex, Residence e Ambienta, da marca Tarkett Fadamac, e foram cedidos pela empresa Pisos Magon Lda, em São Carlos, SP. Os componentes das linhas Essence e Ambienta são flexíveis, em formato de régua, com dimensões de 200 milímetros (mm) x 1220 mm e espessura de 4 mm (TARKETT-FADEMAC, 2014). A peça da linha Paviflex é semiflexível, em forma de placa, com dimensão de 300 mm x 300 mm e espessura de 1,6 mm. Estes produtos são isentos de amianto de acordo com a ABNT NBR 7374:2006.

Preparação das amostras

As amostras foram extraídas do centro das placas de revestimento vinílico e cortadas em pequenos pedaços. Em seguida, conferiu-se o peso das amostras em uma balança eletrônica digital EQQ 410, de alta precisão com 0,0000 dígitos de aproximação, até obterem $30 \text{ mg} \pm 0,1 \text{ mg}$. Definidas as condições, as amostras foram inseridas dentro dos frascos de amostragem através de uma pequena pinça metálica e tampadas, em ambiente com temperatura e umidade controladas, na sala do laboratório.

Para a avaliação qualitativa dos contaminantes foi adotada a técnica de cromatografia em fase gasosa acoplada a espectrometria de massas, com a coleta das amostras por microextração de fase sólida (SPME-GC/MS), por ser a técnica mais eficiente de separação, detecção e caracterização de compostos orgânicos complexos quando comparada com outras técnicas (STASHENKO & MARTINEZ J.R., 2011). Por isto tal técnica tem sido aplicada em pesquisas que buscam identificar os COVs liberados por materiais de construção em ambientes internos, como nos estudos de HIPPELEIN (2006); WADY, BUNTE, PEHRSON et al (2002); NICOLLE, DESAUZIER, MOCHO et al (2009).

Norma de referência

A norma analisada foi a ASTM D6420-99(2004) – Padrão de Método Teste para Determinação de COV por interface direta entre Cromatografia Gasosa e Espectrometria de Massas. O equipamento utilizado foi um cromatógrafo a gás acoplado a um espectrômetro de massas, da marca Shimadzu, modelo GC-17A/QP5050A.

Metodologia analítica utilizada na determinação dos COVs

Para melhor compreensão das técnicas analíticas utilizadas neste trabalho foram definidos alguns termos específicos, como:

- *Micro extração em fase sólida (SPME):* técnica de extração de compostos orgânicos que consiste na exposição direta de uma fibra, contendo uma fase extratora apropriada, com a matriz contendo as substâncias a serem extraídas.
- *Cromatografia a gás com detector de massas (GC-MS):* método físico-químico de separação de compostos baseado nas diferenças de interação das substâncias entre uma fase móvel (gás de arraste) e uma fase estacionária, cuja composição química varia de acordo com a aplicação. Após a separação na coluna, os compostos são detectados em um espectrômetro de massas, que além da informação a respeito do tempo de retenção de cada composto, apresenta um gráfico de massas, onde estão plotados todos os íons e suas respectivas abundâncias.
- *Corrida cromatográfica:* momento a partir do qual é depositada a amostra no cromatógrafo a gás, sendo que o procedimento dentro dele é automático. A corrida termina com as instruções dadas pelo usuário na programação.
- *Headspace (HS):* é o espaço de ar que fica dentro do frasco da amostra. Os COVs, quando presentes na amostra, volatilizam-se e ocupam este local.
- *Analitos:* moléculas dos compostos orgânicos voláteis, a serem analisadas.
- *Dessorção térmica:* é uma tecnologia que utiliza calor para aquecimento da amostra,



Figura 6: Cromatógrafo gasoso e espectrômetro de massas marca Shimadzu referência GCMS-QP5050 cromatógrafo. Fonte: Grupo de pesquisa CROMA, Instituto de Química da USP – São Carlos (2014).

aumentando a volatilidade dos contaminantes de maneira que estes possam ser dessorvidos da matriz sólida onde se encontram.

A metodologia utilizando a técnica de SPME-GC/MS foi realizada no laboratório de cromatografia (CROMA/IQSC-USP) e o principal objetivo (nesta etapa de trabalho) era identificar os analitos voláteis presentes nas amostras de revestimentos vinílicos de piso.

A extração dos COVs através da técnica de SPME foi feita expondo-se a fibra (100% polidimetilsiloxano) durante 10 minutos no headspace do frasco contendo as amostras. Após a etapa de extração, a fibra de SPME foi levada até o injetor do cromatógrafo a gás que se encontrava em uma alta temperatura (280°C), para que houvesse a dessorção térmica dos COVs retidos na fibra. Foi utilizado o modo de injeção *splitless* e o tempo de extração das amostras no injetor foi de 10 minutos. A análise cromatográfica foi então realizada utilizando-se o hélio como gás de arraste e uma coluna cromatográfica DB-5 (5% fenil, 95% polidimetilsiloxano). As dimensões da coluna utilizada foram: 25 metros de comprimento, 0,25 mm de diâmetro interno e 0,25 µm de espessura de filme da fase estacionária. A rampa de aquecimento da coluna cromatográfica foi programada para iniciar a uma temperatura de 35°C, mantida por 5 minutos, depois aumentou-se a mesma linearmente

até 260°C, a uma taxa de aquecimento de 10°C/minuto. O tempo total de corrida cromatográfica, usando-se o gradiente de temperatura descrito, foi de 27 minutos.

