

Kai Loh Uemoto é bacharel em química pelo Instituto de Química da Universidade de São Paulo (1972); Mestre e Doutora em Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), respectivamente em 1992 e 1998; Professora convidada do Departamento de Engenharia de Construção Civil, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) desde 2000; Química Pesquisadora do Agrupamento de Materiais de Construção Civil da Divisão de Engenharia Civil do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. (IPT) de julho de 1973 e maio de 1995; Coordenadora da Comissão de Estudo de Tintas para a Construção Civil de 1990 até hoje. Atua na área de desempenho e durabilidade de materiais de construção, com ênfase em tintas. É autora de dois livros e artigos em congressos nacionais e internacionais na área de sustentabilidade.

E-mail: kai.uemoto@poli.usp.br

Paula Ikematsu é tecnóloga em Construção Civil pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo - FATEC (2004). Atualmente é mestranda na Escola Politécnica da USP, Departamento de Construção Civil. Iniciação científica no projeto "Impacto ambiental das tintas imobiliárias". Atua na área de Materiais de Construção, com ênfase em tintas.

E-mail: paula.ikematsu@poli.usp.br

Vahan Agopyan é engenheiro Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1974); Mestre em Engenharia Urbana e de Construções Cíveis pela EPUSP em 1979; PhD (Civil Engineering) pelo King's College da Universidade de Londres em 1982; Professor Titular de Materiais de Construção Civil da EPUSP, onde foi Diretor de 2002-2006; Presidente do Conselho Superior do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN).

Foi Presidente do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP (IEE/USP) no período de 2002-2006. Membro dos conselhos superiores da CAPES/MEC, da FAPESP e do IMT. Foi membro do Conselho Superior e Vice-Presidente do CIB – International Council for Research and Innovation in Building and Construction. Atualmente é Diretor-Presidente do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Atua em desenvolvimento e aprimoramento de materiais e componentes de construção bem como na aplicação do conceito de sustentabilidade da construção civil.

E-mail: vahan.agopyan@poli.usp.br

3.

Impacto ambiental das tintas imobiliárias

Kai Loh Uemoto, Paula Ikematsu e Vahan Agopyan

Resumo

O problema ambiental tem acarretado a necessidade de emprego de materiais de baixo impacto ao meio ambiente. As políticas públicas impuseram requisitos ambientais a inúmeras atividades, sendo a construção civil uma delas. A demanda por produtos ambientalmente menos agressivos tem crescido paralelamente. Os efeitos dos compostos orgânicos voláteis (VOCs) ao meio ambiente motivaram este estudo, que tem como objetivos fazer um diagnóstico do mercado nacional e levantar e fornecer critérios ecológicos nacionais às indústrias de tinta, para que elas possam se adequar, de forma evolutiva, aos teores de VOC propostos internacionalmente. Os resultados obtidos no estudo deverão dar suporte às indústrias, na otimização de formulações de tintas imobiliárias com menor impacto ambiental, e conscientizarão os construtores, os aplicadores e os usuários quanto ao efeito nocivo dos VOC durante a construção, uso e manutenção dos edifícios. Este trabalho discute a metodologia utilizada para a identificação e quantificação dos VOCs emitidos pelas tintas látex, esmalte sintético, vernizes e

solventes, bem como apresenta os principais constituintes emitidos por esses produtos e discutem-se os seus riscos à saúde. Os resultados preliminares obtidos confirmam os dados de literatura, os quais mostram que as tintas contêm ingredientes nocivos ao homem e ao meio ambiente.

1 Introdução

Os produtos usados na pintura de edifícios emitem compostos orgânicos voláteis emitidos (VOCs), que contribuem para a poluição atmosférica, afetam a saúde do trabalhador durante a fase de construção do edifício, como também reduzem a qualidade do ar presente no interior do edifício, prejudicando a saúde dos usuários. Nos países do hemisfério norte, onde o número de edifícios com ar condicionado é muito elevado, essa preocupação já existe há longo tempo.

As agências de proteção ambiental dos EUA, Canadá e da União Européia já impuseram restrições quanto ao volume máximo de VOCs como uma estratégia para prevenir o impacto ambiental. As restrições impostas à emissão de VOC têm tido uma grande influência na inovação de produtos nas indústrias de tinta, inclusive no Brasil. No mundo inteiro, a obtenção de tintas ambientalmente amigáveis tem sido uma das principais linhas de pesquisa, o que levou a mudanças significativas na formulação, produção e aplicação desses produtos. Várias tecnologias estão sendo adotadas com sucesso, como a formulação de produtos sem odor e com menor teor de VOC ou até isentos desse tipo de emissão, com elevado teor de sólidos, com redução da quantidade de solventes aromáticos, com reformulação dos solventes normalmente empregados (HARE, 2000), uso de solventes oxigenados, substituição de pigmentos à base de metais pesados, substituição de produtos de base solvente por emulsões, uso de novos tipos de coalescentes nas tintas de base aquosa e produção de tintas em pó.

Este trabalho apresenta os resultados preliminares obtidos no projeto “Impacto ambiental das tintas imobiliárias”, desenvolvido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em parceria com a Associação Brasileira dos Fabricantes de

Tintas (Abrafati), com recursos da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). O projeto tem como objetivos discutir a questão ambiental na indústria de construção civil, a importância do desenvolvimento de produtos de baixo VOC, levantar e fornecer critérios ecológicos nacionais às indústrias de tintas, para que elas possam se adequar aos teores de VOC propostos internacionalmente, conscientizar o meio técnico sobre os efeitos da emissão desses compostos, durante a execução da pintura e o uso do edifício, e, além disso, desenvolver a metodologia utilizada para identificar e quantificar o VOC de tintas látex, esmalte sintético, vernizes e solventes e apresentar os resultados preliminares obtidos no estudo.

2 O VOC na construção civil

A construção civil também é geradora de poluição ambiental; os edifícios alteram significativamente o meio ambiente durante a fase de construção e durante o seu uso. As atividades no canteiro geram poluição sonora, resíduos de construção, materiais particulados e, no caso dos produtos de pintura, VOC, que constitui uma séria fonte de poluição atmosférica. Existe uma crescente preocupação com os produtos da indústria da construção no que diz respeito à qualidade ambiental (EQ - Environmental Quality). Esses produtos, além de serem avaliados sob o ponto de vista de desempenho, em breve também serão avaliados sob critérios ambientais. A seleção dos materiais de construção deixará de ser feita somente com base em critérios estéticos, de durabilidade ou de custo, mas também estará condicionada a questões como a contaminação do meio ambiente e a toxidez dos produtos (CHEVALIER; LE TÉNO, 1996). Em um futuro próximo, os critérios ecológicos ficarão agregados aos critérios de desempenho, prazo e custo. A questão ambiental se constituirá em um diferencial importante a ser usado como instrumento para divulgação e expansão mercadológica. Mesmo no Brasil, na própria indústria de tintas, para atrair consumidores, alguns fabricantes já divulgam a venda de produtos isentos de emissão de VOC e toxicidade.

O problema ambiental tem sido muito discutido nas últimas décadas. O meio ambiente, a segurança e a saúde ocupacional dos trabalhadores passaram a ser considerados paradigmas da década de 90. A última década foi dedicada à qualidade, simbolizada pelas normas ISO 9000, e as próximas serão direcionadas pela questão ambiental, simbolizadas pelas normas ISO 14000 (meio ambiente) – derivadas da BS 7750 –, que já vêm sendo implementadas em nosso país. Estão em fase de gestação as normas ISO 18000 (segurança e saúde ocupacional), derivadas das normas BS 8800 (SALVI, 2000).

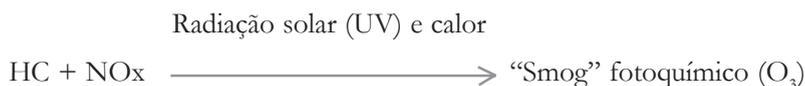
Visando reduzir o impacto ambiental dos edifícios em vários países no mundo, como o Canadá, Estados Unidos, Reino Unido, etc., têm-se desenvolvido sistemas de avaliação do desempenho ambiental (SILVA et al., 2003). No Brasil, também está sendo desenvolvido esse tipo de avaliação, tendo como base metodologias internacionais, mas adaptadas às nossas condições sociais, econômicas e ambientais (SILVA, 2000). A sustentabilidade foi debatida de forma abrangente e multidisciplinar, para uma realidade da América Latina, na 1ª Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, realizada em julho de 2004. A gestão da qualidade revolucionou as construtoras durante a última década e, hoje, a gestão ambiental está sendo considerada de elevada importância.

3 A influência do VOC na qualidade do ar

3.1 O VOC na formação do ozônio

O VOC é definido pela norma ASTM D 3960, “Standard Practice for Determining Volatile Organic Compound (VOC) Content of Paints and Related Coatings”, como sendo qualquer composto orgânico que participa de reações fotoquímicas na atmosfera. As tintas, principalmente aquelas de base solvente, como a tinta a óleo, o esmalte sintético e os produtos usados durante a pintura, emitem na atmosfera hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos, hidrocarbonetos contendo halogênio, cetonas, ésteres, álcoois, os quais contribuem na formação do ozônio troposférico (“smog” fotoquímico), que tem efeitos prejudiciais à saúde, principalmente para a população que faz parte de grupos vulneráveis a esse agente.

Os hidrocarbonetos (VOCs), em combinação com os óxidos de nitrogênio, a radiação UV presente na luz solar e o calor, reagem entre si formando compostos oxidantes, como o ozônio troposférico, que é o responsável pela formação da névoa fotoquímica urbana, conhecida popularmente por “smog” (BREZINSKI, 1995).



O ozônio é considerado pela U.S. Environmental Protection Agency (EPA) um dos principais integrantes do “smog” fotoquímico (vide Figura 1). A composição química do solvente influi nos níveis de reatividade química, produzindo diferentes teores de ozônio. A radiação solar e o calor também influem na formação do ozônio. Assim, essa substância se forma, principalmente, no verão, quando há muito sol e calor (EPA, 1999).



Figura 1 - Efeito do “smog”¹

3.2 O ozônio e o meio ambiente (externo)

O ozônio é uma substância gasosa simples, incolor, presente no ar que respiramos. Cada molécula de ozônio é composta de três átomos de oxigênio, um a mais do que a molécula de oxigênio que respiramos, o que o torna extremamente reativo.

