**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO**

ANDRÉ LUIZ DE OLIVEIRA CHAVES

**Sustentabilidade na Arquitetura e o estudo dos
Compostos Orgânicos Voláteis emitidos por
componentes vinílicos em habitações**

São Carlos
2016

ANDRÉ LUIZ DE OLIVEIRA CHAVES

**Sustentabilidade na Arquitetura e o estudo dos
Compostos Orgânicos Voláteis emitidos por
componentes vinílicos em habitações**

Versão corrigida

Tese apresentada ao Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Área: Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Eduvaldo Paulo Sichieri

Apoio: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES

São Carlos
2016

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Instituto de Arquitetura e Urbanismo
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C512s Chaves, André Luiz de Oliveira
 Sustentabilidade na Arquitetura e o estudo dos
Compostos Orgânicos Voláteis emitidos por componentes
vinílicos em habitações / André Luiz de Oliveira
Chaves, orientador Eduvaldo Paulo Sichieri. São
Carlos, 2016.
 268 p.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo, Arquitetura, Urbanismo e
Tecnologia) -- Instituto de Arquitetura e Urbanismo,
Universidade de São Paulo, 2016.

1. Sustentabilidade na Arquitetura. 2. Compostos
Orgânicos Voláteis. 3. Pisos vinílicos. 4. Habitações.
I. Sichieri, Eduvaldo Paulo, orient. II. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): Arquiteto Andre Luiz de Oliveira Chaves

Título da tese: "Sustentabilidade na Arquitetura e o estudo dos Compostos Orgânicos Voláteis emitidos por componentes vinílicos em habitações"

Data da defesa: 02/06/2016

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Edvaldo Paulo Sichieri
(Instituto de Arquitetura e Urbanismo/USP)

Prof. Dr. Javier Mazariegos Pablos
(Instituto de Arquitetura e Urbanismo/USP)

Dr. Guilherme Miola Titato
(Instituto de Química de São Carlos/USP)

Profa. Dra. Roberta Consentino Kronka Mülfarth
(Faculdade de Arquitetura e Urbanismo/USP)

Profa. Dra. Sheyla Mara Baptista Serra
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Resultado:

A PROVADO

APROVADO

APROVADO

A PROVA DO

approved

Diretor do Instituto de Arquitetura e Urbanismo - USP: Prof. Dr. Miguel Antonio Buzzar.

Dedico este trabalho à minha amada família e aos meus amados avós, que há muito tempo não estão conosco, mas sempre estão comigo.

AGRADECIMENTOS

“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei, não fosse elas, eu não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar. Mesmo as críticas nos auxiliam muito” (Chico Xavier).

Antes de tudo agradeço a Deus por me fornecer força, paciência e saúde para a realização deste trabalho! Obrigado pela presença constante em minha vida e pelas oportunidades que me fizeram chegar aonde cheguei.

À minha família, que é a base de tudo. Pela paciência constante e o incentivo destas amadas pessoas para que eu buscasse alcançar todos os meus objetivos.

Ao Professor Doutor Edvaldo Paulo Sichieri, agradeço por toda a atenção demonstrada, por todo o apoio dado ao longo destes anos, e por ser muito mais que um orientador, mas um grande amigo. Obrigado pela parceria e confiança tão sincera depositada neste trabalho!

Ao Professor Doutor Fernando Lanças por conceder o Laboratório de Cromatografia do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, campus São Carlos, para que fossem realizadas as atividades experimentais com as técnicas de microextração de fase sólida, cromatografia gasosa e espectrometria de massas (SPME/GC-MS).

Ao Professor Doutor Éder Tadeu por conceder o Laboratório de Química Analítica, Análise Térmica e Eletro-analítica do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, campus São Carlos, para que fossem realizadas as atividades experimentais com a técnica de termogravimetria e espectroscopia de infravermelho (TG-FTIR).

Ao Professor Doutor Alvaro José dos Santos, agradeço por sempre me atender tão gentilmente para solucionar minhas dúvidas acerca da técnica de cromatografia

gasosa e por compartilhar comigo seus valiosos conhecimentos. Além de sempre me incentivar no desenvolvimento de um projeto de câmara de testes que, infelizmente, não pôde ser executado.

Ao Professor Doutor Guilherme Miola Titato, agradeço pelo apoio decisivo no planejamento e execução de todos os testes realizados por SPME/GC-MS, pela incansável disposição em solucionar minhas dúvidas e por sempre compartilhar comigo seus valiosos conhecimentos. Agradeço também pelo apoio na viabilização da compra dos reagentes, tão essenciais para estes testes.

Ao Professores Doutores Priscila Cervine e Luis Machado, agradeço por todo os ensinamentos e apoio concedidos na realização das atividades experimentais realizadas por TG-FTIR no Laboratório de Química Analítica.

Ao Professor Doutor Javier Mazariegos Pablos, agradeço pela valiosa contribuição, não somente durante o exame de qualificação, mas ao longo desta jornada. Agradeço também pelo auxílio na compra dos reagentes utilizados nos testes de GC-MS, junto à Fundação para o Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial – FIPAI.

Ao Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos da Univeridade de São Paulo (IAU/USP) e às Professoras Doutoras Rosana Caram, Karin Chvatal e Kelen Dornelles, agradeço não apenas pelo acesoramento nas atividades durante o Programa de Aperfeiçoamento de Ensino (PAE), mas também pela orientação fundamental no trabalho em disciplina de pós-graduação, ministrado por elas, o que contribuiu para o desenvolvimento de capítulo específico deste trabalho.

A todos os funcionários do IAU/USP que me apoiaram em momentos importantes do desenvolvimento deste trabalho. Em especial, ao Paulo Ceneviva, agradeço por gentilmente ceder espaço no Laboratório de Midimagem para que eu pudesse realizar muitas das atividades de pesquisa e ao Paulo Pradavieira, agradeço pelo apoio na preparação das amostras para os experimentos com SPME/GC-MS, além das animadas e longas coversas. Ao Sergio Travelin, Paulo Albertini, Andréia, Fatima, Geraldo, Mara, Marcelo, Cleverci e Oswaldo, agradeço pelo auxílio em outras

atividades de apoio à esta pesquisa, além da paciência, atenção e pelos momentos de descontração, o que tornou tudo mais fácil durante estes anos.

Aos queridos colegas do grupo ARQTEMA, agradeço pelos incontáveis momentos de descontração, pelo companheirismo e pelo apoio em alguns momentos difíceis.

Por fim, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, agradeço pela bolsa de Doutorado, e por todo o apoio financeiro, sem o qual o desenvolvimento desta pesquisa não seria possível.

Tudo que nós precisamos para resolver nossos problemas e vencer na vida está dentro de nossa alma, na sabedoria do nosso espírito e na força gigantesca que Deus nos dotou. Só chega ao topo aqueles que acreditam em si mesmos, tem coragem de ousar, não tem medo do futuro e se jogam na vida com a certeza que vai cair nos braços de Deus.

(Chico Xavier)

CHAVES, A.L.O. **Sustentabilidade na Arquitetura e o estudo dos compostos orgânicos voláteis emitidos por componentes vinílicos em habitações.** 2016. 267 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

RESUMO

Nas últimas décadas, o policloreto de vinila (PVC) tem sido cada vez mais utilizado na Construção Civil, em razão de suas propriedades que o condiciona a substituir outros materiais na execução das obras. Neste caso, tais propriedades são conferidas pela ação de aditivos incorporados na formulação deste polímero, que o torna capaz de ser utilizado em diferentes aplicações, sendo uma delas os revestimentos vinílicos para o recobrimento de superfícies no interior dos edifícios. Entretanto, em pesquisas internacionais, ocorridas a partir dos anos 1990, ficou comprovado que havia a presença de substâncias químicas, denominadas compostos orgânicos voláteis (COV), nestes revestimentos. Diante destes fatores, na presente pesquisa, propôs-se a identificação e quantificação destas substâncias químicas em revestimentos vinílicos para aplicação em pisos e paredes, e nos adesivos de contato (colas), por meio de técnicas analíticas: micro-extração de fase sólida e cromatografia gasosa acoplada a espectrômetro de massas e termogravimetria acoplada ao espectroscópio de infravermelho. Os resultados das análises qualitativas indicaram a presença de compostos pertencentes às classes químicas dos ésteres, éter glicólicos, alcanos, álcoois, cetonas, antioxidantes, ésteres de acetato, terpenos, tióis, organoclorados, solventes hidrocarbonetos e ácido cloreto, encontrados em sua maior parte nas amostras de linhas de piso vinílico e de adesivo de contato, pertencentes à uma das empresas líderes de mercado. Enquanto que as amostras de revestimentos vinílicos de parede não indicaram a presença de COV. Os resultados mais significativos nas análises quantitativas foram obtidos com as amostras de revestimentos, aplicados com adesivo de contato (cola), que indicaram concentrações de 216,41 mg/m³ e de 403,33 mg/m³ do composto 2-etil-1-hexanol, cujos valores estavam acima do limite máximo de 110 mg/m³ estipulado pela norma internacional MAK. Este e outros COVs identificados nesta pesquisa foram analisados quanto aos efeitos que podem causar

na saúde humana, se ultrapassarem os limites máximos estabelecidos pelas normas internacionais, que vão desde os efeitos agudos, como irritações de pele, membranas mucosas dos olhos, nariz, garganta e trato respiratório, aos efeitos graves, como doenças neurológicas, distúrbios no ritmo cardíaco, depressão do sistema nervoso, asfixia e câncer. Além de ser verificado se os compostos orgânicos identificados podem contribuir para a redução da qualidade do ar interno das habitações.

Palavras-chaves: sustentabilidade na Arquitetura. compostos orgânicos voláteis. revestimentos vinílicos. habitações.

CHAVES, A.L.O. **Sustainability in Architecture and the study of volatile organic compounds emitted by vinyl components in housings.** 2016. 267 p. Thesis (Doctorate) – Architecture and Urban Design Institute of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2016.

ABSTRACT

In recent decades, the polyvinyl chloride has been increasingly used in civil construction, because of its properties that giving them conditions to replace other materials in the works of buildings. In this case, these properties are conferred by the incorporated additives in the formulation of the polymer, which makes it able to be used in different applications, being part of them the vinyl coverings, inside buildings. However, in international research that took place from the 1990s, it was proved that existed chemicals called volatile organic compounds (VOCs) in these coatings. Given these factors, in the present study aimed to identify and quantify these chemicals in vinyl coatings for use on floors and walls, and contact adhesives (glues), by means of analytical techniques: phase micro-extraction and solid gas chromatography coupled to mass spectrometry and thermogravimetry coupled with infrared spectroscopy. In this case, the additives are incorporated into the formulation of this polymer gives it properties which make it able to be used in different applications, as is the case of vinyl floorings and the vinyl wallpapers, which feature flexible and semi-flexible behavior, due to presence of plasticizers (phthalates) in their formulations. The results of the qualitative analysis showed the presence of compounds belonging to the chemical classes of esters, glycol ether, alkanes, alcohols, ketones, antioxidants, acetate esters, terpenes, thiols, chlorinated, hydrocarbon solvents and acid chloride, found mostly in samples of floor lines and vinyl contact adhesive, both sold in Brazil. While samples of vinyl wall coverings do not indicate the presence of VOC. The most significant results was obtained in quantitative analysis with samples of coatings applied with contact adhesive (glue), which indicated concentrations of 216.41 mg / m³ and 403.33 mg / m³ of the 2-ethyl-1-hexanol compound, whose values were above the upper limit of 110 mg / m³ stipulated by international standard MAK. This and other VOCs identified in this study were analyzed about the effects that can cause human health, if they exceed the limits set by international standards, ranging from the acute effects such as skin irritation, mucous membranes of the eyes, nose, throat and respiratory tract, to the

chronic effects such as neurological disorders, heart rhythm disorders, nervous system depression, asphyxia and cancer. In addition to it is verified if the identified organic compounds may contribute to the reduction of the indoor air quality of the houses.

Keywords: sustainability in architecture. volatile organic compounds. vinyl coverings. housings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Gráficos das variações dos níveis das concentrações de COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) emitidos por material sólido (PVC) e por material líquido (wall paint ou tinta de parede), sob influência de temperaturas de 23, 35 e 60°C, entre 25 e 30 dias.	81
Figura 2: Concentração do composto 2-etil-1-hexanol em 400 dias pela emissão proveniente do DEHP presente no piso de vinil, em umidades relativas entre 0 e 50%, à 23 ° C, durante 400 dias.	82
Figura 3: Processo de decomposição de contaminantes do ar por reação fotocatalítica.....	88
Figura 4: Representação da estrutura química do dioctil ftalato (DOP)	90
Figura 5: Os diferentes padrões de revestimentos vinílicos comercializados.	104
Figura 6: Representação esquemática de um misturador intensivo utilizado na preparação do composto vinílico.....	105
Figura 7: Representação esquemática de uma linha de calandragem.....	105
Figura 8: Estruturas dos revestimentos vinílicos homogêneo e heterogêneo.	107
Figura 9: Estruturas dos revestimentos vinílicos heterogêneo acústico e de segurança.....	108
Figura 10: Estruturas dos revestimentos vinílicos desportivo e para zonas úmidas.	108
Figura 11: Exigências funcionais, aplicáveis aos revestimentos vinílicos.	110
Figura 12: Representação esquemática de uma linha simples de espalmagem.	114
Figura 13: Papel revestido com vinil (amostra e instalado no ambiente), e diferentes amostras de Paper Backed Vinyl.	114
Figura 14: Tecido revestido com vinil – amostra e instalado em ambiente.	115
Figura 15: Revestimento vinílico em ambiente - Hospital Unimed, S.Jose R. Preto.	120
Figura 16: Revestimento linha Ambianta na área Gourmet no Hotel Pullman em SP	120
Figura 17: Revestimento linha Allura Flex, Forbo nas salas do Edifício Martinelli, SP	120
Figura 18: Revestimento vinílico instalado na loja da Le Lis Blank, Brasília.	120
Figura 19: revestimentos vinílicos proporcionando alegria à recepção do Central Du Page Hospital, Chicago Illinois, EUA e aos quartos para paciente.	125

Figura 20: (a) Nelson Mandela College, Bordeaux, França, (b) e (c) revestimentos de piso exibindo os nomes das principais cidades do mundo.	125
Figura 21: Revestimentos da linha Imagine com designs para as residências.	125
Figura 22: Divulgação internacional de Declaração de Transparência do Produto	127
Figura 23: Dados de certificações de sustentabilidade da (LVT – Luxury Vinyl Tile).....	135
Figura 24: Dados de certificações de sustentabilidade da Vinyl Planks da Gerflor.....	136
Figura 25: Dados técnicos da linha Wood Planks da ePiso.	136
Figura 26: Piso Wood Planks na Casa Cor, Mato Grosso Do Sul, 2011.	138
Figura 27: Selo ecológico Falcão Bauer	140
Figura 28: Selo do Programa ABNT de rotulagem ambiental	140
Figura 29: Selo da Certificação de asma e alergia.....	142
Figura 30: Selo da Etiqueta Green Plus.	142
Figura 31: Informação sobre baixa emissão de COV e ftalatos em ficha técnica de revestimento vinílico.....	143
Figura 32: Informação sobre baixa emissão de COV e ftalatos em rótulo de revestimento vinílico.	144
Figura 33: Exemplo de fluxograma de ACV de um piso vinílico	148
Figura 34: Uso do amostrador de SPME para o processo de extração e de dessorção dos analitos voláteis para análise por cromatografia gasosa.	151
Figura 35: Vista de uma coluna cromatográfica a gás.	153
Figura 36: Fluxo de gás (fase móvel) conduzindo analitos pela fase estacionária na coluna cromatográfica e separação da mistura.....	153
Figura 37: Representação gráfica de um cromatograma, em relação à resposta do detector versus tempo de retenção dos COVs.	156
Figura 38: Representação de registros de altura e largura dos picos, tempos de retenção dos COV e ponto de eluição, em cromatograma.	156
Figura 39: Diagrama de um sistema de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas.....	157
Figura 40: (a) Detalhe do equipamento TGA, modelo SDT Q600 - composto de forno, balança e sensores. (b) detalhe dos suportes das amostras. (c) Detalhe dos cadinhos.....	160
Figura 41: Detalhe do espectroscópio de infra-vermelho para identificação dos COV liberados nas análises. Modelo Thermo Scientific Nicolet iS10 FTIR	162

Figura 42: Diagrama de um sistema para análises termogravimétricas.	162
Figura 43: Fluxograma das etapas de análise cromatográfica para identificação e quantificação de COV em amostras.	166
Figura 44: Texturas das amostras de piso da Tarkett, analisadas na 1ª fase de testes.	169
Figura 45: Texturas das amostras de piso da ePiso, analisadas na 1ª fase de testes.	169
Figura 46: Selos e certificados ambientais dos pisos da marca ePiso.	170
Figura 47: Texturas das amostras de revestimento de parede - Bobinex, analisadas na 1ª fase de testes.	170
Figura 48: Texturas da amostra do piso Durafloor e da amostra do piso Absolute, analisadas na 2ª fase de testes.	170
Figura 49: Adesivo de contato Globalfix.	170
Figura 50: Adesivo de contato Maxi Rubber.	170
Figura 51: Cromatógrafo gasoso e espectrômetro de massas marca Shimadzu referência GCMS-QP5050 cromatógrafo.	171
Figura 52: Detalhe do amostra-dor de SPME e das fibras.	171
Figura 53: Frascos de amostragem de 10 ml com tampa de septo.	171
Figura 54: Modelo de balança eletrônica digital EQQ 410.	171
Figura 55: Diferença entre volumes dos frascos de vidro de 10 e 3000 mL.	175
Figura 56: Sequência da preparação de uma amostra na base interna de um frasco de 300 ml: (a) preparação do concreto dentro do frasco, (b) aplicação do adesivo de contato, (c) assentamento do adesivo e (d) aplicação do revestimento vinílico.	177
Figura 57: Procedimento de extração por SPME (a) de amostra contendo revestimento de piso e (b) de padrão analítico para análise quantitativa.	177
Figura 58: Extração térmica dos COV por exposição da fibra no injetor do GC-MS.	178
Figura 59: Equipamento de termogravimetria SDT Q600 acoplado ao espectroscópio de infravermelho Thermo Scientific Nicolet iS10 FT-IR, no Laboratório de Química Analítica, Instituto de Química da USP – São Carlos.	181
Figura 60: Cromatograma da amostra 2 (piso – Essence).	190
Figura 61: Cromatograma da amostra 3 (piso – Ambianta).	191
Figura 62: Cromatograma da amostra 1 (piso – Paviflex).	191
Figura 63: Cromatograma da amostra 4 (piso – eSable).	192
Figura 64: Cromatograma da amostra 6 (piso – eBlocks Lite).	193
Figura 65: Cromatograma da amostra 5 (piso – eBlond).	193

Figura 66: Cromatograma da amostra 7 (revestimento de parede – Harmonia Flora).....	194
Figura 67: Cromatograma da amostra 8 (revestimento de parede – Harmonia Palha).....	194
Figura 68: Cromatograma da amostra 9 (revestimento de parede – Harmonia Floral).....	194
Figura 69: Cromatograma da amostra 10 (revestimento de parede – Harmonia Bege).	195
Figura 70: Cromatograma da amostra 13 (adesivo de contato – marca GlobalFix).	195
Figura 71: Cromatograma da amostra 14 (adesivo de contato – marca Maxi Rubber).	196
Figura 72: Cromatograma do íon total obtido no modo SCAN indicando os COV encontrados nas amostras 2, 3, 12 e 11 (pisos Essence, Ambianta, Absolute e Duraflor).....	199
Figura 73: Cromatograma obtido no modo SIM (íon monitorado com m/z 43) indicando a concentração do 2-etil-1-hexanol na amostra 3 (piso Ambianta).....	200
Figura 74: Cromatograma obtido no modo SIM (íon monitorado com m/z 43) indicando a concentração do 2-etil-1-hexanol na amostra 2 (piso Essence).	200
Figura 75: Cromatograma obtido no modo SIM (íon monitorado com m/z 43) indicando a concentração do 2-etil-1-hexanol na amostra 12 (piso Absolute).....	201
Figura 76: Cromatograma obtido no modo SIM (íon monitorado com m/z 43) indicando a concentração do 2-etil-1-hexanol na amostra 11 (piso Duraflor).	201
Figura 77: Cromatograma obtido no modo SIM (íon monitorado com m/z 70 referente ao 2-etil-hexil-acetato) na amostra 12 (piso Absolute).	202
Figura 78: Cromatograma obtido no modo SIM (íon monitorado com m/z 70 referente ao 2-etil-hexil-acetato) na amostra 11 (piso Duraflor).	202
Figura 79: Cromatograma obtido no modo SIM (íon monitorado com m/z 59 referente ao diidro-alfa-terpineol) na amostra 3 (piso Absolute).....	203
Figura 80: Cromatograma obtido no modo SIM (íon monitorado com m/z 59 referente ao diidro-alfa-terpineol) na amostra 11 (piso Duraflor).	203
Figura 81: Cromatograma do íon total (TIC) obtido no modo SCAN indicando os COV encontrados nas amostras de piso, nos diferentes tempos de experimento realizados (pisos Ambianta e Essence).....	204

Figura 82: Cromatograma do íon total (TIC) obtido no modo SCAN indicando os COV encontrados nas amostras de piso, nos diferentes tempos de experimento realizados (pisos Absolute e Durafloor).....	205
Figura 83: Curvas TG/DTG-DTA da amostra Paviflex, mostram as perdas da massa de 10 miligramas em função da decomposição térmica.....	206
Figura 84: Espectros de FTIR dos gases evolvidos durante a decomposição do piso Paviflex.	207
Figura 85: Curvas TG/DTG-DTA da amostra Essence, mostram as perdas da massa de 10 mg em função da decomposição térmica.....	208
Figura 86: Espectros de FTIR dos gases evolvidos durante a decomposição do piso Essence.	208

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Pré-requisitos e créditos (LEED) - categoria materiais e recursos.	42
Tabela 2: Pré-requisitos e créditos (LEED): categoria qualidade do ambiente interno.....	43
Tabela 3: Requisitos da LEED para sistemas de piso utilizando materiais de baixa Emissão.	46
Tabela 4: Organização das categorias do método AQUA.	47
Tabela 5: Requisitos exigidos para atingir pontos referentes a produtos, sistemas e processos.	48
Tabela 6: Requisitos exigidos pela AQUA para atingir pontos de qualidade sanitária do ar.	49
Tabela 7: Principais contaminantes de ambientes internos e suas fontes.....	67
Tabela 8: Valores Limites de exposição aos COV, pelos órgãos (ACGIH, OSHA e NIOSH).....	75
Tabela 9: Tipos de emissões de COVs dos materiais de construção.....	77
Tabela 10: Exemplos de COV emitidos no ar interior por materiais de construção.	78
Tabela 11: Impacto das variáveis climáticas na emissão de COVs em produtos de construção.	83
Tabela 12: Concentração de COV que determinam diferentes respostas da saúde humana.	95
Tabela 13: Os tipos de comportamento dos COV, que influenciam nos efeitos de suas misturas.	96
Tabela 14: Trabalhos relacionados aos efeitos dos COV na saúde humana.	97
Tabela 15: Algumas pesquisas relacionadas ao efeito dos ftalatos na saúde humana.....	100
Tabela 16: Alguns casos de revestimentos vinílicos aplicados em edifícios nacionais.	121
Tabela 17: Alguns casos de revestimentos vinílicos aplicados em edifícios no mundo.....	122
Tabela 18: Dados ecológicos e selos ambientais das linhas de piso vinílico - marca Tarkett.	132
Tabela 19: Alguns casos de revestimentos LVT aplicados em edifícios nacionais.	137

Tabela 20: Caracterização das amostras que foram analisadas nas 2 fases de testes (GC-MS).	168
Tabela 21: Resumos dos trabalhos científicos que serviram de repertório para a tese.....	186
Tabela 22: Relação entre ponto de ebulição e tempo de retenção de COV eluidos da amostra 2.....	197
Tabela 23: Concentrações de COV em pisos assentados sobre adesivo, análise quantitativa.	204
Tabela 24: Valores das concentrações dos COV obtidas por análise quantitativa na segunda etapa com GC-MS e comparação com os valores limites de exposição máxima.....	211
Tabela 25: Sintomas por inalação dos COV emitidos pelos revestimentos vinílicos (GC-MS).....	213
Tabela 26: Sintomas por inalação dos COV emitidos pelas colas (GC-MS).	214
Tabela 27: Sintomas por inalação dos COV emitidos por revestimentos vinílicos (TG-FTIR).	215
Tabela 28: Concentrações de COV em pisos assentados sobre adesivo, análise quantitativa.	221
Tabela 29: Limite de exposição máxima aos COV identificados nos testes, por GC-MS.....	261
Tabela 30: Limite de exposição máxima aos COV identificados nos testes, por TGA-FTIR.	262
Tabela 31: Características das linhas de piso vinílico da marca Tarkett, disponíveis no mercado.....	263

ACV - Avaliação do Ciclo de vida

ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

AQUA - Alta Qualidade Ambiental

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning
Engineers

AVAC – Aquecimento, ventilação e ar condicionado

BEES - Building for Environmental and Economic Sustainability

BEPAC - Building Environmental Performance Assessment Criteria

BRASINDOOR - Sociedade Brasileira de Meio Ambiente e Controle da Qualidade do
Ar de Interiores

BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment
Methodology

BRI – Building-related illness

CDPH – California Department of Public Health

CHPS – Collaborative for High Performance Schools

COV – Compostos orgânicos voláteis

COSV - Compostos orgânicos semi-voláteis

CRI - Carpet and Rug Institute

CSIC – Consejo Superior de Investigación Científica

DEHP - Diethylhexyl phthalate

DOP – Dioctyl phthalate

DTG - Derivative thermogravimetry

ECA - European Collaborative Action

FPACEOH - Federal Provincial Advisory Committee on Environmental and
Occupational Health

FTIR - Fourier transform infrared (spectroscopy)

ECO 92 – Conferência Ecológica no RJ em 1992

EDC – Ethylene dichloride

GBCB - Green Building Council Brasil

GC-MS – Gas chromatography–mass spectrometry
HS - Headspace
IDHEA - Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica
IFBQ - Instituto Falcão Bauer de Qualidade
ISO - International Organization for Standardization
LADETEC - Laboratório de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico
LAGA - Laboratório de Aerossóis e Gases Atmosféricos
LEED - Leadership in Environment and Energy Design
LVT - luxury vinyl tile
NIST - National Institute of Standards and Technology
MAK - Maximale Arbeitsplatz-konzentration
NIST – National Institute of Standards and Technology
OMS - Organização Mundial da Saúde
OSHA - Occupational Safety and Health Administration
PDMS – polidimetilsiloxano
PVC - Polyvinyl chloride – cloreto de polivinila
QAI – Qualidade do Ar Interno
RFCI - Resilient Floor Covering Institute
SBS - Sick Building Syndrome
SED - síndrome do edifício doente
SCS - Scientific Certification Systems
SPME - Solid Phase Microextraction
SVOC – Semivolatile Organic Compounds
WGBC - World Green Building Council
WHO - World Health Organization
TGA – Thermogravimetric analysis
TLV - Threshold Limit Value
TLV –TWA - Threshold Limit Value - Time Weighted Average
TLV – STEL - Threshold Limit – Short Term Exposure Limit
TVL – C - Threshold Limit - Value Ceiling
UNEP - United Nations Environment Programm
USEPA - US Environmental Protection Agency
USGBC - U.S. Green Building Council
VOC – Volatile Organic Compound
VCM – Vinyl chloride monomer

SÍMBOLOS

μg – micrograma

μL - microlitro

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ – micrograma por metro cúbico

Kg/m^3 - quilograma por metro cúbico

mL – mililitros

m/s – metros por segundo

N_2 - Nitrogênio

$^{\circ}\text{C}$ – graus celsius

$^{\circ}\text{C}.\text{min}$ - Graus Celsius por minuto

g/L – gramas por litro (concentração comum de uma solução)

L/s – litros por segundo

$\text{mL}.\text{min}$ - mililitros por minuto

M - massa

MJ – megajoule (10^6 joules - unidade de energia)

T - temperatura

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	26
1.1. Justificativas	27
1.1.1. Social.....	27
1.1.2. Econômica.....	29
1.1.3. Ambiental	30
1.1.4. Tecnológica	31
1.1.5. Delimitação da pesquisa	32
1.2. Hipoteses.....	32
1.3. Objetivos.....	33
1.3.1. Objetivo geral	33
1.3.2. Objetivos específicos.....	33
1.4. Estruturação da pesquisa	34
 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	 36
2.1. Sustentabilidade na Construção, Arquitetura e Design de interiores	36
2.1.1. Desenvolvimento sustentável	36
2.1.2. Sustentabilidade na construção civil	38
2.1.3. Sustentabilidade na Arquitetura	50
2.1.4. Sustentabilidade no design de interiores	52
2.1.5. Sustentabilidade na seleção dos materiais de construção	53
2.2. Qualidade do ar interno nas edificações	58
2.2.1. Qualidade do ar interno no mundo.....	58
2.2.2. Qualidade do ar interno no Brasil	59
2.2.3. Síndrome do edifício doente	61
2.2.4. Qualidade do ar interno em ambientes residências	63
2.2.5. Diretrizes e normas para concentrações dos contaminantes em ambientes internos	68
2.3. Emissões de COV pelos Revestimentos Vinílicos	75
2.3.1. Introdução a compostos orgânicos voláteis (COV)	75
2.3.2. Emissões de COV pelos materiais de construção	76
2.3.3. COV e COV totais no ambiente interno	79
2.3.4. Efeito das variáveis climáticas nas emissões de COV.....	80
2.3.5. Adsorção e dessorção dos COV	83
2.3.6. Medidas de controle dos COV no ar interno.....	84
2.3.7. Emissão de COV por revestimentos internos.....	89

2.4. Exposição aos COV e Efeitos na Saúde Humana	94
2.4.1. Impactos da exposição aos COVs na saúde humana	94
2.4.2. Pesquisas sobre os efeitos dos COV na saúde humana	96
2.4.3. Impacto dos plastificantes ftalatos na saúde humana	99
2.5. Revestimentos vinílicos na Arquitetura de interiores	101
2.5.1. História do revestimento vinílico	101
2.5.2. Revestimento vinílico de piso	103
2.5.3. Adesivo de contato (a cola)	111
2.5.4. Revestimento vinílico de parede.....	112
2.5.5. Alguns modelos de revestimentos vinílicos no mercado	117
2.5.6. Revestimentos vinílicos em projetos arquitetônicos	117
2.5.7. Declaração de transparência sobre pisos resilientes para arquitetos e demais especificadores	126
2.6. Revestimentos vinílicos ecologicamente corretos	130
2.6.1. Revestimentos vinílicos com conteúdo reciclado	131
2.6.2. Piso Vinílico de Luxo	134
2.6.3. Revestimentos vinílicos com óleos vegetais de origem renovável	137
2.6.4. Rotulagem ambiental.....	139
2.6.5. Selos ambientais para revestimentos vinílicos e carpetes	141
2.6.6. Avaliação do Ciclo de vida (ACV).....	144
2.6.7. Algumas considerações	149
2.7. Técnicas de amostragem e análise de COV	150
2.7.1. Microextração de fase sólida (SPME)	150
2.7.2. Cromatografia em fase gasosa.....	152
2.7.3. Espectrômetro de massas.....	154
2.7.4. Cromatógrafo a gás acoplado à espectrômetro de massas	157
2.7.5. Análise qualitativa.....	158
2.7.6. Análise quantitativa	158
2.7.7. Análise termogravimétrica	158
2.7.8. Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR)	161
3. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	164
3.1. Pesquisa bibliográfica	164
3.2. Métodos de análise e identificação de COV	165
3.2.1. Experimento de laboratório: cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas – 1ª fase de determinação de COV	166
3.2.2. Experimento de laboratório: cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas - 2ª fase de determinação de COV	174
3.2.3. Experimento de laboratório: termogravimetria acoplada a espectroscopia de infravermelho (TG/IV)	179

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	186
4.1. Resultados da pesquisa bibliográfica	186
4.2. Resultados das análises e identificação dos COV	188
4.2.1. Experimento de laboratório: cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas - resultados da primeira fase dos testes	188
4.2.2. Experimento de laboratório: cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas - segunda fase de determinação de COV	198
4.2.3. Experimento de laboratório: termogravimetria acoplada a espectroscopia de infravermelho	205
4.2.4. Avaliação e classificação dos resultados encontrados	210
5. CONCLUSÕES	220
5.1. Conclusões a partir dos resultados dos experimentos	220
5.2. Considerações finais	223
5.3. Sugestões para trabalhos futuros	225
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	228
7. APÊNDICES	261
7.1. Limite de exposição máxima aos COV encontrados	261
7.2. Modelos de pisos vinílicos disponíveis no mercado	263

Capítulo 1

Introdução

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os avanços da tecnologia da construção contribuíram para que os materiais sintéticos passassem a ser mais utilizados pela sociedade, que passou a adotá-los como uma nova alternativa na construção dos edifícios e também a propô-los como uma das soluções para acabamento dos espaços internos. Pois, além de adquirirem características de maior durabilidade, resistência à ação de agentes atmosféricos, custo acessível, peso reduzido e facilidade de montagem, estes materiais ofereciam propriedades de isolamento térmico e acústico que tornavam os edifícios mais confortáveis e com um custo de manutenção energética menor.

Dentre estes materiais, destacam-se os revestimentos flexíveis e semiflexíveis, confeccionados com base em policloreto de vinila (PVC), para aplicação sobre pisos e paredes. Os revestimentos de piso são conhecidos como pisos vinílicos e os revestimentos de parede como adesivos vinílicos ou papéis de parede vinílicos. Os pisos vinílicos são comercializados em forma de placas (semiflexíveis), régua (semiflexíveis) e mantas (flexíveis), e os adesivos e papéis de parede são exclusivamente flexíveis. Além das características mencionadas anteriormente, ambos os produtos são versáteis, devido à variedade de estilos e cores com os quais são compostos, o que os torna adaptáveis às especificações de diferentes projetos arquitetônicos, incluindo os residenciais.

Por outro lado, os materiais sintéticos trouxeram consigo novas fontes de contaminantes nos ambientes internos. Tal fato tem sido motivo para a preocupação crescente da comunidade médica-científica sobre os efeitos da qualidade do ar interior na saúde dos ocupantes, pois cada vez mais as pessoas passam a maior parte do tempo dentro dos edifícios, os quais por sua vez têm passado por mudanças arquitetônicas que os torna ainda mais fechados e com baixas taxas de ventilação.

Os revestimentos vinílicos contêm substâncias químicas, conhecidas como compostos orgânicos, que podem ser volatizadas no ar de qualquer ambiente edificado, especialmente nas habitações, onde as pessoas passam boa parte de seu tempo diário e por isto têm a saúde exposta a estas substâncias. Além destas substâncias, os revestimentos vinílicos de piso formulados com carga de PVC reciclado podem conter alguns traços de outras substâncias como dioxinas e metais pesados trazidos pelo próprio PVC reciclado.

No entanto, os profissionais têm especificado estes revestimentos em seus projetos, apenas com base nas informações fornecidas pelos fabricantes, as quais não contemplam as emissões químicas destes produtos e a influência que exercem na qualidade do ar interno dos ambientes. Além disso, estes revestimentos são comercializados como produtos *ecologicamente corretos*, devido às adições de PVC reciclado ou plastificante de origem vegetal em suas formulações, dando-lhes condições de reaproveitamento e longevidade do ciclo de vida.

1.1. Justificativas

1.1.1. Social

Segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2012), a poluição atmosférica nos ambientes externos e internos é um grave risco à saúde ambiental e humana, pois estima-se que aproximadamente 7 milhões de pessoas morrem todos os anos no mundo, vítimas da poluição do ar. Destas mortes, 62% se deve à poluição do ar interno dos lares, com fogões a carvão, lenha ou biomassa. Em meio a este contexto, nota-se que a qualidade do ar é importante para a proteção da saúde dos ocupantes de ambientes internos e também um fator altamente relevante para construções mais saudáveis e sustentáveis.

Estudos da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) indicam que os níveis de concentração de poluentes podem ser de duas a cinco vezes maiores em ambientes internos do que nos externos. De acordo com a Organização Mundial da

Saúde (OMS) esta baixa qualidade é causada pela má higienização dos aparelhos de ar condicionado, falta de controle sobre as possíveis fontes de contaminação e má ventilação, em ambientes internos, o que contribui para o fato de que o tempo de permanência aumente os riscos à saúde humana nestes locais.

Conforme Schirmer, Pian, Szymanski et al (2011), dentre os principais poluentes do ar interno, destacam-se tanto os contaminantes de origem não biológica (como monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxido nítrico, óxido nitroso, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, ozônio, materiais particulados, fumaça de cigarro e os compostos orgânicos voláteis), quanto os de origem biológica (bactérias, fungos, etc).

Segundo a USEPA (2016), além de alguns destes poluentes, que advêm do meio ambiente, há outros poluentes do ar externo, como óxidos de nitrogênio, óxidos de ozoto, oxidantes fotoquímicos, ácido clorídrico, chumbo, flúor, poeiras, fumaças negras, mais materiais particulados e compostos orgânicos voláteis (a maioria proveniente de atividades industriais, queima de óleo, combustíveis de veículos automotores e incineração do lixo).

Sabe-se ainda que a má qualidade do ar interno (QAI) está diretamente ligada à síndrome dos edifícios doentes (SED) que provoca diversos sintomas e problemas de saúde, causados por emissões de contaminantes advindos de fontes internas de várias origens, isoladas ou associadas, influenciando negativamente sobre a qualidade de vida. Entre os sintomas da SED podem ser citados a irritação das mucosas, efeitos neurotóxicos, sintomas respiratórios e cutâneos e alterações dos sentidos, por no mínimo duas semanas, sendo que estes desaparecem quando o indivíduo se afasta do edifício (GIODA e AQUINO NETO, 2003).

No Brasil, as linhas de pesquisa sobre qualidade do ar em ambientes internos e toxicidade dos materiais de construção civil são recentes. Em razão disto, nota-se que a produção científica local (referente a tal questão) ainda é escassa, provando a necessidade de desenvolvimento de pesquisas, nas quais sejam estudados e estabelecidos os limites, estimando as emissões dos materiais mais utilizados e ainda o controle de seus usos nos interiores, buscando ambientes mais saudáveis.

Os poucos instrumentos legais nacionais para avaliação do ar em ambientes não industriais que podem ser citados são Portaria 3.523/1998 do Ministério da Saúde, que resultou nas Resoluções 176/2000 e 09/2003 (ANVISA, 2000 e 2003), que estabelecem parâmetros mínimos para a melhoria da qualidade do ar interno; e as regulamentações de saúde ocupacionais estabelecidas na Norma Regulamentadora Nº15 – Atividades e Operações Insalubres. Ambos se baseiam em órgãos como a Organização Mundial da Saúde e a American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) (SILVA, 2012).

São muitas as fontes de emissões de compostos orgânicos voláteis no interior dos edifícios, como tintas, revestimentos vinílicos, solventes, carpetes, mobiliários, conservantes de madeira, sprays de aerossol, desinfetantes, purificadores de ar, materiais de artesanato, pesticidas, atividades humanas, entre outros. Destes produtos, os revestimentos vinílicos e seus produtos de aplicação merecem especial destaque por representarem enorme risco à saúde de seus usuários, produtores e instaladores, em razão das substâncias utilizadas em suas formulações, supostamente cancerígenas e desreguladoras reprodutivas em seres humanos. Há décadas estes revestimentos são utilizados em ambientes internos de uso público como hospitais, escolas, fábricas, escritórios. Recentemente, além destes ambientes passaram a ser utilizados em edifícios residenciais.

Em entorno deste fato e considerando os estudos que estão sendo realizados em todo o mundo a respeito da toxicidade destes produtos, é que a presente pesquisa se justifica socialmente. Pois, considera-se que tais problemáticas se relacionam diretamente com a qualidade de vida dos ocupantes de ambientes internos, principalmente, no que diz respeito à ocorrência de doenças e seus sintomas.

1.1.2. Econômica

Em 2013 os gastos da União com assistência hospitalar e ambulatorial chegaram a R\$ 41,3 bilhões (PLOA, 2013). Considerando que as doenças respiratórias são responsáveis por aproximadamente 16% de todas as internações e por mais de 50% das hospitalizações de crianças, no Brasil, e que grande parte das doenças do trato respiratório tem ligação com a poluição do ar, nota-se que diminuir os riscos de

contaminação através deste tipo de poluição traria benefícios econômicos através da redução dos gastos públicos com saúde (ROSA, 2008). Além disso, as doenças e sintomas provocados pela baixa QAI podem trazer uma série de agravos à saúde das pessoas, com influência econômica, como perda de dias de trabalho, custos com tratamento, medicamentos, internação e até a morte (GOMES e KUWAHARA, 2008).

Destaca-se ainda a importância econômica dos projetos de arquitetura e de design de interiores, o que contribui amplamente para a valorização e facilidade de venda dos imóveis, além de aumentar a satisfação dos clientes com seus espaços privados e ambientes bem planejados. Evita-se também a necessidade de alterações e manutenções constantes dos espaços através do uso de materiais adequados e corretamente especificados para determinados fins (Silva, 2012). Neste caso, seria a especificação de revestimentos vinílicos que não oferecessem riscos à saúde dos usuários, ao mesmo tempo que atendessem plenamente as suas necessidades, poderia vir a ser um fator redutor das despesas com manutenção do lar, pois o custo destes produtos vinílicos encontra-se cada vez mais acessível no mercado.

1.1.3. Ambiental

Na questão ambiental, compreende-se que os revestimentos vinílicos não possuem o mesmo apelo ecológico que os revestimentos produzidos com materiais naturais, como madeira e linóleo, pois a matéria-prima principal destes *produtos vinílicos* é a resina de PVC, um recurso natural não renovável, advindo do petróleo, enquanto que a matéria-prima do piso de madeira é renovável e a matéria-prima do piso de linóleo contém apenas aditivos naturais. Além da resina de PVC, os revestimentos vinílicos são compostos por aditivos plastificantes ftalatos e outros solventes, cujo grau de toxicidade por emissão de compostos orgânicos foi investigado na presente pesquisa.

Outro material constantemente aplicado na composição de revestimentos vinílicos de piso, são conteúdos de PVC reciclados, que podem conter aditivos tóxicos passíveis de serem dispersados para estes revestimentos. Como é o caso de um produto de PVC descartado, que contenha estabilizante térmico e retardante de chama halogenado (substâncias que podem causar problemas reprodutivos, de neuro-

desenvolvimento, de câncer, entre outros) e, mesmo assim, é reciclado e depois reutilizado na formulação de um novo revestimento vinílico.

De acordo com o Instituto do PVC (2015) o índice de reciclagem de PVC pós-consumo no Brasil passou de 15,1% em 2010 para 19% em 2011, maior taxa registrada desde 2005, quando a pesquisa começou a ser realizada. O volume reciclado foi de 29.857 toneladas frente às 25.302 toneladas recicladas no ano anterior, correspondente a um aumento de 18%. Além de estar entre os três plásticos mais produzidos no mundo, o PVC é o plástico que menos aparece no lixo urbano, pois 64% de seus produtos são usados em aplicações de longa duração, com vida útil superior a 15 anos.

A fim de explorar o aspecto sustentável dos revestimentos a base de PVC, especialmente aqueles que estão sendo comercializados como ecologicamente corretos¹, busca-se através da investigação das emissões de compostos orgânicos voláteis identificar os possíveis riscos de toxicidade destes componentes, que pode inviabilizá-los como materiais de acabamento, em termos de conforto e salubridade ambiental. Pois o fato dos vinílicos serem nocivos à saúde humana e ao meio ambiente justificaria a busca por outras alternativas mais práticas e eficazes.

1.1.4. Tecnológica

O presente estudo busca reunir informações acerca das características toxicológicas dos revestimentos vinílicos, em termos de emissões dos COV, considerando que estes produtos estão sendo aplicados nas edificações brasileiras, sem trazerem as reais informações sobre as substâncias químicas presentes em suas composições. Além disso, o levantamento destas informações sobre os COV presentes nestes revestimentos poderá incentivar o desenvolvimento de outros trabalhos, neste instituto ou em outros centros de pesquisa pelo país, com propostas de novas tecnologias para a produção de alternativas de revestimentos, com PVC ou outros materiais, saudáveis e mais sustentáveis para uso no ambiente construído.

¹. Por não usar produtos de origem vegetal (árvores) que potencialmente contribuem para o desmatamento.

A análise mais detalhada das características químicas nocivas dos revestimentos vinílicos tornam esta pesquisa um importante instrumento de informação, que contribuirá para especificações mais conscientes de arquitetos, engenheiros e demais consumidores, fornecendo-lhes subsídios para a execução de edifícios e ambientes mais saudáveis e adequados à ocupação humana.