Os experimentos de GC-MS foram realizados no modo de varredura (SCAN), com o objetivo de detectar e identificar a maior quantidade de COVs que fazem parte das emissões dos revestimentos vinílicos *Ambienta*, *Essence* e *Paviflex*. Realizou-se a varredura em uma faixa de massas de 30 a 500 daltons. Cada pico cromatográfico obtido foi identificado através da comparação de seus espectros de massas com os espectros catalogados na biblioteca de compostos orgânicos presentes no software do cromatógrafo. O critério de identificação do analito foi de similaridade espectral igual ou superior a 95% quando comparado com o espectro da biblioteca de dados disponível no software do equipamento (*NIST – National Institute of Standards and Technology*).

Resultados e discussões

A figura 7 mostra a separação dos compostos orgânicos da amostra do revestimento da linha *Essence*. Os picos de maiores intensidades detectados são referentes aos compostos *n-butilo-acetato* e *2-metil-propil-éster*, da categoria dos solventes ésteres; ao *butoxi-etanol*, da categoria dos

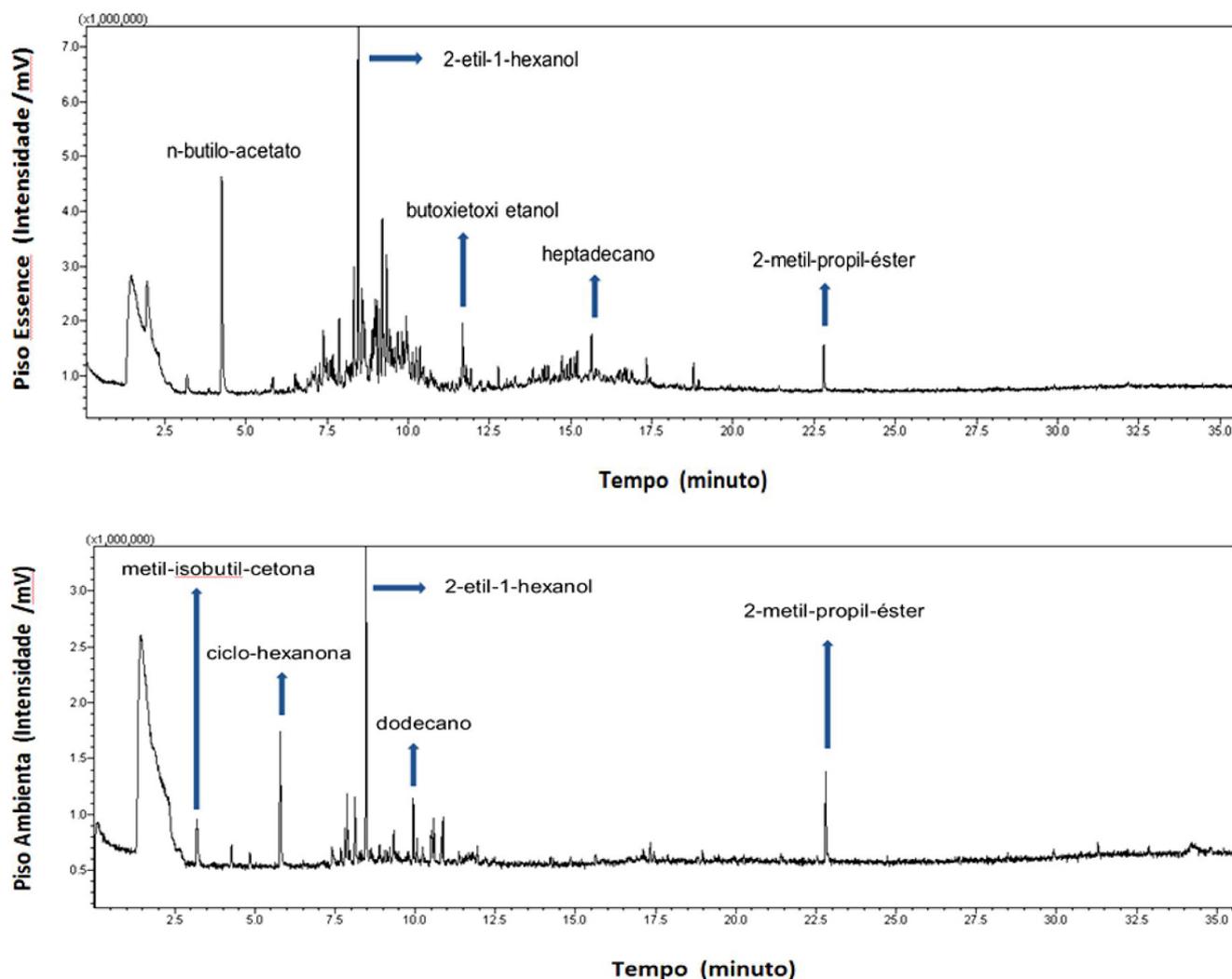


Figura 7 (topo): Cromatograma da amostra do revestimento de piso – *Essence*. Fonte: Laboratório de cromatografia do Instituto de Química/ USP – São Carlos.