De acordo com a ocorrência do ozônio, ele pode ser considerado “bom” ou “ruim” (Figura 2). Quando encontrado na estratosfera, de 16 km a 48 km da su-

¹ U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Smog – Who does hurt? EPA-452/K-99-001. July 1999. Disponível em: <<http://www.epa.gov/airnow/health/smog.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2005.

perfície terrestre, é “bom”. Esse tipo forma uma camada protetora contra a ação da radiação ultravioleta do sol (UV-b), prejudicial ao ser humano e a outros seres vivos, que leva a casos de câncer de pele, catarata e redução do sistema imunológico (EPA, 1999). Esse ozônio está sendo destruído pela ação de agentes químicos produzidos pelo homem, como os fluorclorocarbonos (CFCs), usados em refrigeradores, condicionadores de ar e sprays, bem como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O) (TAVARES, 1995).

Quando o ozônio está presente na troposfera, ao nível do solo, é considerado “ruim”. É aquele produzido fotoquimicamente pela ação da radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e VOC, causando efeitos sobre a saúde das pessoas e danos ao meio ambiente. Esse tipo pode causar irritação nos olhos e vias respiratórias, e diminuição da capacidade pulmonar. Pessoas que sofrem de problemas respiratórios, como enfisema, bronquite, pneumonia, asma e resfriados, têm maior dificuldade na respiração quando o ar apresenta elevados níveis de ozônio. Os efeitos são maiores durante a realização de exercícios físicos, pois aumenta-se a suscetibilidade dos pulmões, quanto a infecções, alergias e, inclusive, à influência de outros contaminantes. Estudos relacionados à saúde ocupacional mostraram que o ozônio danifica o tecido pulmonar e que os efeitos de sua insalubridade podem ser sentidos dias após o término da exposição, além de terem efeitos neurotóxicos (EPA, 1999).



Figura 2 - Esquema ilustrativo dos ozônios considerados “bom” e “ruim”²

² Traduzido da U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). USA. Disponível em: <<http://www.epa.gov/airnow>>. Acesso em: 3 de set. 2001.

Pelo fato de o ozônio ter caráter altamente oxidante, essa substância tem capacidade de modificar o equilíbrio ambiental de ecossistemas e alterar a bioquímica das plantas, afetando a produção agrícola (SÃO PAULO, 2004).

3.3 Influência do ozônio no índice de qualidade do ar

O grupo de poluentes usados internacionalmente como indicadores de qualidade do ar são dióxido de enxofre (SO_2), materiais particulados (MP), monóxido de carbono (CO), ozônio (O_3) e dióxido de nitrogênio (NO_2). Esses poluentes foram consagrados universalmente devido à maior frequência de ocorrência e aos efeitos adversos ao meio ambiente. Internacionalmente, a concentração de cada um deles está relacionada com o valor índice, que resulta em um número adimensional, referido a uma escala com base em padrões de qualidade do ar. Cada um dos poluentes possui um índice, que recebe uma qualificação. Esse índice define, legalmente, as concentrações máximas de um componente atmosférico, para garantir a proteção da saúde e o bem-estar das pessoas. Os poluentes podem ser primários, emitidos diretamente pelas fontes de emissão, ou secundários, formados a partir de reações químicas entre os poluentes primários e/ou constituintes naturais presentes na atmosfera.

A divulgação da qualidade do ar é feita mediante a utilização de um índice, que foi concebido com base naquele desenvolvido pela Environmental Protection Agency (EPA) dos Estados Unidos. No Brasil, os padrões nacionais de qualidade do ar foram estabelecidos pelo Ibama, através da Portaria Normativa n.º 348, de 14 de março de 1990, e foram submetidos ao Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), em 28 de junho de 1990, e transformados na Resolução Conama n.º 03/90. Conforme o Conama, considera-se “poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia, com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem, ou possam tornar, o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade”. Em São Paulo, os índices de qualidade do ar são divulgados diariamente pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb),

através de sua página eletrônica (homepage), junto com a previsão meteorológica da dispersão dos poluentes para as 24 horas seguintes.

Para uma análise sobre a importância do controle da emissão do VOC para o meio ambiente, tomou-se como exemplo a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Como já discutido anteriormente, o ozônio troposférico (O_3) é criado por uma reação química entre os óxidos de nitrogênio (NO_x) e o VOC, na presença da radiação solar. Os dados dos dois poluentes, relacionados com a presença do VOC, estão apresentados na Tabela 1, em que também são mostradas as faixas de concentração do óxido de nitrogênio e do ozônio, nos diferentes índices de qualidade do ar, junto com as respectivas qualificações e a descrição dos seus efeitos sobre a saúde (SÃO PAULO, 2004). A regulamentação do Conama fixa, para o ozônio, um valor de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para um tempo de amostragem de 1 hora³, para ambos os padrões, o primá-

Índice	Qualificação do ar	Faixa de concentração		Descrição dos efeitos sobre a saúde
		$NO_x (\mu\text{g}/\text{m}^3)$	Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
0-50	Boa	0-100	0-80	Nenhum impacto na saúde
51-100	Regular	101-329	81-160	Requer limitar a exposição de pessoas suscetíveis
101-199	Inadequada	321-1130	161-200	Leve agravamento de sintomas em pessoas suscetíveis e irritação na população sadia
200-299	Má	1.131-2.260	201-800	Decréscimo de resistência física e agravamento de sintomas em pessoas com problemas cardiorrespiratórios. Sintomas gerais em população sadia.
300-399	Péssima	2.261-3.000	801-1.000	Aparecimento prematuro de doenças e agravamento de sintomas. Decréscimo da resistência física em pessoas saudáveis.
400	Crítica	>3.001	>1.001	Morte prematura de pessoas doentes e idosos. Sintomas adversos que afetam a atividade normal de pessoas saudáveis

Tabela 1 - Índice de qualidade do ar: NO_x e O_3

rio e o secundário; e para o óxido de nitrogênio, 320 mg/m³, para um tempo de amostragem de 1 hora³, no padrão primário, e 190mg/m³, no padrão secundário.

Os dados extraídos do Relatório de Qualidade do Ar, no Estado de São Paulo, da Cetesb (SÃO PAULO, 2004), mostram que, nos últimos 5 anos (1999 a 2003), o NO₂ não apresentou tendência de concentração na RMSP e que também não foi observada nenhuma ultrapassagem em relação ao padrão anual (100 mg/m³). Quanto ao ozônio, os dados mostram que nos últimos 5 anos esse poluente ultrapassou o padrão de qualidade do ar em, aproximadamente, 75 dias, ao redor de 20% dos dias do ano (SÃO PAULO, 2004), conforme apresentado na Tabela 2. Um valor elevado de ozônio, além de afetar a saúde do ser humano, modifica o equilíbrio ambiental dos ecossistemas ou altera a bioquímica das plantas (SÃO PAULO, 2004). Os dados apresentados pela Cetesb confirmam a necessidade de se implementarem estratégias de controle de redução de emissões de poluentes precursores de ozônio, como o VOC.

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total
1999	12	8	7	6	0	3	0	8	14	5	7	10	80
2000	5	2	1	8	0	2	2	4	4	17	12	10	67
2001	9	8	17	1	0	2	3	5	7	11	11	4	78
2002	5	3	16	7	2	0	0	6	5	22	6	10	82
2003	6	18	9	7	1	3	1	4	6	8	5	4	72

Tabela 2 - Número de dias de ultrapassagem do padrão de ozônio na RMSP (SÃO PAULO, 2004)

³ Não deve ser excedido mais de uma vez no ano.

3.4 Ambiente interno dos edifícios

A qualidade do ar no interior de edifícios tem grande impacto na saúde e no bem-estar das pessoas. O tema Qualidade do Ar de Interiores (QAI) surgiu na década de 70, quando houve escassez de energia nos países desenvolvidos de clima frio. Nesse período, iniciou-se a construção de edifícios com menor troca de calor entre o ambiente interno e o externo, como forma de redução do consumo de energia (GIODA; AQUINO NETO, 2003). As alterações efetuadas geraram problemas de saúde relacionados com a qualidade do ar no interior dos edifícios, os quais foram denominados como Síndrome de Edifícios Doentes (SED), reconhecida pela Organização Mundial da Saúde (OMS) desde o início da década de 80. Conforme essa entidade, os sintomas mais comuns são irritação e obstrução nasal, desidratação e irritação da pele, problemas na garganta e nos olhos, dor de cabeça e cansaço, o que leva à perda da concentração.

O aparecimento dos problemas de qualidade do ar, provavelmente, foi devido ao aumento dos níveis de poluição na atmosfera, como também devido a mudanças efetuadas na produção dos materiais de construção e nos métodos construtivos. Os materiais usados no interior dos edifícios, principalmente os de acabamento e os mobiliários, são fontes típicas de emissão de poluentes. Essas fontes de poluição são as principais causadoras da má qualidade do ar no interior de moradias e em locais públicos, como ambientes de trabalho, escolas, restaurantes, shopping centers, salas de conferência e outros. Além dos problemas relacionados pela OMS, essas fontes ainda causam danos à saúde como alergia e doenças como asma, que levam à morte prematura. Ambientes saudáveis estimulam idéias e contribuem para a produtividade.

O efeito causado pela emissão de VOC em ambientes internos de edifícios tem sido uma preocupação constante e muito discutido nas últimas décadas. No Brasil os trabalhos sobre o tema foram iniciados em 1992 pelo Laboratório de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico (Ladetec), da Universidade Federal do Rio de Janeiro, em conjunto com o Laboratório de Aerossóis e Gases Atmosféricos (Laga), do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (GIODA; AQUINO NETO, 2003).

Conforme a EPA (1999), os materiais de construção são considerados uma das principais fontes de poluição em ambientes fechados. Internacionalmente, têm sido muito estudada a emissão de VOCs pelas tintas imobiliárias e pelos materiais e componentes de acabamento, principalmente nos países do hemisfério norte e Ásia, onde é comum o uso de ar-condicionado (THAM, 2000; YANG et al., 2001). A maioria dos estudos realizados teve como objetivo o desenvolvimento de metodologias para a caracterização e quantificação desse tipo de emissão no interior dos edifícios, bem como o efeito desses compostos no meio ambiente e na saúde do homem (SATO, 2000; KASANEN, 2000). Os resultados desses estudos mostraram que os VOCs emitidos pelos materiais de construção de acabamento de base polimérica influem na qualidade do ar do ambiente interno de edificações, causando desconforto e danos à saúde dos usuários (POPA; HAGHIGHAT, 2003).