1.1.5. Delimitação da pesquisa

Com relação ao material estudado, o enfoque foi na identificação dos compostos orgânicos voláteis presentes em revestimentos vinílicos aplicados em pisos e paredes, em habitações no Brasil, de maneira que pudessem ser levantados os danos que são capazes de causar à saúde humana e à qualidade do ar interior. Não foi proposta a elaboração de novos produtos e sim a verificação de toxicidade em produtos vinílicos e seus adesivos de contato, comumente comercializados, de maneira que fossem elencadas informações relevantes para o aprofundamento do tema, contribuindo para especificações mais conscientes no que diz respeito aos produtos vinílicos para acabamento utilizados no ambiente interno construído.

A presente pesquisa também não se aprofundou no detalhamento das propriedades físicas, dos experimentos mecânicos ou detalhamento técnico dos processos de produção dos revestimentos vinílicos. O enfoque foi no estudo das emissões de COV ligados às características químicas destes produtos e no detalhamento dos ensaios a partir de duas técnicas analíticas, empregadas no campo da Química Orgânica para a verificação de substâncias voláteis.

1.2. Hipoteses

- a) Como uma das hipóteses deste trabalho suspeita-se que na produção brasileira dos revestimentos vinílicos e suas colas não foram incluídas as resoluções estabelecidas pelos organismos internacionais relacionados à saúde humana ocupacional, e que, por isto, estes produtos estão sob suspeita de trazerem consigo novas fontes de COV para os ambientes internos.

- b) Como segunda hipótese suspeita-se que outros produtos em PVC, utilizados na Construção Civil no Brasil, possam emitir compostos orgânicos voláteis;
- c) Como terceira hipótese suspeita-se que os COV emitidos por revestimentos vinílicos e colas afetam a saúde das pessoas no interior dos edifícios, especialmente aqueles não ocupacionais.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

A presente pesquisa tem como objetivo realizar o estudo qualitativo e quantitativo das emissões de compostos orgânicos voláteis (COV) por revestimentos formulados com base no PVC e pelos adesivos de aplicação destes produtos, em pisos e paredes dos ambientes internos das habitações, seguido da verificação da influência destas substâncias sobre a saúde dos ocupantes e sobre a qualidade do ar nestes ambientes.

1.3.2. Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo desta pesquisa são desenvolvidas as seguintes etapas:

- a) Identificar a presença de COV em amostras de revestimentos vinílicos para pisos e paredes, e em adesivos de contato, através de estudo qualitativo por meio de técnicas analíticas, em laboratórios do Instituto de Química da USP – São Carlos;
- b) Estimar as concentrações de COV e seus valores em amostras de revestimentos vinílicos para pisos junto à adesivos de contato, através de estudo qualitativo por meio de técnicas analíticas;
- c) Analisar a concentração limite de exposição máxima permissível para os COV, e compará-las com as concentrações estimadas das amostras analisadas,

conforme critérios e normas estabelecidos por órgãos reguladores internacionais;

- d) Verificar a toxicidade dos COV identificados nas amostras e os efeitos na saúde das pessoas expostas à estas substâncias químicas;
- e) Propor meios de informar sobre os contaminantes nestes produtos vinílicos, de maneira a esclarecer os profissionais de arquitetura e engenharia civil;

1.4. Estruturação da pesquisa

A presente pesquisa está estruturada a partir das seguintes etapas:

- a) Capítulo 1, correspondente à introdução da pesquisa, na qual são apresentados itens referentes aos justificativas, delimitação do campo de pesquisa e objetivos;
- b) Capítulo 2, referente à base teórica da pesquisa, expondo conceitos relativos à sustentabilidade na construção, arquitetura e design de interiores; qualidade do ar em ambientes internos (QAI); revestimentos vinílicos ecologicamente corretos; uso dos revestimentos vinílicos em ambientes internos no contexto da Arquitetura; compostos orgânicos voláteis e seus efeitos sobre a saúde humana;
- c) Capítulo 3, onde é destacada a metodologia de pesquisa, explicando métodos e ferramentas utilizadas na elaboração e desenvolvimento do estudo;
- d) Capítulo 4, no qual são apresentados os resultados da pesquisa, referentes aos experimentos realizados por meio de técnicas analíticas em laboratórios do Instituto de Química da USP - São Carlos, à análise dos limites de exposição máxima à cada uma das substâncias identificadas; e os efeitos causados na saúde humana por estas substâncias;
- e) Capítulo 5, em que se dá o encerramento de todo o estudo, destacando as conclusões e contribuições da pesquisa;
- f) Capítulo 6, no qual são feitas recomendações para estudos futuros.

Capítulo 2

Revisão bibliográfica

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Sustentabilidade na Construção, Arquitetura e Design de interiores

2.1.1. Desenvolvimento sustentável

O termo desenvolvimento sustentável foi definido pela primeira vez através do Brundtland Report na Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU em 1987 como “aquele que atende as necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade das gerações futuras de atenderem as suas próprias necessidades”. Em outras palavras, as populações podem atingir um nível satisfatório de desenvolvimento social e econômico ao mesmo tempo que fazem um uso ideal dos recursos naturais e preservam as espécies e os habitats naturais. Assim, de acordo com a UNEP (2011, p.06).

A maioria das estratégias de crescimento econômico incentivaram um rápido acúmulo de capital físico, financeiro e humano, porém, à custa da degradação do capital natural, que inclui as reservas de recursos naturais e os ecossistemas. Ao esgotar as reservas de riquezas naturais do mundo (em muitos casos, irreversivelmente) esse padrão de desenvolvimento e crescimento teve impactos prejudiciais no bem-estar das gerações atuais e apresenta riscos e desafios tremendos para o futuro. As crises recentes são sintomáticas desse padrão.

Os graves acidentes e degradações do meio ambiente e a utilização desenfreada dos recursos naturais ao longo dos anos, os quais geraram modificações significativas no clima e território do planeta, impactando diretamente na qualidade de vida da população, fizeram com que se desenvolvesse a consciência ecológica em diferentes níveis dos vários setores da sociedade mundial (COSTA, 2003). Assim, grandes eventos foram realizados, como a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Am-

biente Humano, em 1972, na cidade de Estocolmo, e a Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – ECO-92, na cidade do Rio de Janeiro.

Nestas conferências foram firmados protocolos internacionais, a fim de rever metas e elaborar mecanismos para o desenvolvimento sustentável (GONÇALVES e DUARTE, 2006). Entretanto, a Agenda 21 foi o documento de maior destaque, assinado por 170 países participantes na ECO 92, o qual define compromisso entre governos e sociedades pelo planejamento estratégico para alcançar o desenvolvimento sustentável universal no século XXI (SERRADOR, 2008).

Na Agenda 21 é estabelecido um amplo programa de ação entre os países, contemplando a redução dos riscos para a saúde humana decorrentes da poluição e dos perigos ambientais (CNUMAD, 2015). O documento também estabelece a conservação e valorização dos recursos naturais, a contribuição para a melhoria da qualidade do ambiente, a promoção da equidade e coesão social, o combate à pobreza e a exclusão social, o fortalecimento da economia local e valorização dos produtos regionais (SILVA, 2009).

Entretanto Meadows (2004) afirma que essas reuniões foram marcadas por disputas ideológicas e econômicas. Em razão disto as ações que haviam sido determinadas na Agenda 21 não atenderam às expectativas e muitos problemas ambientais não foram resolvidos. Inclusive, em 1997, a *Earth Council* teria divulgado que o planeta foi sustentável até a década de 80 e que naquele ano de 1997 o uso de recursos da humanidade já superava em 20% a capacidade de suporte global.

No ano de 2002, houve a Cúpula da Terra sobre Desenvolvimento Sustentável, na cidade de Joanesburgo, onde os compromissos da agenda 21² puderam ser reafirmados. Em 2007, na cidade de Kyoto, no Japão, foi realizada uma reunião que resultou em um Protocolo no qual os chefes de Estado presentes assumiram o compromisso de não superar a emissão média de gases causadores do efeito estufa entre os anos de 2008 e 2012 (DIAS, 2001).

². Os compromissos propunham a maior integração das dimensões (econômica, social e ambiental) do desenvolvimento sustentável através de programas e políticas centrados nas questões sociais.

2.1.2. Sustentabilidade na construção civil

As discussões sobre sustentabilidade alcançaram o âmbito da construção civil com a primeira conferência ocupando lugar central na eficiência energética das edificações, realizada em 1994 em Tampa, patrocinada pelo International Council for Research and Innovation in Building (SERRADOR, 2008). Com isto, o setor passou a ser tratado com enfoque especial, limitando-se inicialmente ao estudo do desempenho energético dos edifícios, e depois buscando envolver todos os seus agentes, em todas as etapas do processo construtivo, que correspondem à extração e produção de materiais, ao projeto, à construção, à operação e manutenção, até a desmontagem do edifício.

Nesta conferência foi elaborada a Agenda 21 para a Construção Sustentável, um documento que procura orientar os vários agentes do setor da construção civil, no sentido do desenvolvimento e da construção sustentáveis, ao nível das necessidades do mercado; de funcionamento dos edifícios e estruturas; dos recursos; da melhoria do processo construtivo; do urbanismo; dos aspectos sociais, entre outros. Segundo o documento, os maiores desafios para o setor são promover a eficiência energética; reduzir o uso e consumo de água potável; selecionar materiais com base no seu desempenho ambiental; e contribuir para um desenvolvimento urbano sustentável. Em relação a este assunto, Serrador (2008, p. 28) afirma que:

A agenda 21 para a Construção Sustentável define uma série de responsabilidades para os diversos agentes da cadeia da construção, como uma abordagem mais integrada por parte dos projetistas, a consciência da sustentabilidade como fator de competitividade pelos contratantes, o maior cuidado com o ciclo de vida e os impactos gerados na produção de materiais pela indústria, a consciência da sustentabilidade como um dos aspectos do conforto pelos usuários, pesquisas e divulgação de boas práticas pelas autoridades e demandas mais sustentáveis pelos proprietários ou incorporadores.

Em várias partes do mundo, as definições sobre sustentabilidade na construção civil são abordadas de maneiras distintas. Pois, se a sustentabilidade pode ser facilmente implantada nos países desenvolvidos, onde os aspectos sociais e econômicos estão

estabelecidos; nos países em desenvolvimento a sustentabilidade é um desafio (JOHN e OLIVEIRA, 2006). Entretanto, os países desenvolvidos consomem excessivamente os recursos naturais devido a seus estilos de vida, enquanto os países em desenvolvimento sofrem com a falta de tecnologia para a exploração eficiente destes recursos, assim como falta de educação ambiental e outros problemas sociais (PEREIRA, 2013).

2.1.2.1. Avaliação ambiental de edifícios

O primeiro sinal da necessidade de se avaliar o desempenho ambiental de edifícios surgiu com a constatação de que os países, que acreditavam dominar os conceitos de projeto ecológico, não possuíam os meios para verificar o quanto eram *sustentáveis* os seus edifícios. O segundo sinal veio com o acordo entre pesquisadores e agências governamentais sobre a classificação de desempenho vinculada aos sistemas de certificação ser um dos métodos mais eficientes para elevar o nível de desempenho ambiental das novas edificações (SILVA, 2007b).

Dessa forma, surgiram os sistemas de avaliação de construção sustentável, os quais foram definidos por Pinheiro e Soares (2007) como ferramentas importantes que permitem incentivar e auxiliar a implementação de edifícios sustentáveis, a partir de um conjunto de critérios que agregam aspectos ambientais e fatores de construção. EUA, Canadá, países europeus e países asiáticos, têm investido em certificação de edifícios, baseado em critérios e indicadores que avaliam, o consumo de energia e impacto ambiental (SILVA, 2007b).

No Brasil, os sistemas de certificação de edifícios que se relacionam com a escolha dos materiais de construção e a preocupação com a qualidade do ar interno são a *Leadership in Environment and Energy Design (LEED)*, dos Estados Unidos, promovido pelo *World Green Building Council (WGBC)*; e a *Alta Qualidade Ambiental (AQUA)*, primeiro referencial técnico de certificação da construção sustentável no Brasil, originada na França.

O órgão responsável por adaptar o sistema LEED às edificações brasileiras é o Green Building Council Brasil (GBCB), criado em 2007, o qual confere o selo de *green*

building a projetos implementados por algumas empresas construtoras (GBCB, 2012). Neste processo de certificação, a fiscalização é realizada por uma empresa responsável por documentar a obra por meio de relatórios descritivos e fotográficos, para a conferência da qualidade dos trabalhos e do uso dos materiais conforme especificações dos projetistas, envolvidos no início de tal empreendimento. (PICCOLI; KERN; GONZÁLEZ, et al., 2010). Embora não seja obrigatória, esta certificação torna-se cada vez mais importante para os edifícios que precisam estar enquadrados em parâmetros de sustentabilidade.

O órgão responsável pela implementação da certificação AQUA no Brasil é a Fundação Carlos Alberto Vanzolini, em parceria com a Escola Politécnica da USP. A ação fiscalizadora deste processo de certificação, acontece através da Comissão Técnica da Diretoria de Certificação da Fundação Vanzolini, a qual supervisiona as atividades de certificação por meio da análise das auditorias realizadas segundo as normas internacionais aplicáveis a elas e emite pareceres relativos a controvérsias e litígios (FUNDAÇÃO VANZOLINI & CERWAY, 2016).

Por outro lado, pode ser citada a emissão de laudos técnicos realizados por peritos de engenharia e inspetores prediais, que colaboram para facilitar a análise da sustentabilidade e consequentes orientações de melhoramentos que ao mesmo tempo favoreçam a eficiência energética e a economia de energia e água, nos edifícios. Além do que, atendendo a estes critérios, um edifício passa a ser mais valorizado comercialmente.

2.1.2.2. Certificação LEED

Após o estudo dos programas existentes, principalmente o *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM) e o *Building Environmental Performance Analysis Club* (BEPAC), decidiu-se desenvolver um sistema de classificação e certificação ambiental próprio para os Estados Unidos, com o nome de LEED™ (Leadership in Energy & Environmental Design) – Liderança em Projeto Energético e Ambiental (SILVA, 2007b).

Este sistema avalia várias categorias de empreendimentos, como novas construções e grandes projetos de renovação; projetos do entorno do edifício e de interiores; operação e manutenção de edifícios como escolas, unidades de saúde, lojas de varejo, edificações residenciais³, loteamentos e condomínios (GUÍO, 2013, p.73). Especialmente, no caso da avaliação de desempenho ambiental de edificações habitacionais deve ser adotado o sistema de certificação LEED for Homes (USGBC, 2008), como principal iniciativa para este tipo de avaliação em habitações e entorno (BUENO e ROSSIGNOLO, 2013).

Segundo o Green Building Council Brasil (2012), as categorias de avaliação são:

- a) **Sítios sustentáveis** – esta categoria representa 20% dos pontos e está relacionada à redução da poluição durante a construção da estrutura do edifício e fornece à equipe do projeto os critérios necessários para alcançar essa minimização e proteção ambiental até a fase de utilização do edifício.
- b) **Uso eficiente da água** - esta categoria corresponde a 7% da pontuação geral e fornece requisitos para minimizar a quantidade de água utilizada para execução da construção e para quando o edifício estiver em operação.
- c) **Energia e atmosfera** - representa um quarto do total dos requisitos, diz respeito à minimização do consumo de energia e o incentivo à utilização de fontes de energia alternativa e energias renováveis.
- d) **Materiais e recursos** – categoria que representa 19% dos pontos e incentiva estabelecimento de sistemas de reciclagem e critérios para minimizar a quantidade de resíduos, desde o processo construtivo até a utilização do edifício. Fomenta a seleção de materiais reciclados, dando preferência aos materiais locais. A tabela 1 mostra os pré-requisitos e os créditos exigidos para atingir os pontos relativos à esta categoria.
- e) **Qualidade do ambiente interno** – corresponde à 22% dos pontos para a certificação LEED (o maior de todas as categorias) e estabelece níveis mínimos

³. No caso da avaliação de desempenho ambiental de edificações habitacionais deve ser adotado o sistema de certificação LEED for Homes (USGBC, 2008).

de desempenho e qualidade do ar interior, promovendo a eliminação, redução e gerenciamento de fontes interiores de poluição e o acesso à ventilação natural do exterior. A tabela 1 mostra os pré-requisitos e os créditos exigidos para atingir os pontos relativos à esta categoria.

- f) **Inovação e processo do projeto** – é a sexta e última categoria, que representa 7% da pontuação total.

Na tabela 1 são apresentados todos os itens exigidos pela LEED, para atingir os pré-requisitos de qualidade do ar interno no projeto de construção e no uso do edifício.

Tabela 1: Pré-requisitos e créditos (LEED) - categoria materiais e recursos.

Categoria: Materiais e Recursos		
Pré-requisito		
1	Coleta e armazenamento de resíduos recicláveis	
Créditos		Pontuação (até 13 pontos)
1.1	Reuso da edificação: manutenção dos elementos estruturais	1 a 2
1.2	Reuso da edificação: manutenção dos elementos não-estruturais	1
2	Gestão dos resíduos de construção	1 a 2
3	Reuso dos materiais	1 a 2
4	Conteúdo reciclado	1 a 2
5	Materiais regionais/locais	1 a 2
6	Materiais rapidamente renováveis	1
7	Madeira certificada	1

Fonte: United States Green Building Council (2009). LEED para Escolas.

Na categoria de materiais e recursos, é avaliado a sustentabilidade da edificação, levando em conta os impactos ambientais relacionados aos materiais adquiridos e aos resíduos gerados. Pode-se destacar os créditos 1.1 e 1.2 que propõe estender o ciclo de vida da edificação e reduzir o desperdício e o impacto, no que diz respeito à fabricação e ao transporte de materiais; o crédito 3 que propõe o reuso dos materiais, como painéis, portas, tijolos, etc., tal qual a soma dos mesmos seja equivalente a, pelo menos, 5 % do valor total dos materiais sobre o projeto (USGBC, 2009).

Paralelamente, no crédito 4, busca-se utilizar pelo menos 10 % de materiais com conteúdo reciclado do total dos materiais do projeto, reduzindo os impactos resultantes da extração e processamento de matérias-primas virgens. Enquanto que

no crédito 5 busca-se utilizar materiais ou produtos, que tenham sido extraídos, recuperados ou fabricados, próximo ao local do edifício em construção, a fim de reduzir os impactos ambientais de transporte (USGBC, 2009).

Na tabela 2 são apresentados todos os itens exigidos pela LEED, para atingir os pré-requisitos de qualidade do ar interno no projeto de construção e no uso do edifício.

Tabela 2: Pré-requisitos e créditos (LEED): categoria qualidade do ambiente interno.

Categoria: Qualidade do Ambiente Interno		
Pré-requisitos		
1	Desempenho mínimo da qualidade do ar interno	
2	Controle da fumaça de cigarros no ambiente	
3	Desempenho acústico mínimo	
Créditos		Pontuação (até 19 pontos)
1	Monitoramento de ar externo	1
2	Aumento da ventilação	1
3.1	Plano da qualidade do ar durante a construção	1
3.2	Plano de qualidade do ar antes da ocupação	1
4.1	Materiais de baixa emissão, adesivos e selantes (COV)	1
4.2	Materiais de baixa emissão, tintas e vernizes (COV)	1
4.3	Materiais de baixa emissão e sistemas de piso (COV)	1
4.4	Materiais de baixa emissão, madeiras compostas e agro fibras	1
5	Controle interno de poluentes e produtos químicos	1
6.1	Controle de sistemas de iluminação	1
6.2	Controle de sistemas e conforto térmico	1
7.1	Conforto térmico e projeto	1
7.2	Conforto térmico e verificação	1
8.1	Iluminação natural e paisagem para 75% dos espaços	1 a 3
8.2	Iluminação natural e paisagem para 90% dos espaços	1
9	Aumento de desempenho acústico	1
10	Prevenção contra mofo	1

Fonte: United States Green Building Council (2009). LEED para Escolas.

Na categoria de qualidade do ambiente interno, é avaliada a quantidade de contaminantes do ar interior que são odoríferos, irritantes e/ou perigosos ao conforto e bem-estar dos instaladores e ocupantes dos edifícios. Nesta pesquisa é importante destacar os créditos 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4, onde se inserem os adesivos, selantes, tintas,

revestimentos, sistemas de pavimentação, compósitos de madeira e sistemas de parede e forro de gesso, que devem cumprir os requisitos dos produtos a serem testados pelo *California Department of Health Services*, nos Estados Unidos. No entanto, é o crédito 5 que diretamente visa minimizar a exposição dos ocupantes às edificações potencialmente perigosas e às partículas poluentes químicos, com um enfoque voltado mais para o controle da entrada destes poluentes na edificação (LIBRELOTTO, 2010).

O uso de materiais de baixa emissão por um empreendimento da construção ajuda que ele alcance pontos com relação à qualidade do ar interno do edifício e assim acumule pontos por cumprir os créditos ao considerar os aspectos ambientais. Isto tem sido uma motivação para que os fabricantes de revestimentos vinílicos mostrem que seus produtos atendem aos requisitos exigidos e que podem ser vendidos para aqueles que querem obter o sistema de certificação LEED (USGBC, 2009).

Entretanto, o Green Building Council Estados Unidos (USGBC) não emite o atestado de certificação LEED apenas a um produto, mas dá condições para que o fabricante forneça uma documentação para o seu cliente atestando as propriedades do seu produto certificado, e esta documentação deve ser reunida às documentações que atestam outros setores do edifício, para a finalização do processo de certificação do projeto de construção (GBCB, 2013).

2.1.2.3. Certificação LEED para pisos vinílicos (não têxteis)

Para adquirir o crédito da LEED - IEQ credit 4.3 – especificações da QAI para sistemas de piso não têxteis (sintéticos) e com materiais de baixa emissão, todos os tipos de pisos adotados em um projeto arquitetônico devem atender aos seguintes requisitos:

- a) No caso dos carpetes instalados nas áreas internas do edifício, deverão ser aprovados pelo programa Carpet and Rug Institut's Green Label Plus;
- b) Todos os sistemas de piso instalados deverão apresentar laudo de conformidade aos requisitos do FloorScore, emitido por certificador de terceira parte;

- c) Pisos minerais como porcelanatos, granito, mármore e outros, produzidos e aplicados sem tintas e/ou selantes de base orgânica, além de pisos de madeira sólida, atendem aos requisitos do crédito sem nenhuma necessidade de testes;
- d) Adesivos, colas e outros produtos com COVs utilizados para aplicação dos materiais devem atender aos níveis máximos de COVs exigidos pelo LEED;
- e) Uma forma alternativa de atendimento do crédito é que 100% da área de piso sem carpete deve receber pisos com certificação FloorScore. Essa área deve representar, no mínimo, 25% de toda área de piso acabado. Exemplos de pisos não acabados são áreas técnicas (mecânica, elétrica, elevadores, etc.).

Quanto às exigências de emissão de COVs para pisos de superfície dura no LEED 2009 - especificações para ambiente interno comercial; construção nova; escolas e outros prédios existentes, há duas maneiras de cumprir:

- a) Todos os pisos de superfície dura devem ser certificados como compatíveis com o padrão FloorScore por uma terceira parte independente. Estes pisos são: vinil, linóleo, piso laminado, piso de madeira, piso de cerâmica, piso de borracha e base da parede. Apenas um laboratório dos EUA e um laboratório europeu são aprovados para realizarem ensaios e testes desse processo;
- b) Todos os produtos de piso devem atender aos requisitos de testes e produtos do Departamento de Prática Padrão e Saúde Pública da Califórnia, para o controle das emissões de compostos orgânicos voláteis de várias fontes, a partir da utilização de câmaras ambientais para testes em pequena escala.

A tabela 3 expõe os requisitos necessários para que os sistemas de piso apresentem materiais com baixa emissão de COV.

Tabela 3: Requisitos da LEED para sistemas de piso utilizando materiais de baixa Emissão.

Requisitos para sistemas de piso – Materiais de Baixa Emissão	
Opção 1	
Carpete	Atender aos testes e requisitos dos produtos do Programa Mais Selo Verde (Green Label Plus Program) do Instituto do Tapete e Carpete. Local: Georgia, USA.
Amortecedor de carpete	Atender aos requisitos dos produtos do Green Label Plus Program do Instituto do Tapete e Carpete.
Adesivo de carpete	Atender limite de COVs de 50 g/L (mesmo que EQc4.1.)
Pisos de superfícies duras (ver exceções abaixo)	Atender aos testes e requisitos da Certificação Floorscore.
Acabamentos de piso	Atender à norma 1113, Revestimentos Arquitetônicos, dos requisitos do Distrito de Gestão da Qualidade do Ar da Costa Sul em vigor desde 1º janeiro de 2004 (mesmo que EQc4.2.)
Adesivo e argamassa de fixação de ladrilho	Atender à norma 1168, dos requisitos do Distrito de Gestão da Qualidade do Ar da Costa Sul. Limite de COVs corresponde a data de 01 julho de 2005. (mesmo que EQc4.1.)
Ladrilhos, alvenarias, revestimentos de pedra, pisos de madeira sem revestimento ou selantes	Qualifica para crédito sem testes
Opção 2	
Todos os elementos de piso instalados no interior dos edifícios	Atender aos testes e requisitos dos produtos da Norma Prática de Serviços do Departamento de Saúde da Califórnia para os ensaios de Emissões de Orgânicos Voláteis de várias fontes usando câmaras de teste ambiental em pequena escala, incluindo adendos de 2004.
Ladrilho, alvenarias, revestimentos de pedra, piso de madeira sem revestimento ou selantes	Qualifica para crédito sem testes

Fonte: GBCB – Green Building Concil Brasil (2013).

2.1.2.4. Certificação AQUA (Alta Qualidade Ambiental)

A certificação AQUA foi originada na França em 2007, a partir de uma metodologia baseada na Haute Qualité Environnementale (HQE), e introduzida no Brasil pela fundação Vanzolini, tornando-se a única certificação ambiental adaptada ao contexto brasileiro, a partir da modificação de premissas de regionalidade para que fosse aceita. Esta certificação é definida como um processo de gestão de projeto, visando obter a qualidade ambiental de um empreendimento novo ou envolvendo sua reabilitação (BUENO e ROSSIGNOLO, 2013).

Assim como na versão francesa, o referencial técnico brasileiro foi estruturado em 14 categorias que são divididas em 4 grupos que avaliam o empreendimento de maneiras complementares. Os dois primeiros grupos compreendem o *sistema de gestão do empreendimento*, estabelecido para assegurar a qualidade ambiental final de sua construção. Os dois últimos grupos correspondem à *qualidade ambiental do edifício*, que avalia o desempenho do empreendimento de acordo com suas características técnicas e arquitetônicas (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2008).

A metodologia da certificação engloba a eco-construção e a eco-gestão com o gerenciamento dos impactos decorrentes da relação do edifício com o seu entorno; a escolha integrada de produtos; sistemas e processos construtivos; canteiros de obras de baixo impacto; além da gestão da energia da água, dos resíduos e da manutenção (permanência no desempenho ambiental) do edifício em uso. Pode ainda atuar avaliando o conforto acústico, higrotérmico, visual e olfativo da habitação e promover a qualidade do ar, da água e dos ambientes do empreendimento habitacional (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2007). Tais aspectos podem ser observados na tabela 4.

Tabela 4: Organização das categorias do método AQUA.

Categorias do Método AQUA	
Gerenciar os impactos sobre o ambiente exterior	
Eco-construção	
1.	Relação do edifício com o entorno
2.	Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos
3.	Canteiro de obras com baixo impacto ambiental
Eco-gestão	
4.	Gestão de energia
5.	Gestão de água
6.	Gestão dos resíduos de uso e operação do edifício
7.	Manutenção – permanência do desempenho ambiental
Criar um espaço interior sadio e confortável	
Conforto	
8.	Conforto higrotérmico
9.	Conforto acústico
10.	Conforto visual
11.	Conforto olfativo
Saúde	
12.	Qualidade sanitária dos ambientes
13.	Qualidade sanitária do ar
14.	Qualidade sanitária da água

Fonte: Fundação Vanzolini (2007)

De acordo com Librelotto (2010), em meio aos requisitos exigidos para atingir os pontos na categoria 2, devem ser destacadas as subcategorias 2.3 e 2.4, conforme é destacado na tabela 5. A subcategoria 2.3, refere-se à preocupação em se conhecer a contribuição dos produtos de construção nos últimos impactos ambientais, especialmente aqueles ligados à emissão de gases contribuintes ao efeito estufa, à geração de resíduos, à possibilidade de reuso/ reciclagem de materiais e ao uso de recursos renováveis, escolhendo os melhores produtos, de forma a limitar sua contribuição quanto a estes impactos.

Por outro lado, a subcategoria 2.4, compreende o conhecimento dos impactos à qualidade do ar interior à saúde humana dos produtos de construção e em escolher aqueles que limitem esses impactos. Quanto aos critérios de avaliação, leva-se em conta o não uso de produtos à base de amianto ou que contenham o mesmo em sua composição; o uso de tintas e adesivos somente à base de água, os quais devem ser certificados pelo programa Coatings Care; e a utilização de lâmpadas que apresentem o selo do Procel, apesar das lâmpadas fluorescentes e de vapor metálico conterem mercúrio em sua composição, elemento prejudicial à saúde.

Tabela 5: Requisitos exigidos para atingir pontos referentes a produtos, sistemas e processos.

Categoria 2 – Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos
2.1. Escolhas construtivas para a durabilidade e adaptabilidade da construção.
2.1. Escolhas construtivas para a facilidade de conservação da construção
2.2. Escolhas dos produtos de construção a fim de limitar seus impactos socioambientais
2.3. Escolhas dos produtos de construção a fim de limitar à saúde humana

Fonte: Fundação Vanzolini (2007)

No critério de avaliação desta subcategoria há a questão dos produtos de construção localizarem-se a menos de 300 km do local da obra; a preferência pelo uso do cimento CP III ou CP IV, de acordo com a disponibilidade do mercado local; uso de madeira certificada e/ou de reflorestamento; uso de agregados reciclados (20% em massa); uso de produtos que possam ser reutilizados ou reciclados ao final da vida útil do edifício (no mínimo para 50% dos elementos); e uso de produtos cujo CO₂ emitido durante sua fase de produção tenha sido “neutralizado” por programas ambientais,

etc. Além de existir a preocupação de se escolher fabricantes de produtos que não pratiquem a informalidade fiscal e trabalhista na cadeia produtiva (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2007).

Os produtos da construção no sistema AQUA são divididos em dois grupos: obra bruta e obra limpa. O primeiro grupo é formado por: estrutura portante vertical (alvenarias, paredes maciças e pilares), estrutura portante horizontal (lajes e vigas), fundações, estruturas de cobertura, e revestimentos de argamassa. O segundo grupo é formado por cobertura (telhamento, impermeabilização), divisórias de separação, fachadas leves e elementos de fachada, outros revestimentos de piso, e esquadrias exteriores (janelas, vidraças, portas) (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2007).

Por fim destaca-se a categoria 13, de maior relação com os objetivos desta pesquisa, formada pelas subcategorias 13.1 e 13.2, de acordo com a tabela 6. A subcategoria 13.1 se refere às trocas de ar entre ambiente interno e externo (taxas de ventilação natural), responsáveis por higienizar o ar nos ambientes internos e torná-los adequados às atividades humanas. A subcategoria 13.2 trata da identificação das fontes de poluição, ao longo do ciclo de vida do edifício; das soluções arquitetônicas para redução do efeito destas fontes sobre os usuários, restringindo a entrada de ar externo poluído, organizando os espaços para limitar a poluição das atividades internas no edifício, e proporcionando a exaustão desta poluição. Além da limitação das emissões químicas dos produtos/ materiais de construção, através do uso de tintas e adesivos somente à base de água.

Tabela 6: Requisitos exigidos pela AQUA para atingir pontos de qualidade sanitária do ar.

Categoria 13 – Qualidade sanitária do ar
13.1. Garantia de uma ventilação eficaz
13.1.1. Assegurar vazões de ar adequadas à atividade dos ambientes
13.1.2. Assegurar o controle da vazão do ar No caso de ambientes condicionados, estes dois itens, na versão brasileira, devem seguir as recomendações da NBR 6401 – Instalações de ar condicionado para conforto, para taxas de renovação do ar externo
13.2. Controle de fontes de poluição
13.2.2. Reduzir os efeitos das fontes de poluição
13.2.3. Limitar as fontes de poluição

Fonte: Fundação Vanzolini (2007)

2.1.3. Sustentabilidade na Arquitetura

No período de 1930 a 1960, a arquitetura brasileira apresentou características bioclimáticas através de projetos que demonstravam ter preocupação com o clima e a geometria solar, ao mesmo tempo que apresentavam intenções estéticas por influência de Le Corbusier. Entretanto, estudos sobre o desempenho ambiental de algumas obras deste período revelaram que elementos como quebra-sóis, claraboias e aberturas para ventilação não foram exatamente projetados para o conforto ambiental, e sim por preocupações formais (RUSSO, 2004). Um destes casos é o prédio Q1 do Instituto de Química da USP (IQSC), em São Carlos.

Por isto, após a Segunda Guerra Mundial, esta arquitetura de “estilo internacional” foi sendo banalizada e passou a prevalecer a crença de que a tecnologia de sistemas prediais oferecia meios para o controle total das condições ambientais de qualquer edifício, levando à construção de espaços com extensos fechamentos de vidro e elevado consumo de energia, nas cidades de todo o mundo. Isto fez com que as premissas fundamentais de projeto consideradas a partir das condições de conforto ambiental e do consumo de energia passassem a ser determinantes, nas décadas seguintes (GONÇALVES e DUARTE, 2006).

Tal fato foi fundamental para que a arquitetura bioclimática ganhasse importância, dentro do conceito de sustentabilidade, e com isto o conforto ambiental retomou sua importância para o projeto de arquitetura, juntamente com a valorização da conservação de energia, tanto no mundo acadêmico como também na prática, o que é bem colocado por Corbella e Yannas (2003, p. 17) quando afirmam que:

A arquitetura sustentável é a continuidade mais natural da arquitetura bioclimática, considerando a integração do edifício com o meio ambiente, com o objetivo de aumentar a qualidade devida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrando as características da vida e do clima locais, consumindo a menor quantidade de energia compatível com o conforto ambiental, para legar um mundo menos poluído para as próximas gerações.

Assim, as questões de sustentabilidade chegaram à agenda da arquitetura e do urbanismo internacional de forma incisiva no final da década de 1980 e início da década de 1990. Este movimento também foi impulsionado por discussões iniciadas na década de 1970, que estavam voltadas para problemas como as consequências da crise energética de dimensões mundiais; o impacto ambiental gerado pelo consumo de energia de base fóssil; as previsões e alertas a respeito do crescimento da população mundial e o inevitável crescimento das cidades e de suas demandas por todos os tipos de recursos (GONÇALVES e DUARTE, 2006).

No âmbito do edifício, há mais de três décadas, podia-se afirmar que a concepção da edificação interagindo com o meio ambiente, contrastava com as noções comuns de alguns arquitetos, que viam a edificação apenas como uma obra de arte ou como um processo de projeto e construção a ser implantado em um sítio, cujas características ou meio em que se inseriam eram desconhecidos (WATSON e LABS, 1983). Atualmente, as incertezas sobre o clima e os riscos de escassez dos recursos naturais faz com que estes profissionais elaborem seus projetos integrados com o entorno.

Para esta nova forma de projetar, Avezum (2007) assegura que devem ser consideradas regras como capacitar o edifício a flexibilizar suas funções; maximizar o acesso à luz diurna e ventilação natural; promover a simplicidade das instalações e equipamentos, permitindo ao usuário interagir com o edifício; aumentar a durabilidade do edifício com baixa manutenção; maximizar o acesso à energia renovável, como a solar e eólica; e prever a possibilidade de substituir partes do edifício para melhorar desempenho e aumentar a vida útil.

Em meio a este contexto, o projeto arquitetônico se apresenta como a etapa primordial de inserção da sustentabilidade na Arquitetura. Mas, talvez isto se justifique apenas se o custo de implantação de uma edificação considerada sustentável for estimada em 30% superior ao de uma edificação convencional (NUNES; CARREIRA; RODRIGUES apud CÂNDIDO, 2012). Na etapa de projeto, as decisões podem ser analisadas, experimentadas e, se necessário, revistas, sem grandes gastos financeiros adicionais. Contudo, as demais etapas não devem ser menosprezadas,

sendo que nelas – na construção e na operação do edifício – concentram-se os gastos e os impactos mais significativos (LAMBERTS; TRIANA; FOSSATI et al, 2011).

2.1.4. Sustentabilidade no design de interiores

O design de interiores é o campo de estudo que se aplica a todos os tipos de espaços internos utilizados pelas pessoas, no qual são harmonizados elementos como peças, mobiliários, tecidos, revestimentos, entre outros. O profissional que atua nesta área - designer de interiores - é visto como um especialista no planejamento de espaços, com os quais as pessoas têm contato mais próximo, como residências e locais de trabalho, e contatos eventuais, como locais públicos e de lazer (ZMYSLOWSKI, 2009). Tal fato é definido por Kang e Guerin (2009, p.01) quando afirmam que:

O designer de interiores cria, desenvolve e comunica soluções para os ambientes internos que são funcionais e estéticos. Ou melhor, trabalha para ativar a qualidade funcional do espaço interior e fornecer estética para o sentido humano, levando em consideração o custo, como um importante aspecto de suas decisões projetuais.

No entanto, com o passar dos anos, o designer interiores foi desenvolvendo sua preocupação com o meio ambiente e a partir daí passou a atuar de outra maneira nesta relação com o espaço, direcionando o tema sustentabilidade para seus projetos, que podem ser concebidos a partir de especificações que visam baixo impacto ambiental. Por isso, este profissional deve conhecer o ciclo de vida dos materiais que compõem cada um dos produtos que ele utiliza em um projeto de interiores, além de outras particularidades que Zmyslowski (2009, p. 01) descreve como:

Premissas básicas como o uso de energia renovável e otimização energética; origem da água; racionalização e minimização de resíduos; qualidade do ar e conforto ambiental; origem, uso e reciclagem dos materiais de revestimentos e objetos; e gerenciamento de resíduos.

A autora também aborda sobre a interdisciplinaridade existente em um projeto de interiores, quando declara que:

[...] na composição das peças de uma sala de estar, o sofá, por exemplo, deve ter todos os elementos envolvidos no desenvolvimento da sustentabilidade, incorporando desde o plantio e a colheita correta das árvores que servirão como matéria prima da fabricação desse sofá, até a resina que protegerá o tecido dessa peça. Desta forma, muitos profissionais de diversas áreas de atuações participam, sejam diretamente ou indiretamente, de um projeto de interiores. Percebe-se que cada peça do mobiliário de um ambiente, como esse sofá, deve ser executada com materiais de baixo impacto ambiental, e até o projeto de iluminação deve ser desenvolvido com foco em eficiência energética que faz parte do projeto de interiores desse ambiente.

Em meio a este contexto, os designers de interiores e arquitetos devem ajudar a controlar a qualidade do ar interior (QAI) tomando precauções com os procedimentos de construção ou renovação (Kang&Guerin, 2009), pois são responsáveis por atender às necessidades dos seus clientes e por isso devem expor-lhes a existência de perigosas substâncias químicas encontradas no ar. A saúde, segurança, bem-estar e produtividade dos moradores podem ser afetados pelas escolhas que estes profissionais fazem em seus projetos (PILATOWICZ, 1995).

2.1.5. Sustentabilidade na seleção dos materiais de construção

Em um futuro próximo, a construção civil necessitará de uma quantidade expressiva de materiais de construção para atender ao consumo e às necessidades da população, principalmente nos países em desenvolvimento, classificados como emergentes. Em razão disto, a especificação de materiais tende a tornar-se cada vez mais exigente, ampliando os critérios utilizados na atualidade, como estética, custo, potencialidade para construir rapidamente (HUANG et al., 2011). Além disso, há as preocupações sociais como conforto térmico e acústico, boa qualidade do ar interior e boa qualidade estética (ABEYSUNDARA et al., 2009).

A adoção de parâmetros sustentáveis para a escolha de materiais, por parte dos profissionais da arquitetura, do design de interiores e da engenharia civil, ainda é incipiente. Tal problema é bem caracterizada por Bissoli-Dalvi, Alvarez et al. (2013, p.02) quando afirmam que:

Esta deficiência vem acompanhada da dificuldade para a introdução dos princípios da sustentabilidade no processo de elaboração do projeto, visto o desconhecimento do conceito por parte dos profissionais; da ausência de critérios sistematizados para auxiliar nas escolhas; da falta de disciplinas acadêmicas específicas e de mecanismos para implantar novos hábitos; da resistência do cliente pelo custo de investimento em técnicas e materiais diferenciados; da falta de exemplos concretos próximos; da resistência por parte dos construtores e incorporadores; da falta de conhecimento pelo cliente; da falta de divulgação e normatização de determinados produtos e soluções; e da ausência de informações sobre o tema.

Segundo John e Oliveira (2006), os critérios sustentáveis para a escolha dos materiais predominam em países desenvolvidos, onde as exigências são maiores para cumprimento das normas, as quais devem ser respeitadas pelos fabricantes. Entretanto, quando a maioria destes fabricantes se estabelece em países em desenvolvimento diminuem a qualidade dos produtos, devido à informalidade do setor da construção civil nestes locais. Este fato configura uma disfunção entre os pilares da sustentabilidade (aspectos econômico, social e ambiental), pois é mais importante o ganho econômico para estes fabricantes do que os outros fatores, mesmo que a manufatura de seus produtos deva seguir às especificações de alta qualidade.

A informalidade da indústria da construção causa uma série de inconvenientes para o desenvolvimento da sustentabilidade social, pois, muitas vezes, os materiais de construção são extraídos de forma informal e isto gera consequências como prejuízos aos direitos e à saúde dos trabalhadores, assim como afetam indiretamente a sociedade com a evasão fiscal. Por outro lado, a formalização do setor da construção permite o controle seguido dos produtos, desde a extração da matéria prima até o fim da vida útil, ajudando na tomada de decisões sustentáveis (GUÍO. 2013, p. 81).

Ainda, de acordo com Bissoli-Dalvi, Alvarez et al. (2013), para um profissional considerar a sustentabilidade na escolha dos materiais de construção, como um aspecto adicional aos critérios de projeto, é necessário avaliar os indicadores desta sustentabilidade, sendo que alguns deles são relacionados e conceituados como:

- a) **Certificação e rotulagem** – a certificação de materiais favorece a adoção de ciclos de menor impacto, amparo às exigências trabalhistas, práticas que garantam a qualidade do material, e a redução do uso de substâncias nocivas à saúde humana (TURK, 2009). A rotulagem consiste em uma série de requisitos que um material deve obter para ser considerado sustentável.
- b) **Conteúdo reciclado** – um material com este conteúdo pode ser constituído a partir de resíduos do próprio setor da construção ou de outras atividades. O resíduo passa a ser um subproduto na cadeia produtiva [...]
- c) **Emissões** – podem ser de diferentes tipos: radiações, materiais particulados, emissões gasosas e químicas; e poluentes hídricos. Podem contaminar o ar, o solo e a água.
- d) **Energia incorporada** – é um parâmetro utilizado para comparar materiais em termos ambientais, quantificando-se a energia consumida durante o ciclo de vida, incluindo a energia necessária para o transporte (ABEYSUNDARA *et al.*, 2009).
- e) **Geração e gestão de resíduos** – a construção consome recursos naturais e gera quantidades expressivas de resíduos (Rodriguez *et al.*, 2007). Um material pode contribuir para a geração através da baixa qualidade da matéria-prima; da não conformidade com as normas [...]
- f) **Manutenção do material** – um material favorece uma manutenção de menor impacto quando facilita a higienização através do acabamento superficial, não requer o uso de novos materiais e de produtos não agressivos, contribuindo para a não proliferação de fungos e bactérias (contaminantes biológicos) [...]
- g) **Materiais proibidos** – a não utilização de materiais que estejam proibidos ou não recomendados por organismos reconhecidos tem como objetivo evitar o contato

do homem com substâncias nocivas; propicia ambiente mais saudável, seguro e produtivo, além de contribuir para a manutenção dos recursos naturais.