Figura 8: Cromatograma da amostra do revestimento de piso – *Ambienta*. Fonte: Laboratório de cromatografia do Instituto de Química/ USP – São Carlos.

éteres de glicol; ao *2-etil-1-hexanol*, da categoria dos alcoóis e ao *heptadecano*, da categoria dos alcanos.

Estas substâncias estão relacionadas aos solventes utilizados para solubilizar as resinas de PVC durante a preparação dos compostos de revestimentos vinílicos dos pisos, junto à aplicação dos aditivos (RODOLFO JR., NUNES, ORMANJI, 2006). No entanto, entre estes solventes há o composto *2-etil-1-hexanol*, que foi a espécie mais abundante da amostra, indicando sua forte presença no revestimento vinílico. O *2-etil-1-hexanol* pode ser convertido em diéster de bis (2-etil-hexil) ftalato (DEHP), o plastificante mais usado na produção de revestimentos vinílicos, pois como se trata de um álcool de cadeia hidrocarbônica longa, os seus ésteres tendem a ter propriedades emolientes (COMPOUND SUMMARY, 2012).

O cromatograma referente à amostra de revestimento da linha *Ambienta* está mostrado na figura 8. Nele foram identificados os compostos *metil-isobutil-cetona* e *ciclo-hexanona*, da categoria das cetonas; *dodecano*, da categoria dos alcanos (hidrocarboneto alifático), *2-metil-propil-éster* e *2-etil-1-hexanol*, também encontrado na análise da amostra *Essence* e aqui novamente presente como a espécie mais abundante.

As substâncias pertencentes às categorias das cetonas, dos éteres de glicol e dos ésteres são solventes fortes, denominados dispersantes, que fazem a dispersão das resinas de PVC durante a mistura com os plastificantes, na produção do revestimento. Por outro lado, a substância da categoria dos alcanos é um solvente fraco, denominado diluente, usado na modificação das características de melhoramento

ou dissolução destes dispersantes (RODOLFO JR., NUNES, ORMANJI, 2006). Quanto ao 2-etil-1-hexanol, como já citado anteriormente, é precursor do plastificante ftalato (DEHP).

Na figura 9, correspondente a análise da amostra do revestimento da linha Paviflex, pode-se observar um número bem menor de analitos em comparação às amostras anteriores, sendo que novamente o composto *2-etil-1-hexanol* mostrou-se ser o mais abundante. Os demais compostos, o *1-undeceno*, da categoria dos *alcenos*; o *undecano* da categoria dos *alcanos*; e o *butil hidroxitolueno* da categoria dos antioxidantes, apresentam picos com baixa intensidade.

Com exceção do 2-etil-hexanol que foi analisado nos casos anteriores, as substâncias pertencentes às categorias dos alcenos e alcanos, ambos da família dos hidrocarbonetos alifáticos, são solventes utilizados como diluentes dos dispersantes, como foi abordado anteriormente, enquanto que o butil hidroxitolueno, geralmente utilizado na prevenção de degradação oxidativa de polímeros (SPECIAL CHEM ADHESIVES, 2007), pode atuar com esta finalidade junto às resinas que compõem o revestimento vinílico.

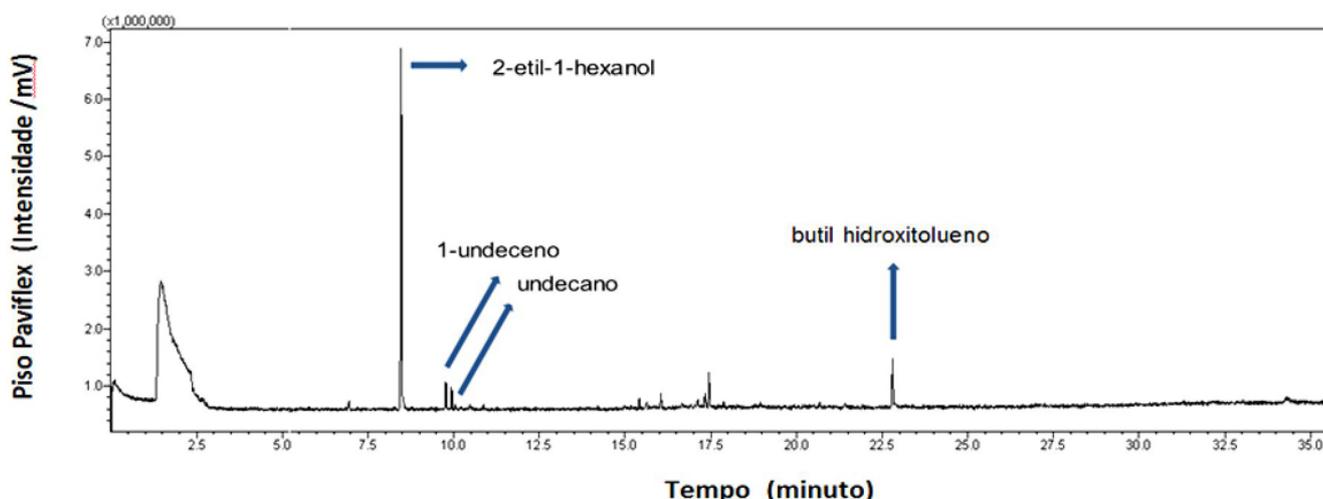
Conforme destacado nos resultados dos cromatogramas, foram emitidos 14 compostos orgânicos voláteis pelas amostras de revestimento vinílico