Com relação aos produtos de pintura, a emissão se inicia na fase final de construção, principalmente durante as operações de pintura e secagem, bem como nas primeiras idades de ocupação. As substâncias emitidas durante a execução da pintura podem afetar a saúde do trabalhador, resultando em problemas de saúde ocupacional (SATO et al., 2000) e prejuízos na sua produtividade. As emissões devem ocorrer durante todo o período de ocupação do edifício, pelo fato de estes receberem manutenções periódicas freqüentes, principalmente em ambientes públicos, escolas, escritórios, etc. Os estudos mostraram que a emissão contínua de VOC em ambiente interno, durante anos, pode levar à ocorrência de problemas característicos de SED (SENITKOVA, 2000; YU; CRUMP, 1998). Hoje, no desenvolvimento de novos produtos de construção, já estão sendo considerados os possíveis impactos a serem causados pela emissão de VOCs na saúde e no conforto dos ocupantes dos edifícios, objetivando sempre a obtenção de produtos mais saudáveis (WOLKOFF, 1999).

4 Regulamentação internacional

A discussão sobre a limitação nos teores de VOCs iniciou-se nos anos 80, na Europa e nos Estados Unidos, tendo como objetivo a redução da poluição ambiental

causada por vários setores industriais. Estudo realizado pela EPA, enviado ao Congresso em 1995, demonstrou que produtos de consumo comerciais, como tintas da linha arquitetura e produtos de higiene e limpeza, contribuem, anualmente, com aproximadamente 28% de emissão do VOC. Com base nesses dados e em conhecimentos científicos, quanto à influência dessas emissões sobre a formação do ozônio, foi decidido regulamentar as tintas, por apresentarem uma elevada fonte de emissão de VOCs.

Na indústria de tintas e vernizes existe um consenso global quanto à necessidade de se limitar o teor de VOCs, para reduzir o impacto ambiental, e de existir uma regulamentação global uniforme, principalmente pelo fato de o mercado atual ser globalizado. No entanto, existem diferenças entre os europeus e os americanos quanto ao tipo de solvente considerado como VOC. Para os europeus, todos os solventes são considerados como VOC, já que todos são potencialmente reativos na atmosfera, enquanto, para os americanos, só devem ser considerados VOCs os solventes considerados suficientemente reativos. Assim, solventes como acetona, diclorofluorometano, fluoreto de etila e cloreto de metileno não seriam considerados VOCs de acordo com o consenso americano.

Os Estados Unidos, Austrália e países da União Européia já impuseram regulamentações limitando a emissão de VOC nas tintas da linha arquitetura. A maioria dos estados americanos possui limites regionais próprios quanto ao teor máximo de VOC nos diferentes tipos de produto da linha arquitetura e de manutenção industrial, já que a poluição ambiental é diferente para cada uma das regiões. No Canadá, para contribuir com a redução do nível de ozônio troposférico e de “smog”, o Canadian Paint & Coating Association assinou um acordo voluntário com o Environment Canadá para a redução de VOCs de 45% até 2015.

Na Tabela 3 está apresentada a regulamentação nacional dos Estados Unidos para a emissão de VOC nos revestimentos da linha arquitetura, apresentada pela sua entidade de meio ambiente, a EPA. Os valores de teor máximo de VOC foram extraídos de documento da U.S. Environmental Protection Agency (EPA, 2002), que contempla diferentes categorias de tinta, como para uso interior, exterior, tintas para manutenção industrial, tintas para madeira, telhados, tintas de fundo (anticorrosivos e seladores), etc.

Tipo de produto	Limites VOC (g/L)
Revestimentos antigrafito	600
Revestimentos betuminosos	500
Revestimentos de proteção de concreto	400
Revestimentos de elevada durabilidade	800
Revestimentos lisos, interior e exterior	250
Revestimentos para pisos	400
Revestimentos para sinalização	500
Revestimentos para manutenção industrial	450
Revestimentos multicoloridos	580
Revestimento de proteção para substratos metálicos não ferrosos	870
Revestimentos com textura, interior e exterior	380
Fundo para pré-tratamento (“wash-primers”)	780
Fundo preparador e anticorrosivos (“primers”)	350
Revestimentos termoplásticos para reparo e manutenção	650
Revestimentos para coberturas	250
Revestimentos para prevenção de ferrugem	400
“Stains”, transparentes e semitransparentes	550
“Stains”, opacos	350
“Stains”, baixo teor de sólidos	120
Revestimentos para piscina	600
Revestimentos para marcação viária	150
Vernizes	450
Seladores e tratamentos impermeabilizantes	600

Tabela 3 - Regulamento da U.S. Environmental Protection Agency (EPA) sobre o teor máximo de VOC de tintas e vernizes da linha decorativa/arquitetura

Na Tabela 4 está apresentada a proposta de regulamentação da European Council (2003) para teor máximo de VOC de subcategorias de tintas e vernizes da linha decorativa.

Produto	Tipo	Limites (g/L)	
		Até 01/01/2007	Até 01/01/2010
Interior/fosco (Brilho < 25@60°)	Base água	75	30
	Base solvente	400	30
Interior/brilhante (Brilho > 25@60°)	Base água	150	100
	Base solvente	400	100
Exterior (substrato mineral)	Base água	75	40
	Base solvente	450	430
Interior e exterior (madeira e metal)	Base água	150	130
	Base solvente	300	-
Interior e exterior (vernizes e "stains")	Base água	150	100
	Base solvente	500	400
Fundo anticorrosivo "Primers"	Base água	50	30
	Base solvente	450	350
Fundo preparador	Base água	50	30
	Base solvente	750	750
Revestimento de alto desempenho monocomponente	Base água	140	140
	Base solvente	600	500
Revestimento de alto desempenho bicomponente	Base água	140	140
	Base solvente	550	500
Revestimento multicolorido	Base água	150	100
	Base solvente	400	100
Revestimento com efeito decorativo	Base água	300	200
	Base solvente	500	200

Tabela 4 - Proposta da União Européia, para teor máximo de VOC, para tintas e vernizes da linha decorativa/arquitetura

Na Tabela 5 está apresentada a especificação australiana elaborada pela Australian Paint Approval Scheme (APAS), com os limites de VOC, expressos em

g/L, para produtos *base água*, aplicáveis a partir de 01/01/2003 e de 01/01/2007. A APAS, nessa regulamentação, introduziu o conceito de valor médio e máximo, para permitir aos fabricantes de tinta maior flexibilidade nas formulações. Para cada tipo de produto listado, nenhum deles deve apresentar valor superior ao máximo.

Na Tabela 6 está apresentada a especificação australiana APAS para produtos *base água* sem os critérios para valores médios ou máximos. Na Tabela 7 está apresentada a especificação APAS para produtos *base solvente*. A APAS revisou alguns limites, que estão apresentados com asterisco (*) na tabela. A amônia foi classificada como VOC e a acetona foi excluída. Os limites de VOC revisados, recomendados pela APAS, foram extraídos da publicação do Coatings, Regulations & The Environment (Core) (2003).

Tipo de produto	01/01/2003		01/01/2007	
	Médio g/L	Máximo g/L	Médio g/L	Máximo g/L
Fundo látex para ferro galvanizado	60	60	45	50
Fundo látex para exterior	55	65	55	65
Fundo látex para interior	65	70	60	65
Selador para interior	65	70	50	60
Fundo, exterior, para madeira	50	60	50	60
Tinta interior brilhante	75	90	60	75
Tinta interior semibrilho	70	90	60	80
Tinta interior fosco	65	95	50	75
Tinta interior, acabamento liso lavável	65	95	60	70
Tinta interior, acabamento liso para tetos	55	95	50	50
Tinta exterior brilhante	75	100	65	80
Tinta exterior semibrilho	70	80	60	80
Tinta exterior, acabamento liso e fosco	55	80	45	70
Tinta exterior fosco	50	80	50	80

Tabela 5 - Especificação da APAS com os limites de VOC para produtos *base água*, com critérios de valor médio e máximo

Tipo de produto	Valores de VOC, em g/L	
	01/01/2003	01/01/2007
Tinta látex para coberturas	100	100
Tinta látex para marcação	100	80
Tinta para marcação viária	80	80
Látex pigmentado para pisos	80	50
Tinta de baixo impacto ambiental	5	5
Revestimento de proteção de aço	100	80

Tabela 6 - Especificação da APAS com os limites de VOC para produtos base água

Tipo de produto	Valores de VOC, em g/L	
	01/01/2003	01/01/2007
Esmalte verde exército	550	550
Tinta de fundo verde exército	550	550
Tinta para cobertura, aço galvanizado	450*	400*
Tinta alquídica, interior/exterior, brilhante e semibrilho	450	400
Fundo, interior e exterior	450*	350
Tinta de marcação semibrilho (equipamento)	450*	450*
Esmalte exterior resistente a óleo e solventes	450	350
Fundo resistente a óleos e solventes	400	400
Fundo ("primer"), sem chumbo e cromatos	550*	500
Tinta de marcação viária	450*	450*
Verniz exterior monocomponente multiuso	550*	350*
Verniz interior monocomponente multiuso	500	450
Tinta para painel de gesso	450*	450*
Fundo pigmentado exterior para madeira	450*	350*
Fundo base de fosfato de zinco ("primer"), para metal	550*	350*
Selador interior, base solvente	450	400
Fundo ("primer")	450*	400*
Tinta pigmentada monocomponente para passeios	550	400
Revestimento de proteção para aço	450*	350*
Revestimento de proteção para aço, alquídico	450*	350*

Tabela 7 - Especificação da APAS com os limites de VOC para produtos de base solvente

A análise da regulamentação desses três países mostra que, de modo geral, os limites são fixados por tipo de produto, se base água ou solvente, se exterior ou interior, se decorativo ou de proteção. Observa-se, no entanto, que a regulamentação americana não diferencia produtos de base aquosa de produtos de base solvente (vide Tabela 3). Observa-se que, nos diferentes países, nem sempre foi utilizado um mesmo critério para a fixação dos limites e, além disso, os produtos de cada país nem sempre são equivalentes. De modo geral, pode-se dizer que, internacionalmente, existe uma tendência de fixação de limites para o VOC, expressos em g/L, e que o processo de redução dos teores será evolutivo.