- h) **Normas técnicas** – especificam critérios e requisitos que aferem o desempenho do material, contribuindo para a garantia da qualidade do produto, com redução de custos na etapa produtiva; oferecendo qualidade de vida e saúde aos usuários; consolidando uma linguagem única entre produtor e consumidor, etc (ABNT, s.d.).
- i) **Odor** – o conforto olfativo visa à redução dos odores desagradáveis, sendo estes responsáveis por ocasionar irritação, alergias, mal-estar, dores de cabeça, entre outros. Muitas vezes, os sintomas são identificados pelo odor desagradável, além de problemas gerados por agentes químicos, etc (TAKIGAWA *et al.*, 2009).
- j) **Procedência** – o uso de materiais locais contribui para a redução do consumo de combustíveis, das emissões e do aquecimento global e chuva ácida (HUBERMAN e PEARLMUTTER, 2008). Propicia o acúmulo de capital para a região, a geração de emprego e a melhoria da qualidade de vida, [...] (DREYER *et al.*, 2006).
- k) **Processamento mínimo** – utilizar materiais que estejam o mais próximo possível do estado natural ou que passaram por pouco ou nenhum processo de industrialização contribui para redução dos gastos energéticos; evita a geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos; proporciona ambiente saudável e não tóxico; poupa o consumo de água, reduz os deslocamentos, etc (LIMA e ARANHA, 2007).
- l) **Reaproveitável** – significa reutilizar ou prolongar a vida útil do material em aplicações iguais ou diferentes dos originais, garantindo que não percam as suas propriedades, não sejam processados para outro uso (CHPS, 2006).
- m) **Reciclável** – é um material que pode ser coletado, separado ou recuperado de resíduos sólidos e passa por processo de transformação para originar outro produto (CHPS, 2006). Necessita de tecnologia para a separação, o processamento e a transformação em um novo material (WADEL *et al.*, 2010).
- n) **Renovável** – significa que a reposição ou a regeneração acontece de forma contínua, sem a necessidade de passar por processos de transformação

tecnológica, e o material pode ser utilizado sistematicamente sem risco de se esgotar. Uma forma de evitar a extinção de certos materiais e ter uma oferta contínua de matéria-prima (GONÇALVES e DUARTE, 2006).

o) **Transporte** – nele acontece a queima de combustíveis fósseis e a liberação de gases (LIU *et al.*, 2010). Somando-se à problemática das emissões, o transporte dos materiais também contribui para o aumento no tráfego nas rodovias e para o desgaste destas pistas e dos próprios veículos, [...].

p) **Viabilidade econômica do material e da mão de obra** - deve ser coerente com a realidade onde será utilizado. O Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil é um sistema de pesquisa mensal que informa os custos e índices da construção civil. Por meio deste é possível ter uma referência dos custos médios praticados pelo mercado em diferentes estados do Brasil. Pode ser citado o “custo da construção por metro quadrado” no Estado de São Paulo, que em junho de 2016 fechou em R\$ 1.100,32, sendo (em média) 52% relativo aos materiais de construção e 48% relativo à mão de obra (IBGE, 2016).

Entretanto, Moussatche e Languell (2001) declaram que o impacto dos materiais sobre o meio ambiente não tem sido adotado como um critério significativo para a seleção destes materiais. Pois, os projetistas de interiores recorrem apenas às informações fornecidas pelos fabricantes e raramente procuram por dados mais específicos para a seleção de um material. Enquanto Bissoli-Dalvi, Alvarez et al. (2013) revelam que a carência de dados disponibilizados por produtores/fabricantes, além dos desafios apresentados por cada região, na maioria das vezes, são fatores que dificultam a realização de uma análise mais detalhada dos indicadores de sustentabilidade para a seleção de materiais.

De qualquer maneira, o mercado de materiais de construção apresenta uma variedade de materiais sintéticos que ainda não tem seus efeitos conhecidos e que por isso deve haver cuidados para usá-los. Já os materiais naturais são mais indicados, como é o caso dos revestimentos de piso com pedras naturais, pois são mais saudáveis que os materiais sintéticos. Porém, o baixo desempenho técnico e o baixo resultado estético dos materiais naturais têm colaborado para que os profissionais continuem a especificar os materiais artificiais para seus projetos. Dessa forma, os materiais

tradicionais estão sendo reexaminados por pesquisadores, que tentam desenvolver diferentes formas de utilizá-los, através de novas técnicas (EDWARD, 2008), e melhorar seus desempenhos em relação à durabilidade, impermeabilidade, isolamentos térmico e acústico, entre outros (AVEZUM, 2007).

2.2. Qualidade do ar interno nas edificações

2.2.1. Qualidade do ar interno no mundo

O tema qualidade do ar interior (QAI) teve as primeiras manifestações durante a crise energética dos anos 1970, nos países de clima frio, onde surgiram edifícios selados como alternativa à racionalização de energia. Devido à baixa troca de ar interno/externo, somada a diversos produtos como forrações, acabamentos e mobiliários, que contêm vários tipos de substâncias químicas, estes ambientes passaram a ter elevados níveis de poluentes. Esse fato gerou um número significativo de queixas relacionadas com a qualidade do ar em ambientes fechados e os sintomas resultantes disto passaram a ser mais estudados (GIODA e AQUINO NETO, 2003a e b).

No entanto, até o final dos anos 1990, considerava-se que apenas uma boa ventilação era o suficiente para a manutenção de uma QAI aceitável, uma vez que apenas os ocupantes eram tidos como emissores de poluentes como o CO². Com o passar dos anos houve uma mudança desta visão, no qual reconheceu-se que a presença dos poluentes estava relacionada não só com os ocupantes e suas atividades, mas também com os materiais utilizados na construção dos edifícios, com os equipamentos e mobiliários, com os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, e com a qualidade do ar exterior (BLUYSSSEN, 2008).

Segundo Bruce et al. (2000), havia uma estimativa de que cerca de 50% da população mundial (aproximadamente 3,5 bilhões de pessoas) sofriam com a má qualidade do ar dentro dos edifícios, onde a concentração de poluentes chegava a ser de 2 a 5 vezes mais alta que os níveis externos. De acordo com a WHO (2008), em decorrência disto, a Organização Mundial da saúde concluiu naquela época, através de estudos de fatores de risco às doenças, que a poluição do ar em ambientes internos é considerada o oitavo maior fator de risco, contabilizando 2,7% dos casos de doença

no mundo. Ainda assim, a qualidade do ar interno é menos monitorada do que a qualidade do ar em ambientes abertos.

Em meio a este contexto a QAI tornou-se uma linha de pesquisa com a intenção de investigar as características relacionadas à poluição do ar interior que contribuem para a insalubridade dos ambientes internos (GIODA e AQUINO NETO, 2003a). Pois, há uma estimativa de que grande parte das pessoas passa entre 80 e 90% do seu tempo dentro de edifícios (OMS, 2008). A exposição nestes ambientes pode variar de 8 horas/dia em prédios de escritórios e indústrias, e de 16 a 24 horas/dia em residências. O tempo que as pessoas passam em ambientes externos é aproximadamente de 2 horas/dia (GODISH, 1997 apud ITO, 2007).

Mas, às vezes, a qualidade do ar interno é algo difícil de avaliar, pois quando um ambiente construído é modificado para ter um melhor desempenho estético e funcional, também pode estar sendo modificado de maneira negativa com a presença excessiva de materiais e produtos artificiais, nos quais muitos compostos químicos diferentes estão envolvidos. Na opinião de Carmo e Prado (1999), tais problemas da QAI tornaram mais difícil o trabalho de engenheiros, arquitetos e gerentes, e trouxeram um grande risco aos proprietários. Pesquisas sobre esse tema tiveram um grande impulso nos anos 1990, principalmente nos EUA e na Europa.

2.2.2. Qualidade do ar interno no Brasil

Os primeiros trabalhos científicos sobre a qualidade do ar de interiores no Brasil surgiram no início de 1993, viabilizados por uma parceria entre o Laboratório de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Universidade Federal do Rio de Janeiro e o Laboratório de Aerossóis e Gases Atmosféricos do Instituto de Química da Universidade de São Paulo. Nestes trabalhos foram avaliados ambientes de escritório, hotéis e restaurantes nas cidades do Rio de Janeiro, São Paulo e Campinas. Em seus resultados foram detectados níveis de vários poluentes acima ou próximos aos limites fixados pelas legislações internacionais (BRICKUS e AQUINO NETO, 1998).

O segundo levantamento da QAI no país, aconteceu nos anos de 1995 e 1996, com a avaliação de escritórios em prédios administrativos e do Museu Nacional de Belas Artes, localizados na cidade do Rio de Janeiro. Os valores dos contaminantes

encontrados nestes edifícios foram dez vezes maiores do que os encontrados no ar externo, indicando um acúmulo de poluentes no ar interno, devido à baixa troca de ar operada pelo sistema de ar condicionado (BRICKUS, CARDOSO e AQUINO NETO, 1997). Nestes estudos foi possível conhecer quais eram os contaminantes presentes nos edifícios brasileiros, suas concentrações médias e as prováveis fontes poluentes.

Ainda, em 1995, mesmo com poucos profissionais atuantes na área, foi criada a Sociedade Brasileira do Meio Ambiente e Controle da Qualidade do Ar de Interiores, que desde então vem divulgando trabalhos realizados sobre o assunto no Brasil. Posteriormente, em 1997, foi criado um programa de qualidade do ar de interiores pelo laboratório de toxicologia no Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana – Escola Nacional de Saúde Pública – Fundação Oswaldo Cruz (CESTEH-ENSP-FIOCRUZ/RJ). Na sequência, foram realizados estudos quantitativos em busca de contaminantes mensuráveis em ambientes de diversas naturezas (GIODA e AQUINO NETO, 2003).

Atualmente, o tema QAI encontra-se em evolução e reúne questões que têm sido levantadas entre os pesquisadores e reunido profissionais de diferentes áreas, principalmente médicos alergistas, químicos, microbiologistas e toxicologistas. Entretanto, a disseminação do assunto também é de grande importância para profissionais como arquitetos, designers de interiores e engenheiros civis, pois tem aumentado cada vez mais a concentração de poluentes químicos e biológicos nos ambientes internos, projetados e construídos por eles, em razão das baixas taxas de troca de ar entre estes ambientes e o ambiente externo.

Quanto às normas nacionais, pode ser citada a primeira medida do governo federal com o estabelecimento da Portaria 3.523/1998 do Ministério da Saúde, que contém regulamentos técnicos referentes à limpeza dos sistemas de climatização e outras medidas específicas de padrões de qualidade do ar visando minimizar riscos à saúde (BRASIL, 1998). Em decorrência desta Portaria a Agência Nacional de Vigilância Sanitária publicou a Resolução 176/2000, que estabelece parâmetros mínimos para a melhoria da qualidade do ar interno (ANVISA, 2000), e a Resolução 09/2003, que traz uma revisão e atualização da resolução normativa anterior (ANVISA, 2003).

Estas normas e regulamentações representam apenas o início de um processo cujos parâmetros ainda estão sendo definidos, pois embora tenham sido elaborados em comparação com normas internacionais, eles não são atualizados. Além disso, há omissão de parâmetros mais completos para compostos orgânicos voláteis e semivoláteis (SILVA, 2012), e vários compostos carcinogênicos não são regulamentados e nem são submetidos a todos os testes de toxidez necessários. Com isto, é possível que estejamos expostos a uma carga mais elevada de poluentes do que seria recomendável, em ambientes internos (GIODA e AQUINO NETO, 2003).

2.2.3. Síndrome do edifício doente

O termo síndrome do edifício doente (SED) é utilizado para descrever casos de desconforto e/ou de sintomas específicos dos trabalhadores ou ocupantes de determinados edifícios, sem que uma doença ou causa específica possa ser identificada (FANG; WYON; CLAUSEN et al., 2004). Os sintomas do SED podem ocorrer isoladamente ou combinados uns com os outros. Em muitos casos são difíceis de diagnosticar e aparentam ser uma constipação comum ou doença respiratória, piorando à medida que o dia avança e desaparecendo quando o ocupante deixa o edifício (SANGUESSUGA, 2012).

Segundo a Organização Mundial de Saúde, a SED é causada por emissões de contaminantes advindos de fontes de várias origens, isoladas ou associadas, e pode produzir diversos sintomas, os quais geram reclamações que podem estar localizadas em uma determinada sala, ou podem estar disseminadas por todo o edifício. Entretanto, para que um local seja considerado doente é necessário que, pelo menos, 20% de seus ocupantes apresentem sintomas como irritação das mucosas; efeitos neurotóxicos; respiratórios e cutâneos; e alterações dos sentidos, por no mínimo duas semanas, sendo que estes sintomas desaparecem quando o indivíduo se afasta do edifício (GIODA e AQUINO NETO, 2003b).

Os principais fatores relacionados à SED são aerodispersóides (poeira e fibras); bioaerossóis (fungos, bactérias e vírus); contaminantes químicos como COVs e formaldeído; contaminantes gerados pelo metabolismo humano; ventilação inadequada, entre outros (HOPPE, 1999). Estes fatores são agravados, principalmente, quando ocorrem em edifícios selados com circulação do ar por meios

mecânicos, embora também possam ser observados em edifícios que são ventilados naturalmente (BRICKUS e AQUINO NETO, 1998).

De acordo com Ambu, Chu, Ak et al. (2008), a poluição do ar interior dos edifícios reflete-se diretamente na saúde humana e, conseqüentemente, no bem-estar e produtividade dos seus ocupantes. Tal fato é comprovado por Seltzer (1994), quando afirma que nos anos 1990 haviam estimativas do impacto econômico dos problemas relacionados com SED, nos Estados Unidos, sendo que os custos médicos, por absentismo e perdas na produtividade dos funcionários, na ordem dos 12 milhões de dólares por ano, indicavam a dimensão do problema e justificavam a preocupação mundial sobre o assunto.

De acordo com Gioda e Aquino Neto (2003 a e b), até aquele momento, haviam poucos estudos que relacionassem a qualidade do ar à SED, pois entendia-se que o fato do Brasil ter um clima subtropical não tornava necessário o uso constante de sistemas de refrigeração e, menos ainda, de calefação. Devido a isso, muito pouco era estudado nessa área. Porém, sempre houve uma tendência em construir prédios selados devido a vários fatores como estética, climatização e menor ruído, com isso, fazendo-se necessário um sistema de ar condicionado central, o que ocasionou um aumento do número de casos de síndrome de edifício doente no país.

Segundo Hansen (1991), nos edifícios podem haver casos mais críticos do que a SED, conhecidos como “doenças relacionadas ao edifício”, e que estão relacionadas à uma infecção verdadeira e não temporária dos usuários. Estas doenças podem ser detectadas por testes de laboratório e são causadas por microrganismos como bactérias, vírus e fungos. Edifícios que possuem estes casos podem provocar doenças como: asma, infecções bacteriológicas, virais ou fungicas.

As doenças relacionadas ao edifício são diagnosticadas quando as queixas e os sintomas estão claramente associados à ocupação do edifício, mas nenhum agente causador pode ser positivamente identificado. As queixas são frequentemente resolvidas pelo aumento da ventilação, por um controle ou substituição mais efetivos das prováveis fontes de poluentes e pela melhoria da manutenção do ambiente. Em quase todos os casos, estas doenças são estágios avançados da SED, e causadas

por microrganismos originados em locais que contêm sujeira, poeira, umidade e água parada (CUELL, 1993).

2.2.4. Qualidade do ar interno em ambientes residências

A qualidade do ar interno residencial é cada vez mais reconhecida como um importante determinante da saúde, estando associada aos efeitos agudos e crônicos de saúde. Os poluentes do ar interno, quer se infiltrando a partir do exterior ou produzidos por fontes internas, têm sido associados com uma vasta gama de efeitos na saúde (HÉROUX, CLARK, RYSWYK, 2010). Portanto, há estudos que estabelecem ligações entre a presença de contaminantes no ar dentro das habitações e alguns problemas de saúde dos moradores, sendo que a redução deste tipo de poluição interna deve ser objeto de uma estratégia que implica certo número de medidas, como o controle da fonte poluidora e outras medidas complementares (LAJOIE, LECLERC e SCHNEBELEN, 2007), conforme item 2.3.6.

De acordo com Logue, Mckone, Sherman et al. (2011), muitos ambientes residenciais não atendem às diretrizes baseadas na saúde para níveis de exposição crônicos das substâncias químicas, sendo que as orientações destas diretrizes ainda são excedidas em uma minoria considerável de casas. Enquanto que Dingle e Frankling (2002); Park e Ikeda (2006) afirmam que as casas tipicamente novas têm as maiores concentrações de formaldeído e COVs emitidos por materiais de construção ou móveis novos utilizados dentro delas.

As normas e critérios para a qualidade do ar aceitável existem há muitos anos para ambientes internos industriais e ambientes ao ar livre. No entanto, em período mais recente, a atenção geral tem sido atraída para os potenciais perigos que a presença de contaminantes do ar representa para ambientes internos não industriais, que no caso dos edifícios residenciais têm sido notados a partir de vários fatores como:

- a) A presença de um conjunto de produtos sintéticos utilizados na construção dos edifícios e na produção de móveis;
- b) A utilização de sistemas de aquecimento ou refrigeração, que se não forem instalados ou projetados corretamente podem liberar subprodutos de combustão;

- c) O reconhecimento de que a exposição prolongada às concentrações de contaminantes químicos, mesmo que sejam baixas, pode resultar em efeitos tóxicos retardados aos moradores; e
- d) A percepção de que uma proporção muito elevada de tempo é gasta dentro de casa pelas pessoas.

De acordo com as diretrizes traçadas pelo Centro de Controle de Doenças e Prevenção e pelo Departamento de Habitação e Desenvolvimento Urbano dos Estados Unidos (CDC, 2006), os poluentes atmosféricos gerados dentro de uma habitação fazem parte de três categorias:

- a) Aqueles formados em processos de combustão;
- b) Aqueles derivados de materiais de construção e móveis;
- c) Aqueles relacionados às atividades humanas, animais ou vegetais.

As concentrações de contaminantes da primeira e última categoria tendem a variar com o tempo; as concentrações da segunda categoria tendem a ser mais constantes, principalmente se as taxas de troca de ar permanecerem constantes. A seguir, estas categorias serão melhor definidas.

2.2.4.1. Processos de combustão

Os fornos e outros aparelhos de combustão podem ser fontes de poluentes internos, como o monóxido de carbono, especialmente se eles não passarem por manutenção rotineira ou não forem devidamente ventilados. Por isto, os contaminantes gerados devem ser liberados para o exterior, sendo que o vazamento e mau funcionamento desses aparelhos podem causar emissões para o interior. Contaminantes associados com fogões e lareiras incluem monóxido de carbono, óxidos de azoto e de enxofre, aldeídos, hidrocarbonetos aromáticos e policíclicos. No caso do fogão a gás, é uma grande fonte potencial de subprodutos da combustão e se suas emissões não forem sempre ventiladas, podem contribuir para os níveis internos de monóxido de carbono, óxido de nitrogênio e formaldeído.

Outros aparelhos, como os aquecedores à querosene, utilizados para gerar calor nos espaços domésticos, se não forem ventilados, revelam um potencial para níveis

elevados de novos contaminantes. Em particular, o uso impróprio de querosene com alto teor de enxofre ou de aparelhos mal projetados pode resultar em emissões de óxidos de enxofre, bem como alguns outros subprodutos de combustão anteriormente mencionados.

2.2.4.2. Produtos de construção e mobiliário

Os polímeros sintéticos utilizados em mobiliário e materiais decorativos podem degradar-se lentamente, liberando pequenas quantidades dos *constituintes originais ou subprodutos de reação*. Cortinas, tapetes, tecidos, e a grande maioria dos produtos que contêm fibras sintéticas ou artificiais, são fontes de uma variedade de contaminantes orgânicos e, potencialmente, microbiológicos.

O formaldeído é liberado de laminados de madeira, de placas com partículas e de espumas isolantes de ureia-formaldeído, as quais, possivelmente, são fontes de outros produtos gasosos. Materiais fibrosos como o amianto e a fibra de vidro, presentes em alguns materiais de construção, podem ser liberados para o ambiente interno durante as modificações na estrutura da edificação.

2.2.4.3. Atividades humana, animal e vegetal

A variedade de contaminantes que resulta da atividade humana é extremamente ampla. O tabagismo é uma das principais fontes de poluição humana no ar interior, pois, enquanto os próprios fumantes se sujeitam ao domínio da fumaça, transeuntes podem ser involuntariamente expostos às quantidades significativas de partículas inaláveis, como monóxido de carbono, óxidos de azoto e inúmeros contaminantes orgânicos prejudiciais. Mais de 50 componentes da fumaça do cigarro são conhecidos por causar efeitos adversos para a saúde, sendo 12 deles suspeitos carcinógenos.

A própria atividade metabólica humana influencia na qualidade do ar, reduzindo a concentração de oxigênio e aumentando o nível de dióxido de carbono. A respiração, transpiração e digestão de alimentos adiciona vapor de água, bem como substâncias produtoras de odor para o ambiente interno. Uma grande variedade de agentes biológicos pode estar presente no ambiente interno de uma casa como, por exemplo, microrganismos de pessoas, animais e insetos; além da flora microbiana que pode ocorrer em superfícies úmidas ou em água parada. Há ainda, os restos de pólen,

esporos, células e insetos que estão presentes na poeira proveniente tanto do ar interior como do ar exterior.

Muitas substâncias encontradas no local de trabalho também podem ocorrer no ambiente doméstico, como resultado das atividades de hobby ou artesanato. Além disso, os trabalhadores expostos a produtos químicos no local de trabalho podem trazer estes contaminantes para casa, através de seus vestuários. Em algumas circunstâncias, este pode ser um meio pelo qual quantidades significativas de substâncias potencialmente nocivas são introduzidas no ar interior.

As recomendações para um ambiente doméstico são desenvolvidas levando-se em consideração que as pessoas podem estar em casa até 70% do seu tempo e para alguns segmentos da população, como as crianças, os velhos e os doentes, esse percentual pode ser muito maior. Além disso, alguns indivíduos podem se encontrar em risco especial de poluição do ar interior, que são aqueles cujos processos fisiológicos, ou não, estão totalmente desenvolvidos ou estão se deteriorando, ou para os quais as alterações patológicas ou fisiológicas prejudicam a capacidade de superar os efeitos adversos da exposição a um poluente.

2.2.4.4. Outros produtos

Outras fontes de vários produtos químicos inorgânicos e orgânicos são os purificadores de ar, ceras de móveis, vernizes, produtos de limpeza, tintas, inseticidas, desodorantes e outros produtos frequentemente utilizados nas casas. De acordo com Sack et al. (1992) em torno de 31 COVs, potenciais poluentes do ar interno, foram analisados em um total de 1.159 produtos de consumo doméstico. Entre estes produtos (sendo 14,4% para uso automotivo; 9,2% para limpeza; 39,9% para pintura; 6% para equipamentos de limpeza e 9,6% para lubrificação) foram emitidas substâncias em altas concentrações como hexano, tri-cloroetileno, tetra-cloroetileno, tetracloreto de carbono, entre outros.

Em meio a todas estas fontes de contaminação, uma das soluções que reflete as diretrizes de qualidade do ar interno em habitações é a necessidade de especificar as taxas de ventilação para estes ambientes, como uma das estratégias que pode ser adotada para controlar a presença de contaminantes do ar interno. Outras

possibilidades incluem as especificações para o projeto do edifício, levando-se em conta os seus materiais e produtos de consumo. Em muitos casos, medidas para minimizar a exposição aos contaminantes químicos podem ser tomadas pelos moradores, motivados por uma campanha de educação pública, que pode ser uma importante estratégia para alcançar a qualidade aceitável do ar interior.

Por outro lado, é importante destacar que parte dos poluentes existentes dentro das habitações provêm do ar exterior, devido à troca de ar contínuo entre os ambientes nestas edificações e o meio externo. Os poluentes importantes desta categoria incluem monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, partículas em suspensão, ozono (e outros oxidantes fotoquímicos) e chumbo (FPACEOH, 1995).

Na tabela 7 são relacionados os principais contaminantes internos em edifícios residenciais e suas fontes.

Tabela 7: Principais contaminantes de ambientes internos e suas fontes.

Contaminantes	Principais fontes emissoras	Concentrações típicas
Alergênicos	Poeiras, pelos de animais, partes de insetos	ML/ AV
Dióxido de carbono	Atividades metabólicas, combustão de veículos motorizados nas garagens	2000 – 3000 ppm
Monóxido de carbono	Queima de combustíveis (fogões a lenha, aquecedores a óleo ou a gás), fumo de tabaco e atividades metabólicas	5 – 50 ppm
Formaldeído	Painéis de partículas, materiais isolantes e mobiliário, fumo de tabaco	0,01 – 0,5 ppm
Microorganismos	Pessoas, animais, plantas e sistemas de ar condicionado	ML/ AV
Dióxido de nitrogênio	Queima de combustíveis (veículos motorizados)	10 - 120µg/m ³
Óxidos de enxofre	Queima de combustíveis (veículos motorizados)	0 - 15µg/m ³
Compostos orgânicos voláteis (substâncias orgânicas)	Adesivos, solventes, tintas, materiais de construção, revestimentos sintéticos, produtos de limpeza, combustão, fumo e outros.	N.A
Ozônio	Reações fotoquímicas (computadores e demais materiais eletrônicos)	0 – 10 ppb
Partículas	Produtos de combustão, poeiras	10 - 1000µg/m ³
Pólenes	Árvores, relva, ervas daninhas e outras plantas	ML/ AV
Radônio	Solo, materiais de construção (pedra e concreto)	0,01 – 4 pC/liters
Aerosóis	Produtos de consumo	N.A
Esporos	Fungos e bolores	N.A
Amianto e fibra sintética	Materiais retardantes de fogo e isolantes	0 – 1 fibra/ml
Mercúrio	Fungicidas, pinturas, termômetro ou lâmpada quebrada	ML/ AV
Amonia	Atividade metabólica, produtos de limpeza	N.A

Fonte: SPENGLER, SEXTON (1983).

Legenda:

ML = medições limitadas

AV = alta variação

N.A = nada

2.2.5. Diretrizes e normas para concentrações dos contaminantes em ambientes internos

2.2.5.1. Os limites de exposição ocupacional

Os limites de exposição ocupacional correspondem às concentrações mais elevadas das substâncias químicas às quais a grande maioria dos trabalhadores pode estar exposta, dia após dia, sem que resulte na ocorrência de determinado efeito adverso para a saúde. São concentrações expressas em massa por volume de ar (mg/m^3) e/ou em partes por milhão (ppm), dependendo das características da substância (PEDROZA, 2011). Seus valores são abordados por normas internacionais que se baseiam em conhecimentos científicos e eles podem ser alterados a partir do momento que se faz a revisão de cada um dos compostos e surgem novas evidências científicas sobre seus efeitos na saúde pública (LQAI, 2013).

Por outro lado, Charles; Magee; Won et al. (2005) afirmam que estas normas diferem com respeito às suas derivações, pois não se baseiam apenas em resultados de estudos científicos, mas também em experiências práticas e conhecimentos disponíveis. Algumas delas focam nos níveis aceitáveis para o conforto dos ocupantes e eliminação dos odores irritantes, enquanto outras focam nas preocupações com a saúde. Parte destas normas foi desenvolvida para ambientes industriais, com altas concentrações de contaminantes, e outra parte para ambientes não industriais, como escritórios e residências. Algumas normas são legalmente aplicadas e outras são criteriosamente recomendadas.

Países que não desenvolveram seus próprios limites de exposição ocupacional costumam adotar critérios definidos por outras nações. Este é o caso do Brasil, onde limites de exposição importados de outras realidades ganharam status de lei a partir da consolidação das Leis do Trabalho (Lei nº 6.514 (22/12/1977), posteriormente disciplinadas através da Norma Regulamentadora Nº 15 (NR-15), do Ministério do Trabalho, que define entre outras coisas, a insalubridade cabível ao trabalhador exposto (CORDEIRO e LIMA-FILHO, 1995). No Brasil, a adoção dos critérios se deu por parte da ACGIH e a adequação dos valores limitou-se a uma discutível redução

proporcional de todos os valores a 78% sob o pretexto de adaptação de 40 para 48 horas semanais de exposição (ROSA et al., 2008).

Entretanto, foi constatada uma considerável divergência nas listagens da ACGIH e da Norma Regulamentadora Nº 15 (NR-15), quanto ao número de limites apresentados, pois enquanto a ACGIH apresentava em sua listagem oficial aproximadamente 700 produtos químicos, a NR-15 apresentava apenas 202 produtos químicos com limite estabelecido. Foram observadas diferenças preocupantes nos valores de limites de muitas substâncias como, por exemplo, do cloreto de vinila que possui um limite de tolerância de 156 ppm na NR-15, enquanto na ACGIH o limite é 1 ppm. Estas diferenças são comuns, sobretudo, porque a ACGIH revisa e atualiza anualmente seus limites de exposição com base em estudos recentes de avaliação de risco, enquanto no Brasil a NR-15 teve sua última revisão em 1994 (PEDROSA et al., 2011).

A partir destes fatos, serão apresentadas algumas das organizações reguladoras internacionais e as diretrizes e normas que elas estabeleceram para limites de exposição aos produtos químicos no local de trabalho.

2.2.5.2. Diretrizes e normas de organizações reguladoras

a) Organização Mundial da Saúde (OMS)

A OMS, conhecida mundialmente como World Health Organization (WHO), criada em 1948 como uma agência especializada pertencente ao sistema da Organização das Nações Unidas (ONU), tem como uma de suas principais atividades a definição de diretrizes gerais para a condução das políticas públicas das nações sobre saúde. Para isto, estabelece recomendações quanto à adoção de normas e padrões, coordena o avanço do conhecimento científico sobre as causas e os efeitos dos problemas de saúde, prove suporte técnico para os países e monitora as mudanças das condições de saúde no mundo (WHO, 2005). Além disso, publica diretrizes, que trazem recomendações quanto às concentrações ambientais de certos poluentes ou o tempo médio de exposição a eles, expressos na forma de valores numéricos.

De acordo com Sanguessuga (2012), a OMS seleciona os poluentes para o desenvolvimento de recomendações, de acordo com critérios relacionados à existência de grande variedade de fontes interiores, disponibilidade de dados toxicológicos, epidemiológicos e de níveis interiores que excedam os valores limites. Sendo que em 2010 a instituição publicou os valores de nove poluentes do ar interior no documento denominado *World Health Organization Guidelines for Indoor Air Quality – Selected Pollutants*.

b) American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)

A ACGIH ou Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais é uma associação profissional de higienistas industriais e praticantes de profissões afins, com sede em Cincinnati, Ohio, Estados Unidos. Um dos seus objetivos é promover a proteção dos trabalhadores, fornecendo informações científicas para profissionais ocupacionais e de saúde ambiental (ACGIH, 2009). A atividade mais conhecida desta instituição é a investigação, recomendação e atualização anual dos limites de exposição humana às substâncias químicas e agentes físicos (FLORENTINO, 2006).

A ACGIH informa os valores limites de exposição à 642 substâncias químicas e agentes físicos assim como 38 índices de exposição biológicos, através dos Threshold Limits Values (TLV)⁴, ou Valores Limites (FLORENTINO, 2006). Estes valores são utilizados por grande parte dos países que não contam com valores próprios (GUÌO, 2013). Incluindo o Brasil através da Norma Regulamentadora Nº 15.

Estes valores são expressos através de três definições complementares sobre as características de exposição às substâncias químicas e agentes físicos (em geral):

- TLV - TWA é a de (Threshold Limit Value -Time Weighted Average), cuja tradução é *Valor Limite de Exposição – Tempo Médio Ponderado*. Esta sigla não possui unidade de medida e diz respeito à concentração média ponderada (de substâncias ou agentes) pelo tempo para uma jornada de trabalho normal

⁴ Os TLV são referências às concentrações das substâncias dispersas na atmosfera que representam as condições sob as quais se acredita, que quase todos os trabalhadores possam estar expostos continuamente e diariamente, sem apresentar efeitos adversos à saúde.

de 8 horas diárias e 40 horas semanais, a qual a maioria dos trabalhadores pode estar exposta diariamente, sem sofrer efeitos adversos à saúde.

- TLV - C é a abreviação de (Threshold Limit Value - Ceiling), cuja tradução é *Valor Limite de Exposição – Teto*. Sem unidade de medida, diz respeito à concentração (substâncias ou agentes) que não pode ser excedida durante nenhum momento da exposição do trabalhador.
- TLV-STEL⁵ é a abreviação de (Threshold Limit Value – Short Term Exposure Limit), cuja tradução é *Valor Limite de Exposição - Limite de Exposição de Curta Duração*. Sem unidade de medida, diz respeito à concentração (substâncias ou agentes) a que os trabalhadores podem estar expostos por um período curto sem sofrer irritação; lesão crônica ou irreversível da pele; narcose em grau que aumente a predisposição à acidentes, ou ineficiência no trabalho.

c) Occupational Safety Health Administration (OSHA)

A OSHA ou Administração de Saúde e Segurança Ocupacional dos EUA é o órgão de administração federal com competência para estabelecer normas legais relativas à prevenção de riscos e promoção da saúde no âmbito laboral. Os valores limites ambientais para esta instituição, denominados *Permissible Exposure Limits* (PEL), são os únicos que tem validade legal nos países. A OSHA utiliza o PEL com a mesma metodologia que a ACGIH utiliza o TLV, e divulga publicamente seus resultados, com efeitos para a saúde de cada substância e métodos de análise (FLORENTINO, 2006).

Os PELs são planejados para proteger o trabalhador industrial médio, mas não leva em consideração a possível reação dos indivíduos sensíveis. Assim, no caso dos trabalhadores domésticos, pessoas cujo local de trabalho é a própria residência, estão isentos de inspeções da OSHA, mas também ficam fora do âmbito da Lei de Segurança e Saúde Ocupacional (OSHA, 2012).

⁵. Um STEL é definido como uma exposição média ponderada pelo tempo durante 15 minutos que não pode ser excedida em nenhum momento da jornada de trabalho, mesmo que a concentração média ponderada para 8 horas esteja dentro dos limites de exposição acima de TLV-TWA. Exposições acima do TLV-TWA, mas abaixo do STEL, não podem ter duração superior a 15 minutos, nem se repetir mais de quatro vezes ao dia. Deve existir um intervalo mínimo de 60 minutos entre as exposições sucessivas nesta faixa. Pode-se recomendar um período médio, diferente dos 15 minutos, desde que garantido por observação dos efeitos biológicos. Em algumas situações poderá ser informado que o valor apresentado refere-se ao valor teto (TLV-C).

d) National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)

O NIOSH ou Instituto Nacional de Saúde e Segurança Ocupacional é a agência federal dos Estados Unidos responsável pela realização de pesquisas e elaboração de recomendações para a prevenção de acidente de trabalho. Entretanto, não é uma agência reguladora como a OSHA, e por isto não emite normas de segurança e saúde que são aplicáveis sob a lei dos EUA. Em vez disso, tem a autoridade de desenvolver recomendações relativas à estas normas, além de informações sobre níveis seguros de exposição a materiais tóxicos, agentes físicos e substâncias nocivas. NIOSH faz parte dos Centros de Controle e Prevenção de Doenças (CDC) dentro do Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos EUA (CDC, 2014).

A instituição fornece produtos e serviços que são traduzidos de informações e resultados de pesquisas sobre doenças do trabalho, lesões, invalidez e morte, em nível nacional e mundial. Estes produtos são diretrizes publicadas em uma coleção de documentos criteriosos, que contêm uma revisão da literatura e limites de exposição recomendados, os quais não são regularmente revisados. Por isto, em alguns casos, estes limites são colocados acima daqueles necessários por razões de saúde, sendo que comumente as práticas de higiene industrial disponíveis não detectam confiavelmente substâncias a níveis mais baixos (NIOSH, 2005).

e) Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA)

A USEPA ou Environmental Protection Agency é uma agência do governo federal dos EUA, com sede em Washington, criada em 1970, e que tem como algumas das suas atribuições definir os padrões e gestão de qualidade do ar, em nível nacional, acompanhar as políticas estaduais, elaborar estudos, coletar e sistematizar dados, definir diretrizes, regras, e outros (SANTANA, CUNHA, FERREIRA et al, 2012). Além disso, a agência tem poderes de aplicar multas, sanções e outras medidas, e também trabalha com indústrias de todos os níveis de governo em uma ampla variedade de programas de prevenção de poluição voluntários e os esforços de conservação de energia (USEPA, 2015).

Em 1985, o escritório de pesquisa e desenvolvimento da agência norte americana encontrou cerca de uma dúzia de poluentes orgânicos comuns, em torno de 2 a 5 vezes maior dentro das casas do que fora delas, independentemente das casas estarem localizadas em áreas rurais ou industriais. A equipe de estudos indicou que ao usarem produtos que contenham substâncias químicas orgânicas, as pessoas podem estar expostas a elas e a outros níveis de poluentes, sendo que suas concentrações elevadas podem persistir no ar por muito tempo, após suas atividades serem concluídas (USEPA, 2015).

f) Canadian (The Canadian maximum exposures)

Norma canadense para exposições máximas, foi desenvolvida em 1987 e reafirmada em 1995 por um comitê do Governo Federal do Canadá. A norma contém diretrizes para exposições recomendáveis, desenvolvidas para a qualidade do ar interno em residências, e que resumem os riscos à saúde causados por poluentes interiores específicos, com base em uma revisão das melhores informações científicas disponíveis (HEALTH CANADA, 2014).

As diretrizes informam sobre o nível de exposição recomendado para cada substância, abaixo do qual os efeitos na saúde são improváveis, e descrevem sobre os limites de exposição em longo prazo, para proteger contra problemas de saúde que podem se desenvolver a partir de exposição contínua, por longo período (dias, semanas, meses, etc.), e sobre os limites em curto prazo, para proteger contra problemas de saúde que podem ocorrer imediatamente a partir de uma breve exposição a níveis elevados de substâncias emitidas por produtos domésticos como tintas ou colas. Com isto, servem como uma base científica para reduzir os riscos de poluentes advindos de materiais no ambiente interno dos edifícios residenciais (HEALTH CANADA, 1995).

g) Algumas considerações

Como foi abordado anteriormente, os valores limites são os níveis de concentrações máximas das substâncias químicas às quais os trabalhadores podem ficar expostos durante uma semana de trabalho de 40 horas, sem sofrerem algum dano na saúde.

Como é o caso dos valores limites para compostos orgânicos voláteis individuais, adotados pela Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais e que serviram como base para a Norma Regulamentadora Nº 15.

No entanto, estes mesmos valores limites não são apropriados para ambientes residenciais, pois, segundo a APA (2009), eles só podem ser exigidos para os trabalhadores da indústria que podem estar expostos à estas substâncias químicas, em elevadas concentrações durante uma semana de trabalho de 40 horas. Além do que, para estas pessoas geralmente é fornecido equipamento de proteção adequado (ex. roupas de proteção ou máscaras faciais e equipamento de respiração). Ao contrário dos ocupantes das habitações que são expostos às substâncias com baixas concentrações, por períodos semanais superiores a 40 horas, e que no caso de crianças e idosos, significa permanecer por muito mais tempo nestes ambientes.

Ainda, de acordo com a agência, como não é conhecido o *efeito coordenado de um grupo de COV* no conforto dos moradores, nesta situação, parece que seria mais apropriado estabelecer limites individuais muito mais baixos que os valores limites para ambientes ocupacionais. Neste caso, a recomendação existente advém de uma norma “não atualizada” da ASHRAE (ASHRAE Standard 62-1989), para que se use um décimo dos valores limites da ACGIH para compostos orgânicos, dos quais não existem normas de conforto, o que pode não ser parâmetro aconselhável. Por outro lado, há a Comunidade Europeia que nos últimos anos tem apontado como objetivo para compostos orgânicos totais (COVT) um valor de $0,03 \text{ mg/m}^3$, onde nenhum COV individual deve exceder os 10% da concentração de COVT.

Estas regras serviram como parâmetro para definir os valores limites da ACGIH para exposição aos COV emitidos pelos revestimentos vinílicos nas habitações, conforme é apresentado na tabela 8. Pois, uma vez que os valores limites são conhecidos, pode não ser permitida a utilização de produtos com base em materiais potencialmente perigosos nas residências. Além do que devem ser feitos esforços para que haja um controle rígido das substâncias utilizadas na fabricação destes produtos, de maneira que elas não contenham compostos orgânicos que causem efeitos negativos sobre a saúde humana. Ainda assim, existem outras medidas de controle dos COV no ar interno, que serão destacadas posteriormente.

Na tabela 8 são relacionados os *valores limites de exposição* às concentrações de alguns compostos orgânicos voláteis (identificados nesta pesquisa) pelo tempo médio ponderado (TWA) de 40 horas semanais, de acordo com as instituições ACGIH, OSHA e NIOSH.

Tabela 8: Valores Limites de exposição aos COV, pelos órgãos (ACGIH, OSHA e NIOSH).

Compostos	ACGIH		OSHA		NIOSH	
	ppm TWA	mg/m ³ TWA	ppm TWA	mg/m ³ TWA	ppm TWA	mg/m ³ TWA
Acetato de n-butilo	150	713	150	700	150	700
Metil-isobutil-cetona	20	82	100	410	200	---
Ciclo-hexanona	50	200	50	200	200	---
Hidroxi-tolueno butilado	---	10	---	10	---	10
Undecano	500	2000	500	2000	---	1800
Alfa-pineno	20	110	----	----	----	----
Beta-pineno	20	110	----	----	----	----
Butoxi-etoxi-etanol	----	----	50	240	5	240
Heptadecano	----	----	200	705	----	----

Fonte: ACGIH, OSHA e NIOSH (2012).

2.3. Emissões de COV pelos Revestimentos Vinílicos

2.3.1. Introdução a compostos orgânicos voláteis (COV)

Compostos orgânicos voláteis são substâncias orgânicas que, sob temperatura ambiente, possuem altas pressões de vapor a ponto de vaporizar significativamente. Outra característica é que esses compostos não se decompõem, mesmo a temperaturas superiores aos seus pontos de ebulição. De acordo com Posudin (2008), este comportamento de volatilização se deve aos pontos de ebulição destas substâncias, que variam entre 50 e 100°C para os compostos orgânicos muito voláteis; entre 100°C e 240°C para os compostos orgânicos voláteis; entre 240°C e 400 °C para os compostos orgânicos semivoláteis. No caso dos compostos orgânicos associados às partículas em suspensão ou matéria orgânica particulada, o ponto de ebulição ocorre acima de 380°C.

De acordo com Guío (2013), os compostos orgânicos podem ser divididos em diferentes categorias, as quais em sua grande maioria provêm diretamente do petróleo, um recurso não renovável, que serve de matéria-prima para diferentes produtos industriais. As categorias mais detectadas em ambientes interiores, são classificadas por Silva (2000) como hidrocarbonetos alifáticos e cíclicos, hidrocarbonetos aromáticos, terpenos, aldeídos, cetonas, álcoois alifáticos, álcoois aromáticos, éteres glicóis, ésteres, ácidos e hidrocarbonetos halogenados.

Os COV podem ser gerados por uma fonte específica e limitada ou por várias fontes, periodicamente ou continuamente. As fontes mais comuns destas substâncias químicas no ar interno de ambientes incluem tabagismo, materiais de construção, móveis, produtos de limpeza, carpetes, tapetes, materiais usados em revestimentos de piso, materiais de isolamento, tintas, máquinas fotocopadoras, inseticidas (OSHA, 2015), sistemas de ventilação (BLUYSSSEN et al, 1996) e outras fontes. Nos ambientes externos, os COV mais comuns são encontrados em áreas com grande número de indústrias e com denso tráfego de veículos, sendo que os níveis destes compostos no ar chegam a ser inferiores aos de ambientes internos, em determinados casos (EPA, 2010).

Entretanto, há as emissões de COV pelas substâncias existentes nas próprias pessoas (por exemplo, perfumes) que ao estarem próximas de outras fontes de emissão de COV, ocasionam concentrações médias destas substâncias, que podem dar uma indicação incorreta dos níveis de exposição pessoal (RODES et al., 1991 apud MARTINS, 2003). Assim, Wallace, Nelson et al (1991) publicaram os resultados de medições de níveis de exposição humana a 25 COVs em 51 residências de Los Angeles. Enquanto que o máximo do ambiente interno se situava entre 10 a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o máximo pessoal estava geralmente entre 100 e 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.3.2. Emissões de COV pelos materiais de construção

Os COV emitidos pelos materiais de construção classificam-se em primários e secundários. Os poluentes primários são em geral COV de baixa massa molecular, como resíduos de solventes, aditivos e matéria prima não transformada durante a produção dos materiais. Os poluentes secundários são COV resultantes de reações diversas tais como hidrólise ou oxidação degradativa, de ação microbiológica e de

processos de reemissão de COV adsorvidos (SILVA, 2000). Assim, os tipos de emissões destas substâncias químicas são caracterizados na tabela 9.

Tabela 9: Tipos de emissões de COVs dos materiais de construção.

Tipos de emissões de COV dos materiais de construção		
Tipo de emissão	Escala de tempo	Mecanismos de emissão e processos de emissão.
Primária: COV não ligados quimicamente aceleradores, antioxidantes, aditivos, monômeros, plastificantes, solventes, reagentes e bioprodutos.	Menos de um ano	Evaporação desde a superfície, evaporação por difusão ou os dois. COV secundários podem-se formar em reações com ozônio e COV primários.
Secundária: COV ligados quimicamente.	Mais de um ano	Envelhecimento: - Oxidação e cisão, - Degradação: química (exemplos hidrólises) e física (exemplo calor) - Desgaste mecânico e manutenção, - Processo de sorção.

Fonte: Adaptação Wolkoff (1998).

Quanto aos materiais de construção usados em ambientes internos, podem ser classificados em materiais úmidos e materiais secos. As tintas, vernizes e colas são exemplos de materiais úmidos, pois são tipicamente caracterizados por apresentarem elevadas emissões iniciais seguidas por uma diminuição das emissões. No entanto, a maioria dos materiais de construção internos são materiais secos, como por exemplo materiais de parede (cimento, tijolos, papel de parede), pisos (carpete, vinil, linóleo e madeiras, etc.), gesso, azulejos, etc. As emissões de COV por estes materiais são tipicamente baixas podendo ocorrer de curtos períodos até meses ou anos. Isto deve-se ao fato dos compostos poderem migrar por difusão de zonas interiores dos materiais até à superfície (GONÇALVES, 2009).