Essence, Ambianta e Paviflex. Destes compostos o 2-etil-1-hexanol estava presente nas três amostras e o 2-metilpropil-éster estava presente em duas delas, portanto, foram identificados 11 COVs. Outros picos de menor intensidade foram verificados nos cromatogramas das amostras dos pisos, porém, não puderam ser identificados devido a suas baixas intensidades (que se aproximavam do nível do ruído da linha de base) e/ou inadequada resolução cromatográfica.

Entretanto, é necessário, em um trabalho posterior, realizar-se uma análise quantitativa destes analitos mais intensos a fim de verificar se suas concentrações nas amostras são suficientemente altas para causar algum mal à saúde das pessoas que tiverem contato com estes componentes poliméricos nos ambientes fechados. Na tabela 1 são descritos alguns sintomas físicos relacionados à exposição humana aos COVs identificados nos produtos vinílicos analisados neste trabalho.

De acordo com o estudo realizado, estabeleceu-se a hipótese de que os compostos orgânicos voláteis identificados, em altas concentrações, podem ocasionar problemas como depressão do sistema nervoso central, dores de cabeça, náuseas e tonturas, se forem inalados. Por outro lado, o contato direto com estas substâncias pode provocar

Figura 9: Cromatograma da amostra do revestimento de piso Paviflex. Fonte: Laboratório de cromatografia do Instituto de Química/ USP – São Carlos.



Composto Orgânico	CAS#	Classificação/toxidade e danos à saúde	Aplicação na composição das amostras
n-butilo-acetato	123-86-4	Classificado na categoria dos ésteres. A exposição ao n-butilo acetato pode causar ressecamento da pele, irritação, vermelhidão, dermatite e narcose. Também pode causar danos renais, irritação no trato respiratório, secura na garganta, tosse, dificuldade respiratória e lesão pulmonar. Substância depressora e narcótica em concentrações elevadas, que produz uma vasta variedade de sintomas neurológicos. Distúrbios no ritmo cardíaco. Data base HSDB 2013.	Solvente com alto poder de dispersão das resinas de PVC nos revestimentos.
butoxi-etanol	111-76-2	Classificado na categoria dos éteres de glicol. Exposição respiratória a esta substância, muitas vezes resulta na irritação das membranas mucosas dos olhos, nariz e garganta. Exposição cutânea ou oral pode levar à hipotensão, hemólise, acidose metabólica, edema pulmonar e coma.	Solvente forte utilizado como dispersante das resinas de PVC nos revestimentos. Também atua como agente antimicrobiano, estabilizador e com propriedades adesivas.
heptadecano	629-78-7	Classificado na categoria dos alcanos. A exposição a esta substância pode causar irritação dos olhos e da pele. Sua inalação pode causar distúrbio do trato respiratório.	Solvente fraco e diluidor dos solventes dispersantes das resinas de PVC. Atua como lubrificante e ao mesmo tempo como agente anti-corrosivo e tem caráter hidrofóbico.
2-metilpropil-éster	110-19-0	Classificado na categoria dos ésteres. Em concentrações elevadas seu odor pode ser desagradável. Pode causar sintomas de depressão do sistema nervoso central, tais como dor de cabeça, náuseas e tonturas.	Solvente forte e dispersante das resinas de PVC nos revestimentos.
2-etil-1-hexanol	104-76-7	Álcool que têm mais de dois carbonos. Os riscos de inalação são vertigem, dor de cabeça, tosse, dor de garganta e debilidade. Também causam irritação dos olhos e da pele.	Álcool utilizado para a produção do plastificante DEHP, pois os seus ésteres, tendem a ter propriedades emolientes.
dodecano	112-40-3	Classificado na categoria dos alcanos, grupo dos hidrocarbonetos. Apresenta efeitos anestésicos inalatórios, podendo causar asfixia simples. A sua exposição pode levar a efeitos crônicos no sistema nervoso e causar dermatite na pele após exposição prolongada. Data base HSDB 2013.	Utilizado como solvente de diluição dos solventes dispersantes das resinas de PVC nos revestimentos.
metil-isobutil-cetona	563-80-4	Classificado na categoria das cetonas. Nenhum registro de danos à saúde humana.	Líquido incolor, amplamente utilizado como um solvente. Dispersante das resinas de PVC nos revestimentos.
ciclo-hexanona	108-94-1	Classificado na categoria das cetonas. Nenhum registro de danos à saúde humana.	Miscível com a maior parte dos solventes orgânicos comuns.
1-undeceno	821-95-4	Classificado na categoria das alcenos. Substância relativamente tóxica. Provoca irritação dos olhos e da pele. Altamente prejudicial se ingerido, podendo causar irritação do pulmão e sistema respiratório.	Sua reação auxilia na polimerização das resinas de PVC.
undecano	1120-21-4	Classificado na categoria dos alcanos. Substância relativamente tóxica. Provoca irritação dos olhos, da pele, das mucosas, e também é irritante para o trato respiratório.	Solvente fraco e diluidor dos solventes dispersantes das resinas de PVC.
butil hidroxitolueno	128-37-0	Categoria dos antioxidantes alimentares. Possivelmente cancerígeno. Seu uso alimentício foi banido no Japão em 1958, Romênia, Suécia e Austrália; nos EUA é proibido para alimentos infantis.	Reage com os radicais livres, retarda a oxidação e mantém as características do composto. Pode ser adicionado a éteres p/ evitar a formação de peróxidos.