5 Estudo do impacto ambiental das tintas imobiliárias

5.1 Metas do projeto

As metas estabelecidas para o projeto visam levantar e fornecer critérios ecológicos às indústrias de tinta, para que elas possam adequar os teores de componentes orgânicos voláteis (VOC) em tintas imobiliárias, de modo a minimizar o impacto ambiental.

Dentro desse projeto estão sendo desenvolvidas as atividades a seguir.

· **Desenvolvimento de metodologias para a identificação e quantificação:** de VOC de tintas de acabamento, vernizes, silicones, diluentes e produtos utilizados na limpeza de equipamentos de pintura, como thinner, gasolina, benzina e outros solventes.

· **Diagnóstico dos teores de VOC de sistemas de pintura do mercado:** serão selecionadas para o estudo diferentes classes de tinta, comercializadas pelos principais fabricantes do país, as mais vendidas do mercado e com diferentes tipos de acabamento (fosco, semibrilho), resultado das diferenças existentes em suas formulações (VOC alto, médio e baixo).

· **Caracterização dos materiais coletados:** as tintas do estudo devem ser

caracterizadas quanto aos teores de sólidos, veículo (resina) e pigmentos, através de análise química gravimétrica. Esses ensaios fornecem indicações quanto à composição básica das tintas e não fornecem a quantidade real dos constituintes, devido às limitações dos métodos.

· **Identificação e quantificação dos teores de VOC de tintas líquidas:** devem ser realizadas pelo método GC-MS (cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa).

· **Determinação da emissão de VOC de tintas e produtos para pintura, por perda de massa:** este método permite determinar os teores de VOC emitido durante o processo de aplicação e secagem da pintura em obra, e estudar os fatores críticos como temperatura, ventilação, etc. Os produtos ensaiados serão aplicados sobre substratos comuns em edificações, em condições controladas, simulando condições de obra, determinando-se o VOC (g/L) por perda de massa.

· **Identificação e quantificação dos VOC de pinturas:** as tintas de base água e de base solvente que apresentaram valores elevados de VOCs serão aplicadas sobre substratos comuns de construção civil e condicionadas em ambiente fechado. Os VOCs emitidos são coletados por multiadsorventes (Tenax GR e Carbopack), durante períodos predeterminados, e, posteriormente, deverão ser dessorvidos a 330 °C. Os voláteis serão transferidos a uma linha do sistema GC-MS, para análise. Essa técnica é bastante utilizada em estudos da qualidade do ar em interiores (THAM et al., 2000; SATO et al., 2000; KASANEN et al., 2000).

5.2 Materiais e métodos

No estudo foram coletadas do mercado da cidade de São Paulo 50 amostras de produtos constituídos por tinta látex, esmaltes sintéticos, vernizes, solventes e diluentes. Foram analisadas algumas características químicas desses produtos e identificada a composição dos seus VOCs. Nesse trabalho, para mostrar a metodologia de análise dos VOCs, foram escolhidas, aleatoriamente, três amostras de tinta látex e três amostras de esmalte sintético, produzidas por diferentes fabricantes.

5.2.1 Caracterização da composição básica das tintas

Os produtos foram caracterizados quanto ao:

- a) teor de voláteis, determinado pela secagem da amostra líquida, a 110 °C, conforme norma ASTM D 2369-98, “Standard test method for volatile content of coatings”;
- b) teor de pigmentos, estimado indiretamente pela calcinação da amostra, a 450 °C;
- c) teor de resina, também conhecido por veículo não volátil, estimado pela diferença entre o teor de não voláteis e o teor de pigmento; e
- d) teor de VOC, em %, dos esmaltes sintéticos, determinado usando-se o valor de teor de voláteis e das tintas látex por cromatografia gasosa. Os teores de VOC, em g/L, desses produtos foram estimados por cálculo, tomando-se por base a densidade do esmalte, igual a 1,0 g/cm³, e a do látex, igual a 1,2 g/cm³.

5.2.2 Identificação e quantificação dos VOCs

A cromatografia gasosa, acoplada à espectrometria de massa (GC-MS), é uma técnica comumente usada para a análise de solvente e VOC (YOUNG, 1992; SIMONSICK, 1992). A análise é constituída por uma separação prévia da fração volátil das amostras, por cromatografia gasosa, e, posteriormente, efetuada espectrometria de massa para identificação dos compostos. No estudo, as análises foram realizadas utilizando-se um cromatógrafo marca Shimadzu (QP-5050A), acoplado a um acessório específico para a determinação de compostos voláteis, denominado Headspace Sampler, também da marca Shimadzu (HSS-4A), que permite analisar, qualitativa e quantitativamente, os componentes voláteis de amostras líquidas ou sólidas. A amostra, na forma líquida ou sólida (película), é colocada em um frasco selado e aquecida a uma temperatura preestabelecida, sendo a fase gasosa recolhida por uma seringa aquecida e injetada no cromatógrafo acoplado ao espectrômetro de massa.

A espectrometria é uma técnica utilizada na identificação de compostos orgânicos puros ou misturas, através de quebras da molécula, via processos de excitação interna e, posteriormente, o registro dos fragmentos resultantes dessas quebras, em forma de espectrograma. Essa técnica é muito utilizada na análise de produtos naturais (óleos essenciais) e solventes orgânicos.

A identificação é feita por comparação com espectro padrão ou de referência, em banco de espectros para pesquisa, que possui cerca de 40.000 compostos, permitindo chegar às fórmulas de amostras desconhecidas. Na identificação foram utilizadas bibliotecas NIST 107, NIST 21 e WILEY 229, contabilizando cerca de 275.000 espectros.

Para a identificação desses compostos é necessário destacar dois importantes parâmetros:

a) largura do pico (“width”): importante para diferenciar picos, característicos das substâncias, de possíveis ruídos, que aparecem, eventualmente, na cromatografia em forma de picos. A determinação do “width” é fundamental para o processo de identificação dos compostos representados pelos picos. Se a seleção do “width” não for adequadamente fixada, poderão ocorrer erros de interpretação dos compostos. No caso das amostras de tintas, o valor fixado foi 1,0 segundo, por apresentar maior resolução na análise dos compostos; e

b) rampa (“slope”): faz a integração dos picos da cromatografia e é usado para identificar o início e o fim do aparecimento dos picos. O valor do “slope” é selecionado conforme a linha-base – se acentuada, escolhe-se um valor ligeiramente maior ou menor, de modo que o composto encontrado nas bibliotecas seja o mais semelhante possível ao do cromatograma obtido.

Esses parâmetros são de extrema importância, porque a sua variação influi na quantidade de picos e na porcentagem de compostos encontrados nas amostras. Para as amostras de tinta de base aquosa (látex), o “slope” utilizado foi inferior aos de base solvente (esmalte sintético). O “slope” é um parâmetro que apresenta gran-

de variação, dependendo do tipo de resina e do tempo de cura da amostra. Devido a essa característica, não foi possível a adoção de um único valor.

Preparação de amostras

O ensaio foi realizado em amostras de tinta (líquida) e em películas de pintura (seca), obtidas pela aplicação do produto em filme de polietileno, com extensor de barra de abertura nominal igual a 600 mm. A análise com a tinta líquida foi realizada depositando-se o material conforme recebido no frasco selado. No caso de película, a camada de pintura é separada do filme de polietileno, após períodos de secagem de 24 horas e 7 dias, em laboratório climatizado, à temperatura constante de 23 °C e 50% de umidade relativa, com troca de ar no ambiente e determinados os seus compostos voláteis. Os VOCs emitidos tanto pelas amostras de tinta líquida quanto pelas películas foram separados e identificados por espectrometria de massa, por comparação com espectro padrão ou de referência, nos bancos de espectros referidos anteriormente.

Condições de operação

- Coluna DB-5: 30 m x 0,25 mm, 5% polar
- Gás de arraste: hélio
- Amostra ao redor de 2 g, em frasco de 30 mL, e aquecimento a 80 °C
- Rampa de temperatura: início 60 °C, durante 3 min, velocidade de aquecimento 10 °C/ min até 250 °C, durante 10 min.
- Identificação de espectro de massa, usando bibliotecas computadorizadas: NIST 107, NIST 21 e WILEY 229, consultadas no programa CLASS 5000.

79

6 Resultados e comentários

Na Tabela 8, são apresentados os resultados da caracterização química das seis amostras de tinta e, nas Tabelas 9 a 14, estão apresentadas as identificações qualitativas e quantitativas, por GC-MS, dos principais constituintes do VOC, nas

tintas e nos filmes, obtidos após 24 horas e 7 dias de secagem. As Figuras 3 a 8 mostram cromatogramas dos VOCs emitidos pelas amostras, na forma líquida, em filmes obtidos após 24 horas de secagem e em filmes obtidos após 7 e 14 dias de secagem. A Tabela 15 mostra os efeitos causados por alguns dos constituintes presentes no VOC na saúde do homem, conforme dados apresentados pelo National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH, 2004).