Para materiais de base líquida, como tintas e adesivos, a maioria dos COV pode ser emitida nas primeiras horas ou nos primeiros dias de aplicação. Para materiais secos como carpetes, produtos de madeira prensada, revestimentos vinílicos, e outros, as emissões destas substâncias são continuadas, porém, com nível baixo por longos períodos. Na tabela 9 são descritas algumas categorias de COV e suas fontes.

Tabela 10: Exemplos de COV emitidos no ar interior por materiais de construção.

Fontes	Exemplos de contaminantes típicos
Tintas e produtos associados	Hidrocarbonetos alifáticos (n-hexano, n-heptano), hidrocarbonetos aromáticos (tolueno e xileno), hidrocarbonetos halogenados (cloreto de metileno e dicloreto de propileno), álcoois, cetonas (metiletilcetona), ésteres (acetato de etilo), éteres (éter metílico, etílico, butílico). ¹
Colas	Hidrocarbonetos aromáticos (aromáticos de bromo, estireno), hidrocarbonetos halogenados (cloreto de vinilo), aldeídos (formaldeído), ésteres, éteres. ¹
Materiais de construção (madeira prensada, adesivo de construção, materiais isolantes, tubo de plástico, papel de parede vinílico)	Hidrocarbonetos alifáticos (n-decano, n-dodecano), hidrocarbonetos aromáticos (tolueno, estireno, etilbenzeno), hidrocarbonetos halogenados (cloreto de vinilo), aldeídos (formaldeído), cetonas (acetona, butanona), éteres, ésteres (acetato de etilo, uretano). ¹
PVC	Hidrocarbonetos alifáticos, hidrocarbonetos aromáticos, alquilfenóis, álcoois alifáticos, aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos, ésteres alifáticos e aromáticos de ácidos carboxílicos ²
Parquet de madeira	Pentanal, hexanal, metilmetacrilato, estireno, α -pineno, β -pineno ³

Fonte: ¹ Maroni et al. (1995), ² Bremer et al. (1993), ³ Saarela et al. (1994).

Outro fato importante, é a existência de compostos orgânicos *não voláteis* na constituição de alguns materiais. Neste caso, segundo Või e Morris (2012), enquanto um *composto orgânico volátil* é definido como um composto que se evapora mais do que 95%, em peso, dentro de seis meses sob condição de teste de evaporação ambiente, um *composto orgânico não volátil* é um composto que se evapora menos do que cinco por cento em peso, seis meses sob condição deste mesmo teste.

2.3.3. COV e COV totais no ambiente interno

De acordo com a WHO (1987), nos edifícios construídos recentemente, as concentrações de COV levam até 6 meses para diminuírem e chegarem ao nível dos edifícios antigos. Por isto Wieslander et al. (1997) descreve que nos edifícios recém-construídos ou que sofreram obras de remodelação ou redecoração, as concentrações de COV podem ser muito superiores às tipicamente encontradas em ambientes internos não modificados. Isto, porque muitos COV são emitidos pelas fontes para a atmosfera durante um período de tempo relativamente curto e devido à sua subsequente dispersão estas concentrações declinam rapidamente no ar. Assim, os trabalhadores de construção civil e decoradores poderão estar expostos frequentemente a doses particularmente elevadas.

Normalmente, os COV são percebidos através do odor, que pode funcionar como um primeiro sinal de alerta, influenciando na disposição e estado de consciência das pessoas, etc (MIYAKE et al., 1991). A sensibilidade individual a compostos odoríferos depende do sexo, idade, balanço hormonal, estado de saúde, entre outros, e pode exclusivamente variar de um dia para o outro num mesmo indivíduo (MARTINS, 2003). Alguns odores característicos são desodorantes de banheiros e sprays para odorização de ambientes; odores das próprias pessoas; produto de reação do butadieno-estireno, que é responsável pelo odor do carpete, entre outros.

Segundo Silva (2000, p.14), as concentrações de COV no ambiente interno são normalmente da ordem dos $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Em edifícios recentes ou bastante poluídos as concentrações podem atingir alguns mg/m^3 . Nos estudos das emissões de COV de materiais em câmara de teste, as concentrações variam bastante de acordo com a idade e o tipo de amostra, podendo ir de valores da ordem dos $\mu\text{g}/\text{m}^3$ até alguns mg/m^3 . Para além da caracterização ao nível dos compostos individuais é também importante ter informação sobre a quantidade total de COV emitidos que existem numa dada atmosfera. Essa informação é dada pelo valor de um parâmetro, denominado concentração total de COV ou COV totais (COVT).

Os COV totais, existentes num dado ambiente interno, foram durante algum tempo apresentados como um indicador da qualidade desse ambiente interior. Ou seja, foi a forma mais simples encontrada para dar uma informação sobre a poluição química total a que os ocupantes estão expostos num dado ambiente interior (GROES, 1995 apud SILVA, 2000, p.14). O uso dos COVT como um indicador da qualidade do ar refere-se à identificação dos compostos orgânicos de ponto de ebulição entre 50 e 260°C. Esta técnica exclui compostos orgânicos de grande relevância como formaldeído, acetaldeído, aminas, diisocianatos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, entre outros (SILVA, 2000).

2.3.4. Efeito das variáveis climáticas nas emissões de COV

A temperatura, umidade e a ventilação são parâmetros físicos que influenciam nos níveis de emissão de compostos orgânicos voláteis pelos materiais e produtos utilizados no ambiente interno dos edifícios. Em seguida, serão apresentadas algumas particularidades acerca dos efeitos destes parâmetros nas emissões.

2.3.4.1. O efeito da temperatura

O aumento da temperatura é um dos fatores que afetam as emissões de COV pelos materiais de construção, sejam estas emissões controladas por difusão dentro do próprio material ou por transferência de massa da superfície para o meio envolvente (ECA, 1991a). Isto pode acelerar as reações químicas nos materiais, provocando emissões de COV adicionais. Mesmo que o intervalo de temperatura habitualmente encontrado nos ambientes internos dos edifícios esteja entre 17 e 28°C, há alguns materiais que podem atingir temperaturas entre 50 e 60°C, como é o caso do piso de cimento exposto continuamente às temperaturas de radiação solar, que incide no interior do edifício pelas janelas (SILVA, 2000).

Em estudo realizado por Wolkoff (1998) para diversos materiais, incluindo o PVC, os resultados indicaram que as temperaturas entre 23 e 35°C têm pouca influência sobre as emissões primárias de COV nos materiais sólidos, ao contrário do que acontece com os materiais líquidos que são mais sensíveis às variações de temperatura,

conforme pode ser observado na figura 1. Entretanto, há o aumento das emissões primárias⁶ nos materiais sólidos em temperaturas superiores à 60°C.

Figura 1: Gráficos das variações dos níveis das concentrações de COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) emitidos por material sólido (PVC) e por material líquido (wall paint ou tinta de parede), sob influência de temperaturas de 23, 35 e 60°C, entre 25 e 30 dias.

Fonte: Wolkoff (1998).

Em outro estudo realizado por Sollinger *et al.* (1994), sobre o efeito da temperatura nas emissões de COV de carpetes, foram feitos testes sob temperaturas de 23, 30, 40, 50, 61 e 71°C, tendo-se concluído que o efeito da temperatura variava com os tipos de compostos. Por exemplo, para o estireno, um composto relativamente volátil e de baixa polaridade, a dependência da concentração na atmosfera com a temperatura foi reduzida. Comportamento semelhante foi observado para muitos alquilbenzenos, enquanto que para a benzotiazola esta dependência é forte.

2.3.4.2. O efeito da umidade relativa

A umidade relativa é outra variável que pode afetar as emissões de COV pelos materiais de construção. No caso de materiais líquidos, um ambiente com baixo grau de umidade pode provocar um processo de secagem mais rápido e, portanto, emissões iniciais superiores e concentrações de COV mais baixas no período subsequente. Por outro lado, em um ambiente com grau elevado de umidade, o vapor

⁶ Isto ocorre devido aos COVs primários que são emitidos por difusão dentro do próprio material e as emissões de COVs secundários que são provenientes de fenômenos de desadsorção, decomposição e reações químicas neste mesmo material. Nos casos em que as emissões são controladas por difusão interna, o impacto da temperatura sobre o material é baixo.

de água pode transportar COV hidrofílicos da superfície do material, e desse modo aumentar as emissões destas substâncias (GUÍO, 2013).

Em algumas pesquisas verificou-se que materiais vinílicos expostos à umidade relativa originavam 2-etil-1-hexanol, fenol, cresol, entre outros. A hidrólise do plastificante di (2-ethylhexyl) phthalate, conhecido como DEHP, resulta na sua decomposição irreversível em 2-etil-1-hexanol e ácido ftálico (GUSTAFSSON, 1992). Entretanto, em estudos realizados por Clausen, Xu, Sorensen et al. (2007), durante medições ao longo do tempo, foi comprovado que na faixa de umidade entre 0% e 50%, a emissão do composto 2-etil-1-hexanol a partir do DEHP, presente na formulação de um revestimento de PVC, se mantém inalterável.

Figura 2: Concentração do composto 2-etil-1-hexanol em 400 dias pela emissão proveniente do DEHP presente no piso de vinil, em umidades relativas entre 0 e 50%, à 23 ° C, durante 400 dias.

Fonte: Clausen, Xu, Sorensen et al. (2007).

2.3.4.3. O efeito da velocidade do ar

A velocidade do ar na superfície do material de construção é outro fator que pode ter impacto na emissão dos COV, pois, em geral, quanto maior for esta velocidade maior é o coeficiente de transferência de massa. De acordo com Haghighat et al (1995), as velocidades utilizadas em câmaras de teste variam entre 0,10 e 0,20 m/s, um pouco acima ou semelhante aos valores médios encontrados em edifícios reais entre 0 e 0,39 m/s. Entretanto, Knudsen et al. (1998) revela que as maiores variações são

esperadas durante as emissões iniciais de materiais líquidos, já que após a formação do filme o processo pode passar também a ser controlado por difusão interna. No entanto, já foram observadas variações das emissões de 2-etil-1-hexanol e fenol com a velocidade (de 0,10 a 0,30 m/s) para materiais como o PVC.

Na tabela 11 é representado o resumo dos impactos da temperatura, umidade e velocidade do ar nas taxas de emissão de COV de diferentes materiais construtivos.

Tabela 11: Impacto das variáveis climáticas na emissão de COVs em produtos de construção.

Parâmetro	Fonte primária	Fonte secundária	Comentários
Velocidade do ar 1 – 10 cm/s	Efeito não significativo depois de 2 – 4 dias	Altas velocidades do ar podem promover a emissão do ar oxidativo.	A emissão de evaporação controlada parece não ter impacto depois de alguns dias. As fontes secundárias de emissão dependem dos COVs a serem analisados, e dos tipos de produtos de construção.
Temperatura 23 – 60 °C	O impacto depende do produto da construção e do tipo de COV emitido, maior efeito a 60°C		Para produtos como carpete e revestimento de PVC não existe diferença entre 23 e 35°C.
Umidade relativa 0 – 50%	O impacto depende do produto da construção e do tipo de COV emitido	Plastificantes parecem decompor-se por elevada umidade relativa.	
Nitrogênio / ar		Alguns compostos orgânicos voláteis ou plastificantes parecem ser sensíveis à oxidação do ar.	Testes anaeróbicos podem informar sobre produtos de construção suscetíveis ao ar.

Fonte: Adaptação Wolkoff P. (1998)

2.3.5. Adsorção e dessorção dos COV

Os materiais de construção têm sido identificados como importantes fontes de emissões de COV em ambientes interiores, pois podem afetar o transporte e remoção dos compostos nestes ambientes por adsorção e desadsorção. Alguns materiais

podem libertar e reemitir compostos adsorvidos durante dias, meses ou até anos após a sua aplicação, devendo ser evitados. Se o teor de COV dos materiais de construção é elevado, os compostos são emitidos para o ambiente interior até se estabelecer o equilíbrio de concentrações, e dessa forma o material atua como fonte. Quando a concentração nos materiais é baixa, os compostos serão adsorvidos pelo material, o qual, neste caso, é considerado como adsorvente (GONÇALVES, 2009).

Na eventualidade da concentração dos COV no ar diminuir devido à diluição, os compostos adsorvidos serão reemitidos pelo material, tornando-se novamente fonte de emissão. A adsorção e a difusão são dois processos importantes no transporte de COV, onde a adsorção descreve as interações entre as moléculas do gás e a superfície do material, enquanto a difusão descreve a transferência de gás através do material (FENG, 2006).

2.3.6. Medidas de controle dos COV no ar interno

As medidas para a melhoria do ar em ambientes internos estão relacionadas com o controle da poluição do ar, no qual é importante a utilização de todas as estratégias que permitam o controle dos poluentes, e que são recomendadas pela Organização Mundial da Saúde para a prevenção da Síndrome do Edifício Doente e das doenças relacionadas com edifícios. A remoção da fonte poluidora é a melhor destas estratégias, mas nem sempre é possível, por isto, há a necessidade de se recorrer à outras medidas como modificação da fonte, ventilação, filtração do ar e alteração comportamental das pessoas (SANGUESSUGA, 2012).

No caso da poluição do ar interno pelos COV e COVS semivoláteis, podem ser adotadas as mesmas medidas de controle, sendo que os riscos trazidos por estas substâncias são suficientes para justificar a tomada de decisões que limitem suas exposições no interior dos edifícios. Estas medidas também são compreendidas como controle na fonte, controle por diluição e controle por remoção, com base nas estratégias recomendadas pela Organização Mundial da Saúde, com o objetivo de prevenção da *síndrome do edifício doente* e da *doença relacionada com o edifício*.

2.3.6.1. Controle das fontes internas de COV

A remoção ou redução das fontes internas de compostos orgânicos voláteis e semivoláteis é a primeira opção que deve ser considerada. Algumas mudanças de comportamento são úteis neste sentido como evitar fumar dentro de casa para restringir as substâncias provenientes do fumo de cigarro; reduzir o uso de purificadores de ar, perfumes e produtos de limpeza, que devem ser cuidadosamente selados e se possível armazenados em locais ventilados, fora do espaço ocupado; extrair por exaustão a fumaça e os vapores provenientes da cocção dos alimentos; e evitar outras atividades que possam gerar contaminantes interiores.

Segundo Norback et al. (1995), a qualidade do ar interno pode ser melhorada com uma boa seleção de materiais e métodos construtivos para o controle das emissões de compostos orgânicos dentro do edifício. Enquanto que a WHO (2012) afirma que deve haver a substituição dos materiais ou produtos contaminantes por outros materiais ou produtos menos perigosos no ambiente, ou então, a modificação da fonte poluidora, que diz respeito à redução dos níveis de emissão através de alterações no processo de produção do produto. Mas, de acordo com Sanguessuga (2012), como a remoção da fonte nem sempre é possível, a ventilação mecânica ou natural torna-se a segunda opção mais eficaz para a manutenção de uma QAI aceitável.

2.3.6.2. Controle de COV por taxa de ventilação

A ventilação é um processo de renovação do ar vindo do exterior para o interior de um edifício e pode ser obtida por meio de estratégias naturais de circulação do ar ou por meio de sistemas mecânicos (SANGUESSUGA, 2012). O aumento das taxas de ventilação contribui para a diminuição da concentração de poluentes no ar interno, assim como a diminuição das taxas de ventilação influenciam em uma maior concentração de poluentes. Por outro lado, a ventilação pode ser definida como uma combinação de processos que resultam não só do fornecimento de ar exterior, mas também na extração do *ar viciado*, carregado de poluentes do interior do edifício (SILVA, 2009).

No ano de 2010, a norma ASHRAE estabeleceu através da ASHRAE 62,2-2010 que a taxa de ventilação mecânica necessária para gerenciar os níveis de COV nos edifícios residenciais unifamiliares e multifamiliares deve ter um crédito de infiltração de 100 litros por segundo (L/s) por 100 m² de espaço habitável. Da mesma forma, foi estimado que a ventilação natural com quatro renovações de ar por hora fornece uma circulação de ar adequada e realiza a dispersão contínua destes e outros poluentes.

Para haver a diluição dos contaminantes por ventilação natural no interior dos edifícios é necessário garantir um fluxo permanente de ar através de aberturas das portas internas, dos elementos móveis das esquadrias e de outras soluções arquitetônicas diversas, que garantam a ventilação higiênica para a manutenção e renovação da qualidade do ar. Estas medidas são muito úteis para reduzir as concentrações de compostos químicos em ambientes fechados de pequena dimensão e com volume de ar restrito, ao contrário dos cômodos integrados e amplos com boa oferta de ar, que favorecem a diluição destas concentrações (SILVA, 2012).

Quanto à diluição dos contaminantes por sistema de ventilação mecânica, é uma medida menos efetiva que a diluição pelo deslocamento do ar natural, tornando os ambientes mais propícios ao acúmulo de poluentes e microrganismos. As soluções para evitar estes problemas são a troca de aparelhos antigos por novos, limpeza e manutenção periódica dos aparelhos, para uma maior eficiência das taxas de troca de ar e redução do consumo de energia (BATISTA, 2011). Por outro lado, a ventilação mecânica tem a vantagem de poder ser controlada em ambientes influenciados pelas variações climáticas, além de solucionar problemas da QAI em edifícios que se encontram próximos às fontes de poluentes externos (SILVA, 2009).

No entanto, algumas pesquisas têm mostrado que uma adequada ventilação pode não ser suficiente para garantir uma boa qualidade do ar se existir uma grande concentração de poluentes provenientes de fontes existentes no ambiente interno. Como é o caso dos trabalhos de HODGSON et al. (2000) que conduziram um estudo, no qual foram medidas várias taxas de troca de ar e as concentrações resultantes de COV em uma casa. Tais dados revelaram que apesar do aumento da taxa de troca de ar reduzir as concentrações de COV, a eficácia desta estratégia pode depender de cada composto orgânico. Assim, a redução das concentrações de COV pode não ser

proporcional ao aumento da taxa de troca de ar. Neste caso, Silva (2009) afirma que a solução seria providenciar sistemas de exaustão para áreas específicas, nas quais existam fontes significativas de poluentes, como cozinhas e banheiros.

2.3.6.3. Controle de COV pelos filtros de ar

Geralmente, os filtros de ar para controle de contaminantes químicos são utilizados em unidade de tratamento de ar, ou sistema AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado), que consiste em uma tecnologia destinada ao conforto ambiental interior dos edifícios industriais, comerciais e de serviços (ASHRAE, 2004). Os filtros instalados neste sistema de acondicionamento desempenham uma das funções estratégicas da ventilação, que é a remoção de poluentes do fluxo de ar para reduzir os seus efeitos negativos na saúde e no conforto dos ocupantes dos edifícios. Além de proteger o próprio sistema AVAC dos efeitos da acumulação destes poluentes nas suas superfícies, e até mesmo podendo vir a ser uma fonte de contaminação do próprio ar que deve ser insuflado (SOUTO, 1999).

Existem basicamente três tipos de filtros de remoção de COV e outros gases em ambientes não industriais, sendo: filtros baseados na adsorção, filtros baseados na absorção e filtros baseados em reações catalíticas (ASHRAE, 1995).

- a) **Filtros baseados na adsorção⁷:** existem poucos deles com capacidade de adsorção favorável para filtrar poluentes gasosos, apesar da adsorção ocorrer numa grande variedade de superfícies de diferentes materiais. Os materiais usados nestes tipos de filtros são o carbono ativado, a sílica gel e a alumina, que podem utilizar tanto o mecanismo de adsorção física como o mecanismo de adsorção química para a retenção dos poluentes gasosos.
- b) **Filtros baseados na absorção⁸:** são pouco usados em ambientes internos, pois os materiais “dessecantes” que permitem reter a maior parte dos poluentes dificilmente são encontrados.

⁷. Adsorção = processo pelo qual átomos, moléculas ou íons são retidos na superfície de sólidos através de interações de natureza química ou física.

⁸. Absorção (na química) = é um processo em que átomos, moléculas ou íons introduzem-se em alguma outra fase e fixam-se. A substância absorvida se infiltra na substância que absorve, diferentemente da adsorção, já

- c) **Filtros baseados em reações catalíticas:** utilizam o carbono ativado para remover COV e outros gases através de uma reação catalítica que converte estes poluentes em outro tipo de poluição menos nociva.

De acordo com Sidheswaran, Destailats, Sullivan et al. (2011) alguns sistemas AVAC podem ser equipados com filtros adsorventes, como filtros de carbono ativo, para remover os COV ou vapores emitidos pelos componentes de um edifício. No trabalho realizado pelos autores, os experimentos de adsorção e dessorção⁹ mostram que estes filtros podem ser facilmente renovados depois de um período de 24 horas de limpeza, além do que, tal renovação à 150°C provou ser efetiva na melhoria da limpeza do ar com COV, mesmo que o fluxo de ar que passa pelo sistema AVAC seja reduzido à 50%, o que resulta em uma substancial economia de energia.

Segundo Kim e Sung (2002), outro processo alternativo promissor para remover estas substâncias químicas do sistema AVAC é a oxidação fotocatalítica dos COV, sendo uma medida efetiva no controle de compostos orgânicos como alcanos, alquenos, álcoois, hidrocarbonetos aromáticos e clorinados, aldeídos e cetonas. Ao invés do COV ser adsorvido sobre o filtro sorvente, o filtro fotocatalítico pode oxidar os COV tornando-os moléculas de dióxido de carbono e água.

Figura 3: Processo de decomposição de contaminantes do ar por reação fotocatalítica.

Fonte: Fujiwara Enterprises International Group Net (2015).

que espécies químicas submetidas a absorção são absorvidas pelo volume, não pela superfície (como no caso de adsorção).

⁹. Dessorção = processo químico em que uma substância é liberada em uma determinada superfície.

2.3.7. Emissão de COV por revestimentos internos

2.3.7.1. Emissão de COV por revestimentos vinílicos

Durante o ciclo de vida dos revestimentos com base no PVC, existe um determinado número de efeitos tóxicos gerados pelas dioxinas formadas durante a produção, descarte e reciclagem destes revestimentos (SENJEN, 2012). No entanto, são os plastificantes ftalatos e outras substâncias químicas, usadas para melhorar ou produzir certas características nestes produtos que contribuem para a contaminação do ar no interior dos edifícios, podendo ocasionar problemas de saúde em seus ocupantes. Em relação à estas questões, foram realizados alguns trabalhos científicos nas últimas décadas, dos quais podem ser citados os estudos de Norback, Wieslander et al. (2000); de Martins (2003) e de Tuomainen, Sueri e Sieppi (2004).

No caso do estudo realizado por Norback, Wieslander et al. (2000), foram avaliadas concentrações de poluentes no ar interno e umidade do piso, em quatro hospitais geriátricos, com 87 pessoas, durante período de inverno. Os resultados indicaram sintomas de asma em 17% dos pacientes, sendo que em 2 edifícios haviam sintomas relacionados às emissões de 2-32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do composto 2-etil-1-hexanol no ar, pela degradação por umidade do ftalato DOP presente no PVC utilizado como revestimento do piso de concreto. Em 75% das amostras de poeira foram encontrados ácaros, mas estes alérgenos não tinham relação com os sintomas de asma das pessoas.

Na pesquisa de Martins (2003), avaliou-se a qualidade do ar interno de uma sala, em relação aos COVs emitidos por quatro revestimentos de piso, instalados em períodos diferentes de um ano. Dois destes produtos possuíam aplicação superficial de PVC, sendo um com PVC sobre camada de cortiça e outro com PVC sobre placa de madeira. As amostras de ar foram recolhidas por adsorção em tubos Tenax e desadsorvidas termicamente em GC-MS para que os COVs fossem analisados. Os resultados mostraram que algumas amostras eram recomendadas em *termos ecológicos*, por apresentarem baixa concentração de COVT na atmosfera ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), e que haviam COVs com limiares de odor que podem gerar queixas da qualidade do ar interno e mesmo sintomas de SED nas pessoas expostas.

Na pesquisa de Tuomainen, Sueri e Sieppi (2004), tratou-se da relação entre uma elevada incidência de asma brônquica em funcionários que trabalhavam em um prédio de escritórios e um problema do ar interior relacionado com a degradação dos revestimentos de PVC nos pavimentos do edifício. Durante quatro anos, em um dos escritórios com 150 funcionários foram encontrados cerca de oito novos casos de asma, além de que os trabalhadores se queixavam de doenças respiratórias, conjuntivas e sintomas nasais. As emissões indicaram a degradação dos revestimentos e emissões de 2-etil-1-hexanol e 1-butanol nas amostras do ar interno. Em razão disto, estes revestimentos tiveram que ser removidos.

2.3.7.2. O plastificante dioctil ftalato (DOP)

Os ftalatos são plastificantes que têm a função de diminuir a intensidade das ligações entre as moléculas da resina de PVC, aumentando a flexibilidade da cadeia polimérica e deixando o composto vinílico maleável. Neste tipo de aplicação, o plastificante mais utilizado é o dioctil ftalato (DOP), ou di (2-ethylhexil) ftalato (DEHP), de fórmula química $C_{24}H_{38}O_4$ (RODOLFO JR., NUNES e ORMANJI, 2006), e resultante da reação entre 2-etil-1-hexanol e *anidrido ftálico*. Por ser um álcool de cadeia hidrocarbônica longa, os seus ésteres tendem a ter propriedades emolientes (COMPOUND SUMMARY, 2015). A representação da cadeia molecular do DOP pode ser observada na figura 4.

Figura 4: Representação da estrutura química do dioctil ftalato (DOP).

Fonte: Rodolfo Jr., Nunes e Ormanji (2006)

O DOP se incorpora fisicamente e não quimicamente às moléculas da resina de PVC (ZAIONCZ, 2004). Assim, pode ser liberado no ar ao ser submetido às altas

temperaturas durante o processamento do produto por calandragem (RODOLFO; NUNES et al., 2006). Além do que, este plastificante representa consideráveis riscos à saúde humana e ao ambiente, por ser uma substância tóxica (THORTON, 2002).

Mais de 3,5 milhões de toneladas de ftalatos são utilizados em todo o mundo a cada ano, principalmente como plastificantes de produtos flexíveis de PVC (CADOGAN e CHRISTOPHER, 2001), dos quais 50% são representados pelo DOP. Este plastificante se destaca pois encontra uso em praticamente todos os processos de transformação, como calandragem, espalmagem, extrusão, injeção, moldagem rotacional, graças às suas propriedades de alta eficiência e estabilidade, baixa volatilidade, excelentes características dielétricas, resistência ao calor e à luz ultravioleta, e baixa solubilidade em água (ELEKEIROZ, 2015).

Ainda, segundo a empresa Elekeiroz, estas características asseguram que o DOP seja utilizado em aplicações que necessitem de boa permanência, flexibilidade, resistência às intempéries, durabilidade e excelentes propriedades dielétricas. Dentre suas principais aplicações, destacam-se mangueiras e perfis plásticos, tintas, vernizes, revestimentos vinílicos, adesivos, solado de calçados, estofamento de carros e móveis, embalagens alimentícias e revestimentos de fios e cabos elétricos.

Considerado o plastificante mais importante e mais consumido na indústria do PVC, além de ser bastante nocivo à saúde humana, o *dióctil ftalato (DOP)* motivou o surgimento de trabalhos científicos, como os realizados por Reiser, Meile et al. (2002), Bornehag, Lundgren et al. (2005); Carlstedt, Jonsson e Bornehag (2013) e Braun, Sathyanarayana e Hauser (2013).

No estudo realizado por Reiser, Meile et al. (2002) em uma universidade técnica da Suíça, na qual os funcionários e alunos queixaram-se da deterioração do ar interior depois que o edifício tinha sido renovado, sendo que alguns destes funcionários ainda sofriam de doença e dor de cabeça, fez-se uma análise das concentrações dos compostos orgânicos voláteis totais (TVOC) emitidos no ar interno das salas de laboratório e de referência, pelos pisos de PVC e linóleo, instalados nestes locais.

Quanto ao método utilizado, foram coletadas amostras de ar nestas salas sob condições de temperatura do ar variando entre 23°C a 25°C e umidade relativa do ar de 50%. Os COV coletados e amostrados em uma célula FLEC (em janeiro e em junho), foram medidos por meio de cromatografia gasosa /espectrometria de massa/ dessorção térmica. Foram identificadas várias substâncias, mas entre elas apenas o 2-etil-1-hexanol (proveniente do DOP existente na formulação do piso de PVC), apresentou aumento de sua concentração no decorrer destes períodos.

2.3.7.3. Emissão de COV por revestimentos não vinílicos

Nos últimos anos, também foram desenvolvidos alguns trabalhos científicos sobre a emissão de COV emitidos por revestimentos de materiais que não são à base de PVC. Neste caso podem ser citados os estudos de Silva (2012), Guío (2013) e Silva (2000).

Na pesquisa realizada por Silva (2012), avaliou-se o uso de madeira para revestimento de superfícies internas em edifícios, como material sustentável alternativo. No entanto, devido à sua degradação progressiva, a madeira tem sua utilização associada a diferentes produtos para preservação e tratamento de superfícies, os quais, embora aumentem a vida útil e o bom resultado estético da madeira, representam uma ameaça à qualidade do ar interno e à saúde das pessoas, por conterem resinas à base de uréia-formaldeído, que emitem formaldeído e outros compostos orgânicos para o ar.

O método utilizado no estudo foi pesquisa bibliográfica a fim de oferecer atualização sobre estes diferentes produtos, considerando suas restrições e cuidados durante o uso, e uma pesquisa de opinião com profissionais da área da Construção Civil, a fim de verificar o conhecimento destes sobre o assunto pesquisado. Os resultados mostraram que os produtos evidenciam a criação de espaços bem ventilados, com taxas adequadas de renovação do ar.

Na pesquisa de Guío (2013), o objetivo foi identificar COVs nas emissões de tintas imobiliárias usadas em ambientes internos dos edifícios na cidade de São Carlos. Os

testes foram realizados através das técnicas de cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas, e coletas pela técnica de micro extração de fase sólida. Os resultados mostraram que as tintas podem chegar a emitir mais de 61 COV divididos em classes químicas, sendo ácidos carboxílicos, alcanos, álcoois, aldeídos, aminas, cetonas, cicloalcanos, éteres, ésteres, glicóis e hidrocarbonetos aromáticos.

Verificou-se que a maior parte destes COV causa irritação respiratória, e cinco destas substâncias são suspeitas de desenvolver câncer. Estas substâncias não tiveram suas concentrações determinadas (estudo quantitativo), mas foram analisadas em relação aos limites máximos de exposição estabelecidos por normas internacionais. Além de ser abordada a necessidade da criação de um selo ambiental que garantisse a baixa emissão de COV nas tintas.

O trabalho de Silva (2000), teve como objetivo a implementação de metodologia para o estudo das emissões de COVs por materiais de revestimento para interiores de edifícios. Efetuou-se o estudo das emissões de COVs de amostras de cortiça sem acabamento, verniz aplicado sobre cortiça e tinta aplicada sobre cimento, por meio de câmaras de teste para a caracterização das emissões destes materiais em função de parâmetros como temperatura, umidade, taxa de ventilação e velocidade do ar. As amostras geradas foram recolhidas por adsorção e desadsorvidas termicamente e identificadas/ quantificadas por cromatografia gasosa com detectores selectivo de massa/ ionização de chama.

Os resultados da avaliação química permitiram concluir que nenhum dos materiais emitia compostos carcinogêneos. Aplicando os critérios da European Collaborative Action (ECA) chegou-se à conclusão que 36% dos materiais obtiveram classificação negativa até períodos de exposição ao ar de 28 dias (máximo estudado). Estes materiais necessitarão de ser estudados por períodos de tempo mais prolongados. Os restantes 64% dos materiais obtiveram uma classificação positiva.

2.4. Exposição aos COVs e Efeitos na Saúde Humana

2.4.1. Impactos da exposição aos COVs na saúde humana

Os efeitos indesejáveis na saúde das pessoas, causados pela presença de COV, podem ser classificados como: (1) efeitos carcinogênicos e na reprodução; (2) efeitos na pele e membranas mucosas dos olhos, nariz e garganta; e (3) efeitos no sistema nervoso (SILVA, 2000). O benzeno, por exemplo, é uma das substâncias carcinogênicas, sendo causadora de leucemia em pessoas ocupacionalmente expostas (ECA, 1991), enquanto que os compostos orgânicos estireno, tetracloroetileno, 1,1,1, -trichloroethane, tricloroetileno, diclorobenzeno, cloreto de metileno, clorofórmio, podem ser mutagênicos ou carcinógenos (GODISH, 2001).

De acordo com Cicoella (1998), os éteres glicóis podem causar efeitos de reprodução tanto a nível de infertilidade masculina e feminina, como a nível do desenvolvimento do embrião, além de abortos espontâneos. Enquanto que grandes concentrações de formaldeído, acetaldeído e acroleína, são capazes de causar odor e irritação das mucosas, olhos e aparelhos respiratórios; alguns éteres glicólicos podem causar asma, irritação dos olhos e da pele. Por outro lado, Silva (2000) afirma que grandes concentrações dos COV: acetona, benzeno, tolueno, ciclohexano, n-hexano e outros, são potencialmente neurotóxicos, afetando o sistema nervoso.

Em geral, os possíveis efeitos agudos dos COV incluem irritação dos olhos, da pele, do nariz, da garganta e sistema respiratório, além de dores de cabeça, lapsos de memória. Estes sintomas são facilmente observados em pessoas que residem em edifícios novos ou recém reformados (WHO,1997). Cansaço, tonturas, fraqueza, sonolência (JONES, 1999), desconforto, lacrimejação, espirro, tosse, náusea e dispneia, também têm sido observados, dependendo da concentração destas substâncias no ambiente (WHO,1999). Altas concentrações de COV são narcóticos potenciais e podem provocar depressão do sistema nervoso central e comprometer a função neurocomportamental (JONES, 1999).

Na tabela 12 pode ser observado os efeitos provocados na saúde humana em relação às diferentes concentrações destas substâncias no ar interno.

Tabela 12: Concentração de COV que determinam diferentes respostas da saúde humana.

Concentração de compostos orgânicos totais voláteis	Respostas da saúde humana
COV < 0,20 mg /m ³	Sensação de conforto
Intervalo de 0,20 - 3,00 mg/m ³	A irritação
Faixa de 3,00 - 25,00 mg/m ³	Sensação de intenso desconforto
Concentrações > 25,00 mg/m ³	Correspondem a ação tóxica no organismo

Fonte: (Hunter e Oyama, 2000).

Concentrações elevadas de COV podem também ser tóxicos aos rins e ao fígado, danosos aos componentes do sangue e ao sistema cardiovascular, além de provocar distúrbios gastrointestinais (LESLIE, 2000, apud GIODA e AQUINO NETO, 2003). Além destes sintomas, exposições contínuas a longo prazo podem resultar em efeitos crônicos e cânceres, já que muitos COV testados em animais de laboratório são comprovadamente carcinogênicos. Em níveis próximos a 35 mg/m³, estes sintomas podem progredir ao coma, convulsões e morte. No entanto, concentrações tão altas nunca foram verificadas em ambientes não industriais (JONES, 1999).

Alguns efeitos agudos de COV tem a possibilidade de estarem relacionados com a Síndrome do Edifício Doente, podendo ser relacionados com sintomas que afetam os ocupantes de edifícios (OSHA, 1994), como foi analisado no item 2.2.3. Estudos de laboratório mostraram que certos sintomas (dores de cabeça e irritação dos olhos) podem ser produzidos por COV em concentrações de 5 a 25 mg/m³, enquanto medições indicam que os níveis de compostos orgânicos voláteis não excedem de 1 a 2 mg/m³, nos edifícios doentes (WHO, 1997).

As doenças relacionadas com o edifício, também conhecidas como Building-related Illnesses (BRI), que podem ser associadas tanto a um poluente específico ou fonte poluidora de um edifício (OSHA, 1994), quanto aos efeitos agudos provocados por compostos orgânicos voláteis. Algumas características indicam a ocorrência destas doenças em ocupantes do edifício que apresentam sintomas como tosse, dores no tórax, febre, arrepios constantes e dores musculares; os sintomas podem ser

cl clinicamente definidos e possuem causas claras; e os queixosos podem ter recuperação demorada após deixar o edifício (WHO, 1999).

Além do efeito causado individualmente por cada um dos COV, devem ser considerados os efeitos causados por suas misturas. Resultados de estudos efetuados por Cometto-Muniz et al (2004) indicaram que ambientes com misturas químicas complexas podem originar irritações, mesmo que as concentrações de cada um dos COV estejam muito abaixo dos respectivos valores máximos admissíveis. Esse fato se deve ao modo como estas substâncias se comportam numa mistura.

Assim, na tabela 13, são mostrados os diferentes comportamentos destas substâncias, de maneira a influenciar nos efeitos detectáveis de suas misturas.

Tabela 13: Os tipos de comportamento dos COV, que influenciam nos efeitos de suas misturas.

Tipos de comportamento	Caracterização dos comportamentos
Adição simples	Considerando uma mistura de três componentes, o comportamento aditivo simples mostrará que quando cada substância estiver a 1/3 da sua respectiva concentração limite, a mistura provocará efeitos detectáveis;
Adição sinérgica	Os efeitos da mistura são detectados mesmo que cada substância esteja a menos de 1/3 da sua respectiva concentração limite.
Adição parcial	Os efeitos da mistura são detectados quando cada substância estiver numa concentração maior que 1/3 do seu respectivo limite, mas inferior a esse limite.
Independência	Implica que pelo menos um dos componentes esteja na sua concentração limite, para que a mistura provoque efeitos detectáveis.
Antagonismo	Os componentes terão de estar presentes a concentrações superiores aos seus limites individuais, para que a mistura provoque efeitos detectáveis.

Fonte: Cometto-Muniz et al (2004).

2.4.2. Pesquisas sobre os efeitos dos COV na saúde humana

Há pelo menos duas décadas, pesquisadores em todo o mundo têm realizado trabalhos científicos sobre os efeitos agudos e crônicos na saúde humana, causados pela presença de COV em ambientes internos, especialmente aqueles relacionados

com SED. Como exemplo, alguns destes trabalhos são citados na tabela 14, levando-se em consideração a instituição e local onde foram realizados, o método de obtenção dos resultados e tipos de contaminantes encontrados.

Tabela 14: Trabalhos relacionados aos efeitos dos COV na saúde humana.

Referência/ Ano/ Local	Objeto de estudo e métodos	Contaminantes	Sintomas
STEWART; WATSON et al. Ano: 2000 Universidade Metropolitana de Manchester, Inglaterra	Avaliação do efeito da exposição de crianças entre 4 e 15 a uma série de poluentes internos. Recolhimento de amostras por tubos e bombas. Análise COV por GC-MS.	- Formaldeído - outros COV - partículas em suspensão - fumaça de tabaco, - poeira doméstica, ácaro, - mofo, fungos alergênicos e umidade.	Problemas relacionados à asma e bronquite.
JENSEN; LARSEN et al. Ano: 2001 Edifícios da Dinamarca	Materiais à base de madeira, usados em mobiliários internos e produtos de construção. Estudo qualitativo e quantitativo das emissões de COV.	Compostos orgânicos: - delta 3-careno, - alfa-pineno e - limoneno.	Efeitos toxicológicos e irritativos nos ocupantes destes espaços.
DAISEY; ANGELL et al. Ano: 2003 Lawrence Berkeley N. Laboratory, CA, USA	Superfícies internas de salas de aula. Base de dados eletrônica. Medições de taxa de ventilação e concentrações de CO ²	COVs totais: - formaldeído - outros COV, - ácaros e bactérias, - esporos e alérgenos	Irritação aguda, típicos da síndrome do edifício doente, e riscos de irritação crônica e de câncer.
FARROW; TAYLOR et al. Ano: 2003 Universidade de Bristol, no Reino Unido	Produtos domésticos associados com concentrações de COV, purificadores de ar e uso de aerossol. Avaliação de casas de famílias em Seis países da Europa	Concentrações de COVs totais elevados	Sintomas de diarreias e dores de ouvido das crianças como sintomas de dor de cabeça que as mães, depressão das mães.
PUTUS, TUOMAINEN et al. Ano: 2004 Departamento de Saúde Ambiental, Kuopio - Finlândia	Combinação de contaminantes do ar interno em escola infantil provocados por gases do sistema de esgoto e emissões de revestimentos vinílicos assentados sobre pisos, umidos.	- hidrocarbonetos, - 2-etil-1-hexanol - micróbios associados à umidade	Efeitos adversos à saúde dos alunos, tais como irritação das vias respiratórias e dos olhos, sintomas asmáticos e sintomas gerais

Fonte: Pesquisa bibliográfica das referências citadas na tabela.

Tabela 14 (continuação)

Referência/ Ano/ Local	Objeto de estudo e métodos	Contaminantes	Sintomas
LIU et al. (2005) Ano: 2005 Huanjing Yu Jiankang Zazhi - China	350 pessoas submetidas a exame de saúde em 224 apartamentos decorados interiormente	- altas concentrações de formaldeído e outros COV,	30,57% dos moradores apresentavam sintomas de efeitos prejudiciais ao sistema nervoso.
ROLLE-KAMPCZYK et al. Ano: 2005 Centro de Pesquisa Ambiental, Leipzig-Halle, Alemanha.	Residências com uma elevada carga de tabagismo. Medições da excreção de certos metabolitos de COV na urina das crianças, afetadas pela fumaça.	Elevadas concentrações de benzeno e tolueno	Sintomas atópicos como eczema associado com a excreção do metabolito de ácido COV-S-benzil mercaptúricotolueno
FIEDLER et al. Ano: 2005 Universidade de Medicina, New Jersey, USA	Efeitos controlados na saúde entre mulheres expostas à COV, com e sem ozônio (O3) e estresse psicológico	- aldeídos, - peróxido de hidrogênio, - ácidos orgânicos, - aerossóis orgânicos, e - partículas ultrafinas.	Não houve efeitos significativos para a saúde. O stress foi mais significativo do que as exposições químicas.
COELHO et al. Ano: 2005 Habitat social coletivo Paris, França	Análise da baixa ventilação em razão da sujeira dos filtros de ar condicionado e o consequente bloqueio da saída de ar. Monitoramento por equipamentos próximos ao sistema de ar.	Concentração de poluentes interiores bacteriológicos, - ácaros e bactérias, - esporos e alérgenos.	Risco de efeito dos poluentes interiores sobre o estado de saúde de pessoas idosas.
HEPFNER; STAHL et al. Ano: 2005 Universidade Nacional da Vida e Ciências Ambientais da Ucrânia.	Processos de combustões internas, fumaça de tabaco, revestimentos de paredes e pisos, madeira, vários produtos de consumo, entre outros.	Aldeídos como: - hexanal e butanal, - pentanal, pentanol, - octanol e heptanol	Ameaça de genotoxicidade e carcinogenicidade que exigiu mais estudos biológicos.
QIAN e DAI Ano: 2007 China	Má qualidade dos materiais de construção e de decoração, no interior de edifícios, influenciados pelo mau gerenciamento da indústria deste ramo	- Produtos de combustão, - tabagismo passivo, - COV, - formaldeído e micróbios	Causas da leucemia e síndrome do edifício doente, que afetam as pessoas que ocupam estes locais,
JACUKOWICZ-SOBALA et al Ano: 2006 Biblioteca de Ciências na Polónia	Sensibilização do organismo humano exposto às substâncias químicas em um edifício com SED, em níveis de exposição baixos.	Concentrações de formaldeídos no ar interno.	Sensação de queimação nos olhos, nariz e garganta, e pode evoluir para uma reação alérgica.

Fonte: Pesquisa bibliográfica das referências citadas na tabela.

Tabela 14 (continuação)

Referência/ Ano/ Local	Objeto de estudo e métodos	Contaminantes	Sintomas
LEE et al. Ano: 2006 Taiwan - China	Qualidade do ar interior de centros de fotocópias, típicos em Taiwan	- Tolueno, - etilbenzeno, - xilenos, - estireno (BTEX) e outros COV	Riscos de câncer, relacionado com o elevado nível de benzeno.
ANDERSON on et al. Ano: 2007 Instituto Nacional de Segurança Ocupacional e Saúde, Virginia, EUA.	COV emitidos a partir de materiais de construção, formulações de limpeza ou outros produtos de consumo, em ambientes internos.	Novos COV: (glioxal, metilglioxal, glicolaldeído, dietil) que apareceram como resultado de reações de COV com OH ⁻ ou radicais NO ³ - ou O ³	Irritação dos olhos, nariz e garganta, dor de cabeça e fadiga.

Fonte: Pesquisa bibliográfica das referências citadas na tabela.