Tabela 1: Toxicidade dos COVs achados nas amostras de revestimento em modo SCAN. Fonte: EPA (Environmental Protection Agency); NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health); e WHO (World Health Organization).

irritações externas no corpo, nos olhos e na pele. Há também pesquisas como Kavlock, Boekelheide, Chapin et al. (2002); Latini, Vecchio e Massaro (2006) e Tickner, Schettler, Guidotti et al. (2001) que revelam os efeitos acumulativos no organismo humano, como câncer e disfunção endócrina, provocados pela exposição prolongada ao DEPH.

Por isto, a continuação deste estudo deverá ser a análise quantitativa de cada uma destas substâncias, de maneira a obter suas concentrações e mensurá-las por meio de comparação com os valores limites de exposição máxima estabelecidos por agências internacionais, demonstrados na tabela 2. Sendo que estes valores são frequentemente atualizados por estas agências, diferente do que acontece com a legislação brasileira através da norma NR°15,

que estabelece limites de tolerância às substâncias tóxicas nos locais de trabalho, mas não é atualizada há 20 anos. Além deste fato, pode-se observar que na tabela 2 não existem limites de exposição máxima para todos os COVs, o que é um fator preocupante, sendo que sem estes valores não há como se prever as consequências da exposição aos compostos orgânicos.

Conclusões

A melhora gradual dos padrões de qualidade e durabilidade dos revestimentos vinílicos nas últimas décadas, alcançada pelo investimento que os fabricantes fizeram em atendimento às necessidades de conforto e satisfação dos seus clientes e à uma maior alternativa de especificações

Tabela 2: Limite de exposição máxima permitida aos compostos encontrados nas amostras. Fonte: OMS (Organização Mundial da Saúde); OSHA (Occupational Safety and Health Administration); e NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health).

Compostos	CAS	OMS		OSHA TWA		NIOSH RELS	
		ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Ésteres							
n-butilo-acetato	123-86-4	150	710	150	700	150	700
2-metil propil-éster	110-19-0	200	700	---	---	---	---
Éter glicol							
butoxi etoxi etanol	111-76-2	50	240	50	240	5	24
Álcool							
2-etil-1-hexanol	104-76-7	---	---	---	---	---	---
Alcanos							
heptadecano	629-78-7	---	---	200	705	---	---
dodecano	112-40-3	---	---	---	---	---	---
undecano	1120-21-4	---	---	500	2000	---	1800
1-undeceno	821-95-4	---	---	---	---	---	---
Cetonas							
metil-isobutil-cetona	563-80-4	100	410	100	410	200	---
ciclo-hexanona	108-94-1	50	200	50	200	25	100
Antioxidante							
butil hidroxitolueno	128-37-0	---	---	---	---	0	10

para os profissionais, também trouxe a presença de substâncias tóxicas para os ambientes internos. Isto vem confirmando que arquitetos e designers de interiores ainda desconhecem a toxicidade destes produtos sintéticos, ou mesmo, não dão a devida atenção à influência que eles exercem na qualidade do ar interno.

Embora a literatura científica registre muitos trabalhos acerca dos efeitos deletérios de compostos orgânicos voláteis sobre a saúde humana, são escassos os trabalhos que analisam estes efeitos dos COVs emitidos por pisos vinílicos. Quando há trabalhos desta natureza, estes enfatizam mais os aspectos físico-químicos destes componentes, como as taxas de emissão de seus COVs. Entretanto, o uso destes revestimentos no interior dos edifícios foi comprovado em algumas pesquisas como fonte de risco à saúde humana, a exemplo de alguns trabalhos citados.

Por isto, foi importante identificar nesta pesquisa quais eram os compostos orgânicos que poderiam ser liberados do revestimento vinílico, que combina resinas provenientes do petróleo, aditivos químicos e carga mineral em sua composição. Como, também, pôde ser observada a influencia negativa que estes compostos orgânicos podem ter na qualidade do ar interno, provocando prejuízos à saúde dos ocupantes, que variam de uma simples irritação de pele, olhos e garganta a um câncer ou disfunção endócrina.