Amostra	Tipo de veículo	Acabamento	Determinação			
			Voláteis (%)	Resinas (%)	Pigmentos (%)	VOC (g/L)
E1	alquídica	acetinado	30	29	41	300
E2	alquídica	brilhante	43	38	19	430
E3	alquídica	brilhante	41	41	18	410
L1	látex PVA	fosco	58	16	27	<20
L2	látex PVA	fosco	52	15	33	<20
L3	látex acrílica	semibrilho	51	20	29	<20

Tabela 8 - Características das tintas

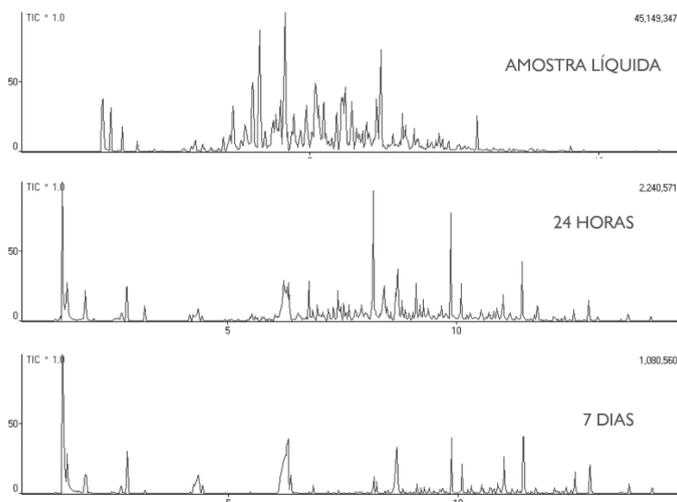


Figura 3 - Cromatograma da tinta E1. A figura mostra os VOCs emitidos pela tinta líquida, os VOCs emitidos pelo filme após 24 horas de secagem e os VOCs emitidos pelo filme após 7 dias de secagem

Amostras	Compostos e Proporção
Tinta líquida "Width": 1,0 s "Slope": 10 ⁶ *1.000/min	2-Propanol (1,9%); 2-Butanona (0,9%); 2-Metil octano (1,4%); Etil ciclohexano (2,0%); 1,2,4 Trimetil ciclohexano (2,6%); 2,3,4 Trimetil hexano (5,8%); (3,3 Dimetilbutil) benzeno (8,9%); o-Xileno (1,3%); Nonano (3,0%); 1,1,4,4-Tetrametil ciclohexano (2,1%); 1-Etil, 4-metil ciclohexano (3,7%); Ciclohexanopropanol (10,2%); 1,4-Dimetil ciclooctano (0,5%); 1-Etil, 4-metil ciclohexano (1,1%); Ciclohexapropanol (3,5%); 2-Metilpropil ciclohexano (5,0%); 3-Etil-2-metil heptano (3,6%); 2-Butil 1-octanol (3,0%); 1,1,2,3 Tetrametil ciclohexano (2,8%); 3,5-Dimetil octano (3,8%); 1-Iodo-2-metilundecano (4,1%); 1,3,5-Trimetil benzeno (3,5%); 1,2-Dimetil-(1-metiletil) ciclopentano (2,3%); 1,2,3-Trimetil benzeno (5,4%); n-Decano (7,5%); 4-Metil decano (1,7%); 1,3,5-Trimetil benzeno (1,3%); 2-Metilpropil ciclohexano (0,9%); Undecano (1,9%)
Película seca, 24 h "Width": 1,0 s "Slope": 10 ⁵ *1.000/min	Ácido acético (8,9%); 2,4 Pentadienal (9,4%); 4-Metil decano (10,7%); Undecano (30,4%); Dodecano (25,6%); Tridecano (15,0%)
Película seca, 7 d "Width": 1,0 s "Slope": 10 ⁴ *1.000/min	Ácido acético (3,9%); Ácido propanóico (4,5%); 2,4 Pentadienal (5,0%), Ácido pentanóico (7,4%); Heptanal (1,2%); Ácido hexanóico (26,4%); Octanal (1,8%); 1,1-Dioctiloxioctano (0,8%); Undecano (2,1%); Aldeído nonílico (1,1%); Ácido hexanóico (12,8%); 2,3,3-Trimetilpentano (0,5%); Pentadecano (0,8%); Dodecano (6,6%); Undecano (3,4%); 1-Pentadecanol (0,9%); Fluoreto de octadecileno (2,95); Octano (3,9%); Tridecano (6,4%); Metil ester de ácido fumaraldeído (1,8%); Pentadecano (0,6%); 3,7-Dimetil nonano (2,3%); Undecano (3,3%)

Tabela 9 - Compostos emitidos pela tinta E1

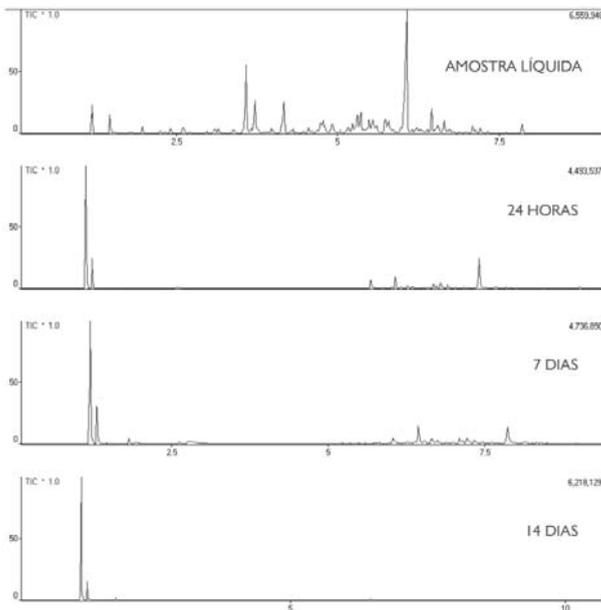


Figura 4 - Cromatograma da tinta E2. A figura mostra os VOCs emitidos pela tinta líquida, os VOCs emitidos pelo filme após 24 horas de secagem e os VOCs emitidos pelo filme após 7 e 14 dias de secagem.

Amostras	Compostos e Proporção
Tinta líquida "Width": 1,0 s "Slope": 10 ⁵ *1.000/min	1,1'-Bibiciclo (2.2.2) octano de 4-ácido carboxílico (6,1%); E tilbenzeno (16,8%), 1,2-Dimetil benzeno (8,2%); Nonano (7,5%); 3,5-Dimetil octano (3,4%); 3,5-Dimetil octano (4,3%); Nonano (48,1%); 4-Metil decano (5,7%)
Película seca, 24 h "Width": 1,0 s "Slope": 10 ⁵ *1.000/min	Ácido 2-butanóico (67,3%); Pentano (12,5%); Dodecano (20,3%)
Película seca, 7 d "Width": 1,0 s "Slope": 10 ⁵ *1.000/min	Tetranitro metano (78,5%); Pentano (21,5%)
Película seca, 14 d "Width": 1,0 s "Slope": 10 ⁴ *1.000/min	Tetranitro methane (82,7%); Pentano ou n-Pentano (11,9%); Heptano (2,2%); 2,2-Dimetil butano (1,8%)

Tabela 10 - Compostos emitidos pela tinta E2

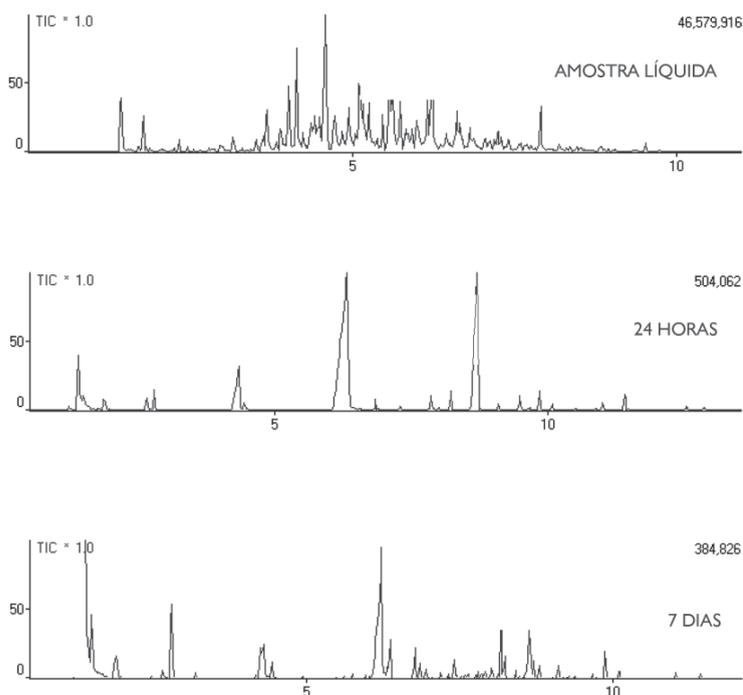


Figura 5 - Cromatograma da tinta E3. A figura mostra os VOCs emitidos pela tinta líquida, os VOCs emitidos pelo filme após 24 horas de secagem e os VOCs emitidos pelo filme após 7 dias de secagem.

Amostras	Compostos e Proporção
Tinta líquida "Width": 1,0 s "Slope": 10 ⁶ *1.000/min	Etileno-D4 (4,0%); 2-Butanona (1,4%); 1,1,3-Trimetil ciclohexano (2,0%); 1,2,4-Trimetil ciclohexano (2,5%); 1-Cloro octano (4,6%), (3,3-Dimetilbutil) benzeno (7,3%); 1,4-Dimetil-, trans ciclooctano (2,6%); 1,4-Dimethyl-trans ciclooctano (2,1%); 1-Etil-4-metilciclohexano (1,1%); 1-Etil-4-metil-cis- ciclohexano (2,2%), Nonano (10,3%); 1-Butil-3-propil ciclopentano (0,7%); 1,2,3-Trimetil ciclohexano (1,0%); 1-Etil-4-metil-trans ciclohexano (1,3%); Ciclohexanopropanol (3,1%); 2-Metilpropil ciclohexano (4,9%); 3-Etil-2-metil heptano (3,8%); 2,3,3-Tetrametil hexano (2,7%); 1,1,2,3-Tetrametilciclohexano (3,8%); 3,5-Dimetil octano (3,2%); 1-Iodo-2-metilundecano (4,5%); 1,3,5-Trimetil benzeno (3,6%); 1-Metil-3-(2-metilpropil) ciclopentano (4,3%); 1,2-Dimetil-3-(1-metiletil) ciclopentano (4,6%); 1,2,3-Trimetil benzeno (3,7%); Dodecano (7,6%); 4-Metil decano (1,7%); 1,2,3-Trimetil benzeno (1,6%); 2-Methylpropil ciclohexano (0,9%); 3,7-Dimetil-1,7-octadieno-3,6-diol (0,8%); Undecano (2,4%)
Película seca, 24 h "Width": 1,0 s "Slope": 10 ⁴ *1.000/min	2,4 Pentadienal (1,8%), Ácido hexanóico (34,2%); Ácido hexanóico (27,2%), metil 3,6-anidro- alpha-D-menopiranoside (2,2%); 2-etil ácido hexanoico (33,2%); Pentadecano (1,4%)
Película seca, 7 d "Width": 1,0 s "Slope": 10 ⁴ *1.000/min	Ácido fórmico (20,7%); Ácido acético (7,5%); 2,4 Pentadienal (7,6%), Ácido pentanóico (9,2%), 3-Metil-formiato 1-butanol (2,4%); Ácido hexanóico (17,6%); Ácido hexanóico (9,9%); Octonol (3,2%), 3-Metil- 1-Pentanol (3,1%); Undecano (5,6%); Ácido hexanóico (7,5%), Trans-4,5-dihexil-4-5-dihidro-3-metilene-2(3H)-furonona (2,9%), Butil 2,4-dimetil-2-nitro-4-pentanoato (2,9%)