2.4.3. Impacto dos plastificantes ftalatos na saúde humana

Nos últimos anos, estudos têm levantando a possibilidade de que a exposição ao ftalato pode ser a principal causa de desordens reprodutivas em seres humanos. Além disso, efeitos como aumento da mortalidade pré-natal, redução do crescimento e do peso, e de má formação externa, de recém-nascidos, são possivelmente associados com a exposição ao ftalato. Estudos epidemiológicos em crianças mostraram associações entre a exposição ao ftalato e o risco de asma e alergias (USEPA, 2013).

Além de serem desreguladores endócrinos, os ftalatos são aditivos que em pequenas quantidades podem interagir com outras substâncias químicas para ter efeitos cumulativos no organismo humano. Algumas destas consequências, são os fatores de risco na saúde de mulheres que utilizam cosméticos e produtos de cuidados pessoais, que contêm *ftalato de dietilo* e *ftalato de dibutilo* em suas composições. Além do que, a exposição à alguns ftalatos está associada ao desenvolvimento de câncer de mama (LÓPEZ, L.; RAMIREZ, R.; CALAFAT, A. et al, 2010).

Algumas pesquisas científicas que avaliaram os ftalatos em relação aos seus efeitos na saúde das pessoas são citados na tabela 15, levando-se em consideração a instituição e local onde foram realizados, o método de obtenção dos resultados e os tipos de contaminantes encontrados.

Tabela 15: Algumas pesquisas relacionadas ao efeito dos ftalatos na saúde humana.

Referência/ Ano/ Local	Objeto de estudo	Metodos	Sintomas
GANGI, J. Ano:1999 Greenpeace USA, Washington DC	Presença do plastificante ftalato DOP em amostras de 46 produtos médicos de PVC comercializados em 12 países.	As amostras foram preparadas segundo o Método EPA 3550M e o conteúdo de ftalato foi determinado de acordo com o Método EPA 8270M.	Desenvolvimento de câncer podendo causar danos ao fígado, rins e pulmão, além de anormalidade no sistema reprodutivo.
BORNEHAG et al. Ano: 2005 Suecia	Associação dos efeitos dos plastificantes n-butil benzil ftalato e DOP utilizados em revestimentos vinílicos de paredes e pisos na poeira dos dormitórios das casas de 198 crianças.	Coleta de amostras de poeira em tubos de amostragem, injetadas por dissolução térmica em GC-MS para identificação dos plastificantes.	Sintomas alérgicos persistentes
MENDELL, M. Ano: 2007 Indoor Environment Depart., Lawrence Berkeley N. Labor., EUA	Emissões de formaldeído por aglomerados, de ftalatos compostos químicos aromáticos e alifáticos por materiais plásticos e pinturas, no interior de residenciais. Riscos elevados em atividades de limpeza em móveis e carpetes novos, e em papeis de parede.	Levantamento bibliográfico Artigo de revisão	Problemas respiratórios e alergia em bebês ou crianças.
SATHYANARAYANA et al. Ano: 2008 American Academy of Pediatrics, EUA	Uso de loção, pó e shampoo infantis foram associados com o aumento das concentrações de metabólitos de ftalatos e a urina infantil, sendo que essa associação é mais forte em crianças abaixo dos 10 anos.	Medição de 9 metabólitos de ftalatos em 163 crianças nascidas em 2000-2005. Análises de regressão múltipla linear.	Exposições dérmicas podem contribuir para a carga corporal de ftalatos em bebês novos, os quais são mais vulneráveis aos efeitos adversos potenciais de ftalatos (desenvolvimento endócrino e sistemas reprodutivos).
BALZER Ano: 2009 Dissertação Programa PG em Ciência e Engenharia de Materiais - UFSC	Estudo comparativo do efeito plastificante de policaprolactonas (PCL) diol e triol e dioctil ftalato (DOP) em PVC.	Os filmes foram obtidos por casting e pelo processo de extrusão nas proporções de 5 a 30% de plastificantes, em massa. Avaliados quanto ao comportamento térmico, através da técnica de calorimetria exploratória diferencial e análise termogravimétrica.	Os resultados mostram viabilidade na substituição do DOP, que apresenta elevado grau de toxicidade, por PCL, que além da característica biodegradável, não apresenta toxicidade.

Fonte: Pesquisa bibliográfica das referências citadas na tabela.

Tabela 15 (continuação)

Referência/ Ano/ Local	Objeto de estudo	Metodos	Sintomas
AKEDA; SAIJO et al. Ano: 2009 Dep. of Public Health Science, Graduated School of Medicine Hokkaido University Japão	Amostragens de ar e poeira doméstica em 41 residências. Os compostos detectados no ar ambiente foram di-n-butylphthalate, di octil ftalato (DOP), e na poeira foi encontrado tris (2-butoxietilo) fosfato (TBEP).	Análise de quantificação das concentrações das substâncias por cromatografia gasosa/ espectrometria de massa e também por cromatografia gasosa/ fotometria de chama.	Sintomas da síndrome do edifício doente
CARLSTEDT et al. Ano: 2013 Unidade de pesquisa Conselho Condado de Värmland, Karlstad Suécia	Identificação de metabólitos urinários dos ftalatos ftalato de dietilo (DEP), ftalato de dibutilo (DBP), ftalato de butilbenzilo (BBzP), e diethylhexyl ftalato (DEHP) na urina de crianças entre 2 e 6 meses.	Aplicação de questionário sobre fatores ambientais em ambientes fechados e estilo de vida da família. Medições de metabólitos urinários.	Suspeitos de desregulação endócrina produtos químicos.
WOLFF et al. Ano: 2014 European Society of Human Reproduction and Embryology Belgica	Estudo multi-étnico de 1239 meninas de Nova York, Cincinnati, e Área da Baía de San Francisco, com 6-8 anos de idade, expostas ao ftalato DOP de (2004-2007) até 2011.	Medições de biomarcador urinários.	Atraso ou aceleração do desenvolvimento puberal

Fonte: Pesquisa bibliográfica das referências citadas na tabela.

2.5. Revestimentos vinílicos na Arquitetura de interiores

2.5.1. História do revestimento vinílico

O primeiro registro do desenvolvimento da resina de PVC foi em 1835, quando Justus Von Liebig descobriu o monômero cloreto de vinila, por meio da reação do dicloroetileno com hidróxido de potássio em solução alcoólica. Quatro anos depois seria publicado um artigo de um dos alunos de Liebig, o físico e químico francês Henri Victor Renaul, que relatava sobre a produção do monômero do PVC (RODOLFO JR., NUNES e ORMANNJI, 2006). Em 1926, o cientista industrial Waldo Semon descobriu o PVC flexível, através da reação obtida em experimentos no qual o PVC rígido era

aquecido em solvente, a um ponto de ebulição elevado, resultando em um gel elástico e não adesivo, que depois foi plastificado (LEMELSON - MIT PROGRAM, 2015).

Em 1929, o composto descoberto por Semon, chamado de vinil, foi aperfeiçoado por ele e utilizado na produção de capas de chuva, saltos de sapatos, cortinas de chuveiro, bancos de automóveis, e dezenas de outros produtos, além de ser um tecido barato (SMITH, 1993). Em 1933, foi exposta a primeira amostra de piso vinílico na Century of Progress Exposition, em Chicago (WILSON e SNODGRASS, 2007). No entanto, até 1945, o vinil era utilizado apenas em aplicações voltadas às forças armadas, na Segunda Guerra Mundial, como material padrão para isolamento de fios em navios militares, suprimindo a escassez da borracha natural, para proteção de ferramentas à mão, entre outros (CARLISTE PLASTICS, 2014).

A reconstrução do pós-guerra na Europa elevou imensamente a demanda por produtos de piso, que até então utilizavam a madeira bruta como matéria-prima, a qual foi se tornando mais difícil de encontrar nas esgotadas florestas. Assim, em 1947, a empresa sueca Limhamns (primeiro nome da empresa Tarkett), com forte tradição na produção de parquet, introduziu um novo tipo de piso na sua linha de produção – os revestimentos vinílicos em forma de placas. Estes revestimentos eram especialmente voltados para instalação em escolas, hospitais e escritórios, com uma produção inicial de 3.000 metros quadrados de piso; passando em 1948 para 50.000 m², até que, em 1961, a produção atingiu mais de 1 milhão de m² de piso (TARKETT, 2014).

Nos anos 1950, empresas como a norte americana Armstrong e a canadense Domco, líderes na produção de piso linóleo, começaram a fabricar os revestimentos de vinil, além da produção iniciada na Europa com a empresa francesa Sommer, uma das fundadoras da empresa Tarkett. Começava uma era de criatividade e experimentação com os novos produtos, pois suas características de durabilidade extrema, manipulação flexível, possibilidades de design, tornavam-nos uma opção atraente e de baixo custo para a produção em massa (TARKETT, 2014).

Nos anos 1960, houve a popularização do vinil, que passou a ser usado para a fabricação de produtos em vários ramos da indústria, como autopeças, materiais de construção, embalagens de alimentos, equipamentos médicos, discografia e até

mesmo roupas. Com isto, a produção deste material em todo o mundo passou de 220 mil toneladas por ano em 1950 para 6 milhões de toneladas em 1970. Os primeiros rolos de revestimento vinílico saíram da fábrica da Eurofloor na cidade de Luxemburgo em 1963 e em 1966 foram desenvolvidos os primeiros revestimentos de parede de vinil, para auxiliar na higiene interior dos edifícios (TARKETT, 2014).

Ao longo dos anos, o revestimento vinílico foi sendo aperfeiçoado até adquirir resistência à umidade, à mancha e ao impacto, bem como maior durabilidade. Estas qualidades técnicas tornaram-no altamente popular e adequado para ser utilizado como piso em ambientes internos. Assim, em 1974, foram introduzidas as primeiras pranchas de vinil impressas no mercado. Na década de 1980, o amianto utilizado nestes revestimentos foi substituído por fibra de vidro.

Em 1996, foi iniciada a fabricação dos primeiros pisos de borracha feitos a partir de pneus pós-consumo. Em 2006, iniciou-se um novo tratamento na superfície do piso linóleo para minimizar o consumo de água e detergente na sua limpeza. Em 2011, foram introduzidos baixos padrões de emissões de COVs em toda a gama de produtos europeus (10 vezes menor do que as normas européias em vigor), incluindo os pisos vinílicos. Atualmente, o vinil é o segundo plástico mais comercializado no mundo depois do polietileno (LOPES, 2011) e pode ser encontrado em materiais tão diversos como cabos elétricos, tintas, tubulações, revestimentos de superfícies, entre outros.

2.5.2. Revestimento vinílico de piso

Os revestimentos vinílicos para aplicação em pisos, também conhecidos como pisos vinílicos, são apresentados no mercado da construção em forma de placas, régua (pisos semiflexíveis) e mantas (pisos flexíveis), como pode ser observado na figura 5, os quais são adaptados para ambientes internos de residências, escritórios, lojas, hospitais, laboratórios, escolas, indústrias, entre outros. De acordo com Deisinger et al (1998), estes revestimentos são compostos basicamente de 36% de resina de PVC, proveniente do cloro e do petróleo; de 42% de agente de enchimento, como carbonato de cálcio; e de 22% de aditivos, que correspondem aos plastificantes, estabilizantes térmicos, lubrificantes, antioxidantes e corantes.

Figura 5: Os diferentes padrões de revestimentos vinílicos comercializados.

Fonte: Manual geral de instalação da Tarkett-Fadamac, 2014.

Na maioria dos casos, o revestimento vinílico faz parte de um sistema de piso composto por contrapiso de concreto, massa de regularização e adesivo de contato (cola). Estes elementos têm funções e composições bastante distintas, que geram esforços diferentes, mas que no seu conjunto apresentam equilíbrio entre si. Diferente do que ocorre com os revestimentos tradicionais, os revestimentos vinílicos são fixados à camada inferior por colagem (NASCIMENTO, 2002).

De acordo com Simões e Leite (1997), as características destes revestimentos são a facilidade, economia e rapidez na aplicação; versatilidade, podendo ser aplicados em diferentes ambientes; resistência comprovada com relação à dureza e impacto; resistência à agentes químicos com bases, sais e ácidos. Além disso, podem ser aplicados sobre pisos já existentes, desde que não sejam de madeira, estejam firmes e totalmente isentos de umidade; não são atacados por produtos de limpeza como soda cáustica, amônia, detergente e água sanitária, mas são vulneráveis à cera e outros produtos à base de petróleo; e são antialérgicos.

2.5.2.1. Processo de fabricação

O processo de produção de revestimentos vinílicos acontece através de sistema de calandragem, que é adaptado de acordo com os níveis de flexibilidade destes produtos. No caso, dos revestimentos semi-flexíveis, este sistema consiste em uma sequência de duas ou três calandras de dois rolos, com arranjo vertical ou inclinado. Para os revestimentos flexíveis, este sistema consiste em uma linha convencional de três ou quatro rolos (RODOLFO JR., NUNES e ORMANJI, 2006).

Segundo os autores, o *revestimento semi-flexível* começa a ser produzido a partir da mistura de resinas com aditivos, como lubrificantes sólidos e estabilizantes térmicos, em misturadores de alta velocidade do tipo batadeira, até que a temperatura de massa atinja entre 80 e 90°C, como pode ser observado na figura 6. Nesta faixa de temperatura, as resinas têm suas porosidades abertas e ficam receptivas à incorporação de aditivos líquidos e plastificantes, que devem ser lentamente adicionados à mistura em velocidade reduzida. Após a absorção dos líquidos, a velocidade é novamente aumentada para a adição de cargas minerais na mistura.

Figura 6: Representação esquemática de um misturador intensivo utilizado na preparação do composto vinílico.

Fonte: RODOLFO JR., NUNES e ORMANJI (2006).

Com temperaturas entre 110 e 120 °C, a mistura é aquecida até derreter e ficar com uma consistência pastosa. Em seguida, é colocada no sistema de calandragem (figura 7) e comprimida em lâmina. Esta lâmina é gravada em relevo e cortada em mosaicos com as dimensões pretendidas, normalmente 30x30 cm. Os mosaicos são arrefecidos e prontos para a embalagem, caso não possuam cola no verso. Caso contrário, um rolo irá aplicar a cola e em seguida um papel protetor, para serem embalados (VINYL INSTITUTE, 2011)

Figura 7: Representação esquemática de uma linha de calandragem.

Fonte: RODOLFO JR., NUNES e ORMANJI (2006).

Por outro lado, a produção do revestimento vinílico flexível inicia com a mistura de resinas de PVC, plastificantes, estabilizantes e um composto químico constituído por átomos de hidrogênio e carbono, que ao serem aquecidos se decompõem em bolhas de nitrogênio, tornando a mistura numa espuma de vinil, que é espalhada sobre um suporte rolante de feltro. Depois, esta espuma é comprimida por um rolo, produzindo uma lâmina, que ao passar através de um forno, a uma temperatura controlada, é gelificada de modo que absorve o plastificante (GABRIEL, 2011).

Ainda, de acordo com o autor, o gel é novamente aquecido até ficar com consistência amolecida e depois vertido numa prensa metálica de impressão (em relevo), criando o padrão decorativo desejado. Assim, uma segunda camada de resina de PVC e plastificante é adicionada à anterior, e esta composição volta a entrar num forno, sendo aquecida de maneira que apenas a segunda camada derreta, criando um vinil transparente. A partir disto, estas camadas sobrepostas passam pelo sistema de calandragem (figura 7), formando um único revestimento em rolo.

2.5.2.2. Tipos de revestimento de piso

Atualmente, no mercado de pisos, existem diferentes tipos de revestimentos vinílicos, podendo ser citados os homogêneos, os compactos heterogêneos, os heterogêneos acústicos, os heterogêneos de segurança, os heterogêneos desportivos, e os especiais (revestimentos anti-estáticos, para zonas úmidas e para transportes). Sendo que estes *tipos de revestimentos* não devem ser confundidos com os *padrões de revestimentos*, em formatos de régua, placas e mantas. Assim, estes tipos podem ser caracterizados da seguinte maneira:

- a) **Revestimento vinílico homogêneo** – ilustrado na imagem (a) da figura 8, este revestimento é constituído por uma ou mais camadas de material, com a mesma composição e padrão. A espessura total pode variar entre 1,5 mm e 2 mm, e o tratamento da sua superfície (de desgaste) é em poliuretano, que facilita a manutenção e lhe garante uma grande resistência às várias solicitações.

- b) **Revestimento vinílico compacto heterogêneo** - ilustrado na imagem (b) da figura 8, este revestimento é constituído por uma camada de superfície (de desgaste) de poliuretano, com espessura de 0,7 mm. Abaixo desta camada estão anexadas outras camadas que diferem dela em composição e/ou padrão, formando uma espessura total que pode variar entre 2 mm e 3 mm. Todas as camadas contêm um tratamento bacteriológico e antifúngico. Este tipo de revestimento é macio devido às propriedades de absorção das camadas inferiores, normalmente compostas por espuma de PVC, o que melhora o desempenho térmico e acústico de todo o revestimento.

Figura 8: Estruturas dos revestimentos vinílicos (a) homogêneo e (b) heterogêneo.

Fonte: GERFLOR IBÉRIA S.A. (2011).

- c) **Revestimento vinílico heterogêneo acústico** - ilustrado na imagem (a) da figura 9, este revestimento é constituído por uma camada de superfície (de desgaste) de poliuretano, com tratamento bacteriológico e antifúngico. As camadas inferiores em espuma de PVC possuem propriedades que absorvem os passos das pessoas e demais cargas. A espessura total pode variar entre 3 mm e 4 mm. Este revestimento é utilizado principalmente em locais de grande intensidade de tráfego, com necessidades de isolamento acústico, como hospitais, escolas e escritórios. Dependendo do fabricante pode atenuar o ruído de até 18 decibéis.
- d) **Revestimento vinílico heterogêneo de segurança** – ilustrado na imagem (b) da figura 9, este revestimento é constituído por uma camada de superfície, na qual são incorporadas partículas de carboneto de silício, cristais de quartzo ou óxido de alumínio, que conferem propriedades antiderrapantes à esta superfície.

Como os outros pisos, ele possui tratamento de superfície bacteriológico e antifúngico. De uso específico para locais de grande intensidade de tráfego, onde a segurança e higiene são exigidas, como hospitais, cozinhas industriais e ginásios.

Figura 9: Estruturas dos revestimentos vinílicos (a) heterogêneo acústico e (b) de segurança.
Fonte: GERFLOR IBÉRIA S.A. (2011).

e) **Revestimento vinílico heterogêneo desportivo** - ilustrado na imagem (a) da figura 10, é constituído por uma camada de superfície anexada às camadas que diferem dela em composição e/ou padrão. Pode conter um reforço em rede de fibra de vidro, e tratamento de superfície bacteriológico e antifúngico. A espessura final deste revestimento varia de 1,5 a 9 mm, dependendo do nível de competição estabelecido sobre ele, em pavilhões poliesportivos e outros.

f) **Revestimento vinílico anti - estático** – é um piso homogêneo, com 2 mm de espessura. Por ser dissipativo ou condutivo de eletricidade estática, pode ser ligado ao solo por bandas metálicas apropriadas, e ser utilizado em fábricas de componentes eletrônicos. Por receber tratamento bacteriológico e antifúngico, pode ser aplicado em salas de operações, laboratórios e salas de diagnósticos.

Figura 10: Estruturas dos revestimentos vinílicos (a) desportivo e (b) para zonas úmidas.
Fonte: GERFLOR IBÉRIA S.A. (2011).

- g) **Revestimento vinílico para zonas úmidas** – ilustrado na imagem (b) da figura 10, este revestimento pode ser homogêneo ou heterogêneo, com superfícies anti-derrapantes e com incorporação de partículas de carboneto de silício, cristais de quartzo ou óxido de alumínio. Sua espessura é de 2 mm e, como os demais tipos, possui tratamento de superfície bacteriológico e antifúngico.
- h) **Revestimento vinílico para transportes** – apropriado para pisos de veículos, como carros e ônibus, ou, então, de aviões, trens e até navios. De uma forma geral é um piso heterogêneo, com as mesmas características do revestimento compacto heterogêneo, e com propriedades antiderrapantes. Pode ser reforçado com camada de fibra de vidro e deve estar de acordo com as normas européias de resistência ao fogo.

2.5.2.3. Exigências funcionais

Na escolha de um revestimento vinílico para piso, pretende-se que ele tenha uma vida útil longa e com o mínimo de manutenção. Deste modo, este componente polimérico deve satisfazer não apenas as exigências estéticas, mas também as exigências funcionais, de forma a garantir um comportamento compatível com aquilo que foi previsto em projeto ou determinado no planejamento de construção. De acordo com Nascimento (2007), as exigências funcionais são obtidas a partir do atendimento às exigências de segurança, de habitabilidade e de durabilidade.

No caso das exigências de segurança, os revestimentos vinílicos devem suportar as ações resultantes das cargas permanentes ou transitórias que atuem sobre eles, sem sofrer qualquer tipo de dano. Devem suportar as deformações provocadas nos pisos sobre os quais foram assentados, em razão da atuação de cargas estáticas ou dinâmicas; devem minimizar os riscos de acidentes como desequilíbrios e quedas das pessoas. No que diz respeito à segurança contra riscos de incêndio, não devem se inflamar facilmente e nem propagar rapidamente a chama ou libertar gases tóxicos durante a combustão. Além disso, devem ter condutibilidade elétrica baixa para limitar as fugas de corrente provocadas por qualquer defeito no isolamento dos aparelhos elétricos, utilizados no local (NASCIMENTO, 2007).

Quanto às exigências de habitabilidade, estes revestimentos devem atender às exigências de estanqueidade à água e à umidade; de salubridade, no qual devem possibilitar a manutenção do estado de limpeza e não serem afetados pelos produtos químicos usados nestas operações; não devem exalar gases nocivos ou odores incômodos, sob a ação do calor ou outros. Além disso, devem atender às exigências de conforto higrotérmico, contribuindo para a diminuição das perdas térmicas através dos pisos, que têm suas temperaturas superficiais limitadas para evitar condensações; e atender às exigências de conforto acústico, isolando a transmissão de ruídos, provenientes do piso, e absorvendo-lhes o som (NASCIMENTO, 2007).

Figura 11: Exigências funcionais, aplicáveis aos revestimentos vinílicos.

Fonte: (NASCIMENTO, 2007).

Ainda sobre a habitabilidade, o autor afirma que os revestimentos devem atender às exigências de conforto na circulação, relativas à planeza e horizontalidade do piso, de modo a não provocar incômodos na circulação das pessoas. Também, devem atender às exigências de conforto visual, como apresentarem superfícies regulares e planas, sem defeitos aparentes, além das arestas retilíneas; apresentarem uniformidade da cor e do brilho, sem dar origem aos contrastes incômodos; apresentarem textura uniforme e lisa, ou moderadamente rugosa. Quanto às exigências de conforto tátil, devem favorecer um contato suave do pé com o piso e isolar a eletricidade estática acumulada neste piso.

Quanto às exigências de durabilidade, todos os materiais que compõem estes revestimentos não devem apresentar alterações significativas das suas características quando submetidos às variações de temperatura, umidade, à ação da radiação ultravioleta, ou, às ações provocadas por agentes biológicos. Estes

revestimentos também devem resistir ao desgaste provocado pelo tráfego de pessoas, ou qualquer outro tipo de tráfego considerado normal; ao punçamento estático ou dinâmico, provocados pelos pés do mobiliário ou por cargas rolantes; às ações de arrancamento, de modo que o revestimento não desprenda do piso; à ação da água e da umidade, durante largos períodos; à ação de produtos químicos e à ação de pontas de cigarros incandescentes (NASCIMENTO, 2007).

Por fim, há as exigências de limpeza, que devem ser facilmente cumpridas pelos revestimentos vinílicos, os quais não podem apresentar nódoas e nem condições propícias à fácil proliferação de bactérias. Além do que, eles devem ter uma constituição que lhes permita serem facilmente reparados ou conservados após cinco anos de utilização, caso isto seja necessário. No caso de ocorrerem deteriorações acidentais não previstas, devem-se ter condições de reparar ou substituir os revestimentos afetados com relativa facilidade (NASCIMENTO, 2007).

2.5.3. Adesivo de contato (a cola)

A cola é um elemento essencial para a aplicação de um revestimento vinílico de piso, por isto deve ser escolhida com cuidado, levando-se em consideração as condições ambientais, a natureza do substrato e o reverso do revestimento (TARKETT, 2014). Tais condições são caracterizadas como:

- a) **Condições ambientais** – determinam se as colas podem ser aplicadas. Este procedimento pode ser realizado apenas com temperaturas moderadas (mínimo +18°C ou conforme recomendado pelo fabricante) e a área de sua aplicação deve estar bem ventilada, pois algumas colas são inflamáveis, como aquelas com base em solvente e as colas de emulsão, que devem ser protegidas do gelo.
- b) **Natureza do reverso do revestimento** – se o lado inverso do revestimento de piso for em PVC, deve ser utilizada uma cola acrílica de emulsão ou em dispersão. Para revestimentos vinílicos condutores devem ser utilizadas colas condutoras, e as colas com base de dispersão devem ser armazenadas num ambiente com temperaturas entre 0°C e 30°C.

Antes da aplicação da cola e após a abertura do seu recipiente, deve ser observado o tempo decorrido (normalmente indicado pelos fabricantes) para que a água ou solvente se evaporarem, sendo que isto depende da porosidade do substrato e das condições ambientais locais (temperatura e umidade). Este tempo somado ao tempo gasto pelo instalador para assentar o revestimento permitem que a cola se torne suficientemente coesa para aderir o revestimento ao piso. Depois haverá o tempo de secagem, após o qual o revestimento poderá ser colocado em uso normal e o mobiliário instalado. Este tempo reflete a cura completa da cola e pode variar entre 24 e 72 horas, dependendo do tipo de cola utilizado.

Em um trabalho realizado pelos pesquisadores Olaf Wilke, Oliver Jann e Doris Brödner, no Instituto Federal para Pesquisas e Testes de Materiais da Alemanha, em 2004, foi testada a emissão de COVS em nove colas adesivas de pisos resilientes, através de câmara de teste, durante os períodos de 1 dia, 10 dias e 28 dias. Os resultados mostraram que depois de 1 dia os COVS variavam entre 900 e 10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$, enquanto que os COVs emitidos pelas mesmas amostras, depois de 28 dias, estiveram abaixo de 175 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$. O 2-etil-1-hexanol foi a substância mais encontrada e o ácido acético foi a substância de maior concentração em uma das amostras. Tal fato demonstra a existência de uma forte concentração de compostos orgânicos nos primeiros dias de aplicação da cola para assentamento dos pisos.

2.5.4. Revestimento vinílico de parede

Os revestimentos de parede são componentes de decoração importantes em ambientes internos, especialmente nas residências. Podem ser utilizados em quase todos os tipos de superfície, com uma grande variedade de cores e padrões (THE VINYL INSTITUTE, 2013). Além das exigências estéticas, estes componentes atendem às exigências funcionais através de suas características de durabilidade, resistência à limpeza, além de não descolorirem ou não adquirirem manchas sob a ação da luz solar (ACETOZE et al., 1996). Em razão disto, têm sido amplamente utilizados em projetos de arquitetos, designers de interiores e outros especificadores.

Segundo o Vinyl Institute (2013), embora a superfície decorativa deste tipo de revestimento chame a atenção, o seu substrato é mais importante para determinar qual o produto que deve ser selecionado para um acabamento interno, em particular.

Os revestimentos de parede contendo vinil são mais resistentes do que outros produtos alternativos, como papéis e tecidos, além de serem mais fáceis de limpar. Estes componentes, na versão comercial, são produzidos especificamente para utilização em hotéis, apartamentos, escritórios, hospitais e estabelecimentos de varejo. Geralmente, são mais pesados do que os papeis de parede.

2.5.4.1. Processo de fabricação

A fabricação de um revestimento vinílico de parede pode ser realizada por dois processos: calandragem ou espalmagem. No processo de calandragem, inicialmente, pesam-se as resinas, plastificantes, estabilizantes, pigmentos, biocidas, retardantes de fogo, para que sejam misturados e formem um composto uniforme, que depois é passado por um filtro. Em seguida, este composto é movido para a calandra, onde rolos grandes, com temperatura controlada, transformam-no em uma película fina. Após a laminação em relevo, a folha de vinil é passada através de uma série de rolos com tinta para adicionar cores contrastantes. Por fim, um revestimento superior é aplicado à superfície da folha vinílica por meio de rolos gravados, adicionando um brilho desejado (THE VINYL INSTITUTE, 2013).

O processo de espalmagem, por sua vez, é formado por uma seção de aplicação de pasta (sistemas de facas ou cilindros); um forno de gelificação e fusão da pasta e uma unidade de resfriamento, como ilustra a figura 12. Inicialmente, um plastisol aplicado diretamente sobre um substrato de papel ou tecido sofre processo de fusão, formando uma camada resistente sobre o substrato (RODOLFO JR., NUNES et al., 2006). Esta camada passa através de um forno que é aquecido a uma temperatura elevada por vários minutos. As partículas de PVC suspensas nas partículas do plastificante, contidos nesta camada, se dissolvem e se aglutinam para resultarem no PVC plastificado homogêneo, que ainda quente pode ser amolecido em alto-relevo. O material é solidificado por resfriamento e pode *receber* impressão para dar origem ao papel de parede (YANG; BRANDON e SIDWELL, 2005).

Figura 12: Representação esquemática de uma linha simples de espalmagem.
Fonte: RODOLFO JR., NUNES e ORMANJI (2006).

Cilindros para gravação em relevo e aplicadores de verniz em linha podem ser acoplados no mesmo processo ou funcionar em unidades separadas (RODOLFO JR. et al., 2006).

2.5.4.2. Tipos de revestimentos de parede

De acordo com a Wallcoverings Association (2014), os revestimentos de parede, conhecidos como papéis de parede, oferecem uma grande variedade de padrões, juntamente com uma variedade de revestimentos protetores. As categorias mais comercializadas podem ser classificadas como:

- a) **Papel revestido com vinil** - substrato de papel, no qual a superfície decorativa é pulverizada ou revestida com um vinil tipo acrílico ou cloreto de polivinila (PVC), como pode ser observado na figura 13 (a). Este revestimento é classificado como *scrubbable*, por ser mais resistente à gordura e umidade do que o papel comum, sendo ideal para utilização em banheiros e cozinhas, além de ser facilmente removível.

(a)

(b)

Figura 13: (a) Papel revestido com vinil (amostra e instalado no ambiente), e (b) diferentes amostras de Paper Backed Vinyl.

Fonte: Dongguan Haok Home Decoration Ltd (2016)

b) **Tecido revestido com vinil** - substrato de tecido revestido com vinil líquido ou acrílico, como pode ser observado na figura 14 (a) e (b). A camada decorativa é impressa sobre este revestimento que, por ser considerado mais poroso, deve ser aplicado em salas de baixa umidade.

c) **Paper Backed Vinyl/Solid Sheet Vinyl** - como pode ser observado na figura 13 (b), este revestimento tem um substrato de papel laminado com uma folha sólida de vinil como superfície decorativa. Classificado como *scrubbable*, é destacável e pode ser utilizado na maioria das áreas da casa, uma vez que resiste à umidade, manchas e graxas. No entanto, este revestimento não suporta o peso de estantes e outros elementos fixáveis.

(a)

(b)

Figura 14: Tecido revestido com vinil – (a) amostra e (b) instalado em ambiente.

Fonte: Dongguan Haok Home Decoration Ltd (2016)

d) **Fabric Backed Vinyl** - este modelo tem um substrato laminado para uma superfície decorativa de vinil sólido. Suas categorias incluem o *Solid Vinyl*, que é um revestimento composto por uma película de vinil laminada sobre um substrato de tecido ou de papel, e o *Paper* que é um papel de parede com uma combinação no substrato, sobre o qual a camada decorativa é impressa. Este tipo de revestimento é ideal para os consumidores que procuram um alto grau de lavabilidade e durabilidade.

2.5.4.3. Exigências funcionais

Os revestimentos vinílicos de parede têm a função principal de decorar e proteger as paredes de um ambiente. Podem ser encontrados em forma de placas e lâminas plásticas, telas em vinil, tecidos de PVC, e papel de parede em vinil, o que permite que sejam utilizados no interior de ambientes como residências, hospitais, escritórios, entre outros. De acordo com Acetoze (1995), para atenderem às exigências funcionais estes componentes apresentam determinadas características, como:

- a) Versatilidade, podendo ser aplicados em diferentes ambientes;
- b) Resistência à degradação com água (não inchando, não manchando e não deformando) e ao mofo;
- c) Resistência química aos agentes comuns de limpeza, tais como detergentes, álcool, água, entre outros;
- d) Facilidade de instalação e limpeza;
- e) Isolamento termo-acústico e antialérgicos.

Para a instalação destes revestimentos é necessário que a parede esteja devidamente nivelada e prumada. Quanto à fixação, as lâminas plásticas podem ser parafusadas ou grampeadas diretamente na parede, enquanto que as telas, tecidos e papéis de parede devem ser colados. De acordo com o Vinyl Institute (2013), a maioria dos revestimentos de parede tem três camadas, e cada qual desempenha uma importante função, sendo:

- a) **Camada de decoração** – é a camada superior, aplicada acima da camada intermediária, e formada por tintas de impressão e uma camada de proteção de polímero. Normalmente, esta camada é o principal motivo de um revestimento ser escolhido. O design e/ ou textura é impresso nela, usando-se vários métodos como rotogravura, impressão de superfície e serigrafia;
- b) **Camada intermediária** - proporciona a superfície sobre a qual a camada decorativa é impressa, e fornece a cor de fundo, de acordo com o tipo de desenho. Além disso, pode variar de espessura, com menos de um milímetro até 30 milímetros, e é mais pesada do que os produtos "*solid-vinil*";

- c) **Substrato ou suporte** - é a porção do revestimento de parede que vai contra a parede. Este suporte pode ser de uma grande variedade de materiais que vão desde tecidos e não tecidos até produtos de papéis leves. Os substratos são usados na fabricação de revestimentos de parede, porque somente o vinil não é destacável se colocado diretamente sobre uma parede.

Outro fator importante é quanto à existência de mofo e bolor, causados pela impermeabilidade dos revestimentos vinílicos, que faz com que eles atuem como uma espécie de barreira de vapor, prendendo a umidade dentro da cavidade da parede. Por isto, é importante eliminar a umidade na sua origem, com a instalação de janelas bem vedadas ou com boa impermeabilização da parede. Além disso, podem ser aplicados os adesivos à base de amido, que atuam como uma fonte de alimento para os microrganismos que estejam presentes nas superfícies úmidas das paredes (THE VINYL INSTITUTE, 2013).

2.5.5. Alguns modelos de revestimentos vinílicos no mercado

Atualmente, os produtos de revestimentos vinílicos mais comercializados no mercado nacional de pisos pertencem às empresas internacionais Tarkett, Armstrong e Forbo, cujas empresas representantes no Brasil são Tarkett Fademac, Armstrong do Brasil e Forbo Nacional, e por empresas de origem nacional como Duratex, Eucatex e Interfloor. Nas tabelas do apêndice 2 são demonstradas apenas as linhas de produtos da Tarkett, considerando que as amostras selecionadas para os ensaios analíticos da presente pesquisa são provenientes desta marca.

2.5.6. Revestimentos vinílicos em projetos arquitetônicos

Na transição entre os séculos XIX e XX, a utilização de carpetes e tapetes contribuía para a contaminação do ar dentro das edificações, considerando que os germes e poeiras que penetavam por baixo destes revestimentos proliferavam por falta de limpeza adequada e eram lançados no ar a cada movimento das pessoas, trazendo-lhes problemas de saúde (APOSPOROS, 2008). Assim, como tentativa de solucionar estas questões, os carpetes e tapetes tradicionais foram substituídos por

revestimentos denominados *pisos resilientes*¹⁰, que eram mais fáceis de higienizar, instalar, ao mesmo tempo que apresentavam boa resistência ao tráfego de pessoas.

Destes pisos resilientes, o que melhor respondeu à estas exigências funcionais foi o linóleo, além do que apresentava variedade de cores e estampas, chamando a atenção de arquitetos e designers de interiores, no início do século XX. Assim, este tipo de revestimento passou a figurar em diversos locais, inclusive em ambientes de edifícios projetados por arquitetos renomados daquela época, como na Villa Stein, projetada por Le Corbusier em 1927, na França; nas casas de mestrado da Escola Bauhaus, projetadas por Walter Gropius em 1926, na Alemanha; e no Pavilhão de Barcelona, na Feira Mundial de 1929, Espanha, projetado por Mies Van Der Rohe.

Entretanto, em 1941, durante a Segunda Guerra, o linóleo perdeu seu 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 do 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, 2015).

Em razão destes fatos, o vinil (ou PVC) passou a substituir o linóleo como revestimento de piso em edificações, pois além de ser mais barato e menos inflamável, apresenta maior resistência aos produtos químicos de limpeza, à água e à umidade, com a garantia de ser tão resiliente quanto seu antecessor (APOSPOROS, 2008). Também apresenta características como facilidade de instalação e limpeza, durabilidade e versatilidade, oferecendo várias opções de cores e desenhos (SICHERI, FERREIRA, CARAM et al, 2005).

Com isto, arquitetos e designers de interiores do período moderno, nos anos 1950 e 1960, perceberam os ganhos com as propriedades do novo material e passaram a especificá-lo nos programas e memoriais de seus projetos, quando estes demandavam o uso de pisos resilientes, como é o caso dos hospitais e clínicas, que

¹⁰. Resiliência (física) = propriedade que alguns corpos apresentam de retornar à forma original após terem sido submetidos a uma deformação elástica. Neste caso, um piso resiliente possui tal propriedade.

possuem grande necessidade de higienizar seus ambientes, ou então, das escolas e escritórios, que necessitam de pisos duráveis. Além destas vantagens, Ford (1945) destaca a qualidade estética dos revestimentos vinílicos, cujos designs novos trouxeram padrões abstratos e geométricos, além de combinações de cores.

A entrada dos revestimentos em PVC na Arquitetura Brasileira, ocorreu durante a construção de Brasília, no final dos anos 1950, sendo utilizados na maioria dos edifícios públicos da capital. Entretanto, nas três décadas seguintes, não houve mudanças no mercado nacional de pisos, que era dominado por pisos 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, 2015).

Ainda, de acordo com o instituto, somente, após os anos 1990, com a reabertura da nossa economia às importações e com a valorização do Real, que os revestimentos vinílicos de piso voltaram a figurar no mercado nacional, junto aos pisos laminados de madeira. A grande novidade eram os diferentes formatos, composições, estampas e cores, trazidos por estes novos produtos. Tal fato atraiu o interesse da nova geração de arquitetos e designers, os quais passaram a especificar estes revestimentos nas paginações de piso de seus projetos.

Alguns casos merecem destaque, como no hotel Pullman, onde a arquiteta especificou o uso de pisos da linha Ambianta, marca Tarkett, nos ambientes, ou então, no hospital Unimed, de São José do Rio Preto, onde foram aplicados pisos da linha iQ Natural e Ambianta, Tarkett (TARKETT-FADEMAC, 2014), como mostram as figuras 15 e 16. Há ainda o caso da reformulação dos últimos andares do edifício Martinelli, no qual foi utilizado o piso da linha Allura Flex, marca Forbo; e do projeto da loja Le Lis Blanc, no Shopping Iguatemi de Brasília, no qual foi utilizado revestimento da marca Interfloor, nas paginações de piso, figuras 17 e 18.

Figura 15: Revestimento vinílico em ambiente do Hospital Unimed, S. Jose R. Preto.

Fonte: Catalogo Tarkett (2014).

Figura 16: Revestimento linha Ambiente na área Gourmet no Hotel Pullman em S. Paulo.

Fonte: Catalogo Tarkett (2014).

Figura 17: Revestimento linha Allura Flex, Forbo nas salas do Edifício Martinelli, SP.

Fonte: AECWEB (2016).

Figura 18: Revestimento vinílico instalado na loja da Le Lis Blank, Brasília.

Fonte: AECWEB (2016).

Na tabela 16, são relacionados detalhes de revestimentos vinílicos especificados na paginação de pisos dos projetos arquitetônicos, destes e de outros edifícios, públicos ou particulares, em diferentes segmentos de atividades, tanto no Brasil quanto em outros países. Neste caso, são destacados os efeitos estéticos dos revestimentos nestes espaços, e como influenciam no conforto visual e comportamento das pessoas.

Tabela 16: Alguns casos de revestimentos vinílicos aplicados em edifícios nacionais.

Estudos de caso no Brasil		
Edifícios/ localização Autor (es)	Características dos pisos / obra	Objetivo da aplicação (estudo)
Hotel Pullman Local: Vila Mariana, cidade de São Paulo Arquiteta responsável: Bianca Setin.	Durante a obra de renovação do hotel em 2010, foram instaladas 10 mil m ² de réguas vinílicas da linha Ambienta, Tarkett Fadamac, cores Ébano e Canela, nos corredores, restaurantes, pátios e apartamentos.	Agregar simultaneamente: valor estético, conforto acústico, além de permitir rápida instalação, pouca geração de resíduo e redução de fortes odores.
Hospital Albert Einstein Local: São Paulo	Neste caso foram aplicadas placas da linha Paviflex Chroma, marca Tarkett-Fadamac, no setor da escola de enfermagem do edifício.	Impermeabilizar o piso e facilitar a sua higienização, reduzindo a necessidade de água e produtos químicos para sua manutenção.
Edifício Martinelli Local: São Paulo Arquiteto responsável: Paulo Lisboa.	Na área de piso dos últimos cinco andares do edifício foram aplicadas placas e réguas da linha Allura Flex, marca Forbo.	Adotar revestimento de instalação rápida e que garantisse uma fácil manutenção do piso elevado. Proporcionar resistência do piso ao impacto do tráfego intenso de pessoas.
Clube Hebraica Local: São Paulo Arquiteta responsável: Vera Patron Chapira/ Engenheiro respons.: Luiz Francisco Boccia.	Neste caso foi utilizado o revestimento da linha Absolute Lino, marca Tarkett-Fadamac, cores Creme e Marinho.	Adotar revestimento que aliasse beleza (através de cores e padrões diferenciados) com resistência ao tráfego pesado de pessoas. Durabilidade e impermeabilidade do produto, devido às suas juntas soldadas à quente.
Hospital Beneficência Portuguesa Local: São Paulo	Neste caso foi utilizado o revestimento da linha Pavifloor Eclipse Premium, marca Tarkett, cores Chamois e Cappuccino.	Impermeabilizar o piso e facilitar a sua higienização, reduzindo a necessidade de água e produtos químicos para sua manutenção.
Hospital Unimed Local: São José do Rio Preto, Estado SP Arquiteta responsável: Juliana Affini.	Foram usadas mantas vinílicas das linhas iQ Natural e Ambienta, Tarkett-Fadamac, em salas de oncologia, inalação, medicação, isolamento, raio-X, ultrassom, tomografia, curativo e laboratórios, do hospital.	Atender as recomendações da ANVISA quanto à retenção da proliferação de fungos, poeiras e insetos. Facilitar a higienização do piso. Humanizar o ambiente e proporcionar harmonia a ele.
Lojas Le Lis Blanc Local: Shopping Iguatemi de Brasília Arquiteta responsável: Priscila Maia.	Neste caso foi aplicado o piso da linha Interwood, marca Interfloor.	Atender todas as especificações técnicas, além dos requisitos de qualidade, praticidade e beleza aliados com resistência ao tráfego pesado de pessoas.
Hunter Douglas Office Local: São Paulo	Em área de 462 m ² deste escritório foi instalado revestimento da linha Flow 9027, marca Tarkett Fadamac.	Combinar diferentes texturas de piso, proporcionando ambientes esteticamente agradáveis e com conforto acústico.

Fonte: Pesquisa bibliográfica das referências citadas na tabela.

Tabela 17: Alguns casos de revestimentos vinílicos aplicados em edifícios no mundo.

Na área da saúde		
Edifícios/ localização Autor (es)	Características dos pisos / obra	Objetivo da aplicação (estudo)
La Maternité - Centre Hospitalier de Saint- Nazaire Local: Saint-Nazaire, França	A fim de abordar o caráter ecológico do edifício, bem como a necessidade de codificação de cor clara, foi especificado o revestimento da linha iQ Granit da Tarkett. Com uma camada de desgaste 2 milímetros, baixo TVOC <10 mg / m³: 100 vezes menor do que o padrão mais rigoroso na Europa (declarado ser livre de ftalato).	Por ser extremamente resistente, proporciona durabilidade ao piso. Além de oferecer um excelente desempenho higiênico, ser 100% reciclável e possuir uma grande gama de cores, proporcionando versatilidade aos projetos de arquitetura de interiores.
Prenatal Center in St. Petersburg Local: Russia	Nesta nova unidade hospitalar para pré-natal foi instalado 16.800m² de revestimentos de piso da Tarkett, linhas iQ Melodia e iQ Toro SC.	Proporcionar ambiente agradável e acolhedor, somado à facilidade de manutenção e de higiene.
Saint-Pierre de Moissac Local: Moissac, França	Nesta casa de repouso foi instalado 7.000m² de piso, usando uma grande variedade de diferentes produtos, da Tarkett, linhas Tapiflex Excelência e faixas Acczent.	Criar uma atmosfera acolhedora e amigável, e instalada com base em códigos de cores destinadas a favorecer a orientação dos pacientes.
Central Du Page Hospital Local: Chicago, Illinois, EUA	Na unidade de pediatria do hospital, foi instalado revestimento da linha comercial Azrock da Tarkett em superfície de 371 m².	Proporcionar ambiente alegre e convidativo, com variedade de cores e boa estética. Além da facilidade de higienização e manutenção.
Aultman Hospital Local: Canton, Ohio, EUA	Foram instalados revestimentos nos pisos, linhas Optima, Granit, Safe-T, Harmonium, Acczent, Wall Art base, nas unidades de emergência, neonatal e pós-operatório deste hospital.	Criar ambientes estéticos, relaxantes e convidativos nos ambientes. Além da facilidade de higienização e manutenção.
Gary and Mary West Senior Wellness Center Local: San Diego, California, EUA	Neste centro geriátrico comunitário foi instalado revestimento em placas da linha Johnsonite Optima 24, com cores vibrantes e padrões de orientação para os idosos em toda a infraestrutura instalada.	Assim como no Saint-Pierre, o objetivo foi criar uma atmosfera acolhedora e amigável, e instalada com base em códigos de cores destinadas a favorecer a orientação dos pacientes.