A análise das amostras de revestimento através da técnica cromatográfica em laboratório e de seus resultados, verificados junto a estudos de toxicidade, periculosidade e sintomas ocasionados pela exposição aos COVs, de certa forma, comprovaram que as substâncias identificadas, especialmente o 2-etil-1-hexanol, precursor do plastificante ftalato, merecem atenção especial devido aos seus efeitos, observados durante este estudo. Além do que, a metodologia utilizada neste trabalho servirá como incentivo às pesquisas que tenham o objetivo de verificar a toxicidade de outros materiais de construção, dentro do contexto da sustentabilidade da Arquitetura.

Por isto, modificar a formulação dos revestimentos vinílicos, tornando-os mais ecológicos, passou a ser o principal desafio para as indústrias neste ramo, praticamente de origem europeia, norte-americana e asiática, ao mesmo tempo que especificar os

produtos que tiverem incorporado estes conceitos passou a ser um dever para arquitetos, designers, engenheiros civis e fornecedores, brasileiros. Para que isto ocorra é necessário que se tenha o conhecimento dos contaminantes presentes nestes produtos e das suas consequências ao ambiente interno e à saúde humana.

Referências bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDUSTRIAS DO PLÁSTICO - ABIPLAST. Mercado de piso vinílico é o que mais cresce no Brasil. Abiplast, São Paulo, 2012. <file.abiplast.org.br/Plastinforma/Plastinforma2012/Plastinforma_Semanal_04112.pdf>
- ABNT NBR 7374:2006: Placa vinílica semiflexível para revestimento de pisos e paredes - Requisitos e métodos de ensaio.
- ABNT NBR 16040/ 2012: Ftalatos - Determinação de plastificantes ftálicos por cromatografia gasosa.
- APOSPOROS, Demetra. Resilient Flooring for Old Houses. *Old-House Journal*, Washington D.C., 2008. <oldhouseonline.com/resilient-flooring-for-old-houses/>
- ARGAN, Giulio C. Arte moderna: do iluminismo aos movimentos contemporâneos. Companhia das Letras, São Paulo, 2001.
- ARMSTRONG. Armstrong World Industries Company History. Mesothelioma Cancer Alliance, Alexandria, Virginia, 2013. <mesothelioma.com/asbestos-exposure/companies/armstrong-world-industries.htm#ixzz2tUh5y38J>
- ASCHENBECK; FRANKE, et al. Linoleum: History, Design, Architecture 1882-2000. *Hatje Cantz*, Ostfildern, Alemanha, 2001.
- ASTM D7823 – 13: Standard Test Method for Determination of Low Level, Regulated Phthalates in Poly (Vinyl Chloride) Plastics by Thermal Desorption—Gas Chromatography/Mass Chromatography.
- ASTM D6886 – 12: Standard Test Method for Determination of the Individual Volatile Organic Compounds (VOCs) in Air-Dry Coatings by Gas Chromatography.
- ASTM D6420-99(2004): Standard Test Method for Determination of Gaseous Organic Compounds by Direct Interface Gas Chromatography - Mass Spectrometry.
- BEACH, Edward L. Jr. Run Silent, Run Deep. Henry Holt & Co., New York, USA, 1955.
- BLUYSSSEN, P.M. Management of the indoor environment: from a component related to an interactive top-down approach. *Indoor and Built Environment*, 2008.
- BORNEHAG, C.; SUNDELL, J.; WESCLER, C.; SIGSGAARD, T.; LUNDGREN; HASSELGREN, M. and HA"GERHED-ENGMAN, L. (2004a). The association between asthma and allergic symptoms in children and phthalate diesters in house dust: a nested case control study, *Environ. Health Perspect.*, 112, 1393–1397.