Tabela 11 - Compostos emitidos pela tinta E3

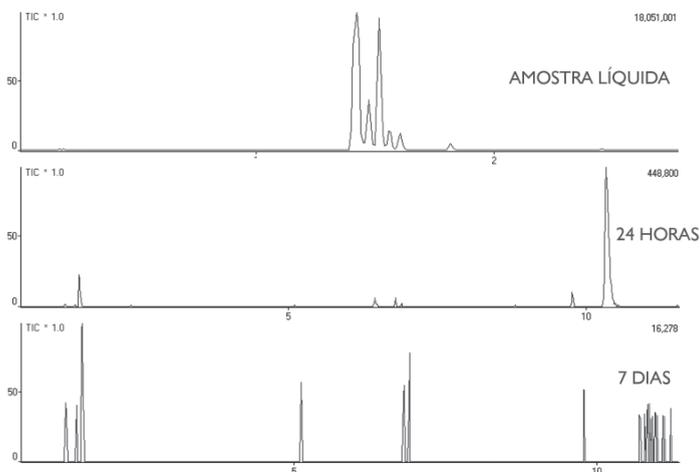


Figura 6 - Cromatograma da tinta LI. A figura mostra os VOCs emitidos pela tinta líquida, os VOCs emitidos pelo filme após 24 h de secagem e os VOCs emitidos pelo filme após 7 h de secagem

Amostras	Compostos e Proporção
Tinta líquida "Width": 1,0 s "Slope": 10 ⁶ *1.000/min	Etileno-D4 (51,0%), Acetaldeído (11,0%), Álcool etílico (28,7%), 2-Propanona (4,5%), Hidrazina (3,6%), Etil éster do ácido acético (1,2%)
Película seca, 24 h "Width": 1,0 s "Slope": 10 ⁴ *1.000/min	Ácido acético (%9,6), Alpha-Terpineol (3,12%), 2-Fenoxi etanol (87,3%)
Película seca, 7 d "Width": 1,0 s "Slope": 10 ² *1.000/min	Formamida (14,5%), Ácido acético (40,7%), Octa-1,7-dienil-3-formiate (14,5%), Benzeno (15,4%), 2-Etenil 1H-Imidazol (15,0%)

Tabela 12 - Compostos emitidos pelo LI

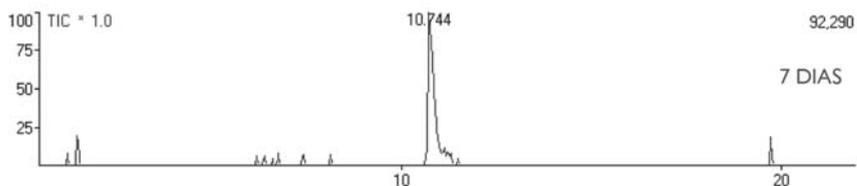
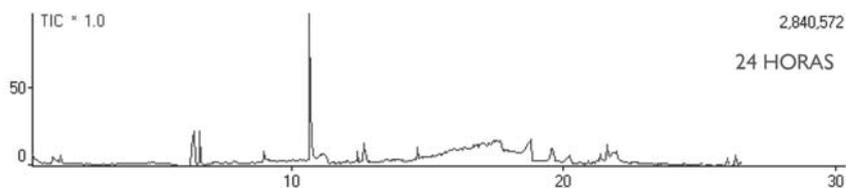
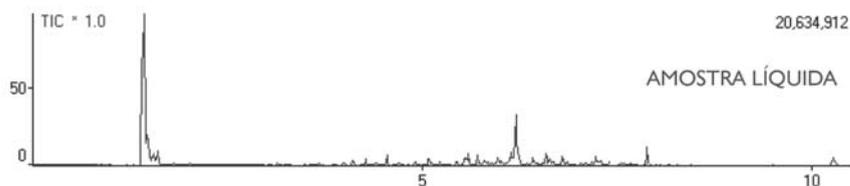


Figura 7 - Cromatograma da tinta L2. A figura mostra os VOCs emitidos pela tinta líquida, os VOCs emitidos pelo filme após 24 h de secagem e os VOCs emitidos pelo filme após 7 h de secagem

Amostras	Compostos e Proporção
Tinta líquida "Width": 1,0 s "Slope": 10 ⁵ *1.000/min	1,1'-Bibiciclo (2.2.2) octano de 4-ácido carboxílico (6,1%); Etilbenzeno (16,8%), 1,2-Dimetil benzeno (8,2%); Nonano (7,5%); 3,5-Dimetil octano (3,4%); 3,5-Dimetil octano (4,3%); Nonano (48,1%); 4-Metil decano (5,7%)
Película seca, 24 h "Width": 1,0 s "Slope": 10 ⁵ *1.000/min	Ácido 2-butanóico (67,3%); Pentano (12,5%); Dodecano (20,3%)
Película seca, 7 d "Width": 1,0 s "Slope": 10 ⁵ *1.000/min	Tetranitro metano (78,5%); Pentano (21,5%)
Película seca, 14 d "Width": 1,0 s "Slope": 10 ⁴ *1.000/min	Tetranitro metano (82,7%); Pentano ou n-Pentano (11,9%); Heptano (2,2%); 2,2-Dimetil butano (1,8%)

Tabela 13 - Compostos emitidos pela tinta L2

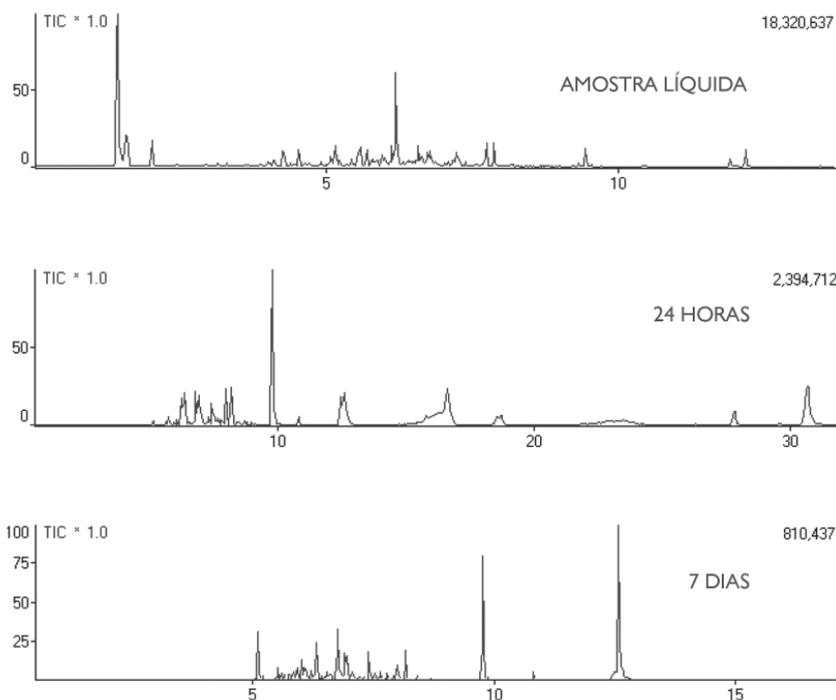


Figura 8 - Cromatograma da tinta L3. A figura mostra os VOCs emitidos pela tinta líquida, os VOCs emitidos pelo filme após 24 h de secagem e os VOCs emitidos pelo filme após 7 h de secagem

Amostras	Compostos e Proporção
Tinta líquida "Width": 1,0 s "Slope": 10 ⁵ *1.000/min	Etileno-D4 (29,7%); 2-Propanona (2,6%); 1,2-Metil 2-propano (2,3%); 1-Butanol (2,2%), (3,3,-Dimetildecil) benzeno (0,8%); p-Xileno (0,7%); 1,1'-Oxibis butano (1,9%); Nonano (1,7%); 2,4-Dimetil-1-heptano (2S4R) (1,5%); Alpha-pineno (2,2%); 3,5,5-Trimetil-1-hexano (0,6%); 6-Metil octadecano (1,2%); 8-Metil 4-undecano (2,8%); 1-Iodo-2-metilundecano (2,7%), 1-Iodo-2-metilundecano (2,3%), 1-Metil-2-propil ciclohexano (1,8%); 1-Metil-4-(10metiletil)-trans ciclohexano (1,6%); 1,2,3-Trimetil benzeno (3,0%); Undecano (11,7%), 1-Metil-4-(1-metiletil) ciclohexano (2,9%); 5-Etil-2-metil heptano (2,4%), 1,2-Dietil benzene (1,8%); 4,1 Dimetil 9-betadeceno (0,5%); 1-Limoneno (2,1%); 4-Ciclotmetil decano (1,6%); Undecano (0,6%); 2-Metilen-5-isopropenil ciclohexano (1,9%); Tridecano (0,8%); Terpinoleno (3,1%); Undecano (3,0%); Propionate de Linalol (2,2%); 2-Metil-,2,2-dimetil-1-(2-hidroxi-1-metiletil) propil ester d o ácido propanóico (1,1%); 2-Metiletil-, 3-hidroxi-,2,4,4-trimetilpentil ester do ácido propanóico, (2,2%)
Película seca, 24 h "Width": 1,0 s "Slope": 10 ⁵ *1.000/min	Undecano (11,8%); 1-Alpha-Terpinol (81,2%)
Película seca, 7 d "Width": 1,0 s "Slope": 10 ⁴ *1.000/min	Alfa-Pineno (6,7%); 1,1,2,3-Tetrametilciclohexano (2,0%), 2-beta-Pineno (1,2%); 1-Metil-4-(1-metiletil)- cis-ciclopentano (3,2%); (1-Metiletil) benzeno (1,3%); Undecano (5,7%); 3-Pinanona (2,5%); 5-Etil-2-metil heptano (9,8%); Limoneno (5,9%); Decahidro-, trans- Napertoleno (3,6%); Acetato de terpinil (2,4%); Undecano (4,7%); Beta Fenchilalcool (20,8%), 2 Metil-, 3 hidroxi-2,4,4-trimetilpentil ester do ácido propanóico (26,1%)