Fonte: Pesquisa bibliográfica das referências citadas na tabela.

Tabela 17 (Continuação)

Na área da educação		
Edifícios/ localização Autor (es)	Características dos pisos / obra	Objetivo da aplicação (estudo)
Nelson Mandela College Local: Bordeaux, França Arquiteto François Guibert	Este colegio utiliza 6000m ² de Tarkett Tapiflex LED e Pixel, duas variedades de vinil acústicos, para criar um ambiente de aprendizagem amigável e inspirador ao estudante.	Criar uma decoração sobre os revestimentos de piso usando os nomes das principais cidades do mundo, para inspirar os estudantes a viajar sua imaginação.
Ahmatova High School Local: St. Petersburg, Russia	Na sala de concertos, foi escolhida a linha Klassika da Tarkett. Nas salas de aula e corredores foi instalado revestimento da linha IQ Aria da Tarkett.	Atender os requisitos acústicos e funcionais, como durabilidade, resistência ao tráfego pesado e conforto. Permitir que a escola recuperasse sua antiga beleza e funcionalidade.
International School Brussels Local: Brussels, Bélgica	Nesta escola foram instalados os produtos AirMaster 3118, 8208, 4407, Johnsonite, em uma superfície total de 2.060 m ² . Disponível em cores padrões de 18 blocos e 6 combinações, além de um aplicativo on-line que permite que os designers criem a seu próprio projeto.	Reduzir a concentração de poeira fina no ar (quatro vezes mais eficaz do que os tapetes regulares e oito vezes mais eficaz do que os pisos duros). Proporcionando ambientes esteticamente agradáveis e com conforto acústico.
National Library in Chuvash Republic Local: Russia	Em uma das mais antigas bibliotecas da Rússia, foram instaladas as linhas iQ e iQ Optima Melodia Johnsonite.	Fornecer um visual moderno e inspirador, concebido para estimular a criatividade. Facilitar a manutenção do piso e higienização.
Winkler Prins Sec. School Local: Veendam, Holanda	Nesta escola foram instalados 1.000 m ² dos pisos AirMaster® 4208, 4307 da Johnsonite.	Reduzir a concentração de poeira fina no ar. Proporcionar ambientes esteticamente agradáveis e com conforto acústico.
High Point Academy Local: Aurora, Colorado, EUA	Nesta academia foi instalado 1.600 m ² de piso da linha Optima, Johnsonite,	Criar interação de textura e cor, sob efeito da luz ambiente. Facilitar a manutenção do piso e higienização do ambiente.
Metrolina Regional Scholar's Academy Local: Charlotte, Carolina do Norte	Nesta escola foram instaladas placas das linhas Mesto, Martelados e Circulinity, da Johnsonite, em uma área de piso de 3.600 m ² ,	Criar uma decoração com texturas e cores variadas e ao mesmo tempo compondo desenhos combinados. Facilitar a manutenção do piso e higienização do ambiente.
John Kennedy Center-Performing Arts Local: Washington, D.C., EUA	Em toda área de piso foram instaladas placas da linha ArborArt, da marca Armstrong, com variações de cores carvalho, bordo e cereja. Também foram usadas régua das linhas Barnside e Fruitwood.	Capturar as essências visuais tradicionais, rústicas e exóticas realistas de madeira que fornecem o calor e o apelo de madeira natural.

Fonte: Pesquisa bibliográfica das referências citadas na tabela.

Tabela 17 (Continuação)

Edifícios/ localização Autor (es)	Características dos pisos / obra	Objetivo da aplicação (estudo)
Linz University Local: Linz, Austria	Neste edifício austríaco de estilo arquitetônico com estruturas e panos de vidro que beneficiam a captação de luz, foram instalados 30.000 m ² de revestimento de piso da linha EcoBase® backing.	Oferecer um valor de redução do impacto sonoro de mínimo 10 dB, para além do valor padrão, criando um novo padrão para a indústria em desempenho de tapetes.
Grinnell College Local: Grinnell, EUA	Neste centro de atletismo coberto, foram instalados revestimentos de piso Beynon BSS 1000 superfície multiuso, em uma superfície de piso de 62.500 pés quadrados.	Permitir que atletas obtenham desempenho elevado durante o treinamento ou em competição. Proporcionar durabilidade suficiente para resistir ao clima mais áspero e à competição mais difícil e não requer manutenção avançada.
Outras áreas		
City Hall Raakspoort Office Local: Haarle, Holanda	Na grande área de piso de 4.500 m ² deste escritório foram instalados revestimentos, linhas Neo 9053 e Neo Core 9514, com texturas de tons ligeiramente escuros e rústicos, contrastando com paredes claras e harmonizando com o mobiliário.	Proporcionando ambientes esteticamente agradáveis, com conforto acústico e fáceis de limpar.
Euler Hermes Office Local: Brussels, Belgica	Neste escritório foram instalados 3.500 m ² de revestimentos de piso das linhas Flow 9021, Flow 9027, Palatino. Com texturas de cores escuras em contraste com linhas sinuosas claras, harmonizando com o mobiliário e formando ambientes agradáveis.	Proporcionando ambientes esteticamente agradáveis, com conforto acústico e fáceis de limpar.
Sofia Arena Local: Bulgaria	Na maior arena esportiva da Bulgaria foi instalada a linha parquet Tarkett Sportable Beechwo/d, da Tarkett, em uma superfície de 1.069 m ² .	Criar uma decoração com textura semelhante à madeira natural, proporcionando aspecto agradável. Facilitar a manutenção do piso e higienização do ambiente.

Fonte: Pesquisa bibliográfica das referências citadas na tabela.

Como pode ser observado, os revestimentos vinílicos de piso estão presentes em propostas arquitetônicas de diferentes segmentos, como é o caso dos revestimentos aplicados nos hospitais e clínicas, pensados para dar um sentido maior de humanização a estes espaços (figura 19); dos revestimentos aplicados em ambientes das escolas, para incentivar o despertar da imaginação e a descoberta intelectual (figura 20); e dos revestimentos nas residências, cujos designs diferenciados,

permitem a criação de ambientes personalizados, atendendo às mais variadas propostas de decoração (figura 21).

Figura 19: (a) revestimentos vinílicos proporcionando alegria à recepção do Central Du Page Hospital, Chicago Illinois, EUA e (b) incluindo os quartos para paciente.

Fonte: Tarkett (<http://www.tarkett.com/en/content/central-du-page-hospital-chicago-illinois>)

Figura 20: (a) Nelson Mandela College, Bordeaux, França, (b) e (c) revestimentos de piso exibindo os nomes das principais cidades do mundo.

Fonte: Tarkett (<http://www.tarkett.com/en/content/nelson-mandela-college-bordeaux-france>)

Figura 21: Revestimentos da linha Imagine com designs para as residências.

Fonte: Obras de referência da Tarkett (2016).

De acordo com Gabriel (2011), o aumento gradual da utilização dos revestimentos vinílicos, associado à valorização estética e flexibilidade de combinações de cores, transformaram-nos em produtos modernos e bastante versáteis. No entanto, a diversidade de soluções atualmente disponíveis no mercado impõe dificuldades aos profissionais que projetam os ambientes internos, sobre a escolha da solução mais adequada para uma determinada utilização. Por isto, é importante que estes profissionais disponham de informações suficientemente claras sobre todas as características inerentes a estes revestimentos.

2.5.7. Declaração de transparência sobre pisos resilientes para arquitetos e demais especificadores

O Resilient Floor Covering Institut (RFCI) anunciou em 2013, sobre a disponibilidade da Declaração de Transparência do Produto (DTP) que é uma ferramenta de divulgação de uma lista de matérias-primas utilizadas para fabricar determinado produto de construção. Isto ajuda, por exemplo, os especificadores de pisos vinílicos conhecerem todos as matérias-primas que estão presentes nestes produtos, em níveis que exigem uma notificação de aviso para os instaladores sobre estes produtos ou para os ocupantes dos edifícios sobre a exposição a estes produtos. A divulgação internacional desta declaração pode ser observada na figura 22.

Ao realizar uma DTP o fabricante informa sobre uma lista de matérias-primas, que está sujeita a requisitos de comunicação dos perigos que elas oferecem. No caso dos revestimentos vinílicos seria como classificar os produtos que são usados em suas fabricações quanto aos seus potenciais cancerígenos, mutagênicos ou toxinas reprodutivas, relatados a um limiar mínimo de 1.000 ppm ou menos, se for exigido pelo padrão de comunicação de perigos da OSHA. Outras matérias-primas (quer sejam ou não perigosas) são divulgadas a um limiar de 10.000 ppm.

Além disso, os fabricantes dos revestimentos devem indicar se estes produtos necessitam de um rótulo de aviso ou notificação dos eminentes perigos, ou mesmo, revelar se os componentes voláteis usados nestes revestimentos cumprem com as normas de ensaios de emissões de COVs da Califórnia para especificação CA 01350

e com os requisitos da South Coast Air Quality Management District para adesivos, selantes e revestimentos arquitetônicos. Estes fabricantes também são convidados a fornecer informações sobre as emissões de TVOC (COVs totais).

Figura 22: Divulgação internacional de uma Declaração de Transparência do Produto

Fonte: <http://rfci.com/ptd-product-transparency-declaration/>

A DTP foi planejada para atender às necessidades específicas de arquitetos, design de interiores e engenheiros civis, em um formato fácil de compreender. Pois sua finalidade é ajudar estes especificadores a focarem nos componentes dos revestimentos que poderiam potencialmente causar uma exposição adversa à saúde humana devido às suas próprias emissões de COVs ou às emissões provocadas pelo contato com outros produtos do edifício sob condições normais de utilização.

Este tipo de declaração deve ser publicado voluntariamente por cada fabricante de revestimento vinílico ou qualquer outro produto de construção e ser verificada com a

assinatura de um responsável pela empresa. Pois, usando a DTP, os fabricantes se asseguram da conscientização popular sobre os componentes dos produtos, bem como de qualquer risco potencial que possa prejudicar os ocupantes dos edifícios ou os instaladores. Dessa forma, os fabricantes de todos os tipos de produtos de construção, incluindo os diferentes tipos de piso, podem usar Declarações de Transparência do Produto para divulgar publicamente os ingredientes e quaisquer riscos potenciais à saúde desses produtos.

2.5.7.1. Declarações Ambientais de Produtos

Uma declaração ambiental do produto ou DAP é um breve relatório, verificou-se terceiros de ingredientes do produto e os seus impactos ambientais que ocorrem durante a fabricação e vida de um produto específico. Em essência, ele resume todos os materiais e processos básicos utilizados em um produto e seus resultantes impactos ambientais ao longo do ciclo de vida do produto, desde a extração de matérias-primas, através de fabricação, transporte, utilização e fim de reciclagem vida de serviço ou de eliminação.

A DAP apresenta dados ambientais quantificados para os produtos ou sistemas com base em informações a partir de uma avaliação formal do ciclo de vida (LCA), realizado de acordo com as normas ISO estabelecidos. Elas são voluntariamente desenvolvidas pelos fabricantes e verificadas por terceiros com o objetivo de oferecer informações de qualidade assegurada e comparável sobre o desempenho ambiental dos produtos.

2.5.7.2. Uso dos DTPs para especificações em projetos

Ao seguir um padrão de atendimento aos seus clientes, arquitetos, designers de interiores e outros especificadores de materiais precisam garantir que os produtos e os materiais selecionados para um projeto de construção atendam vários atributos. Estes geralmente incluem: durabilidade e performance; aplicações de uso adequados e recomendados; custos iniciais de compra; custos operacionais e de manutenção de longo prazo; código de exigências, diretrizes e normas da indústria aplicáveis ao ciclo de vida vida; os impactos ambientais; considerações de manutenção e impacto na saúde dos ocupantes de construção.

Os especificadores devem exigir informações transparentes sobre esses atributos para garantir a escolha mais adequada de materiais de construção para a aplicação dentro de seus projetos, pois precisam saber se estes materiais contêm componentes ou produtos químicos que podem ser prejudiciais para os ocupantes do edifício e para os instaladores. Com isto, estes profissionais devem solicitar cópias destas declarações como parte do processo de envio das informações pelos fabricantes, que atestam sobre a veracidade das informações da empresa.

A fim de permanecer atual, a declaração ambiental do produto deve ser atualizada quando houver mudanças nos componentes do produto ou quando forem estabelecidos requisitos regulamentares para alterar rótulos de advertência. Mesmo sem qualquer uma destas alterações, este tipo de declaração deve ser revisto e reeditado em um mínimo de três em três anos.

Assim, o RFCI desenvolveu um modelo padronizado para a criação de uma DTP, cujo preenchimento das informações sobre o produto é derresponsabilidade do fabricante. As informações detalhadas sobre os componentes utilizados num produto são necessárias em cada uma das seções do modelo a seguir:

Seção A: Componentes do produto

- **Lista de componentes individuais usados em um produto:** devem primeiro ser listados em ordem decrescente de quantidade (isto é, componente mais utilizado em primeiro lugar, segundo componente mais utilizado em segundo lugar, etc.). Estes ingredientes podem incluir substâncias como resinas de PVC, plastificante, calcário, pó de madeira, entre outros. Todos os componentes no produto acabado devem ser enumerados ou medidos em 1.000 partes por milhão ou acima disto. O número de registro do CAS para cada componente deve ser indicado junto com seu nome comum.
- **Comparação dos produtos químicos regulamentados:** com cada um dos componentes dos produtos listados e identificados.

- **Metais Pesados:** alguns processos de fabricação baseiam-se na utilização de metais pesados para produzir o produto final. No entanto, estes metais podem ter efeitos negativos na saúde das pessoas. Assim, a DTP deve indicar se o produto tem ou não a adição de qualquer um dos quatro metais pesados conhecidos: cádmio, cromo, chumbo e mercúrio.

Seção B: Avisos obrigatórios de perigo à saúde

Usando a listagem de componentes e metais pesados, a próxima etapa para um fabricante é a avaliar os requisitos regulamentares para a adição de etiquetas de aviso sobre a exposição à saúde humana. A declaração de transparência deve, então, indicar se é necessário ou não este tipo de aviso para o produto de acordo com as normas OSHA HCS 2012 e Proposição 65 da Califórnia para produtos químicos conhecidos por causar câncer ou toxicidade reprodutiva. Se a resposta for sim para qualquer um ou ambos destes regulamentos, então a base específica (químicos ou produtos químicos) para a exigência de rotulagem/ aviso deve ser listado. Além disso, a linguagem específica etiqueta de aviso deve ser indicado.

Seção C: Emissões de COVs do produto

Como as emissões de COV são tão essenciais para a revisão de todos os produtos, o PTD inclui isso como uma seção separada, identificada. Os fabricantes devem indicar se o produto foi testado e considerado em conformidade com a Seção 1350 os requisitos de emissões de COV Califórnia e / ou em outros programas de testes de emissões de COV. No caso em que o produto é certificado FloorScore®, será, obviamente, capaz de ser listado como piso compatível na DTP. Além disso, devem ser indicados os níveis de emissão de COV totais, em conformidade com o CDPH V1.1-2010, em uma das categorias de emissões.

2.6. Revestimentos vinílicos ecologicamente corretos

Nos últimos anos, fabricantes de materiais de construção e componentes construtivos têm procurado atender às necessidades de empreendimentos na construção que pretendem adquirir vantagens junto aos sistemas de certificação ambiental para

edifícios. Em meio a este contexto algumas empresas de revestimento vinílico têm modificado seus produtos para que eles obtenham desempenho de baixa emissão, em conformidade com a certificação FloorScore para aquisição do crédito da LEED – IEQ 4.3, e sejam reutilizáveis, de acordo com gestões de resíduos de construção.

Em razão disto, foram lançadas algumas linhas de revestimento vinílico no mercado, produzidas com a adição de conteúdo reciclado e óleos vegetais. No caso do conteúdo reciclado, atua como camada e como carga de enchimento na formulação dos revestimentos. No caso dos óleos vegetais, de origem renovável, atuam como bio-plastificantes nestas formulações e não contêm as mesmas substâncias nocivas que os plastificantes originados do petróleo. Em ambos os casos, os revestimentos são produzidos para serem reciclados após o descarte, o que os condiciona como produtos ecologicamente corretos.

2.6.1. Revestimentos vinílicos com conteúdo reciclado

Os termoplásticos descartados são alguns dos maiores componentes dos resíduos sólidos totais e eles apresentam fontes de matérias-primas promissoras para utilização em compósitos, principalmente porque estes materiais são gerados em grandes volumes e possuem baixo custo, como é o caso do PVC. Nos Estados Unidos, os resíduos poliméricos correspondem a 12,4% de 250 milhões de toneladas produzidos anualmente (NAJAFI, 2013).

O conteúdo reciclado aplicado na formulação dos revestimentos vinílicos é composto por resíduos pós-instalação e pós-consumo dos próprios revestimentos vinílicos. Ou seja, tanto os resíduos descartados no processo de produção dos revestimentos quanto os revestimentos pós-uso descartados são reutilizados para a produção de novos revestimentos vinílicos. Neste caso, pode ser citado o programa de princípios Cradle to Cradle da empresa Tarkett da América do Norte em parceria com a rede de mercados Walmart, desde 2009, para a reciclagem de placas vinílicas de piso (vinyl composite tile) descartadas pelas lojas da Walmart. Tal programa faz parte de um ciclo fechado que trata, entre outras coisas, da utilização de resíduos em aterros sanitários (TARKETT – SUSTAINABILITY REPORT, 2014).

Como exemplo de revestimentos vinílicos com a adição de conteúdo de piso reciclado podem ser citadas as linhas Flotex Tiles, Seagrass Coal, Seagrass Timber, Halle Lut, Colonial, Strobus, Walnut, Burned Oak, Concrete Nero, Concrete Grigio, Concrete Sabbia, Metal Brush Nickel, Green Shade FB-S72443, Sarlon Tech Sparkling, da empresa Forbo, a maior parte das linhas da Tarkett, entre outros. No caso da Tarkett, as linhas de revestimento são descritas na tabela 18, quanto ao percentual do conteúdo reciclado que foi usado para produzi-las, ao percentual reciclável destes produtos e se cada produto é natural.

Tabela 18: Dados ecológicos e selos ambientais das linhas de piso vinílico - marca Tarkett.

Dados ambientais dos revestimentos vinílicos de piso		
Modelos	Dados ecológicos	Selos ambientais
Linha Paviflex Segmentos: hotelaria, saúde, corporativo, educação e comercial.		
Chroma Concept	88% natural 3,8% renovável 100% reciclável
Thru		
Dinamic		
Sixty		
Intensity		
Linha Ambienta Recomendada para segmentos: hotelaria, corporativo e comercial.		
Click	20 % natural 100% reciclável
Rústico	60 % natural	
Liso	5,4% renovável	
Stone	100% reciclável	
Textile	19% conteúdo reciclado	
Linha Square		
Acoustic	51% natural 18% conteúdo reciclado 100% reciclável
Compact	57% natural 35% conteúdo reciclado 100% reciclável	
Linha Absolute		
Madero	24,2% natural 2,5% conteúdo reciclado 100% reciclável	
Tissé		
Elements		
Stone		
Totalsafe		

Fonte: Guia de produtos 2014. The Ultimate Flooring Experience, Tarkett.

Tabela 18 (Continuação)

Modelos	Dados ecológicos	Selos ambientais		
Dados ambientais dos revestimentos vinílicos de piso				
Linha Infinity				
24,2% natural 2,5% conteúdo reciclado 100% reciclável				
Linha iQ Natural Recomendada para segmentos: saúde, educação, corporativo e comercial.				
75% natural 16% renovável 25% conteúdo reciclado 100% reciclável
Modelos	Dados ecológicos	Selos ambientais		
Linha iQ Optima Recomendada para segmentos: saúde, educação e hotelaria.				
Classic colours	54% natural 25,5% conteúdo reciclado 100% reciclável
Nature colours				
Urban colours				
Eclipse Premium Indicada para clínicas, laboratórios, escritórios, universidades e outros.				
Classic Spirit	62% natural 25,5% conteúdo reciclado 100% reciclável
Standard Plus Indicado para lojas, clínicas médicas, universidades, escritórios, academias, etc.				
73 % natural 25,5% conteúdo reciclado 100% reciclável
Vylon Plus Solução versátil para áreas comerciais.				
81 % natural 25,5% conteúdo reciclado 100% reciclável

Fonte: Guia de produtos 2014. The Ultimate Flooring Experience, Tarkett.

Tabela 18 (Continuação)

Modelos	Dados ecológicos	Selos ambientais	
Toro SC Melhor escolha para áreas onde é necessário o controle da condutividade elétrica, como indústrias eletrônica, petroquímica, farmacêutica e alimentícia, instalações hospitalares (sala de cirurgia, anestesia e recuperação).			
51 % natural 25,5% conteúdo reciclado 100% reciclável
Omnisports Desenvolvido para ambientes esportivos.			
51 % natural 21% conteúdo reciclado 100% reciclável
Essence Desenvolvido para ambientes residenciais.			
Click	20 % natural 100% reciclável
Rústico	68,3 % natural 6,1% renovável 100% reciclável 15% conteúdo reciclado		
Liso			
Stone			
Imagine Recomendável para ambientes residenciais, educativos e de saúde infantil.			
Wood	58 % natural 100% reciclável		
Trend			
Graph			
Magic			
Decorflex Desenvolvido para ambientes residenciais.			
Feiras	40,4 % natural 2,1% conteúdo reciclado 100% reciclável		
Residence			

Fonte: Guia de produtos 2014. The Ultimate Flooring Experience, Tarkett.

2.6.2. Piso Vinílico de Luxo

O Piso Vinílico de Luxo, conhecido como LVT (Luxury Vinyl Tile), é um revestimento em forma de prancha com espessura inferior a um quarto de polegada, produzido a partir da mistura de resinas de PVC, vários solventes, pigmentos e outros aditivos, os quais aderem a uma folha de suporte, formando uma película que é estampada com a aparência de piso de madeira. Apresenta as mesmas características de uma régua ou placa de vinil, pois é produzida como um revestimento vinílico tradicional, e pode

ser instalada sobre a base de algum material que não seja madeira (ARMSTRONG COMMERCIAL FLOORING, 2014).

Por outro lado, há a produção do LVT pela KraussMaffei Berstorff (2015) que consiste na composição de uma camada núcleo altamente preenchida com elevada quota de mineral e aditivos adicionais, realizada através de extrusoras e calandras¹¹. Depois, sobre esta camada, são aplicadas uma película decorativa e uma camada de proteção contra o desgaste. Por fim, o compósito final com todas as camadas passa através de uma estação de gravação em relevo e por uma sessão de controle de temperatura para assegurar a estabilidade dimensional antes de ser cortado o tamanho ideal.

Outros exemplos deste tipo de revestimento vinílico são as linhas Wood Planks, EcoClick, EcoContract e EcoContract Stripes, da marca ePiso, que são recicláveis; a linha Vinyl Planks da empresa francesa Gerflor, para áreas de uso doméstico, em conformidade com as normas de segurança e qualidade da União Européia; a linha Decoria Luxury Vinyl Wood Plank da empresa coreana Dejin Co. Ltd.; a linha Luxury Vinyl Tile da Armstrong Ltda. Nas figuras 23, 24 e 25 são mostrados os dados em conformidade com as certificações e selos ambientais das empresas.

Figura 23: Dados de certificações de sustentabilidade da (LVT – Luxury Vinyl Tile).

Fonte: Armstrong Commercial Flooring, 2014

¹¹ O extrusor é utilizado para plastificar e homogeneizar o composto de PVC e é equipado com um alimentador lateral para incorporar enchimento mineral e aditivos adicionais. O material que sai da extrusora é aplicado ao tapete de vidro na primeira calandra de alisamento. O composto obtido é então guiado através da segunda calandra de alisamento para aplicar o composto de PVC - previamente processado na segunda extrusora.

Figura 24: Dados de certificações de sustentabilidade da Vinyl Planks da Gerflor.
Fonte: GERFLOR (2015).

Wood Planks

Especificação:

TESTADO E APROVADOS PELOS MAIS RIGOROSOS TESTES DE QUALIDADE – POSSUI OS SELOS ISO14001 E ISO9001

- Em conformidade com todas as normas de segurança e qualidade da União Européia.
- **RoHS Directive 2002/95/EC** – Não contém metais pejorativos à saúde.
- **EM 434:1994** – Estabilidade dimensional e ondulação após ser exposto a temperatura de 80° C.
- Passa no teste com ondulação de 1.61% e estabilidade dimensional de 0.08%.
- **ASTM F970-00** – Passa no teste de peso estático.
- **EN427:1994** – Rectitude dentro dos limites de 0.06mm.
- **ASTM F925-02** – Produtos químicos normalmente encontrados em domicílios não afetam a cor do produto, nem causam manchas. (Ex: vinagres, álcool, óleos minerais, soda caustica, ácido muriático.)

Figura 25: Dados técnicos da linha Wood Planks da ePiso.
Fontes: ePiso (2015).

Na tabela 19 são descritos alguns projetos arquitetônicos, nos quais foram aplicados modelos de revestimentos vinílicos de luxo, e suas empresas.

Tabela 19: Alguns casos de revestimentos LVT aplicados em edifícios nacionais.

Estudos de caso	
Edifícios e localização	Características da obra e autores
Ballantyne's Newest Medical Office -The Charlotte Radiology Local: Carolina do Norte, EUA Produto: Luxury Vinyl Tile - Armstrong	Neste projeto o LVT foi aplicado nos corredores, salas de exame e outras áreas de pacientes. Estes produtos foram escolhidos devido à suas semelhanças com a madeira real, baixo orçamento, resistência ao tráfego pesado, facilidade de manutenção, e por proporcionarem suavidade sob os pés.
Unity Health Rochester Local: New York, USA Produtos: Luxury Vinyl Sheet Flooring	Nesta unidade de saúde, foram especificados os produtos Maple Grove Honey e Maple Grove Saddle, da linha Luxury Vinyl Sheet Flooring da empresa Mannington Commercial. O projeto de paginação do piso foi realizado pela empresa de arquitetura Gardner Plus Architects.
Barn Conversion Local: Derbyshire, Inglaterra. Produto: LVT da Havwoods	Em um antigo celeiro reformado, no qual foi criada uma confortável casa de família, foram especificados o produto Venture Plank Smoked Oak Fendi Engineered Wood Flooring, da empresa Havwoods. As tonalidades usadas combinam com o madeiramento da cobertura aparente.
Casa Cor 2011 Local: Mato Grosso Sul, BR Produto: LVT da ePiso	Nesta amostra de Arquitetura foi exposta uma sala com piso e parede revestidos com produtos da linha Wood Planks, da empresa brasileira ePiso. O projeto foi realizado pela arquiteta Flávia Lopes.

Fonte: Websites das empresas Armstrong, ePiso, Mannington Commercial e Havwoods.

2.6.3. Revestimentos vinílicos com óleos vegetais de origem renovável

Os tipos mais conhecidos de plastificantes de fontes naturais para o uso com o PVC são produzidos pela epoxidação de óleos vegetais, como soja, girassol e linhaça. Não é possível definir uma estrutura química precisa para estes óleos vegetais, cujas propriedades permitem que sejam aplicados como plastificantes (RODOLFO Jr. et al, 2006). Além do que, estes aditivos atuam como estabilizantes térmicos ou fotoestabilizantes (RABELLO, 2000).

Neste caso, pode ser citada a pesquisa realizada por Madaleno, Rosa, Zawadzki et al (2009) sobre a utilização de plastificantes à base de óleo vegetal modificado e óleo vegetal modificado-epoxidado na produção de produtos flexíveis de PVC. Além das propriedades físicas, térmicas e químicas destes plastificantes, foram avaliadas as suas propriedades mecânicas, que são semelhantes às propriedades mecânicas de plastificantes petroquímicos, e por isto podem ser utilizados na produção de revestimentos vinílicos.

Outro caso que pode ser citado é a pesquisa desenvolvida por Souza (2009), no qual foi estudada a sintetização de um aditivo plastificante natural, à base de óleo da mamona, para substituir o plastificante ftalato DOP na formulação do PVC flexível. A concentração deste plastificante foi de 15% junto aos demais componentes na matriz polimérica. Em seguida, a massa formada foi calandrada para obtenção de uma camada de revestimento flexível, que passou por ensaios físicos de dureza, tração e Vicat, obtendo bons resultados de resistência.

Alguns revestimentos vinílicos disponíveis no mercado que utilizam óleos vegetais de origem renovável são as linhas Marmoleum MCT e Flotex Tiles, da empresa Forbo. Ultimamente, estes produtos têm sido considerados tão corretos ecologicamente quanto os pisos de linóleo, bambu e madeira de reflorestamento.

Figura 26: Piso Wood Planks na Casa Cor, Mato Grosso Do Sul, 2011.
Fonte: EPISO - Casa Cor Mato Grosso do Sul (2011).

2.6.4. Rotulagem ambiental

A rotulagem ambiental é um mecanismo que se comunica com o mercado sobre os aspectos ambientais do produto, com o objetivo de diferenciá-lo de outros produtos. Ela deve ser o resultado de uma avaliação técnica criteriosa, na qual sejam levados em conta aspectos pertinentes ao ciclo de vida do produto, como sua matéria-prima, seu processo de produção (gastos de energia, emissão de poluentes, uso de água), sua utilização e descarte. Por isto, a rotulagem é praticada em vários países, mesmo que o seja com formas de abordagem e objetivos diferentes. Podem ser citados os critérios internacionais consolidados como o Blue Angel (alemão); o Good Environmental Australia Standart (australiano), o BRE - Methodology for Environmental Profiles (britânico), entre outros. Inclusive, tais critérios serviram como base para a criação do selo ecológico Falcão Bauer, que é adaptado à realidade brasileira (PAES, 2008).

De acordo com o autor, a International Organization for Standardization (ISO) desenvolveu normas para a rotulagem ambiental, no sentido de padronizar e criar regras para o uso adequado de rótulos e selos ambientais que proliferaram no mercado. Como passo inicial estabeleceu a classificação para os diversos tipos de rotulagem¹², com base na qual passou a elaborar uma série de normas, as quais, segundo textos das versões brasileiras publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), têm os seguintes objetivos:

- a) Estabelecer princípios orientadores para o desenvolvimento e uso de rótulos e declarações ambientais, e anunciar que o desenvolvimento destes deve considerar todos os aspectos relevantes do ciclo de vida do produto. Refere-se à norma ABNT NBR ISO 14020:2002 - Rótulos e declarações ambientais, Princípios gerais;
- b) Especificar os requisitos para autodeclarações ambientais, incluindo textos, símbolos e gráficos, no que se referem aos produtos. Refere-se à norma ABNT

¹². Tipo I – Programa voluntário de terceira-parte (Selo verde); Tipo II – Autodeclaração ambiental informativa; Tipo III – Programa voluntário que fornece dados baseados numa avaliação de ciclo de vida, verificados por terceira-parte qualificada; e Tipo IV – Rótulo ambiental monocritério.

NBR ISO 14021:2004 – Rótulos e declarações ambientais, Autodeclarações ambientais (Rotulagem do Tipo II).

- c) Estabelecer os princípios e procedimentos para o desenvolvimento de programas de rotulagem ambiental do tipo I, incluindo a seleção de categorias de produtos, critérios ambientais dos produtos e características funcionais dos produtos, para avaliar e demonstrar sua conformidade. Refere-se à norma ABNT NBR ISO 14024:2004 – Rótulos e declarações ambientais, Rotulagem ambiental do Tipo I, Princípios e procedimentos.

Posteriormente, em outubro de 2007, foi lançada uma nova rotulagem ambiental no Brasil pelo Instituto Falcão Bauer da Qualidade - IFBQ, em conjunto com o Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica - IDHEA, denominado de Selo Ecológico Falcão Bauer.

2.6.4.1. Selo ecológico Falcão Bauer

Adaptado à realidade brasileira, este selo consiste na avaliação do ciclo de vida do produto e seu desempenho, comprovados através de inspeções periódicas e ensaios laboratoriais. Seu objetivo é avaliar materiais e tecnologias fabricadas, em áreas como construção civil, moveleira, indústria têxtil e química, e se propõe a certificar produtos sustentáveis. Este selo é dividido em cinco níveis de avaliação e certificação, que são conferidos com cores diferentes, em gradação crescente de acordo com o desempenho sustentável do produto (PAES, 2008).

Figura 27: Selo ecológico Falcão Bauer.

Fonte: Instituto Falcão Bauer de Qualidade.

Figura 28: Selo do Programa ABNT de rotulagem ambiental.

Fonte: Instituto Falcão Bauer de Qualidade

2.6.5. Selos ambientais para revestimentos vinílicos e carpetes

2.6.5.1. Certificação Floorscore

A certificação FloorScore é um programa rigoso desenvolvido pelo Resilient Floor Covering Institute (RFCI) em conjunto com o Scientific Certification Systems (SCS), que testa e certifica produtos para pisos resilientes, desde 2005, dando-lhes garantia de atendimento aos requisitos de qualidade do ar interno. Este selo indica que o produto foi certificado para cumprir os critérios de emissões dos compostos orgânicos voláteis no Estado da Califórnia, Estados Unidos, e que, ao seguir um rigoroso padrão, torna-se qualificado para obter os créditos da LEED e contribuir para a QAI nas edificações, beneficiando a saúde de ocupantes e instaladores.

2.6.5.2. Etiqueta Green Plus

Em 1992, o The Carpet and Rug Institute (CRI), no Estado da Califórnia, lançou o programa *Green Plus Label* para a realização de testes em laboratório com tapetes, almofadas e adesivos, que ajudam os especificadores na identificação de quais destes produtos possuem baixas emissões de compostos orgânicos voláteis. Em seguida, o instituto lançou o programa *Selo Verde* que define padrões mais elevados, estabelecidos cientificamente para a qualidade do ar interno e garante o desempenho dos produtos com emissões de COVs ainda mais baixos.

Neste programa foi desenvolvida a metodologia para testes em câmara ambiental de pequena escala, em cooperação com a EPA, no qual os produtos são testados anualmente para os níveis de emissão de diversas substâncias químicas e TVOCs, como exigido pela Seção 01.350¹³. Os produtos certificados são aplicados em ambientes comerciais, escolares e administrativos.

2.6.5.3. Certificação amigável de asma e alergias

Este programa, também conhecido como Asthma & Allergy Friendly Certified, foi criado em 2006 pelos melhores peritos médicos e pela maior e mais antiga

¹³. SEÇÃO 01.350 – Padrão de especificação da Califórnia – padrão mais popular dos EUA para avaliar e restringir as emissões de COV do ar interior.

organização mundial de defesa de pacientes com asma e alergias, sem fins lucrativos. O Programa de certificação realiza testes científicos de produtos que comprovadamente são os mais apropriados para clientes preocupados com alergias, asma e má qualidade do ar interior. O programa trabalha com os varejistas e fabricantes de todas as categorias de produtos que são relevantes para o conceito *Casa Saudável*, incluindo filtros de ar, desumidificadores, tintas, roupas de cama, aspiradores, máquinas de lavar roupa, brinquedos de pelúcia, serviços de limpeza, revestimentos vinílicos de piso e parede, carpetes, entre outros.

Figura 27: Selo da Certificação de asma e alergia.

Fonte: Asthma and Allergy Foundation of America.

Figura 28: Selo da Etiqueta Green Plus.

Fonte: Carpet and Rug Institute

2.6.5.4. Greenguard Gold Certification

As normas de certificação Greenguard estabeleceram padrões baseados em desempenho para definir produtos e processos com baixas emissões químicas e de partículas para uso em ambientes fechados. As normas são principalmente para materiais de construção, acabamentos, decoração de interiores, mobiliário, produtos de limpeza e equipamentos eletrônicos. As normas estabelecem procedimentos de certificação, incluindo métodos de ensaio, os níveis de emissão permitidos, coleta de amostra do produto, os limites de toxicidade e de aceitação, entre outros. As normas foram criadas pelo Instituto Ambiental Greenguard, uma organização independente da indústria que visa proteger a saúde humana e melhorar a qualidade de vida através

do reforço da qualidade do ar interior e redução da exposição das pessoas aos produtos químicos e outros poluentes.

Todos os produtos são testados em câmaras ambientais dinâmicas apropriadas. Estes e outros métodos, utilizados pelo programa de certificação Greenguard, seguem orientação da ASTM Standards D-5116 e D-6670; do protocolo de testes para móveis da Agência de Proteção Ambiental dos EUA; do protocolo para decoração de interiores e materiais de construção do Estado de Washington; do Programa Anjo Azul da Alemanha; da prática padrão para especificação Seção 01.350 e da série ISO 16.000 do Departamento de Serviços de Saúde Pública da Califórnia (CDPH).

2.6.5.5. Exemplos de especificações de baixo COVs em revestimentos

Nas figuras 31 e 32 são demonstradas algumas especificações técnicas a respeito das emissões de COVs apresentadas por empresas em seus folders institucionais. Informações que normalmente não são vistas nas fichas técnicas dos produtos vinílicos comercializados no Brasil, e que serviriam para orientar melhor os consumidores quanto aos riscos à saúde.

Industry leadership in Low VOC emissions and Phthalate-free vinyl flooring

- Tarkett has become the industry reference for extremely reducing Total Volatile Organic Compounds (TVOC) emissions to levels between ten to one hundred times lower than the strictest standards in the world for indoor air quality*.
- Tarkett is rolling out a new generation of phthalate-free products, by using non-phthalate plasticizers in its vinyl flooring production in Europe in 2014, continuing its deployment that had begun in North America in 2010.

Figura 29: Informação sobre baixa emissão de COVs e ftalatos em ficha técnica de revestimento vinílico.

Fonte: Folder institucional Tarkett Fademac, 2015.

Figura 30: Informação sobre baixa emissão de COVs e ftalatos em rótulo de revestimento vinílico.

Fonte: Folder institucional da SDS BIONIC World Wide, Londres. (2015)

2.6.6. Avaliação do Ciclo de vida (ACV)

A ACV é uma das técnicas de avaliação ambiental criadas para produtos e serviços. É uma avaliação de impactos ambientais ocorridos ao longo de toda a vida do material, desde a extração da matéria-prima até o uso e descarte, considerando também seu desempenho ambiental ao ser descartado ou ao ser reutilizado (MACEDO, 2011). Um dos benefícios da abordagem do ciclo de vida é que ele orienta os consumidores na aquisição de produtos e dá oportunidade para que estas pessoas se envolvam em estratégias conjuntamente com as empresas para o desenvolvimento ecologicamente correto do produto (UNEP, 2009).

De acordo com Macedo (2011), a metodologia de uma ACV geralmente consiste das seguintes etapas:

- Definição de metas e escopo** – que serve para especificar quais unidades de processo serão avaliadas e qual o material a ser estudado em função de seus usos, limites geográficos, temporais, técnicos e naturais. E essa etapa define o ciclo de vida a ser avaliado e detalha o processo de fabricação, uso e operação e descarte do material. A definição deste escopo é fundamental para alcançar um resultado confiável.

- b) **Análise de inventário** - onde os sistemas estudados e seus limites são definidos e fluxogramas de processo são desenhados. O fluxograma representa o ciclo de vida do material e onde são contabilizadas entradas e saídas de matérias-primas, energia, água, resíduos e emissões.
- c) **Avaliação do impacto do ciclo de vida** - é um processo quantitativo e/ou qualitativo que avalia os efeitos das cargas ambientais analisadas no inventário. Cada carga (emissão) é relacionada a um impacto ambiental. A caracterização dos impactos tem por objetivo interpretar essas emissões como efeitos, tornando os resultados compreensíveis, principalmente, para um público leigo; e
- d) **Avaliação dos melhoramentos** – nesta etapa da ACV são identificadas opções para reduzir os impactos ambientais ou encargos do(s) sistema(s) no âmbito do estudo. A metodologia para a definição de metas e escopo e análise de inventário é compreendida e estabelecida, de acordo com a Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental – SETAC (BANAR e ÇOKAYGIL, 2011).

No entanto, os profissionais da arquitetura não possuem informações suficientes e nem inventários confiáveis para tomar decisões em prol de ações sustentáveis, em especial na escolha de materiais de construção, sendo que no mercado existe uma gama enorme de produtos similares com propaganda pouco confiável. Com isto surge a preocupação destes profissionais e usuários pela existência de informações sobre a ACV dos diversos materiais, o que evidencia a importância de aprimorar as bases de dados de fácil interpretação, nestes casos (GUÍO, 2013).

2.6.6.1. Programa computacional BEES

De acordo com Silva (2003), existe uma série de ferramentas computacionais de suporte às decisões e auxílio ao projeto, especializadas no uso de ACV para medir ou comparar o desempenho ambiental de materiais e componentes de construção civil, como o *ECO QUANTUM* (Holanda), *ECOPRO* (Alemanha), *EQUER* e *TEAM™ for Buildings* (França), *BEES* (EUA), *ATHENA™* (Canadá) e *LCAID* (Austrália). No

entanto, entre estes programas é o BEES que possui critérios e indicadores mais adequados aos estudos voltados para a nossa realidade.

O programa **B**uilding for Environmental and **E**conomic **S**ustainability (BEES) foi desenvolvido em 1995 pelo *National Institute of Standards and Technology / Green Building Program - NIST*. O seu objetivo é desenvolver e implementar uma metodologia sistemática para a seleção de materiais construtivos e produtos utilizados na edificação que possua um balanço apropriado entre os desempenhos *econômico* e *ambiental*. Atualmente o programa está disponível na versão 4.0 (agosto de 2007) incluindo mais de 230 produtos/ materiais construtivos (LIPPIATT, 2007).

O autor ainda afirma que o *BEES* analisa o desempenho ambiental dos produtos de construção baseado na série ISO 14040, considerando todos os estágios da vida do produto: aquisição de matéria-prima, produção, transporte, instalação, uso e descarte. O desempenho econômico é avaliado com base no *ASTM E917-05, Standard Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems* que considera os custos relativos a investimento inicial, substituição, operação, manutenção e descarte. Ambos os desempenhos são analisados conjuntamente com base na *ASTM E1765-07, Standard Practice for Applying Analytical Hierarchy Process (AHP) to Multiattribute Decision Analysis of Investments Related to Buildings and Building Systems*.

2.6.6.2. ACV dos revestimentos vinílicos

Parte das discussões no campo da sustentabilidade diz respeito à diminuição dos resíduos e emissões no ar (nos processos de fabricação e durante o uso de um produto) que possam gerar algum tipo de impacto ambiental. Em função disto, desde o final da década de 1980, pelo menos 26 avaliações de ciclo de vida foram publicadas sobre produtos de construção em vinil, muitos deles comparando produtos de vinil a produtos similares feitos de outros materiais. Produtos vinílicos, em geral, foram produzidos para terem desempenho favorável em termos de eficiência energética, isolamento térmico, baixa contribuição ao efeito estufa e durabilidade para menor uso dos recursos naturais (PVC, 2000).

No entanto, Thorton (2002) afirma que nas etapas no ciclo de vida da matéria-prima básica dos revestimentos em PVC, quantidades de substâncias tóxicas são formadas e liberadas para o meio ambiente. Sendo a primeira etapa a produção do polímero, no qual há formação de subprodutos organoclorados perigosos com a produção do gás cloro, além de dioxinas e furanos, gerados na síntese do etileno dicloreto (*ethylene dichloride-EDC*) e do monovinil cloreto (*vinyl chloride monomer-VCM*), ambos precursores do PVC. Seguido da etapa de uso dos componentes de PVC, que podem liberar substâncias como dioxinas, metais pesados e COVs, e no final deste ciclo, durante a fase de descarte, este polímero pode liberar mais dioxinas e organoclorados tóxicos e persistentes para o meio ambiente.