- BORRELLI, Frank. Vinyl Meeting Today's and Tomorrow's Indoor Air Quality Requirements. Ed. Journal of Vinyl & Additives Technology. The Vinyl Institute, Arlington, VA, Usa, 2007.
- BRASIL. Decreto-Lei n.º 10/2007, de 18 de Janeiro de 2007. A Diretiva n.º 76/769/CEE, do Conselho, de 27 de Julho. Lex: Diário da República, 1.ª série - N.º 13 -18 de Janeiro de 2007.
- BRICKUS e AQUINO NETO. A Qualidade do Ar de Interiores e a Química. LADETEC – UFRJ, Rio de Janeiro, 1998.
- BROOKS, Allen. Le Corbusier's Formative Years: Charles-Edouard Jeanneret. University of Chicago Press, Chicago, USA, 1997.
- BURTON, B.T. Volatile organic compounds. In: Bardana, E.J., Montanaro, A. (Eds), Indoor Air Pollution and Health. Marcel Dekker, New York, pp. 127-153, 1997.
- CARLSTEDT, F.; JÖNSSON, B. and BORNEHAG. PVC flooring is related to human uptake of phthalates in infants. Published online: Indoor Air – International Journal of Indoor Environment and Health. Primary Care Research Unit, County Council of Värmland, Karlstad, Sweden, 2012.
- CLAUSEN P., HANSEN V., GUNNARSEN L. et al. Emission of di-2-ethylhexyl phthalate from PVC flooring into air and uptake in dust: emission and sorption experiments in FLEC and CLIMPAQ. Environ. Sci. Technol. 38(9):2531–2537, 2004.
- CHINO, S.; KATO, S.; SEO, J. e KIM, J. Measurement of 2-ethyl-1-hexanol emitted from flooring materials and adhesives. Publ. Journal of Adhesion Science and Technology. Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Japan, 2012.
- CHUCK, Yu e CRUMPT, Derrick. A Review of the Emission of VOCs from Polymeric Materials used in Buildings. The Building Research Establishment, England. Publ. Building and Environment, Vol. 33, No. 6, pp. 357-374, 1998.
- COMPOUND SUMMARY – 2-ethylhexanol. USA: National Center for Biotechnology Information. Identification and Related Records. Retrieved 29 January 2012
- COX, S., LITTLE, J. e HODGSON. Predicting the Emission Rate of Volatile Organic Compounds from Vinyl Flooring. Publ. Environmental Science & Technology, VOL. 36, N.º4, Virginia Polytechnic Institute, USA, 2002.
- COX, S., Little, J. e Hodgson. Measuring Concentration of VOCs in Vinyl Flooring. Journal of the Air & Management Association, London, UK, 2012.
- DOOLITTLE, A. K. Plasticiser technology. New York: Reinhold, 1965.
- ECA Report 25. Strategies to determine and control the contribution of indoor air pollution to total inhalation exposure. European Collaborative Action on Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure, 2006.
- ECA, Indoor Air Quality & Its Impact On Man, Report 18, Evaluation of VOC Emissions from Building Materials, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 1997.
- FRIEDMAN, Daniel, ed. History & Components of Asbestos - Containing Flooring - Armstrong Asphalt Floor Tiles - to mid 1950's. Inspect APedia, Accessed 24 October 2013. <inspectapedia.com/interiors/Floor_Tile_History.htm>
- FORD, James e Katherine Morrow Ford. Desenho de Interiores modernos. Architectural Book Publishing Co. New York. 1945.
- GANS, Deborah, The Le Corbusier Guide. Princeton Architectural Press, 3ª Edition, New York, USA, 2006.
- GESIMONDO, N. e POSTELL, J. Materiality and Interior Construction. John Wilwy & Sons, New Jersey, EUA, 2011.
- GRANDE, M.D. Cromatografia gasosa, Princípios Básicos. SINC do Brasil Scientific Instruments co Instrumentação Científica LTDA, 2012.
- HIPPELEIN, Martin. Analysing selected VVOCs in indoor air with solid phase microextraction (SPME): A case study. Publ. Chemosphere Journal, University Hospital Schleswing-Holstein, Kiel, Alemanha, 2006.
- INSTITUTO DO PVC. PVC na Indústria da Construção. Instituto do PVC, São Paulo, 2013. <institutodopvc.org/hs_construcao/impressao/o_pvc_na_industria_da_construcao.html>
- ISO 16000-9, Indoor Air—Part 9: Determination of the Emission of Volatile Organic Compounds from Building Products And Furnishing—Emission Test Chamber Method, International Organization for Standardization, Geneva, 2006.
- JESTER, T. C. Twentieth-century building materials: History and conservation. Getty Conservation Institute, California, USA, 2014.
- JONES, A. P. Indoor air quality and health. Atmospheric Environment, 33, pp. 4535 – 4564. Elsevier, 1999.
- KATSUMATA; MURAKAMI; KATO; HOSHIDNO e ATAKA. Measurement of semi-volatile organic compounds emitted from various types of indoor materials by thermal desorption test chamber method. Publ. Building and Environment, 43. Keio University, Japan, 2006.
- KAVLOCK, R., BOEKELHEIDE, K.; CHAPIN R.; CUNNINGHAM, M.; FAUSTMAN, E.; FOSTER, P., et al. NTP Center for the evaluation of risks to human reproduction: Phthalates expert panel report on the reproductive and developmental toxicity of di-n-hexyl phthalate. Reprod. Toxicol. 16(5):709-719, 2002.
- LAMPMAN, G.; PAVIA, D.; KRIZ, G., ENGEL, D.; e PAVIA, D. Introduction to Organic Laboratory Techniques. 4th Ed. [S.l.]: Thomson Brooks/Cole, 2006. 797-817 p.
- LATINI, G.; VECCHIO, A. and MASSARO, M. Phthalate exposure and male infertility. Ed. Toxicology 226 (2006) 90–98. Division of Neonatology, Perrino Hospital, Brindisi, Italy, 2006.
- MARTINS, Anabela. Influencia de materiais de revestimento de pavimentos na qualidade do ar interior em termos de Compostos Orgânico Voláteis. Dissertação, Departamento de Química da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Portugal, 2003.