Tabela 14: Compostos emitidos pela tinta L3

Substância (Nome químico)	Principais sintomas	Limite de exposição
Ácido propanóico Nº CAS* 79-09-4	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta; visão borrada, queimadura de córnea; queimadura de pele; dor abdominal, náusea, vômito.	NIOSH REL: TWA** 10 ppm (30 mg/m ³)
2-Butanona Nº CAS* 78-93-3	Irritação nos olhos, pele, nariz; dor de cabeça; vertigem; vômito; dermatite.	NIOSH REL: TWA** 200 ppm (590 mg/m ³) ST 300 ppm (885 mg/m ³)
Ciclohexano Nº CAS*110-82-7	Irritação nos olhos, pele, sistema respiratório; sonolência; dermatite; narcose, coma.	NIOSH REL: TWA** 300 ppm (1.050 mg/m ³)

Tabela 15: Substâncias presentes no VOC das tintas e seus sintomas (NIOSH, 2004)

Substância (Nome químico)	Principais sintomas	Limite de exposição
o-Xileno (1,2-dimetilbenzeno) Nº CAS*95-47-6	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta; vertigem, excitação, sonolência, descoordenação, andar trôpego; vasculização na córnea; anorexia, náusea, vômito, dor abdominal; dermatite.	NIOSH REL: TWA** 100 ppm (435 mg/m ³) ST 150 ppm (655 mg/m ³)
Nonano Nº CAS* 111-84-2	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta; dores de cabeça, sonolência, vertigem, confusão mental, náusea, tremor, descoordenação; pneumonia aspirativa por composto químico líquido.	NIOSH REL: TWA** 200 ppm (1.050 mg/m ³)
1,2,3-Trimetilbenzeno Nº CAS* 526-73-8	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta, sistema respiratório; bronquite; anemia hipocrônica; dores de cabeça, sonolência, fadiga (fraqueza, cansaço), sonolência, náusea, descoordenação; vômito, confusão mental; pneumonia química aspirativa por composto químico líquido.	NIOSH REL: TWA** 25 ppm (125 mg/m ³)
Álcool isopropílico Nº CAS*67-63-0	Irritação nos olhos, nariz, garganta; sonolência, vertigem, dores de cabeça; pele crestada desidratada; em animais: narcose.	NIOSH REL: TWA** 400 ppm (980 mg/m ³) ST 500 ppm (1.225 mg/m ³)
Ácido fórmico Nº CAS*64-18-6	Irritação nos olhos; pele, garganta; queimadura de pele, dermatite; lacrimação (derramamento de lágrimas); rinorréia (saída de líquido pelo nariz); tosse, dispnéia (dificuldade para respirar); náusea.	NIOSH REL: TWA** 5 ppm (9 mg/m ³)
1,3,5-Trimetilbenzeno Nº CAS*108-67-8	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta, sistema respiratório; bronquite; anemia hipocrônica; dores de cabeça, sonolência, fadiga (fraqueza, cansaço), sonolência, náusea, descoordenação; vômito, confusão mental; pneumonia química aspirativa por composto químico líquido.	NIOSH REL: TWA** 25 ppm (125 mg/m ³)
Ácido propanóico Nº CAS* 79-09-4	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta; visão borrada, queimadura de córnea; queimadura de pele; dor abdominal, náusea, vômito.	NIOSH REL: TWA** 10 ppm (30 mg/m ³)

Tabela 15 (Continuação)

Substância (Nome químico)	Principais sintomas	Limite de exposição
Ácido Acético Nº CAS*64-19-7	Irritação nos olhos; pele, nariz e garganta; olhos, queimadura; sensibilização da pele; erosão dental; hipercalcosidade; conjunivite, lacrimação (derramamento de lágrimas); edema da faringe, bronquite crônica.	NIOSH REL: TWA** 10 ppm (25 mg/m ³) ST 15 ppm (37 mg/m ³)
Etilbenzeno Nº CAS*100-41-4	Irritação nos olhos, pele, mucosa; dores de cabeça; dermatite; narcose, coma.	NIOSH REL: TWA** 100 ppm (435 mg/m ³) ST 125 ppm (545 mg/m ³)
n-Pentano Nº CAS*109-66-0	Irritação nos olhos, pele, nariz; dermatite; pneumonia química (aspiração líquida); sonolência; em animais: narcose.	NIOSH REL: TWA** 120 ppm (350 mg/m ³) C 610 ppm (1.800 mg/m ³) [15-minute]
Tetranitrometano Nº CAS*509-14-8	Irritação nos olhos, pele, nariz e garganta; vertigem, dores de cabeça; dores no peito, dispnéia (dificuldade para respirar); meta-hemoglobinemia, cianose; queimadura de pele.	NIOSH REL: TWA** 1 ppm (8 mg/mm ³)
n-Heptano Nº CAS*142-82-5	Vertigem, letargia, descoordenação; perda de apetite, náusea; dermatite; pneumonia aspirativa por composto químico líquido; inconsciência.	NIOSH REL: TWA** 85 ppm (350 mg/m ³) C 440 ppm (1.800 mg/m ³) [15-minute]
Hidrazina Nº CAS*302-01-2	Olhos, pele, sistema respiratório; sistema nervoso central, fígado, rins.	NIOSH REL: Ca C*** 0,03 ppm (0,04 mg/m ³) [2-hour]
Álcool etílico Nº CAS*64-17-5	Irritação nos olhos, pele, nariz; dor de cabeça, sonolência, fadiga (fraqueza, exaustão), narcose; tosse; danos no fígado; anemia; efeito teratogênico	NIOSH REL: TWA** 1.000 ppm
Etil éster do ácido acético Nº CAS* 141-78-6	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta; narcose; dermatite	NIOSH REL: TWA** 400 ppm
Formamida Nº CAS*75-12-7	Irritação nos olhos, pele, membrana mucosa; sonolência, fadiga (fraqueza, exaustão); náusea; acidose; erupção na pele; em animais: influência na reprodução	NIOSH REL: TWA** 10 ppm

Tabela 15 (Continuação)

Substância (Nome químico)	Principais sintomas	Limite de exposição
Benzeno Nº CAS*71-43-2	Irritação nos olhos, pele, nariz; sistema respiratório; vertigem; dor de cabeça, náusea, andar trôpego; anorexia, fadiga (fraqueza, exaustão); dermatite; depressão da medula óssea; potencial risco de câncer.	NIOSH REL: Ca TWA** 0,1 ppm ST 1 ppm
Acetaldeído Nº CAS*75-07-0	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta; queimaduras na pele; conjuntivite; tosse; depressão; edema pulmonar; em animais: efeitos teratogênicos; rins e sistema reprodutivo.	OSHA PEL****†: TWA** 200 ppm (360 mg/m ³)
Acetona Nº CAS* 67-64-1	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta; dor de cabeça, vertigem, depressão do sistema nervoso central, dermatite.	NIOSH REL: TWA** 250 ppm (590 mg/m ³)
p-Xileno Nº CAS* 106-42-3	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta; vertigem, excitação, sonolência, descoordenação, andar trôpego; vacuolização da córnea; anorexia, náusea, vômito, dor abdominal; dermatite.	NIOSH REL: TWA** 100 ppm (435 mg/m ³) ST 150 ppm (655 mg/m ³)
Álcool terc-butílico Nº CAS* 75-65-0	Irritação nos olhos, pele, nariz, garganta; sonolência, narcose.	NIOSH REL: TWA** 100 ppm (300 mg/m ³) ST 150 ppm (450 mg/m ³)
Cumeno (Cumol, Isopropil benzeno, 2-Fenil propano) Nº CAS* 98-82-8	Irritação nos olhos, pele, membrana mucosa; dermatite; dores de cabeça, narcose, coma.	NIOSH REL: TWA** 50 ppm (245 mg/m ³) [pele]

* Chemical Abstract Number.

** TLV-TWA (Limite de Exposição – Média Ponderada pelo Tempo – palavra inglesa Threshold Limit Value-Time Weighted Average) – a concentração média ponderada pelo tempo, para uma jornada normal de 8 h diárias e 40 h semanais, para a qual a maioria dos trabalhadores pode estar repetidamente exposta, dia após dia, sem sofrer efeitos adversos à saúde.

**** TLV-C (Limite de Exposição – Valor-teto) – é a concentração que não pode ser excedida durante nenhum momento da exposição do trabalhador.

**** PEL (Permissible exposure limit). A análise qualitativa realizada mostrou que as tintas látex emitem VOCs em quantidade bem inferior a dos esmaltes sintéticos e que estes últimos, usualmente, são constituídos por uma mistura de mais de 60 substâncias. A identificação das substâncias só foi realizada naquelas que apresentavam maiores proporções e, em alguns casos, naquelas que apresentavam características tóxicas. As substâncias determinadas são constituídas por éteres, cetonas, hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos e hidrocarbonetos clorados. A presença dessa última substância foi identificada em esmaltes sintéticos, não sendo hoje normal a sua existência nesse tipo de produto. A interpretação dos espectros de massa foi realizada por comparação com espectro de referência, usando-se bibliotecas computadorizadas.

Tabela 15 (Continuação)

Os cromatogramas mostram que tanto os filmes obtidos com tinta látex quanto com esmalte sintético, com 24 horas de secagem, em ambiente com condições controladas, apresentam teores de VOCs muito inferiores aos das tintas líquidas. Após 24 horas, a maior parte dos VOCS das tintas já foi emitida. Os cromatogramas obtidos de películas com 7 dias de secagem mostram que, mesmo após esse período de secagem, ambos os tipos de tinta ainda apresentavam resíduos de VOC, não tendo sido totalmente eliminados, o que confirma dados da literatura que mostram emissões de VOCs de materiais de base polimérica (exemplo: carpetes, colas, revestimentos de paredes, vernizes, silicones), por períodos prolongados e, inclusive, com emissões secundárias, devido à degradação desses materiais por produtos de limpeza (WOLKOFF, 1999). Os ensaios apresentados neste estudo foram realizados em tinta líquida e em películas, secas em uma condição ambiental prefixada, e, além disso, está sendo estudada a influência dos substratos (madeira e argamassa) nas emissões, os efeitos de temperatura, de umidade relativa e de trocas de ar no interior da câmara ambiental, com registro contínuo desses parâmetros.