Se na etapa de uso, os componentes de PVC forem flexíveis, como é o caso dos revestimentos vinílicos, há um problema em especial, que é a presença de ftalatos que liberam substâncias químicas tóxicas, quando em altas concentrações, e são bioacumulativos no organismo humano (como é analisado no capítulo 2.4.3). Isto, além das substâncias tóxicas que são emitidas pelos produtos utilizados para a aplicação destes revestimentos nos pisos.

No caso de reciclagem, deve-se considerar que os aditivos tóxicos dos primeiros produtos podem se dispersar para os novos produtos. Como é o caso de um produto pós consumo em PVC, formulado com estabilizante térmico à base de chumbo ou cádmio, ou mesmo retardante de chama halogenado - aditivos associados a problemas nos rins, fígado, desregulamento da tireoide; problemas reprodutivos, neuro-desenvolvimento e câncer, que depois de descartado é reciclado e utilizado na formulação de um novo revestimento vinílico (SENJEN, 2012).

Na análise de um inventário do ciclo de vida do revestimento vinílico de piso, mostra que o consumo de energia primária para a produção deste componente é 116 MJ (77% de energia elétrica e 23% de energia térmica a partir de óleo combustível) (JÖNSSON et al., 1997; BLANCHARD e REPPEB, 1998). Em um inventário de matérias-primas para a produção de pisos de vinil foi levantado que o peso específico do revestimento vinílico é de 1,3 kg /m² (JÖNSSON et al., 1997). Fórmula típica para o revestimento de vinilo foi considerado como 40% de PVC, 35% de calcário, 20% de plastificante e 5% de pigmentos (GÜNTHER e LANGOWSKI, 1997). Cloreto de

polivinila (PVC) é um dos principais constituintes do revestimento de vinil, e é produzido a partir de cloreto de sódio (NaCl) (57%) e óleo bruto (43%) (INSTITUTO DO PVC, 2015).

Na figura 32 pode ser observado um fluxograma, o qual é parte do estudo realizado por Jönsson et al. (1997) e que ilustra como é a avaliação do ciclo de vida de um revestimento vinílico de piso e suas etapas.

Figura 31: Exemplo de fluxograma de ACV de um piso vinílico
Fonte: JÖNSSON et al. (1997)

2.6.7. Algumas considerações

Apesar da reutilização dos resíduos pós-instalação e pós-uso de revestimentos vinílicos para a produção de novos revestimentos em PVC ser uma ideia sensata, em termos de sustentabilidade, na prática existem algumas questões que devem ser consideradas. A primeira delas reside no fato de que o PVC utilizado no composto contém diferentes aditivos que podem ser liberados no ar em forma de compostos orgânicos voláteis ou dioxinas, caso o processo da reciclagem deste polímero envolva aquecimento, e isto é tóxico ao meio ambiente e às pessoas. Da mesma maneira, deve-se ter atenção à dispersão de COV e dioxinas nos novos revestimentos que utilizarem o PVC reciclado em suas formulações.

Outra questão relaciona-se ao fato de não haver informação sobre os COV e suas concentrações nos rótulos das embalagens ou nas fichas técnicas de algumas linhas de revestimentos em PVC, enquanto que outras apresentam selo ambiental que descreve “livre de ftalatos”, como pôde ser observado na tabela 16. Um exemplo, é o revestimento da linha Paviflex (que tem uma das amostras analisadas nesta pesquisa), e em cuja formulação há aditivo plastificante natural à base de óleo de soja epoxidado, e que por isto o fabricante expõe na ficha técnica do produto o selo “livre de ftalatos”. Entretanto, este fato não representa a ausência de COV, como poderá ser confirmado no teste analítico com esta amostra.

Assim, pensando-se nos fatores de sustentabilidade social e ambiental dos pisos a base de PVC, pode-se considerar a importância de alguns itens, como:

- a) A aplicação de aditivos que cumpram os princípios da química verde, nestes produtos;
- b) Análise do ciclo de vida destes produtos; e
- c) A presença de selo ambiental na embalagem destes produtos, fornecido por instituto reconhecido que, de fato, verifique os baixos níveis de COV.

Tais procedimentos são reconhecidamente importantes no processo de produção de revestimentos vinílicos e adesivos de contato, para que estes produtos sejam fornecidos ao mercado com desempenho sustentável e atendam a um sistema de selos reconhecidos que abranja cada um dos fatores listados acima. Pois, desta forma, os profissionais sempre encontrarão subsídios para a especificação destes produtos que serão aplicados em seus projetos ou reformas de arquitetura. Da mesma maneira, os produtores e instaladores de revestimentos vinílicos ficariam devidamente informados sobre o nível de toxicidade dos produtos, com os quais eles têm contato diariamente.

2.7. Técnicas de amostragem e análise de COVs

Há quase duas décadas, a European Collaborative Action (ECA) anunciava que, em muitos casos, os dados de emissão de COVs obtidos por instrumentos de leitura direta eram insuficientes pela falta de detalhes dos compostos orgânicos voláteis individuais. Para suprir esta necessidade a mistura química passou a ser separada em seus constituintes por métodos mais avançados (ECA, 1991). De uma forma geral, estes métodos consistem nas fases de amostragem; pré-concentração de amostras; remoção de COVs a partir de amostra de ar para o dispositivo de análise; detecção e identificação de COVs (POSUDIN, 2008).

2.7.1. Microextração de fase sólida (SPME)

Segundo Koziel e Pawliszyn (2001) o método de SPME (solid phase microextraction) apresenta muitas vantagens sobre os métodos analíticos convencionais, através da combinação da amostragem, pré-combinação e transferência direta dos analitos dentro do cromatógrafo de gás. O SPME é basicamente uma seringa com capacidade de extrair os COVs de diferentes amostras, guardá-las de forma adequada e injetá-las no cromatógrafo a gás.

Na figura 34, pode-se observar como é o procedimento de extração de analitos voláteis das amostras de revestimento e como são injetados no cromatógrafo.

Inicialmente, a agulha do amostrador, no qual está retraída a fibra do SPME, é inserida por perfuração no septo do frasco de vidro, expondo a fibra dentro do headspace por 10 minutos, sem tocar a amostra concentrada no fundo do frasco. Terminado o tempo de extração, a fibra é novamente retraída, a agulha é retirada do septo e inserida 2 centímetros dentro do injetor do cromatógrafo gasoso, onde a fibra é exposta novamente para dessorção térmica. Terminada a dessorção, a fibra é retraída e a agulha retirada. Em seguida a agulha é vedada com um pedaço de septo, para evitar a sua contaminação.

Figura 32: Uso do amostrador de SPME para o processo de extração e de dessorção dos analitos voláteis para análise por cromatografia gasosa.

Fonte: VALENTE et al (2000).

2.7.1.1. Headspace (HS)

Segundo o CSIC (2012), a técnica de headspace é aplicável às análises diretas de contaminantes voláteis em amostras sólidas ou líquidas. O seu fundamento consiste em analisar uma alíquota da atmosfera que está em contato com a amostra, com o propósito de determinar a fração vaporizada dos componentes que ficam em equilíbrio com a amostra. O headspace é conformado por um sistema de extração, que deve ser capaz de injetar no cromatógrafo a alíquota de vapor gerado pela amostra dentro do recipiente.

2.7.2. Cromatografia em fase gasosa

A cromatografia engloba todo um conjunto de técnicas de separações dinâmicas que têm em comum a distribuição de analitos entre duas fases (uma móvel e outra estacionária) com uma ampla superfície de contato. Esta técnica consiste na separação dos componentes de uma mistura complexa devido à diferença de afinidade entre estas duas fases. A fase móvel pode ser um gás ou um líquido e é nela que se encontra a mistura de compostos a analisar. A fase estacionária pode ser um sólido ou líquido, mas sempre imiscível com a fase móvel (MELO, 2007).

De acordo com o autor, o processo consiste em fazer fluir a fase móvel em contato com a fase estacionária, de maneira que os compostos presentes na mistura interajam de forma diferenciada com ambas as fases. Os compostos com maior interação com a fase estacionária tendem a permanecer mais tempo em contato com esta fase e demoram mais tempo para fazer a corrida junto com a fase móvel. Da mesma forma, os compostos que têm interação fraca com a fase estacionária demoram menos tempo para chegarem ao final da corrida.

Definição semelhante é dada por Souza et al. (2010), ao afirmar que a cromatografia em fase gasosa é um método analítico para a separação de misturas, no qual a fase móvel é constituída pelo gás de arraste e a fase estacionária está localizada dentro da coluna cromatográfica. Quando o gás de arraste passa pela coluna cromatográfica, ou seja, quando a fase móvel passa sobre a fase estacionária, as interações intermoleculares atraem moléculas para a fase estacionária, provocando a separação de partículas. Sendo que, a estrutura química do composto e a temperatura da coluna são fatores que afetam a separação.

2.7.2.1. Injetor cromatográfico

O injetor é a parte do cromatógrafo a gás onde a amostra é introduzida, tendo a função de vaporizar esta amostra, misturar o vapor da amostra com a fase móvel (gás de arraste) e transferir esta mistura gasosa para dentro da coluna. Pois, segundo Grande (2012), o injetor tem a função específica de introduzir a amostra dentro da fase móvel

sem haver a dispersão desta amostra; vaporizar todos os solutos instantaneamente sem decomposição térmica; evitar a difusão de componentes da amostra na fase móvel; evitar a contaminação e consequente perda da amostra.

2.7.2.2. Gás de arraste

Consiste na parte móvel do cromatógrafo a gás, em que a amostra vaporizada é carregada por ele através da coluna, por isto o seu nome. Segundo Grande (2012) o gás de arraste não deve reagir com a amostra na fase estacionária ou com a superfície do instrumento e não apresentar impurezas que possam degradar a fase estacionária. Souza et al (2010) recomendam que o fluxo e a pressão sejam controlados.

2.7.2.3. Coluna cromatográfica

A coluna cromatográfica é um tubo longo, contendo a fase estacionária. Este tubo pode ser de cobre, aço inoxidável, alumínio, vidro, e qualquer outro material que não tenha interação com as substâncias presentes na amostra. As colunas podem ser classificadas em recheadas (analíticas e preparativas) e capilares. Geralmente, são em espiral, para que ocupem um espaço menor, e seus comprimentos e diâmetros internos dependem dos propósitos da análise. Da mesma forma, o volume da amostra injetado em uma coluna dependerá do tipo de amostra a ser analisada e das dimensões da coluna (COLLINS, BRAGA e BONATO, 2006). A figura 35 mostra um exemplo de coluna cromatográfica e a figura 36 mostra como acontece o fluxo de gás de arraste dos analitos dentre dela.

Figura 33: Vista de uma coluna cromatográfica a gás.

Fonte: TISSUE, Bryan (2015).

Figura 34: Fluxo de gás (fase móvel) conduzindo analitos pela fase estacionária na coluna cromatográfica e separação da mistura.

Fonte: PUCRS (2015).

2.7.2.4. Controle de temperatura da coluna, injetor e detector

Durante uma análise, esses fatores necessitam ser controlados, pois na maioria das vezes o injetor deve ser aquecido a uma temperatura alta para que haja a vaporização total da amostra, porém suficiente baixa para que não haja decomposição térmica da amostra injetada. A temperatura da coluna também deve ser controlada, de maneira que se mantenha constante durante a análise ou seja variada, no caso de programações. Este tipo de controle deve ser rigoroso e repetitivo para que não haja alterações nos tempos de retenção durante as análises (COLLINS, BRAGA e BONATO, 2006).

2.7.3. Espectrômetro de massas

Consiste em uma técnica analítica usada para identificar compostos desconhecidos, quantificar materiais conhecidos e elucidar as propriedades químicas e estruturais das moléculas. Ela diz respeito à formação e manipulação (ou controle) das trajetórias de íons gasosos e detecção dos mesmos. Átomos gasosos e moléculas são de difícil controle no laboratório e somente suas pressões podem ser variadas facilmente. No entanto, uma vez que átomos e moléculas são ionizados, os íons produzidos podem ser controlados rapidamente por campos magnéticos e/ ou elétricos, onde ambos são mantidos constantes ou variados rapidamente. A partícula carregada responde de forma rápida e precisa aos campos (AZEVEDO, 2004).

Tendo o espectrograma de massas dos íons produzidos do referente composto pode-se determinar sua estrutura que foi fragmentada. Os espectrômetros de massas são dotados de uma espectroteca (biblioteca) de dados que armazena dezenas de milhares de espectros de massas já determinados (LANÇAS, 1983). Uma busca nesta espectroteca e comparação com os picos encontrados nas amostras de interesse podem identificar o composto ou sugerir “estruturas semelhantes”. As intensidades dos picos são proporcionais ao número de íons de cada massa (SILVERSTEIN e WEBSTER, 2000).

Quanto aos dados, pode-se trabalhar com duas formas de aquisição na espectrometria de massas, modo de varredura (SCAN) ou modo de monitoramento

de íons selecionados (SIM). O modo SCAN apresenta todos os íons detectáveis na amostra e permite que seja feita a comparação com compostos registrados na espectroteca instalada, permitindo identificar compostos orgânicos presentes no material analisado. O modo SIM de aquisição não permite a comparação do composto identificado com padrões da espectroteca disponível, pois reconhece o composto identificando e apenas os íons selecionados para serem averiguados (íons que fornecem o pico base e/ou picos principais). Essa é uma forma de aquisição que apresenta maior seletividade permitindo um aumento na sensibilidade da análise (MELO, 2007).

2.7.3.1. Detectores

Os detectores indicam e quantificam os componentes separados pela coluna cromatográfica. Eles podem responder à todas as substâncias, geralmente medindo a variação da composição do gás de arraste que sai da coluna, ou apenas à uma classe de substâncias ou uma substância. De acordo com o princípio de operação, os detectores podem ser sensíveis à velocidade do fluxo de massa, com resposta independente da vazão da fase móvel (COLLINS, BRAGA e BONATO, 2006).

Segundo Ewing (2002), pode haver ruídos, que consistem em desvios e oscilações na linha de base (sinal do detector quando só passa o gás de arraste), causados por problemas eletrônicos, impurezas e sujeiras nos gases do detector; pode haver quantidade de amostra mínima para gerar um sinal duas vezes mais intenso que o ruído; como também pode haver razão entre a maior e a menor concentração da amostra, no qual a resposta do detector é linear.

O sinal gerado pelo detector, quando a amostra passa por ele, após eluir da coluna, é registrado graficamente. O processamento dos sinais é feito em microcomputadores acoplados ao detector. Esses sistemas fornecem os cromatogramas, registram os tempos de retenção e as áreas, ou alturas de cada pico e efetuam os cálculos de concentração (COLLINS, BRAGA e BONATO, 2006, p.231). As figuras 37 e 38 demonstram o que é um cromatograma esquematicamente.

Os principais detectores usados em cromatografia a gás são o detector por condutividade térmica, detector por ionização de chama, detector por captura de elétrons e detector espectrométrico de massas (GRANDE, 2012).

2.7.4. Cromatógrafo a gás acoplado à espectrômetro de massas

A união entre cromatógrafo a gás e espectrômetro de massas (GC/MS), assim como o uso destes equipamentos separados, dispõe de uma sofisticada arquitetura eletrônica que através de controladores, mantém constantes as condições de processo e asseguram que a identificação e quantificação dos compostos sejam corretas. A utilização acoplada destes equipamentos é possível mediante uma conexão entre os aparatos denominada interface. Esta interface tem a função de assegurar que os compostos que saem já separados do cromatógrafo cheguem em seu estado gasoso até o espectrômetro de massas (MELO, 2007). A figura 39 mostra todo o sistema.

Figura 39: Diagrama de um sistema de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas.

Fonte: GRANDE (2012).

Legenda:

1. Reservatório de gás e controle de vazão/ pressão
2. Injetor (vaporizador) da amostra
3. Coluna cromatográfica e forno da coluna
4. Detector (espectrômetro de massas)
5. Eletrônica de tratamento (amplificação) de sinal
6. Registro de sinal / cromatograma (computador)

2.7.5. Análise qualitativa

Neste tipo de análise é feita a identificação de cada amostra, a partir da separação das substâncias presentes nelas, em que se compara o tempo de retenção da amostra com o tempo de retenção de um padrão analítico. Estima-se que se um composto conhecido tem o mesmo tempo de retenção que um dado composto da amostra, pode tratar-se da mesma substância, embora isto não seja conclusivo, porque dois compostos diferentes podem ter o mesmo tempo de retenção em determinadas condições de análise. Por isto, estes tempos devem ser ajustados (COLLINS, BRAGA e BONATO, 2006).

2.7.6. Análise quantitativa

Em uma análise quantitativa a amostra a ser analisada deve ser representativa do total e não deve haver perdas e nem contaminações durante o preparo. Depois que o cromatograma é obtido, faz-se a integração dos sinais, que tem por finalidade transformar a intensidade do sinal emitido pelo detector em uma medida relacionada com a quantidade da substância analisada da amostra. Geralmente, a integração dos sinais é feita através de sistemas eletrônicos, no qual os sinais provenientes do detector são digitalizados e armazenados, permitindo obter-se tempos de retenção, áreas e alturas dos picos (COLLINS, BRAGA e BONATO, 2006).

2.7.7. Análise termogravimétrica

A análise termogravimétrica, também conhecida como *thermogravimetric analysis* (TGA), é uma técnica da análise térmica, na qual a variação da massa de uma amostra é determinada em função da temperatura e/ou do tempo, enquanto a amostra é submetida a uma programação controlada de temperatura. Esta técnica possibilita conhecer as alterações que o aquecimento pode provocar na massa das substâncias, permitindo estabelecer a faixa de temperatura em que elas adquirem composição química (fixa, definida e constante), a temperatura em que começam a se decompor, acompanhar o andamento das reações de desidratação, oxidação, combustão, decomposição, entre outros (SILVA, 2008).

O equipamento de análise termogravimétrica é composto basicamente pela termobalança. A termobalança é um equipamento que permite a pesagem contínua de uma amostra em função da temperatura, ou seja, à medida que ela é aquecida ou resfriada. Os principais componentes de uma termobalança são: balança registradora, forno, suporte de amostra, sensor de temperatura, programador de temperatura do forno, sistema registrador e controlador de atmosfera do forno (DENARI e CAVALHEIRO, 2012).

A termobalança deve permitir o trabalho sob as mais variadas condições experimentais (diferentes atmosferas gasosas, massas de amostra, variadas razões de aquecimento, entre outros). As curvas geradas fornecem informações quanto à estabilidade térmica da amostra, à composição e à estabilidade dos compostos intermediários e do produto final. Durante os processos térmicos, a amostra deve liberar um produto volátil devido aos processos físicos-químicos, tais como desidratação, vaporização, redução, entre outros; ou deve interagir com o gás da atmosfera atuante no interior do forno e resultar em processos que envolvem ganhos de massa, como absorção e oxidação (SILVA, 2008).

2.7.7.1. Forno

Atualmente os fabricantes disponibilizam uma ampla variedade de fornos e cada um destes equipamentos opera em uma faixa específica de temperatura entre 170 °C e 2800 °C. A determinação da faixa em que o forno pode atuar é feita pelos materiais constituintes do aquecimento e dos demais componentes. O limite de operação depende do projeto do forno, do isolamento e atmosfera circundante. Por causa da complexidade do projeto e do alto custo dos componentes, os fornos para altas temperaturas são, geralmente, mais caros (MACHADO, 2008).

2.7.7.2. Balança registradora

A balança é um instrumento que permite medidas contínuas da massa da amostra enquanto a temperatura e/ou o tempo mudam. As balanças eletromagnéticas modernas sofrem pequena influência da vibração, tem alta sensibilidade, e pequena flutuação térmica. Pertencem à uma classe de balanças originárias da eletrobalança

de Cahn (MACHADO, 2008). Estas balanças operam continuamente em equilíbrio, pois os eventuais deslocamentos do travessão são detectados por um arranjo (feixe luminoso – anteparo – fotoválvula) e o equilíbrio restabelecido através da força de um motor de torque magnético (DENARI e CAVALHEIRO, 2012).

2.7.7.3. Suporte de amostra

O suporte deve ser escolhido de acordo com a amostra e a temperatura máxima em que ela deverá ser aquecida. Os materiais que costumam ser utilizados na construção de suportes de amostra são: platina, tungstênio, níquel, alumínio, quartzo, alumina, grafite, entre outros (DENARI e CAVALHEIRO, 2012). Este componente sustenta os cadinhos (figura 40 a), que dependendo da temperatura máxima de exposição, natureza química da amostra, e características da análise, são confeccionados com alguns materiais utilizados no suporte, como platina, quartzo ou alumina, e até mesmo, vidro ou cerâmica (MACHADO, 2008).

(a)

(b)

(c)

Figura 40: (a) Detalhe do equipamento TGA, modelo SDT Q600 - composto de forno, balança e sensores. (b) detalhe dos suportes das amostras. (c) Detalhe dos cadinhos.

Fonte: TA INSTRUMENTS (2015).

2.7.7.4. Sensor de temperatura

A temperatura do forno e/ou da amostra são determinados por meio de um par termoeletrico (termopares), ou, mais raramente através de um termômetro de resistência. A localização do sensor de temperatura é crítica e deve estar o mais próximo possível da amostra (GIOLITO, 2004).

O termopar é um dispositivo constituído de dois condutores elétricos tendo duas junções, uma em ponto cuja temperatura deve ser medida, e outra à uma temperatura conhecida. A temperatura entre as duas junções é determinada pelas características do material e o potencial elétrico estabelecido. No procedimento analítico, o termopar deve estar posicionado próximo a amostra ou na amostra, mas o local mais utilizado é o compartimento do forno, por não proporcionar interferências no mecanismo da balança (MACHADO, 2008).

2.7.7.5. Programador de temperatura do forno

Este componente da termobalança controla a taxa de aquecimento do forno, em geral na faixa de 1 a 50°C/min. Pois esta variação de temperatura deve ser diretamente proporcional ao tempo para as várias faixas de temperaturas diferentes.

2.7.7.6. Sistema registrador e controle de atmosfera do forno

Atualmente, os sistemas de registro são utilizados através de computadores. Os instrumentos atuais permitem controlar a atmosfera que circunda a amostra, permitindo que se trabalhe com atmosferas estáticas ou dinâmicas a pressão ambiente ou sob pressão reduzida (GIOLITO, 2004).

2.7.8. Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR)

Na espectroscopia de absorção do infravermelho com transformada de Fourier as vibrações dos átomos acontecem em valores específicos de frequência, característicos dos grupos funcionais que constituem a espécie química. Alterações na intensidade e/ou deslocamento nas bandas de absorção também são bastante

úteis na compreensão dos efeitos de interação dos compostos com outras substâncias ou mesmo com seu ambiente (SILVA, 2008).

A passagem da radiação por uma amostra submete-a a uma faixa larga de energias, cuja análise dá origem ao espectro completo de infravermelho da amostra. Como neste tipo de transformação não se usa monocromadores, a totalidade da faixa da radiação passa simultaneamente pela amostra com enorme ganho de tempo, e isto permite resoluções extremamente altas (menor ou igual a $0,001\text{ cm}^{-1}$ (PAVIA, LAMPMAN, KRIZ, 2001; SILVERSTEIN, WEBSTER, 2000).

Figura 41: Detalhe do espectroscópio de infravermelho para identificação dos COVs liberados nas análises. Modelo Thermo Scientific Nicolet iS10 FTIR

Fonte: Ficha técnica da TA Instruments (2010).

Figura 42: Diagrama de um sistema para análises termogravimétricas.

Fonte: DENARI e CAVALHEIRO (2012).

Capítulo 3

Metodologia de pesquisa

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

3.1. Pesquisa bibliográfica

O objetivo desta ferramenta metodológica é verificar o estado da arte a respeito de assuntos que contribuem para o desenvolvimento da pesquisa. Em razão disto, esta etapa que diz respeito à revisão de literatura foi desenvolvida a partir da análise de outras pesquisas publicadas em fontes secundárias como artigos científicos, dissertações, teses, manuais e guias técnicos, cujos propósitos são semelhantes ao da presente pesquisa.

No início desta revisão, foram levantados conceitos e aspectos gerais relativos à sustentabilidade na construção e arquitetura; à qualidade do ar interno no Brasil, no mundo e no interior das edificações; seguido dos limites de exposição máxima para contaminantes no ar, segundo normas internacionais. Além da abordagem das peculiaridades dos revestimentos vinílicos no ambiente construído e em projetos arquitetônicos no Brasil e no mundo.

Além disso, fez-se a conceituação das emissões de compostos orgânicos voláteis, por materiais de construção em geral e revestimentos em PVC, em relação às variáveis climáticas; depois foram analisadas as medidas de controle de COVs e também os efeitos na saúde humana pelas emissões destas substâncias. Por fim, fez-se a conceituação das técnicas analíticas utilizadas para a realização dos testes.

A partir da pesquisa bibliográfica, pôde-se constatar que, praticamente, não existem outros trabalhos científicos que reúnam, ao mesmo tempo, temas como revestimentos poliméricos, compostos orgânicos voláteis, qualidade do ar interno e sustentabilidade na Arquitetura, no mundo. Pois, além da complexidade que envolve conhecer bem cada um destes temas, compreende-se que aqueles relacionados aos COV e QAI, geralmente, são investigados por químicos, engenheiros químicos e engenheiros ambientais, que não conduzem suas descobertas para o campo da Arquitetura.

Por sua vez, os arquitetos desconhecem o tema COV, ou têm conhecimento escasso sobre o tema QAI, e, assim, não os exploram em suas pesquisas de sustentabilidade.

Assim, devido à estas questões e pela necessidade de se compreender estes assuntos, dado o caráter exploratório da presente pesquisa, a etapa de levantamento bibliográfico, assim como as demais etapas, é de fundamental importância.

3.2. Métodos de análise e identificação de COV

A presente etapa corresponde a uma sequência de ações previamente definidas para a verificação qualitativa e quantitativa de compostos orgânicos voláteis presentes nas amostras dos revestimentos vinílicos selecionados. O resultado final deste processo consiste em identificar tais COV; verificar quais os riscos que estas substâncias oferecem à saúde humana e os limites de exposição máxima de cada uma delas; e quantificar as concentrações de alguns compostos orgânicos, considerados mais nocivos, nestas amostras.

Portanto, a metodologia adotada para este processo de investigação foi dividida em duas técnicas analíticas, sendo:

- a) Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas, com coleta das amostras por headspace e microextração de fase sólida (HS-SPME/GC-MS) e;
- b) Termogravimetria acoplada à espectroscopia de infravermelho (TG-FTIR).

Os experimentos e análises a partir das duas técnicas foram realizados, respectivamente, no Laboratório de Cromatografia e no Laboratório de Química Analítica, Análise Térmica e Eletro-analítica, localizados no Instituto de Química da Universidade de São Paulo, campus de São Carlos.

A figura 42 demonstra através de um fluxograma como são as etapas de um método de análise cromatográfica para identificação e quantificação de compostos orgânicos voláteis em amostras.

Figura 43: Fluxograma das etapas de análise cromatográfica para identificação e quantificação de COV em amostras.

3.2.1. Experimento de laboratório: cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas - primeira fase de determinação de COV

Este experimento tem como objetivo combinar duas técnicas para que sejam identificados compostos orgânicos distintos em amostras de revestimento vinílico e adesivos de contato, a partir de condições cromatográficas definidas. Combinando

essas duas técnicas é possível fazer-se uma análise precisa dos potenciais contaminantes de cada uma das amostras, em temperaturas ambientes.

3.2.1.1. Normas de referência

As normas que serviram como base para a realização dos testes em GC-MS foi a ASTM D6420-99(2004) – Padrão de Método Teste para Determinação COV por interface direta entre Cromatografia Gasosa e Espectrometria de Massas.

ABNT NBR ISO/IEC 17025 – Escopo da acreditação – Ensaio - Determinação de Compostos Orgânicos Voláteis pelo método da Espectrometria de Massa Acoplado à Cromatografia Gasosa com Injeção por Head Space.

3.2.1.2. Termos e definições

- a) **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.
- b) **Headspace (HS):** é o espaço de ar dentro do frasco de amostragem e que não é ocupado pela amostra sólida.
- c) **Analitos:** moléculas dos compostos orgânicos voláteis, a serem analisadas.
- d) **Amostrador:** uma espécie de seringa, dentro do qual passa uma fibra do tipo polidimetilsiloxano (PDMS) para micro extração e fase sólida SPME,
- e) **Dessorção térmica:** é uma tecnologia que envolve energia térmica, utiliza calor para aquecimento da amostra, aumentando a volatilidade dos contaminantes de maneira que estes possam ser removidos (separados) da matriz sólida onde se encontram.
- f) **Injetor no modo Splitless:** toda a amostra vaporizada contida nele é transferida para o interior da coluna, em um tempo pré-determinado de 0,5 a 1 minuto.

3.2.1.3. Elementos materiais

a) Caracterização das amostras

As características das amostras que foram coletadas de revestimentos vinílicos de piso e de parede, para esta etapa dos experimentos, são destacadas na tabela 22, levando em consideração suas empresas-fabricantes, suas dimensões e dados de selo ambiental (com os quais são comercializados) e suas composições.

Tabela 20: Caracterização das amostras que foram analisadas nas 2 fases de testes (GC-MS).

Amostra	Tipo de produto	Fabricante	Dados técnicos (Dimensões)	Composição	Selo (Ambiental)	Fase de testes
1	Linha Paviflex	Tarkett Fadamac	Área (mm) - 300 x 300 Espessura - 3,2 mm Formato - placa	Aditivo plastificante a base de óleo epoxidado de soja, resina de PVC, carga mineral, pigmentos e é isento de amianto em sua formulação.	100 % reciclável 88% natural 3,8% renovável	Primeira
2	Linha Essence	Tarkett Fadamac	Área (mm) - 184 x 950 Espessura - 2 mm Formato - régua	Aditivo plastificante a base de óleo epoxidado de linhaça, resina de PVC, carga mineral, pigmentos e manta de fibra de vidro.	100 % reciclável 15% cont. reciclado 68,3% natural 6% renovável	Primeira Segunda
3	Linha Ambianta	Tarkett Fadamac	Área (mm) - 184 x 950 Espessura - 3 mm Formato - régua	Aditivo plastificante a base de óleo epoxidado de linhaça, resina de PVC, carga mineral, pigmentos, sem amianto.	100 % reciclável 19% conteúdo rec. 60% natural 5,4% renovável	Primeira Segunda
4	Linha Sable	ePiso	Área (mm) - 152 x 914 Espessura - 2 mm Formato - régua	Resina de PVC, carga de fibra de madeira e aditivos	100 % reciclável Eco Friendly ISO 9001 e 14001	Primeira
5	Linha Blonde	ePiso	Área (mm) - 152 x 914 Espessura - 2 mm Formato - régua	Resina de PVC, carga de fibra de madeira e aditivos.	100 % reciclável Eco Friendly ISO 9001 e 14001	Primeira
6	Linha BlocksLite	ePiso	Área (mm) - 152 x 914 Espessura - 2 mm Referência	Resina de PVC, carga de fibra de madeira e aditivos.	100 % reciclável Eco Friendly ISO 9001 e 14001	Primeira
7	Linha Harmonia Flora	Bobinex	Área (mm) - 1000 x 520 Espessura - 1 mm Referência 9115	Papel duplex com camada superficial de PVC.		Primeira
8	Linha Harmonia Palha	Bobinex	Área (mm) - 1000 x 520 Espessura - 1 mm Referência 9073	Papel duplex com camada superficial de PVC.		Primeira
9	Linha Harmonia Floral	Bobinex	Área (mm) - 1000 x 520 Espessura - 1 mm Referência 9148	Papel duplex com camada superficial de PVC.		Primeira
10	Linha Harmonia Bege	Bobinex	Área (mm) - 1000 x 520 Espessura - 1 mm Referência 9027	Papel duplex c/ camada superficial de PVC.		Primeira
11	Linha Loft	Duraflor	Área (mm) - 1220 x 200 Espessura - 3 mm Formato - régua	Camadas de PVC, pigmentos e manta de fibra de vidro.	Certificação FSC ISO 9001 e 14001	Segunda

Fonte: Catálogos técnicos das marcas Tarkett Fadamac, ePiso, Bobinex e Maxi Rubber (2015).

Tabela 20 (continuação)

Amostra	Tipo de produto	Fabricante	Dados técnicos (Dimensões)	Composição	Selo (Ambiental)	Fase de testes
12	Linha Absolute	Tarkett Fadamac	Área (mm) - 2000 x 2000 Espessura - 3 mm Formato - manta	Resina de PVC, manta de fibra de vidro, plastificante, pigmentos e cargas minerais.	100 % reciclável 2,5% conteúdo rec. 24,2% natural ISO 9001 e 14001	Segunda
13	Cola Globalfix	Tarkett Fadamac	Líquido viscoso branco formulado p/ pisos vinílicos. Rendimento de 300 g/m². Tempo de cura 20 à 40 minutos. Resistência térmica de 60°C.	Resina acrílica, resina natural, agentes tensoativos, carga mineral micronizada, preservante e água.		Segunda
14	Cola Universal	Maxi Rubber	Líquido viscoso à base de solvente	20% de borracha, 55% de tolueno e 25% solvente de borracha		Primeira

Fonte: Catálogos técnicos das marcas Tarkett Fadamac, ePiso, Bobinex e Maxi Rubber (2015).

No caso das amostras de revestimento de parede possuem propriedade como: durabilidade, fácil limpeza, boa adesão às diversas superfícies lisas ou curvas e alta resistência às intempéries e aos raios ultravioletas.

As texturas dos revestimentos de piso e parede, e as colas (cujas amostras foram relacionadas na tabela 22) são ilustrados nas figuras 44, 45, 46, 47, 48, 49 e 50.

Paviflex

Essence

Ambientsa

Figura 44: Texturas das amostras de piso da Tarkett, analisadas na 1ª fase de testes.

Fonte: Catálogo institucional da Tarkett (2014).

Sable

Blonde

BlocksLite

Figura 45: Texturas das amostras de piso da ePiso, analisadas na 1ª fase de testes.

Fonte: Folder comercial da ePiso (2015).

Figura 46: Selos e certificados ambientais dos pisos da marca ePiso.

Fonte: Folder comercial da ePiso (2015).

Harmonia - Flora
Refer. 9115

Harmonia – palha
Refer. 9073

Harmonia - Floral
Refer. 9148

Harmonia - bege
Refer. 9027

Figura 47: Texturas das amostras de revest. parede – Bobinex, analisadas na 1ª fase de testes.

Fonte: Bobinex Papel de Parede (2015).

Loft (Durafloor)

Absolute (Tarkett)

Figura 48: Texturas da amostra do piso Durafloor e da amostra do piso Absolute, analisadas na 2ª fase de testes.

Fonte: Folders Duratex e Tarkett (2015).

Figura 49: Adesivo de contato Globalfix.

Fonte: Tarkett (2015).

Figura 50: Adesivo de contato Maxi Rubber.

Fonte: Maxi Rubber (2015).

b) Caracterização dos equipamentos usados

Os experimentos foram conduzidos utilizando-se um cromatógrafo a gás da marca Shimadzu, modelo GC-17A, acoplado a espectrômetro de massas, Shimadzu, modelo QP5050A, conforme ilustrado na figura 48. A coluna cromatográfica é do tipo capilar, DB -5 (5% fenil, 95% polidimetilsiloxano), com dimensões de 25 metros de comprimento x 0,25 milímetros de diâmetro interno x 0,25 µm de espessura do filme da fase estacionária.

As amostras de COVs foram coletadas através de um amostrador de SPME da marca Sigma-Aldrich utilizando fibra do tipo polidimetilsiloxano (de acordo com a figura 49) em headspace de frascos de amostragem de 10 mililitros com tampas de septo, (conforme a figura 50). Para a pesagem das amostras foi utilizada a balança eletrônica digital, modelo EQQ 410, com 4 dígitos de precisão e visor de cristal líquido, da marca Insight Equipamentos, no Laboratório de Construção Civil do Instituto de Arquitetura e Urbanismo, da USP – EESC, (de acordo com a figura 51).

Figura 51: 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).

Figura 52: Detalhe do amostrador de SPME e das fibras.

Fonte: Sigma Aldrich (2015).

Figura 53: Frascos de amostragem de 10 ml com tampa de septo.

Fonte: GUÍO (2013)

Figura 54: Modelo de balança eletrônica digital EQQ 410.

Fonte: Insight Equipamentos (2014)

3.2.1.4. Procedimentos

No procedimento laboratorial, houve uma primeira etapa de estudos, pois antes de iniciar os experimentos era necessário saber quais seriam as condições cromatográficas para as amostras dos revestimentos escolhidos. Em seguida foram estabelecidos os grupos de amostras de revestimentos vinílicos de pisos e parede, e adesivos de contato, os quais seriam testados (conforme ilustrado nas figuras 43, 44, 46 e 49). Os demais passos do procedimento foram condicionados pela preparação das amostras, corrida cromatográfica e avaliação dos resultados.

- **Passo1: Definição das condições cromatográficas**

As medidas adotadas para o experimento de HS-SPME/GC-MS foram:

- a) Tipo de fibra (microextração - fase sólida): 100% Polydimetylsiloxano (PDMS);
- b) Gás de arraste do cromatógrafo: hélio (pureza de 99,995%);
- c) Coluna DB-5 (5% fenil; 95% polidimetilsiloxano), comprimento = 25 m, diâmetro interno = 0,25 mm e espessura de filme da fase estacionária de 0,25 µm;
- d) Frasco de amostragem: vidro com capacidade de 10 mililitros com tampas de septo, específicas para a SPME;

Programação da rampa de aquecimento da coluna cromatográfica:

- a) Temperatura inicial: 35°C (temperatura mantida por 5 minutos);
- b) Taxa de aquecimento: 10°C/minuto;
- c) Temperatura final: 260°C;

- d) Tempo de corrida: 27 minutos;
- e) Injetor operando no modo Splitless por 1 minuto;
- f) Tempo médio de exposição da fibra SPME no headspace: 10 minutos;
- g) Tempo de extração *dos analitos* no injetor: 10 minutos

- **Passo 2: Elaboração das amostras**

Nesta etapa dos procedimentos, foi selecionado um primeiro grupo de amostras, composto por pedaços de revestimentos de piso e parede (cortados em pequenas partes), e por porções de cola. Cada uma destas amostras, pesando 20 miligramas, foi inserida em frascos de amostragem de 10 mililitros para os procedimentos de extração pela técnica de SPME. O fechamento dos frascos ocorreu sob condições de temperatura e umidade controladas da sala.

- **Passo 3: Corrida cromatográfica**

Depois da adequação do cromatógrafo nas condições estabelecidas no passo 1 e após serem elaboradas as amostras como descreve o passo 2, os COV foram extraídos dos frascos e absorvidos pela fibra de SPME, a qual foi levada até o injetor do cromatógrafo a gás (GC-MS) que se encontrava em uma alta temperatura (270°C), para que houvesse a dessorção térmica dos COV retidos nesta fibra. Em seguida iniciou-se a análise cromatográfica com os COV sendo carregados para dentro da coluna cromatográfica DB-5 (5% fenil, 95% polidimetilsiloxano) pelo gás hélio. Para que ocorra a separação é necessário que haja uma migração diferencial dos compostos pela coluna, sendo que aqueles menos retidos na fase estacionária eluem primeiro, enquanto que os compostos que possuem maior afinidade pela coluna, eluem em tempos de retenção progressivamente maiores.

Os experimentos de GC-MS foram realizados no modo de varredura (SCAN), com o objetivo de detectar e identificar a maior quantidade de COV que são emitidos das

amostras dos revestimentos vinílicos e das colas. 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 de cada analito foi de similaridade espectral igual ou superior a 95% quando comparado com o espectro da biblioteca de dados disponível no software do equipamento *National Institute of Standards and Technology* (NIST). Para a análise quantitativa utilizou-se o modo SIM devido à sua maior detectabilidade, monitorando-se o íon-fragmento com maior intensidade de cada COV analisado.

3.2.1.5. Critérios de avaliação e classificação dos resultados

O critério principal de avaliação dos COV encontrados nos experimentos aconteceu através da verificação do limite máximo permissível de exposição aos produtos químicos, com base em normas estabelecidas por organizações reguladoras internacionais, abordadas no item 2.2.5.2, e através da análise do grau de toxicidade das substâncias e seus efeitos na saúde humana, abordados no item 2.4.1. Além destes fatores, outro critério foi a verificação e análise de COV em pesquisas internacionais que abordam sobre as substâncias químicas encontradas em revestimentos de PVC, ou então, cujos resultados revelaram anteriormente a presença de alguns dos COV encontrados na presente pesquisa.

3.2.2. Experimento de laboratório: cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas - segunda fase de determinação de COV

3.2.2.1. Elementos materiais

A partir da mesma norma ASTM D6420-99(2004) utilizada na primeira fase dos experimentos e empregando as mesmas técnicas de GC-MS/HS-SPME, fez-se análise das emissões químicas das amostras nesta segunda fase de experimentos, igualmente em temperatura ambiente.

a) Caracterização e procedência das amostras

As amostras dos revestimentos vinílicos de piso, selecionados para esta etapa de experimentos, pertencem à linha Loft, da marca Durafloor, fornecida por empresa da cidade de São Carlos; à linha Absolute (instalada no Centro de Produção Digital do IAU-USP) da marca Tarkett (ambas ilustradas na figura 48); e às linhas Essence e Ambianta, também utilizadas na primeira etapa de experimentos (ambas ilustradas na figura 44).

b) Caracterização dos equipamentos usados

Nesta fase de experimentos foram novamente utilizados o amostrador de SPME da Sigma-Aldrich com fibra - Polydimethylsiloxano; cromatógrafo a gás – Shimadzu GC-17A/ espectrômetro de massas QP5050A. Entretanto, os padrões de *headspace* foram alterados, no qual passou-se a usar frascos de vidro de 3000 mililitros com tampas de septo no lugar de frascos de vidro de 10 mililitros, para as concentrações dos analitos, como pode ser observado na figura 55. As amostras continuaram a ser pesadas na balança eletrônica digital EQQ 410 da Insight Equipamentos.

Figura 55: Diferença entre volumes dos frascos de vidro de 10 e 3000 mL.

Fonte: Imagem do próprio autor (2016).

3.2.2.2. Procedimento

- **Passo 1: Definição das condições cromatográficas**

Sendo adotadas as mesmas condições cromatográficas - tipo de fibra, gás de arraste e tipo de coluna - para utilização no cromatógrafo a gás, e com alterações no padrão de headspace e volume dos frascos de amostragem, foi estabelecido que a programação da rampa de aquecimento da coluna cromatográfica, seria a seguinte:

- a) Temperatura inicial: 35°C (temperatura mantida por 5 minutos)
- b) Taxa de aquecimento: 8°C/minuto
- c) Temperatura final: 280°C
- d) Tempo de corrida: 35 minutos
- e) Injetor operando no modo Splitless por 1 minuto;
- f) Tempo de extração *dos analitos* no injetor: 1 minuto
- g) Tempo médio de exposição da fibra SPME no headspace: variada (conforme descrito no passo 2).

- **Passo 2: Elaboração das amostras**

Nesta etapa, cada uma das amostras de revestimento de piso foi cortada com seção circular de 14 cm de diâmetro, pesando aproximadamente 1200 mg, e fixada com adesivo de contato Globalfix sobre camada de concreto leve seco, preparada três dias antes e aplicada na base interna do frasco de 3000 ml. O fechamento de cada frasco ocorreu sob condições de temperatura e umidade controladas da sala. Este processo pode ser observado na figura 56.

Figura 56: Sequência da preparação de uma amostra na base interna de um frasco de 300 ml: (a) preparação do concreto dentro do frasco, (b) aplicação do adesivo de contato, (c) assentamento do adesivo e (d) aplicação do revestimento vinílico.

Fonte: Laboratório de construção civil, Instituto Arquitetura e Urbanismo-USP, S. Carlos, 2015.

Em seguida, a fibra foi inserida na tampa de septo e exposta ao ar dentro do frasco de vidro por um tempo que variou conforme a volatilidade dos compostos orgânicos presentes, sendo que para os analitos mais voláteis, o tempo de extração foi menor que para os analitos menos voláteis. Na figura 57 está ilustrado este procedimento.

Para fazer a análise quantitativa dos COV, os padrões analíticos de pureza mínima de 99% foram submetidos ao mesmo procedimento de extração das amostras de piso, ou seja, padrões preparados em solvente hexano com concentração conhecida foram adicionados em um frasco vazio de capacidade de 3000 ml e a extração realizada, respeitando-se os mesmos tempos de exposição da fibra que foram realizados nas amostras de piso, conforme a volatilidade dos analitos.

Figura 57: Procedimento de extração por SPME (a) de amostra contendo revestimento de piso e (b) de padrão analítico para análise quantitativa.

Fonte: Laboratório de cromatografia, Instituto de Química-USP, São Carlos (2015).

As amostras de revestimento de piso foram analisadas em três diferentes situações:

- (1) logo após o assentamento de cada amostra, os frascos de vidro foram fechados hermeticamente por rosqueamento, permanecendo assim por três dias. Passado esse tempo, realizou-se a extração dos COVs conforme descrito anteriormente;
- (2) após a etapa (1), os frascos contendo as amostras foram deixados abertos por três dias e analisados novamente; e
- (3) após a etapa (2), esperaram-se mais quatro dias, com os frascos mantidos abertos e analisando-os novamente após esse período.