- MARK, Mendell. Indoor residential chemical emissions as risk factors for respiratory and allergic effects in children: a review. Lawrence Berkeley National Laboratory, USA, 2007.
- MELLO, Tais. Eficiência restaurada. AECWeb/ Galeria da Arquitetura, 2014. <galeriadaarquitetura.com.br/projeto/paulo-lisboa_edificio-martinelli/898>
- NICOLLE, Jérôme; DESAUZIER, V.; MOCHO, P.; e RAMALHO, O. Optimization of FLEC-SPME for field passive sampling of VOCs emitted from solid building materials. Laboratoire Génie de l'Environnement Industriel, Ecole des Mines d'Alès, France, 2009.
- OTTO, D., HUNDELL, H., HOUSE, D., MOLHAVE, L., Counts, W. Exposure of humans to a volatile organic mixture. I. Behavioural assessment. Archives of Environmental Health, 47 (1): 23-30, 1992.
- PROJETO DE LEI N.º 6.388, de 2009. Proibição de utilização de substância tóxica que especifica, na confecção de garrafas e copos descartáveis de plástico, fora dos limites estabelecidos. Câmara dos Deputados, 2009.
- RODOLFO JR., NUNES e ORMANJI. Tecnologia do PVC. Publ. Braskem, São Paulo, 2006.
- RUDEL, R. e PEROVICH, L. Endocrine disrupting chemicals in indoor and outdoor air. Publ. Atmospheric Environment, Silent Spring Institute, MA, EUA, 2008.
- SANDMEYER, E.E. Aromatic hydrocarbons. In: Clayton, G.D., Clayton, F.E. (Eds.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vol. 2, 3 Ed. Wiley, New York, pp. 3253-3431, 1982.
- SENJEN, Rye. Pisos Saudáveis e Sustentáveis: selecionando pisos resilientes para o setor europeu de saúde. Publ. Health Care Without Harm, Europa Ocidental, 2012.
- SCHULZE, F., WINDHORST, E. Mies van der Rohe: A critical biography. University of Chicago Press, Chicago, USA, 2012.
- SICHIERI, E. P. ; FERREIRA, O. P. ; CARAM, R. M. et al. Materiais de Construção III: Polímeros na Arquitetura e na Construção Civil. Gráfica EESC-USP, São Carlos, SP, 2005.
- SIEDLUNGSHÄUSER: Die Häuser der Weissenhofsiedlung. Weissenhofsiedlung, Stuttgart, Alemanha, 2011.
- SIMÕES, J.R. e LEITE, B.C. Principais aplicações dos polímeros na Construção Civil. Trikem, São Paulo, 1997.
- SPECIAL CHEM ADHESIVES. Why use Antioxidants? Visitado em 2007. <http://adhesives.specialchem.com/selection-guide/antioxidants-for-adhesives>
- STASHENKO E.E. & MARTINEZ J.R. Preparación de la muestra: um passo crucial para el análisis de GC-MS. Uma publicação trimestral do Instituto Internacional de Cromatografia (IIC) Ciência Cromatográfica, V. 3, N.1, 2011.
- TARKETT-FADEMAM. Manual geral de instalação. Tarkett, Jacaré, SP, 2014.
- TARKETT-FADEMAM. Ficha técnica dos pisos Ambienta, Essence e Paviflex. Ed. Tarkett – The Ultimate Flooring Experience. Jacaré, SP, 2014.
- THORTON, Joe. Environmental Impacts of Polyvinyl Chloride (PVC) Building Materials. Paper for Healthy Buiding Network. Washington, D.C., USA, 2002.
- TICKNER, J.; SCHETTLER, T.; GUIDOTTI, T et al. Health risks posed by use of Di-2-ethylhexyl phthalate (DEHP) in PVC medical devices: A critical review. Ed. American Journal of Industrial Medicine, Volume 39, Issue 1, pages 100–111, 2001.
- XU, Ying. Emissions of Phthalate Plasticizer from Polymeric Building Materials. Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia da Civil da Virginia Polytechnic Institute e State University. VA, USA, 2009.
- XU, Ying; LIU, Z.; PARK, J.; CLAUSEN, P.; BENNING, J. e LITTLE, J. Measuring and Predicting the Emission Rate of Phthalate Plasticizer from Vinyl Flooring in a Specially-Designed Chamber. Publ. Environment Science Technology, N°46. Department of Civil, Architectural and Environ. Engineering, University of Texas, United States, 2012.
- WADY, L.; BUNTE, A.; PEHRSON, C., LARSSON, L. Use of gas chromatography-mass spectrometry/solid phase microextraction for the identification of MVOCs from moldy building materials. Publ. Journal of Microbiological Methods, Department of Medical Microbiology, University of Lund, Sweden, 2002.
- WAKS, Fabienne; ROQUES, Jeanne. Tarkett - a Tale of Entrepreneurs. Les Éditions Textuel, Paris, 2012.
- VINYL INSTITUTE. Uses for Vinyl: Flooring: Overview. Vinyl In Design Web site, 2009.
- ZAIONCZ, Soraia. Estudo do Efeito de Plastificação Interna do PVC Quimicamente Modificado. Dissertação apresentada ao Curso de PG em Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.