Existe um grande número de pesquisas sobre emissões de VOCs, com determinação em câmara ambiental conhecida como “small-scale test chamber”, em diferentes dimensões de câmara e sob variadas condições de temperatura, umidade relativa e circulação de ar. Além disso, esse tipo de emissão também é determinado de acordo com ASTM D 5116-97 “Standard Guide for Small-Scale Environmental Chamber Determination of Organic Emissions from Indoor Materials/Products”. As metodologias citadas estudam a influência da espessura da película de tinta e o substrato nas características de adsorção/dessorção (KWOK et al., 2003; POPA; HAGHIGHAT, 2003), ventilação, temperatura, umidade relativa e velocidade de emissão de VOCs, e têm como objetivo simular condições normalmente presentes em ambientes internos de edificações.

O procedimento desenvolvido é mais simples e rápido do que os citados em literatura, porém é útil para estimar, de modo comparativo, a velocidade de emissão de VOCs da tinta, durante a sua secagem, em uma única condição, sem levar em conta a influência do substrato e suas características de adsorção/dessorção. O procedimento pode ser considerado uma boa ferramenta para auxiliar os fabricantes no desenvolvimento de novas formulações e, para os construtores, um bom meio para a seleção de tintas que apresentem menor impacto ambiental.

7 Considerações finais

A revisão bibliográfica realizada durante o desenvolvimento do estudo mostrou que a emissão dos VOCs da tinta influi tanto na qualidade do ar presente na troposfera, pela formação do ozônio considerado um dos principais poluentes atmosféricos, como na qualidade do ar de ambiente fechados, devido à geração de problemas típicos, relacionados com a qualidade do ar no interior de edifícios, conhecida como Síndrome de Edifícios Doentes (SED).

O estudo mostrou que os produtos usados na pintura de edifícios, como as tintas látex, vernizes, esmaltes sintéticos e solventes, contêm na sua composição uma mistura de solventes (VOCs), alguns com mais de 60 substâncias. Parte dessas substâncias é comumente encontrada nas formulações dos produtos, e a outra parte, provavelmente, resultado de impurezas presentes nas matérias-primas. Algumas das substâncias encontradas são consideradas nocivas à saúde das pessoas, como os solventes clorados, compostos aromáticos (benzeno, tolueno, xileno e isômeros), metil etil cetona (MEK), formaldeído, etc., e outras, sensíveis fotoquimicamente, tais como xileno, limoneno, tolueno, etanol, butano, as quais contribuem para a formação do ozônio da troposfera.

Conforme já discutido, as regulamentações existentes classificam os produtos e fixam limites de VOCs com base em diferentes critérios, dificultando uma análise comparativa. No estudo, muitos produtos de base solvente (esmalte sintético) do mercado apresentaram valores próximos aos limites sugeridos pela regulamentação da EPA ou da União Européia. A proposta de regulamentação européia, que limita teores de VOC até 01/01/2007 (vide Tabela 4), classifica as tintas em exterior/interior e em base água/solvente. Pela similaridade dos produtos apresentados nessa regulamentação com os produtos existentes no mercado nacional, usou-se essa proposta para análise. A análise mostrou que, das três amostras de esmalte sintético apresentadas na Tabela 8, duas amostras mostram valores pouco superiores (410 g/L e 430 g/L), se se considerar o valor de 400 g/L de VOC para tintas de uso interno. Conforme a proposta européia de regulamentação, se a tinta é para aplicação exterior, o teor de VOC é de 450 g/L. Dessa forma, todos os três produtos de base solvente relacionados na Tabela 8 estão dentro dos limites propostos por essa regulamentação. As tintas apresentadas no estudo foram selecionadas

ao acaso, apenas para ilustrar a metodologia usada para a caracterização dos produtos e a identificação dos VOCs presentes.

Na Tabela 15 estão listadas as substâncias presentes nos VOCs das tintas apresentadas neste trabalho e que podem causar efeitos deletérios ao meio ambiente e à saúde ocupacional dos trabalhadores, durante a fase de construção do edifício e nos períodos de manutenção dele, como também ao ambiente interno nos edifícios, influenciando na saúde de seus ocupantes.

Os resultados obtidos no estudo deverão fornecer subsídios para:

- a) a obtenção de dados nacionais de VOCs e de indicadores ecológicos, sem a necessidade de utilização de dados internacionais. Esses dados também deverão auxiliar o mercado na seleção de produtos com menor impacto ambiental e desenvolvimento de produtos mais “amigáveis”;
- b) o desenvolvimento de método rápido para a determinação de VOC e proposta ao Comitê Brasileiro de Construção Civil (Cobracon) da ABNT de um texto-base de Norma Brasileira de Construção Civil; e
- c) a conscientização do meio técnico sobre os efeitos da emissão de VOC à saúde dos trabalhadores, durante a execução de pintura e durante o uso do edifício recém-construído, e da população, quanto ao meio ambiente.

Referências bibliográficas

⁹² BREZINSKI, J. J. Regulation of volatile organic compound emissions from paints and coatings. In: KOLESKE, J. V. **Paint and coating testing manual**: fourteenth edition of the Gardner-Sward Handbook. ASTM Manual Series: MNL 17, 1995. p. 3-12.

CHEVALIER, J. L.; LE TÉNO, J. F. Requirements for an LCA-based Model for the evaluation of environmental quality of building products. **Building and Environment**, v. 31, n. 5, p. 487-491, 1996.

EUROPA. COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. **Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council**: on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in decorative paints and varnishes and vehicle refinishing products and amending Directive 1999/13/EC.

COM (2002) 750 final. Disponível em: <http://europa.eu.int/eur-lex/en/com/reg/en_register_1530.html>. Acesso em: 10 abr. 2005.

GIODA, A.; AQUINO NETO, F. R. Poluição química relacionada ao ar de interiores no Brasil. **Química Nova**, v. 26, n. 3, p. 359-365, 2003.

HARE, H. C. Formulation strategies using exempt solvents: latest developments. **Paint & Coatings Industry**, United States, Aug. 2000. Disponível em: <http://www.pcimag.com/pci/cda/articleinformation/features/Features_Index/1,1838,1-367,00.html>. Acesso em: 17 maio 2002.

KASENEN, J. P. Airway irritation of VOC mixtures based on the emissions of the finishing materials- PVC floorings and paints. In: **HEALTHY BUILDINGS. Proceedings...** Finland, 2000. p. 101-106.

KWOK, N. H. et al. Substrate effects on VOC emissions from an interior finishing varnish. **Building and Environment**, v. 38, p. 1019-1026, 2003.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). **NIOSH pocket guide to chemical hazards (NPG)**. NIOSH Publication n. 97-140, Feb. 2004. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh/>>. Acesso em: 17 jan. 2005.

PAINT RESEARCH ASSOCIATION (PRA). **CORE**. Coatings, regulations & the environment. Asia Pacific. Abstract: 1111/022. Apr. 2003. Disponível em: <<http://www.pra.org.uk/publications/core/>>. Acesso em: 18 jan. 2005.

POPA, J.; HAGHIGHAT, F. The impact of VOC mixture, film thickness and substrate on adsorption/desorption characteristics of some building materials. **Building and Environment**, v. 38, p. 959-964, 2003.

SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria do Meio Ambiente. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). **Relatório da qualidade do ar no Estado de São Paulo 2003**. São Paulo: CETESB, 2004. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/ar-geral.asp>>. Acesso em: 10 abr. 2005.

SALVI, F. Os paradigmas da qualidade, segurança e meio ambiente. **Informativo CRQ – IV**, ano 9, n. 46, p. 4-5, 2000.

SATO, S. et al. The emission of volatile organic compounds in a building under construction. In: HEALTHY BUILDINGS. **Proceedings...** Finland, 2000. p. 459-464.

SENTKOVA, I. Ranking of selected indoor chemical pollutants In: HEALTHY BUILDINGS. **Proceedings...** Finland. 2000. v. 1, p. 109-114.

SILVA, V. G.; SILVA, M. G.; AGOPYAN, V. Avaliação de edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 7-18, 2003.

SILVA, V. G. Avaliação do desempenho ambiental de edifícios. **Qualidade na Construção**, Sinduscon, São Paulo, ano III, n. 25, p. 14-22, 2000.

SIMONSICK JR, W. J. Mass Spectrometric techniques for coatings characterization: analysis of paints and related materials: current techniques for solving coatings problems. **ASTM STP 1119**. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1992. p. 105-124.

TAVARES, T. M. Poluição atmosférica e mudanças climáticas do planeta. **RQI - Revista de Química Industrial**, n. 702, p. 4-8, 1995.

THAM, K. W. et al. Identifying, quantifying and controlling VOCs in an air-conditioned office building- a Singapore case study. In: HEALTHY BUILDINGS. **Proceedings...** Finland, 2000. p. 449-454.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). **EPA**. Smog: who does it hurt? What you need to know about ozone and your health. EPA-452/K-

99-001, July 1999. Disponível em: <<http://www.epa.gov/airnow/health/smog.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2005.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). **OAR Policy and Guidance Metarecord**. Final Rule - National VOC emission standards for architectural coatings. Filename: <http://www.epa.gov/ttn/oarpg/t1/fr_notices/rule812.pdf>. July 2002. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/oarpg/t1/meta/m17900.html>>. Acesso em: 14 jan. 2005.

WOLKOFF, P. How to measure and evaluate volatile organic compound emissions from building products. A perspective. **The science of the total environment**, n. 227, p. 197-213, 1999.

YANG, X. et al. Numerical simulation of VOC emissions from dry materials. **Building and Environment**, v. 36, p. 1099-1107, 2001.

YOUNG, F. X. Practical applications of gas chromatography in the paint and coating industry. Analysis of Paints and Related Materials: Current Techniques for Solving Coatings Problems. **ASTM STP 1119**. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1992. p. 105-124.

YU, C.; CRUMP, D. A review of the emission of VOCs from polymeric materials used in buildings. **Building and Environment**, v. 33, n. 6, p. 357-374, 1998.

2001 TLVs e BEIs – Threshold limit values and biological exposure American Conference of Governmental Industrial Hygienists – ACGIH. Versão traduzida pela Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais – ABHO, 2001.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) pelo apoio recebido no desenvolvimento do Projeto e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de pesquisa.