- **Passo 3: Corrida cromatográfica**

Após a etapa de extração, a fibra de SPME foi levada até o injetor do cromatógrafo a gás (GC-MS) que se encontrava em uma alta temperatura (270°C), para que houvesse a dessorção térmica dos COVs retidos na fibra (figura 58).

Figura 58: Extração térmica dos COVs por exposição da fibra no injetor do GC-MS.

Fonte: Laboratório de cromatografia, Instituto de Química da USP, São Carlos (2015).

Após seguir a programação da rampa de aquecimento da coluna cromatográfica, estabelecida anteriormente, os experimentos de GC-MS foram realizados no modo de varredura (SCAN), com o objetivo de detectar e identificar a maior quantidade de COV que fazem parte das emissões dos revestimentos Ambianta, Essence, Absolute, Durafloor e adesivos de contato. Realizou-se a varredura em uma faixa de massas de 30 a 500 daltons. Novamente, os picos dos cromatogramas foram identificados por meio da comparação de seus espectros de massas com os espectros catalogados na biblioteca NIST, similaridade espectral igual ou superior a 95%, e fez-se análise quantitativa utilizando novamente o modo SIM para análise do íon-fragmento.

3.2.3. Experimento de laboratório: termogravimetria acoplada a espectroscopia de infravermelho (TG/IV)

O objetivo principal dos experimentos por meio desta técnica analítica é conhecer os COVs que são liberados dos revestimentos vinílicos e seus adesivos em uma situação de pirólise ou combustão, durante um eventual incêndio no ambiente edificado. Além disso, pode ser verificada a estabilidade térmica destes componentes poliméricos ao serem expostos às altas temperaturas nestas circunstâncias.

3.2.3.1. Norma de referência

A norma utilizada para os experimentos desta técnica foi a ASTM - E2105 - 00 (Reapproved 2010) - Prática padrão para Técnicas Gerais de Análise Termogravimétrica (TGA) Acoplado à Análise de Infravermelhos (TGA /IV).

3.2.3.2. Termos e definições

- a) Termogravimetria derivada (DTG):** técnica que fornece a primeira derivada da curva termogravimétrica, em função de tempo ou temperatura (GIOLITO, 2004).
- b) Cadinho:** componente portador da amostra, que tem formato achatado para conter amostras em pó e formato com paredes altas para conter materiais

líquidos ou amostras que corram o risco de inchamento. O material utilizado para analisar polímeros é a platina (LUCAS, SOARES e MONTEIRO, 2001).

c) Razão de aquecimento: o aumento desta razão desloca os eventos térmicos para temperaturas mais altas e vice-versa. Ela também pode influenciar no número de etapas de decomposição térmica de uma amostra, causar variações nos valores de perda de massa, e influenciar na maior facilidade de detecção de compostos orgânicos intermediários (GIOLITO, 2004).

d) Atmosfera do forno: depende de fatores como o tipo de reação, a natureza dos produtos de decomposição térmica, e o tipo de atmosfera empregada. As características da amostra determinam se a atmosfera pode ser estática ou dinâmica. Em geral, as curvas TG e DTG são obtidas sob uma atmosfera dinâmica, e esta tem a função de proteger o compartimento da balança dos voláteis que são liberados durante a decomposição térmica da amostra e evitar a condensação destes produtos na parte fria do forno (GIOLITO, 2004).

3.2.3.3. Elementos materiais

a) Caracterização e procedência das amostras

Para esta etapa de experimentos, foram selecionadas outras amostras dos revestimentos vinílicos de piso das linhas Paviflex e Essence, da Tarkett (amostras 15 e 16), fornecidos por empresa (citada anteriormente) para os testes em GC-MS.

b) Caracterização dos equipamentos usados

Os experimentos foram conduzidos através de um equipamento termogravimétrico, módulo SDT Q600 acoplado há um espectroscópio de infravermelho – Thermo Scientific Nicolet iS10 FT-IR, como pode ser observado na figura 59. As amostras foram pesadas na mesma balança eletrônica digital, modelo EQQ 410, utilizada nas etapas de testes por GC-MS.

Figura 59: Equipamento de termogravimetria SDT Q600 acoplado ao espectroscópio de infravermelho Thermo Scientific Nicolet iS10 FT-IR, no Laboratório de Química Analítica, Instituto de Química da USP – São Carlos.

Fonte: Laboratório de Química Analítica do IQSC-USP, São Carlos (2013).

O SDT Q600 possui um forno horizontal de aço inoxidável, paralelo à termobalança, a qual proporciona sinais exatos e precisos da variação do peso da amostra, a partir de um par de feixes de cerâmica, inertes às variações de temperatura. Dentro destes feixes passam termopares que possuem suportes em suas extremidades, nos quais são encaixados cadinhos do tipo Platinum 40 μ L (conforme item 2.7.7.3). Os termopares funcionam como um sensor de temperatura responsável por captar com exatidão qualquer variação térmica. O forno possui controlador de fluxo de massa com fechamento automático de gás e o seu design permite funcionamento programado e preciso de variações entre 20°C e 1500°C (TA INSTRUMENTS, 2010).

O espectroscópio de infravermelho, Thermo Scientific Nicolet iS10 FT-IR, utiliza técnicas que estão baseadas na interação da radiação eletromagnética com a matéria e são eficazes na caracterização de todos os materiais. Quanto às especificações técnicas, possui sistema óptico selado que protege o instrumento de umidade e vapores; sistema de auto compensação, que elimina qualquer erro de digitalização; ajusta automaticamente o instrumento para melhor rendimento e oferece velocidade de análise para pesquisas em tempo real; mantém desempenho com mínimo de manutenção; coleta espectros de ótima qualidade em apenas alguns segundos, entre outras características (THERMO FISCHER SCIENTIFIC INC., 2008).

3.2.3.4. Procedimentos

O procedimento laboratorial é semelhante ao procedimento utilizados nos experimentos pela técnica de GC-MS. Primeiro foram pesquisadas as condições de ensaio para as amostras na bibliografia específica. Em seguida foram estabelecidas e preparadas as amostras que seriam testadas. Por fim, prosseguiu-se com a análise termogravimétrica e avaliação dos resultados.

- **Passo1: Definição das condições experimentais**

As medidas adotadas para o experimento de TGA/FTIR foram:

- b) Massa de amostra: 20 miligramas
- c) Atmosfera dinâmica de Nitrogênio (N_2): $50 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$
- d) Razão de aquecimento: $10 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$
- e) Faixa de temperatura: 25°C a 1000°C
- f) Sensibilidade da termobalança / detecção de variação de massa: $0,1 \text{ } \mu\text{g}$
- g) Cadinho para a amostra: Platina ($40 \mu\text{L}$, $110 \mu\text{L}$)

- **Passo 2: Elaboração das amostras**

Para este experimento foram selecionadas amostras de dois revestimentos vinílicos de piso, conforme destacado no item 3.2.3.3. Cada amostra foi triturada em pequenos pedaços, de maneira que fosse preservada a estrutura química dos materiais que as constituem, e depois pesadas com 20 miligramas em balança eletrônica.

- **Passo 3: Análise térmica**

Cada amostra foi inserida em um cadinho e levada para o suporte ligado à balança, no forno. A temperatura foi programada para variar no tempo, segundo critérios pré-definidos, enquanto a balança fornecia os dados da massa da amostra em função do

tempo. Após o início da análise termogravimétrica, a temperatura foi aumentada gradualmente, para que fossem volatizados compostos orgânicos das amostras, os quais eram retirados do ambiente do forno com o sistema de passagem de gás, sem deixar a reação atingir equilíbrio químico. Essa etapa foi registrada como perda de massa no gráfico de massa por temperatura, característica das medidas de TGA.

Os resultados finais são mostrados na forma de um gráfico cuja abscissa é referente à temperatura (T) e a ordenada referente à massa (M). A perda de massa da primeira reação é devido à vaporização da água, à medida que ela é produzida, pois essas etapas ocorrem a centenas de graus Celsius. Na segunda e terceira reação, os gases CO e CO₂ saem naturalmente da amostra. Em materiais orgânicos, a técnica é igualmente efetiva, podendo detectar grupos funcionais à medida que tem suas ligações quebradas termicamente (HAINES, 1992).

3.2.3.5. Critérios de avaliação e classificação dos resultados

A avaliação dos resultados das emissões de COVs pelas amostras de revestimentos vinílicos e adesivo de contato pode auxiliar outras pesquisas que investigam sobre toxicidade de materiais de construção e sustentabilidade na Arquitetura. Especialmente considerando as substâncias químicas que podem ser liberadas destes produtos sintéticos para acabamento, quando submetidos à altas temperaturas, e elevando os riscos à saúde das pessoas no interior das edificações.

Em meio a este contexto, os COV identificados nos experimentos por TGA/FTIR foram avaliados, levando-se em consideração alguns fatores como os valores dos limites máximos de exposição à estas substâncias químicas (conforme levantado no item 2.2.5.2); os efeitos destas substâncias na saúde das pessoas, por inalação (conforme levantado no item 4.2.4.3) e a necessidade de informações sobre a emissão de COV nas fichas técnicas dos revestimentos vinílicos dos adesivos de contato (de acordo com o item 2.6.5.5).

Os valores máximos de exposição aos COVs identificados por estes experimentos, foram levantados através de pesquisa bibliográfica a documentos específicos, como

a tabela da ACGIH – Regulation 833 –Ontario, Canada; a tabela Z-1 Limits for Air Contaminants da OSHA e o NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards da NIOSH. Os efeitos das substâncias à saúde humana foram pesquisados no Website do Center for Disease Control and Prevention (CDC); banco de dados de moléculas –PubChem; Chemical Book CAS Database List; entre outros. Constatou-se a falta de informações sobre emissões de COV tanto nas fichas técnicas quanto nos catálogos técnicos institucionais das empresas dos revestimentos e adesivos analisados.

Capítulo 4

Resultados e discussões

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta etapa da pesquisa são apresentados os gráficos e tabelas com os dados coletados durante a aplicação dos instrumentos metodológicos, que elucidam de maneira objetiva os resultados obtidos. Sendo assim, pode haver uma melhor conexão entre os assuntos tratados no desenvolvimento desta pesquisa e os dados obtidos, por meio de comparações e análises entre eles, especialmente para estabelecer as conclusões, que definam os objetivos alcançados.

4.1. Resultados da pesquisa bibliográfica

Os assuntos sobre a toxicidade de materiais de construção civil e a qualidade do ar interno têm despertado o interesse de um número cada vez maior de pesquisadores pelo mundo, mas ainda são pouco explorados em pesquisas científicas nacionais. Em razão do caráter exploratório deste trabalho e do desconhecimento de outro que tenha a mesma proposta, sua etapa de pesquisa bibliográfica e as demais etapas têm grande importância para seu contexto em geral. Na tabela 23 são relacionados alguns dos trabalhos científicos que serviram como base teórica para a presente pesquisa.

Tabela 21: Resumos dos trabalhos científicos que serviram de repertório para a tese.

Autoria/ Tema do trabalho, localização e ano	Resumo
HEALTH CANADA Guia de Exposição à Qualidade do Ar Interno Residencial. Ed. Minister of Supply and Services, Ottawa, Ontario, Canada, 1995.	Este trabalho revela que ambientes internos residenciais podem contribuir significativamente para a exposição humana a poluentes atmosféricos. Foram analisadas as casas no Canadá, onde longos invernos frios e verões quentes fazem com que os moradores permaneçam nestes ambientes climatizados por longo período de tempo. No entanto, devido ao incentivo dado pelo governo para a redução do consumo de energia e isolamento adicional nos edifícios, houve a diminuição da taxa de troca de ar nestas casas, contribuindo para elevar as concentrações de contaminantes no ar interno acima dos encontrados no ar exterior, o que despertou a preocupação das autoridades de saúde pública sobre os padrões de construção dos edifícios em geral.

Tabela 21 (continuação)

Autoria/ Tema do trabalho, localização e ano	Resumo
<p>MATOS; BRANTES et al.</p> <p>Qualidade do ar em espaços interiores: um guia técnico.</p> <p>Agência Portuguesa do Ambiente (APA), Amadora, Portugal, 2009.</p>	<p>Este documento aponta para o fato de que os vários problemas de qualidade do ar interno são reconhecidos como importantes fatores de risco à saúde humana, devido a muitos compostos potencialmente perigosos liberados no interior dos edifícios por emissões dos materiais de construção, produtos e equipamentos de limpeza, combustões, produtos de consumo, etc, além da poluição de origem microbiana proveniente de centenas de espécies de bactérias, fungos e bolores. Também é abordado sobre o tempo que as pessoas permanecem no interior dos edifícios, como habitações, creches, lares para a terceira idade ser muito significativo, por serem ambientes no qual a poluição do ar interna afeta pessoas mais vulneráveis como crianças e idosos.</p>
<p>Autor: GABRIEL</p> <p>Revestimento vinílico em pavimentos: características, execução e patologia</p> <p>Dissertação - Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2011.</p>	<p>Esta pesquisa avalia os revestimentos vinílicos de piso como soluções construtivas disponíveis no mercado da construção, eficientes e economicamente vantajosos para utilização, principalmente, em escritórios, hospitais e escolas. Aborda-se sobre as características destes produtos, que criam dificuldades para os profissionais de projeto na escolha das melhores soluções para cada tipo de utilização, e destaca-se a importância das orientações práticas para que estes profissionais façam suas escolhas de um modo objetivo, através do desenvolvimento de uma análise aprofundada destes revestimentos, com abordagem de suas exigências funcionais, modos de aplicação e patologias associadas.</p>
<p>RODOLFO JR.; NUNES et al.</p> <p>Tecnologia do PVC – 2ª Edição.</p> <p>Autores: Antonio Rodolfo Jr., Luciano R. Nunes, Wagner Ormanji</p> <p>Publicação Braskem, São Paulo, 2006.</p>	<p>Nesta obra estão expressos os conhecimentos globais e atualizados da cadeia produtiva do PVC, com destaque para as particularidades da indústria local, por profissionais da Braskem, com a inestimável cooperação de docentes da Universidade Federal de São Carlos. Aspectos relacionados à obtenção do PVC pelos vários processos de polimerização, assim como as características e as propriedades das resinas de PVC, foram amplamente explorados. Foi dedicado suficiente conteúdo sobre os mais diversos aditivos empregados aos compostos de PVC. Os diferentes processos de transformação também foram abordados.</p>

Fonte: Pesquisa bibliográfica das referências citadas na tabela.

Tabela 21 (continuação)

<p>GIOLITO e IONASHIRO</p> <p>Fundamentos de termogravimetria, análise térmica diferencial, calorimetria exploratória diferencial.</p> <p>Giz editorial. UNESP – Araraquara, São Paulo, 2004</p>	<p>Esta publicação fornece os fundamentos das técnicas mais amplamente difundidas e utilizadas, isto é a Termogravimetria (TG) Análise Térmica Diferencial (DTA) e a Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).</p>
<p>COLLINS; BRAGA et al.</p> <p>Fundamentos da cromatografia.</p> <p>Editora Unicamp, Campinas, SP, 2006.</p>	<p>Esta publicação apresenta abordagem objetiva e didática sobre as diferentes modalidades de separação cromatográfica. Seus autores analisaram sobre os princípios básicos desta técnica analítica e seus diferentes tipos como cromatografia em camada delgada, cromatografia por adsorção, cromatografia por troca iônica, cromatografia por exclusão, cromatografia gasosa e cromatografia líquida de alta eficiência.</p>
<p>TARKETT - FADEMAC</p> <p>1º) Guia de Produtos. Tarkett – The ultimate flooring experience. Tarkett-Fadamac, Jacareí, SP, 2014</p> <p>2º) Johnsonite Case Studies. Tarkett Company, Suécia, 2011</p>	<p>Na 1ª publicação foram especificados os produtos vinílicos em relação a sustentabilidade, oferecendo informações simples e claras aos seus clientes, para que eles possam fazer escolhas corretas balanceando necessidades de projeto e custo benefício, com soluções voltadas principalmente para os segmentos de saúde, educação, hotelaria, corporativo, comercial e residencial. Na 2ª publicação foram especificados os produtos aplicados em diferentes segmentos de atividades em edifícios no Brasil e no mundo. Para isto foram detalhadas informações sobre revestimentos vinílicos e suas aplicações nos segmentos citados anteriormente.</p>

Fonte: Pesquisa bibliográfica das referências citadas na tabela.

4.2. Resultados das análises e identificação dos COV

4.2.1. Experimento de laboratório: cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas - resultados da primeira fase dos testes

A maior parte das corridas cromatográficas, nas condições de laboratório estabelecidas, foi realizada em modo SCAN, para que fosse detectada a maior quantidade de COV que fazem parte das emissões atmosféricas dos revestimentos

vinílicos e adesivos de contato. As corridas no modo SIM foram realizadas para a quantificação de alguns compostos orgânicos identificados nos testes.

4.2.1.1. Experimento em modo SIM

O modo SIM foi empregado para a obtenção das concentrações de alguns compostos orgânicos presentes nas amostras analisadas na segunda fase de testes por GC/MS, sendo que este modo consiste no monitoramento seletivo de íons dos compostos presentes em cada amostra. Após serem identificados os compostos orgânicos 2-etil-1-hexanol, 2-etil-hexil-acetato, diidro-alfa-terpineol e 2-butoxi-etanol, pelo modo SCAN (apresentados no item 4.2.2), fez-se a corrida pelo modo SIM, para a obtenção das concentrações das três primeiras substâncias, que continham padrão analítico.

4.2.1.2. Experimento em modo SCAN

O objetivo desta fase da pesquisa foi detectar a maior quantidade de compostos orgânicos voláteis que fazem parte das emissões atmosféricas das amostras de revestimentos vinílicos de piso e parede, e de adesivos de contato (colas). Em razão disto foi utilizado o modo SCAN, que segundo Guío (2013, p.151) consiste em fazer uma varredura entre uma faixa de massas para obter informação total do conteúdo da amostra a ser analisada. Nele é empregado uma análise qualitativa para a identificação dos compostos orgânicos por meio da procura na biblioteca de espectros (espectroteca) instalada no programa NIST.

Em seguida são apresentados e analisados os cromatogramas, a partir das eluições dos compostos orgânicos voláteis que foram detectados.

4.2.1.3. Resultados dos revestimentos de piso

A figura 60 mostra a separação dos compostos orgânicos extraídos da amostra 2 (revestimento da linha Essence). Os picos com maior intensidade de sinal do detector (mV) são referentes aos compostos *acetato de n-butila* e *2-etil-1-hexanol*, da categoria dos álcoois; e os de menor intensidade são o *butoxi-etoxi-etanol*, da categoria dos éteres de glicol; o *2-metil-propil-éster*, da categoria dos solventes ésteres e o *heptadecano*, da categoria dos alcanos.

Estas substâncias fazem parte dos solventes utilizados para solubilizar as resinas de PVC aplicadas junto aos aditivos, na preparação dos compostos de revestimento vinílico (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. Sendo que o 2-etil-1-hexanol provém de uma reação com o *anidrido ftálico*, que forma o diéster de bis (2-etil-hexil) ftalato (DEHP), o plastificante mais usado na produção de revestimentos vinílicos. Como o 2-etil-1-hexanol se trata de um álcool de cadeia hidrocarbônica longa, os seus ésteres tendem a ter propriedades emolientes (COMPOUND SUMMARY, 2012).

Figura 60: Cromatograma da amostra 2 (piso – Essence).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2014).

O cromatograma referente à amostra 3 (revestimento da linha Ambiente) é ilustrado na figura 61. 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*. Esta última substância foi a espécie mais abundante, assim como na análise da amostra 2.

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 foi citado anteriormente, é um dos componentes do plastificante ftalato (DEHP).

Figura 61: Cromatograma da amostra 3 (piso – Ambiente).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2014).

Na figura 62, correspondente a análise da amostra 1 (revestimento da linha Paviflex), pode-se observar um número bem menor de analitos em comparação às amostras 2 e 3, sendo que o composto *2-etil-1-hexanol* aparece novamente como a substância 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 menores nas separações das substâncias.

Com exceção do 2-etil-hexanol que foi analisado anteriormente, as substâncias pertencentes às categorias dos alcenos e alcanos, ambos da família dos hidrocarbonetos alifáticos, são solventes utilizados como diluentes dos dispersantes (a exemplo dos alcanos), enquanto que o butil-hidroxitolueno, normalmente utilizado na prevenção de degradação oxidativa de polímeros (SPECIAL CHEM ADHESIVES, 2016), pode atuar com esta finalidade junto às resinas que compõem o revestimento.

Figura 62: Cromatograma da amostra 1 (piso – Paviflex).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2014).

A figura 63, mostra a separação dos compostos orgânicos da amostra 4 (revestimento da linha eSable), marca ePiso, representados por picos correspondentes aos tempos de retenção dos compostos ciclo-hexanona, da categoria das cetonas; 2-etil-1-hexanol; e o ácido propanóico, da categoria dos ácidos carboxílicos.

Figura 63: Cromatograma da amostra 4 (piso – eSable).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2014).

Como foi caracterizado em outra amostra, a ciclo-hexanona, pertencente à categoria das cetonas, é um solvente forte e dispersante das resinas de PVC no composto vinílico e o 2 etil-1-hexanol, com o maior pico do espectro, é um álcool. Nesta corrida cromatográfica, o pico diferenciado manifestou a existência de ácido propanóico, uma substância da categoria do ácido carboxílico, que reage com o 2 etil-1-hexanol para formar os ésteres que dão propriedades emolientes a este álcool.

Nos cromatogramas, representados nas figuras 64 e 65, novamente aparecem picos expressivos que indicam a presença dos compostos ciclo-hexanona e do 2-etil hexanol. Com isto, compreende-se que estas e as outras substâncias, separadas nas corridas cromatográficas das amostras 1, 2, 3 e 4, são derivadas dos solventes utilizados na produção dos revestimentos. Entretanto, também foi observado que as amostras 4, 5 e 6 liberaram um número menor de COV do que as amostras 1, 2 e 3, o que indica que os revestimentos da linha ePiso oferecem menores riscos de contaminação do ar do que os revestimentos da linha Tarkett.

Figura 64: Cromatograma da amostra 6 (piso – eBlocks Lite).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2014).

Figura 65: Cromatograma da amostra 5 (piso – eBlond).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2014).

4.2.1.4. Resultados dos revestimentos de parede

Nas corridas cromatográficas com quatro amostras de papel de parede vinílico, realizadas no mesmo intervalo de tempo e nas mesmas condições que os experimentos das amostras de revestimento de piso, observou-se a presença de diferentes picos “não voláteis”, pois eluíam da coluna cromatográfica em uma temperatura muito alta e não estavam presentes em uma concentração que indicasse a presença de compostos orgânicos voláteis. Estes eventos puderam ser observados nos cromatogramas, ilustrados nas figuras 66, 67, 68 e 69.

Figura 66: Cromatograma da amostra 7 (revestimento de parede – Harmonia Flora).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2014).

Figura 67: Cromatograma da amostra 8 (revestimento de parede – Harmonia Palha).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2014).

Figura 68: Cromatograma da amostra 9 (revestimento de parede – Harmonia Floral).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2014).

Figura 69: Cromatograma da amostra 10 (revestimento de parede – Harmonia Bege).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2014).

Os resultados demonstram que a camada superficial de vinil nos papéis de parede não apresenta COV, ou então, possui estabilizantes de alta eficiência que não permitem a volatilização destas substâncias. Assim, de maneira em geral, existe a probabilidade de que os revestimentos de parede sejam mais *sustentáveis* do que os revestimentos de piso.

4.2.1.5. Resultados dos adesivos de contato (colas)

Durante a eluição cromatográfica da amostra 13, o adesivo de contato da marca Globalfix, representada na figura 69, pôde-se observar excesso de picos de baixa intensidade (produtos de degradação térmica de algum produto mais polar) equivalentes aos tempos de retenção dos compostos alfa-pineno da categoria dos terpenos; beta-pineno da categoria dos terpenos; octil éster ácido acético da categoria dos ésteres de acetato; 1-metil-4-isopropilciclohexan-8-ol ou dihidroterpineol, da classe dos terpenos; e do 2-etil-1-hexanol¹⁴. Assim como ocorreu com outras amostras, o 2-etil-1-hexanol apresentou pico de sinal mais intenso no cromatograma.

Figura 70: Cromatograma da amostra 13 (adesivo de contato – marca GlobalFix).

Fonte: Testes no Laboratório de Cromatografia, IQSC USP, S. Carlos (2014).

¹⁴. A cola Globalfix pode ser a fonte do 2-etil-1-hexanol, mesmo se o piso for livre de ftalatos.

Todas estas substâncias foram liberadas de solventes que atuam junto a outros componentes como resinas, aditivos (promotores de adesão e secantes) e polímeros.

A figura 71 mostra a eluição cromatográfica da amostra 14 (adesivo da marca Maxi Rubber), no qual pôde-se observar diferentes picos correspondentes aos tempos de retenção dos compostos 2-metil-pentano, 3-metil-pentano, n-hexano, n-heptano, 2,4-dimetil-hexano e 2,5-dimetil-hexano da categoria dos alcanos; acetato de etila da categoria dos ésteres (solvente); metil-ciclopentano da classe dos cicloalcanos; 2,4-dimetil-pentano e 2,3-dimetil-pentano da classe dos isômeros heptanos/ alcanos.

Figura 71: Cromatograma da amostra 14 (adesivo de contato – marca Maxi Rubber).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2014).

No segundo cromatograma pode ser observado a separação dos compostos 3-etil-pentano; 3-metil-heptano e octano da classe dos alcanos; tolueno da classe dos hidrocarbonetos aromáticos. Nos dois cromatogramas, os 2,4-dimetil-pentano; 2,3-dimetil-pentano e tolueno, foram os compostos orgânicos que apresentaram picos de maior abundância no espectro.

4.2.1.6. Análise dos resultados

A partir dos resultados anteriores, pôde-se observar que o cromatograma gerado na análise da amostra do piso Essence apresentou a maior quantidade de picos

analíticos. Enquanto que o 2-etil-1-hexanol foi o composto orgânico que mais apareceu em todos os cromatogramas e também a substância que apresentou o pico com maior intensidade de sinal do detector (mV), em torno de 7 mV nos cromatogramas das amostras Essence e Paviflex. Enquanto que nos cromatogramas das amostras da marca ePiso os valores de intensidade estiveram entre 1,75 e 3 mV.

Outro fato observado nos cromatogramas é que a ordem dos picos no eixo do tempo de retenção por minuto é estabelecida a partir da substância mais volátil para a menos volátil, ou seja, os primeiros picos a eluirem são as substâncias que se volatilizam em tempos menores (temperaturas mais baixas) e os últimos picos são as substâncias que se volatilizam em tempos maiores (temperaturas mais altas). No entanto, se as últimas substâncias do gráfico tiveram baixo ponto de ebulição isto pode significar que elas têm *alta afinidade* com a fase estacionária até o final da fase móvel da coluna cromatográfica. Ambos os casos são ilustrados na tabela 19, cujos valores referem-se ao resultado da corrida cromatográfica da amostra 2.

Tabela 22: Relação entre ponto de ebulição e tempo de retenção de COV eluidos da amostra 2.

Compostos orgânicos	Fórmula molecular	Pontos de ebulição (°C)	Tempos de retenção (minutos)	Intensidade (mV)
N-butilo-acetato	$C_6H_{12}O_2$	126	4,3	4,6
2-etil-1-hexanol	$C_8H_{18}O$	180 a 186	8,5	6,8
Butoxietoxi etanol	$C_8H_{18}O_3$	231	11,8	2,0
Heptadecano	$C_{17}H_{36}$	303	15,5	1,8
2-Metilpropil-éster	$CH_3COOCH_2CH(CH_3)_2$	118	22,8	1,6

Fonte: Levantamento do próprio autor.

Por outro lado, a presença de picos com grande intensidade de sinal em um cromatograma não significa que estes COV contenham as maiores concentrações, o que só pode ser mensurado após uma análise quantitativa destas substâncias. No entanto, entende-se que uma sequência de picos em um cromatograma representa a eluição de muitas substâncias, ou seja, a emissão de muitos COV da amostra.

Quanto aos cromatogramas das amostras de revestimento vinílico de parede, apresentaram grande sequência de picos que não representavam substâncias voláteis. Com isto pôde-se concluir que estes produtos possuem boa estabilidade quanto à emissão de substâncias químicas, pelo menos, à temperatura ambiente. Por

outro lado, os cromatogramas dos adesivos de contato apresentaram uma sequência de picos analíticos, que revelam fortes traços de liberação de COV.

Entretanto, para ter-se uma ideia mais precisa do nível de contaminação de um revestimento vinílico e de um adesivo de contato, foi proposta uma segunda etapa de experimentos, no qual algumas de suas amostras foram selecionadas com maiores dimensões, para serem arranjadas dentro de frascos de 3000 mililitros, sobre camadas de concreto, simulando a aplicação de um revestimento vinílico sobre contrapiso em escala “não real”, dos quais seriam extraídos os compostos orgânicos para serem injetados no GC-MS. No entanto, sem haver a influência de variáveis como temperatura, umidade e ventilação, caso os experimentos fossem realizados em câmara de testes de pequenas dimensões.

4.2.2. Experimento de laboratório: cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas - segunda fase de determinação de COV

Na figura 72 tem-se os cromatogramas dos quatro diferentes tipos de pisos estudados (Ambienta, Essence, Absolute e Durafloor), sendo que os picos correspondem aos tempos de retenção dos compostos 2-butoxi-etanol; 2-etil-1-hexanol; 2-etil-hexil-acetato; diidro-alfa-terpineol; d-longifoleno e éster ácido propanoico. Dessas substâncias foram feitas as análises quantitativa do 2-etil-1-hexanol, diidro-alfa-terpineol e 2-etil-hexil-acetato, que eram os compostos com padrões analíticos disponíveis no momento da análise.

A análise quantitativa foi realizada comparando-se a área do pico obtida para cada um dos COV nas amostras de piso com as áreas obtidas dos padrões analíticos de concentração conhecida. O tempo de exposição da fibra dentro do frasco de vidro variou de acordo com a volatilidade de cada composto orgânico. Assim, para uma extração quantitativa adequada, o tempo de extração para o 2-etil-1-hexanol foi de 2 minutos e para o diidro-alfa-terpineol e o 2-etil-hexil-acetato o tempo de exposição da fibra foi de 20 segundos.

Figura 72: Cromatograma do íon total obtido no modo SCAN indicando os COV encontrados nas amostras 2, 3, 12 e 11 (pisos Essence, Ambianta, Absolute e Durafloor).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2015).

Nas figuras 73, 74, 75 e 76, tem-se os resultados estimados do teor de *2-etil-1-hexanol* nas quatro amostras de piso avaliadas. Pode ser verificado que este composto orgânico está fortemente presente nas amostras 12 e 11 (pisos Absolute e Durafloor), cujas concentrações (em miligramas/metro cúbico ou microgramas/litro) foram maiores do que as concentrações das amostras 2 e 3 (pisos Essence e Ambianta).

Figura 73: Cromatograma obtido no modo SIM (íon monitorado com m/z 43) indicando a concentração do 2-etil-1-hexanol na amostra 3 (piso Ambiental).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2015).

Figura 74: Cromatograma obtido no modo SIM (íon monitorado com m/z 43) indicando a concentração do 2-etil-1-hexanol na amostra 2 (piso Essence).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2015).

Figura 75: Cromatograma obtido no modo SIM (ion monitorado com m/z 43) indicando a concentração do 2-etil-1-hexanol na amostra 12 (pisol Absolute).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2015).

Figura 76: Cromatograma obtido no modo SIM (ion monitorado com m/z 43) indicando a concentração do 2-etil-1-hexanol na amostra 11 (pisol Durafloor).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2015).

Nas figuras 77, 78, 79 e 80, estão ilustrados os cromatogramas e os teores obtidos para os compostos *2-etil-hexil-acetato* e *diidro-alfa-terpineol* nas amostras 12 e 11. As concentrações desses COV não puderam ser avaliadas nos pisos Ambianta e

Essence porque na ocasião da análise dos mesmos, ainda não se tinha a disponibilidade dos padrões analíticos para esses analitos.

Figura 77: Cromatograma obtido no modo SIM (íon monitorado com m/z 70 referente ao 2-etil-hexil-acetato) na amostra 12 (piso Absolute).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2015).

Figura 78: Cromatograma obtido no modo SIM (íon monitorado com m/z 70 referente ao 2-etil-hexil-acetato) na amostra 11 (piso Duraflor).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2015).

Figura 79: Cromatograma obtido no modo SIM (íon monitorado com m/z 59 referente ao diidro-alfa-terpineol) na amostra 3 (piso Absolute).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2015).

Figura 80: Cromatograma obtido no modo SIM (íon monitorado com m/z 59 referente ao diidro-alfa-terpineol) na amostra 11 (piso Durafloor).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2015).

Através da figura 77 observou-se que o composto *2-etil-hexil-acetato* não foi encontrado na amostra de piso Absolute nas condições de análise empregadas. Além disso, verificou-se que o composto *diidro-alfa-terpineol* foi o COV com maior concentração encontrado nas amostras, na faixa de gramas por metro cúbico.

Assim, as concentrações de compostos orgânicos voláteis obtidas a partir das amostras de piso assentadas com adesivo Globalfix sobre contrapiso de concreto, são melhor demonstradas na tabela 23.

Tabela 23: Concentrações de COV em pisos assentados sobre adesivo, análise quantitativa.

Tipos de amostras	Compostos orgânicos voláteis analisados	Concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Amostra 3 (piso Ambiente) assentada sobre amostra 13 (adesivo Globalfix)	2-etil-1-hexanol	30,55
Amostra 2 (piso Essence) assentada sobre amostra 13	2-etil-1-hexanol	31,67
Amostra 12 (piso Absolute) assentada sobre amostra 13	2-etil-1-hexanol	216,41
Amostra 11 (piso Durafloor) assentada sobre amostra 13	2-etil-1-hexanol	403,33
Amostra 11 (piso Durafloor) assentada sobre amostra 13	2-etil-hexil-acetato	15,29
Amostra 11 (piso Durafloor) assentada sobre amostra 13	diidro-alfa-terpineol	51,3
Amostra 12 (piso Absolute) assentada sobre amostra 13	diidro-alfa-terpineol	21,58

Fonte: Levantamento do próprio autor

Nas figuras 80 e 81 podem ser observados os cromatogramas sobrepostos da análise das amostras de revestimento de piso nos diferentes tempos de experimento, conforme descrito no procedimento experimental. Pode ser identificada uma acentuada queda nos teores dos COV após os frascos de vidro (contendo as amostras) terem ficado abertos por período de três a sete dias, depois de ter sido feita a análise inicial com os frascos fechados.

Figura 81: Cromatograma do íon total (TIC) obtido no modo SCAN indicando os COV encontrados nas amostras de piso, nos diferentes tempos de experimento realizados (pisos Ambiente e Essence).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2015).

Figura 82: Cromatograma do íon total (TIC) obtido no modo SCAN indicando os COV encontrados nas amostras de piso, nos diferentes tempos de experimento realizados (pisos Absolute e Duraflor).

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2015).

A maioria dos COV tiveram seus teores drasticamente reduzidos ao final de sete dias com os frascos abertos, indicando que pode-se esperar o mesmo comportamento desses compostos orgânicos em revestimentos vinílicos assentados no piso de um *ambiente na escala real* (utilizando-se o mesmo procedimento aqui simulado).

4.2.3. Experimento de laboratório: termogravimetria acoplada a espectroscopia de infravermelho

As curvas de análise termogravimétrica (TG) e análise termogravimétrica derivada (DTG) apresentadas mostram que a amostra 15 (linha Paviflex) é estável até 200°C e apresenta perda de sua massa entre 200°C e 800°C, e nesta faixa de temperatura quatro variações são observadas. A primeira variação acontece entre 200°C e 330°C, com 20,5% de perda de massa atribuída à saída de moléculas de água e desclorificação da amostra.

A segunda e terceira variações entre 330°C e 480°C e entre 480°C e 620°C, somando perda de massa de 19%, atribuída à decomposição térmica de materiais orgânicos da amostra com formação de um resíduo carbonizado. A última variação entre 620°C e 800°C, ocorre com perda de massa de 57,5 %, devido à pirólise do resíduo

carbonizado. O resíduo que resulta deste processo equivale à 3% e é atribuído à cinza resultante da decomposição térmica da amostra.

A curva de análise térmica diferencial (DTA) apresenta todos os picos exotérmicos, em concordância com as perdas de massa observadas na curva TG. Esses eventos térmicos são atribuídos à decomposição e oxidação de material orgânico. O primeiro pico exotérmico ocorre à 280°C, atribuído à decomposição térmica, correspondente à primeira perda de massa nas curvas TG/DTG e o pico mais largo em 750°C é atribuído ao final da pirólise do composto. Estas curvas podem ser observadas na figura 83.

No espectro FTIR da amostra 15, apresentado na figura 84, nota-se que em torno de 28 minutos (295°C) há saída de voláteis em maior intensidade, correspondente à perda de benzeno, ácido acético, 3,5-diclorofenól e hidróxido de cloreto (HCl), provenientes da formação de compostos durante a desidrocloração. Por volta de 46 minutos (477°C) observa-se evidências dos compostos heptano, 4-nonano, 1-hexanotiol, dissulfeto de amil, 5-nonanol e 4-octanol, provavelmente devido à degradação por pirólise de hidrocarbonetos derivados de solventes utilizados no revestimento vinílico. Aos 72 minutos (734°C), nota-se a saída dos compostos dióxido de carbono, diclorofenol e monóxido de carbono, provenientes da pirólise do resíduo carbonizado resultante.

Figura 83: Curvas TG/DTG-DTA da amostra Paviflex, mostram as perdas da massa de 10 miligramas em função da decomposição térmica.

Fonte: Testes no laboratório de Análise Térmica, Eletroanalítica e Química de Soluções, IQSC-USP.

Figura 84: Espectros de FTIR dos gases evoluídos durante a decomposição do piso Paviflex.

Fonte: Testes no laboratório de Análise Térmica, Eletroanalítica e Química de Soluções, IQSC-USP.

As curvas TG/DTG apresentadas na figura 85 mostram que a amostra 16 (linha Essence) é estável até 180°C e apresenta perda de massa entre esta temperatura e 750°C, em que três variações são observadas. A primeira variação acontece entre 180°C e 320°C, com 41% de perda de massa atribuída ao processo de desclorificação da amostra. A segunda variação entre 320°C e 500°C, com perda de massa de 19,8%, atribuída à decomposição térmica de materiais orgânicos com formação de resíduo carbonizado. A última variação entre 500°C e 750°C, com perda de massa de 36,5%, deve-se à pirólise do resíduo carbonizado e acima de 750°C com resíduo de 3,7% atribuído à cinza resultante.

Figura 85: Curvas TG/DTG-DTA da amostra Essence, mostram as perdas da massa de 10 mg em função da decomposição térmica.

Fonte: Testes no laboratório de Análise Térmica, Eletroanalítica e Química de Soluções, IQSC-USP.

Figura 86: Espectros de FTIR dos gases evoluídos durante a decomposição do piso Essence.

Fonte: Testes no laboratório de Análise Térmica, Eletroanalítica e Química de Soluções, IQSC-USP.

Na figura 86, no espectro de FTIR da amostra 16, em torno de 28 minutos (295°C), nota-se a eluição de picos na região entre 3100 e 2800 cm^{-1} que podem ser atribuídos a saída de hidróxido de cloreto, com evidências de hexano, hexanol, octanol e nonanol. Em torno de 46 minutos (477°C), observam-se picos na região entre 3100 e 2800 cm^{-1} que podem ser atribuídos a saída de heptano, 4-nonano, 1- hexanotiol, dissulfeto de amil, 5-nonanol e 4-octanol. Em torno de 72 minutos (734°C), notam-se picos entre 2500 e 2200 cm^{-1} com evidências da saída em maior intensidade de dióxido de carbono e entre 3400 e 2800 cm^{-1} e 1700 e 400 cm^{-1} nota-se a saída de 3,5-diclorofenol.

Os COV identificados na análise termogravimétrica deste estudo pertencem às categorias químicas dos ácidos (hidróxido de cloreto e ácido acético), dos hidrocarbonetos aromáticos (benzeno) e alifáticos (hexano, heptano e 4-nonano), dos álcoois (hexanol, octanol, nonanol, 5-nonanol e 4-octanol), dos fenóis (3,5-diclorofenol), dos tióis (1- hexanotiol) e dos compostos de carbono (dióxido de carbono e monóxido de carbono). De acordo com Nunes, Rodolfo e Ormanji (2006), os ácidos e o benzeno são provenientes da desidrocloração, que envolve uma reação progressiva entre átomos de cloro e hidrogênio ao longo da cadeia polimérica das resinas, sendo formada uma ligação dupla entre os átomos de carbono.

Geralmente, na segunda etapa da perda de massa, a degradação de um composto vinílico continua com a pirolise de hidrocarbonetos de estrutura linear ou cíclica (ZHU, JIANG et al., 2008) e dos álcoois. Estas substâncias são utilizadas como solventes para solubilizarem as resinas de PVC, durante o processo de produção dos revestimentos vinílicos (NUNES, RODOLFO Jr. e ORMANJI, 2006). Enquanto que o dióxido de carbono e o monóxido de carbono são formados pela degradação de resíduos desidroclorados em altas temperaturas (HUGGETT e LEVIN, 1987), que podem ser provenientes das cargas minerais incorporadas às resinas de PVC, para melhoria da estabilidade dimensional, tenacidade e outras propriedades (NUNES, RODOLFO Jr. e ORMANJI, 2006).

4.2.3.1. Análise dos resultados

Através dos testes termoanalíticos, realizados pela técnica de acoplamento TGA-FTIR, foram verificados os compostos orgânicos que podem ser volatilizados por pisos vinílicos, quando submetidos às temperaturas entre 200°C e 1000°C. Além do que, as curvas TG-DTA e os espectros de FTIR forneceram informações sobre as etapas de decomposição e estabilidade térmica destes tipos de revestimento.

As substâncias identificadas nestes testes foram diagnosticadas como sendo de alto risco para a saúde das pessoas no interior dos edifícios, inclusive os compostos hidróxido de cloreto (HCl) e o benzeno são classificados como um dos principais agentes tóxicos e responsáveis pelas mortes que ocorrem após exposições crônicas por inalação aos gases gerados na decomposição de produtos vinílicos de revestimento interno, durante um incêndio. Ainda mais se for considerado que os produtos de decomposição de PVC podem estar acompanhados por grandes quantidades de outros produtos combustíveis, nestes ambientes. Tal fato, somado à rápida deterioração da concentração do HCl, faz com que o PVC contribua para aumentar a toxicidade do ar em ambientes fechados de altíssima temperatura.

4.2.4. Avaliação e classificação dos resultados encontrados

4.2.4.1. Resultados dos valores limites máximos dos COV identificados

Ao analisar os valores limites máximos de exposição para todos os COV identificados nos experimentos da presente pesquisa, pode-se verificar que para muitas destas substâncias não há valores limites estipulados, como é demonstrado nas tabelas 29 e 30 do apêndice. No entanto, tal fato preocupa, pois não há como prever quais seriam as consequências das concentrações destes compostos à saúde dos ocupantes em um ambiente fechado, caso suas emissões ultrapassassem os valores limites.

Na análise quantitativa dos COV identificados na segunda fase dos experimentos laboratoriais por SPME-GC-MS foram obtidos os valores das concentrações dos

compostos diidro-alfa-terpineol, 2-etil-hexil-acetato e 2-etil-1-hexanol, como é mostrado na tabela 22. Entretanto, apenas para o 2-etil-1-hexanol há valor do limite máximo estipulado, sendo 110 mg/m³, de acordo com a relação da norma alemã - Maximale Arbeitsplatz-Konzentration (MAK). Com isto, comparando-se este valor limite do 2-etil-1-hexanol com os valores das suas concentrações obtidas nestas análises, conclui-se que os revestimentos das linhas Durafloor e Absolute emitem concentrações desta substância acima dos valores permitidos.

A mesma avaliação não pode ser feita com os compostos diidro-alfa-terpineol, 2-etil-hexil-acetato, por não terem os seus valores limites apresentados, como também pode ser observado na tabela 24.

Tabela 24: Valores das concentrações dos COV obtidas por análise quantitativa na segunda etapa com GC-MS e comparação com os valores limites de exposição máxima.

Compostos orgânicos	ACGIH	OSHA	NIOSH	MAK	Concentração	Tipos das Amostras
	TWA	TWA	TWA	TWA	Identificada	
	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	
2 etil-1-hexanol	---	---	---	110	31,67	Amostra 2 - piso Essence
					216,41	Amostra 12 – piso Absolute
					403,33	Amostra 11 – piso Durafloor
Diidro-alfa-terpineol	---	---	---	---	21,58	Amostra 12 – piso Absolute
					51,30	Amostra 11 – piso Durafloor
Acetato de 2-etil-hexilo	---	---	---	---	Nada	Amostra 12 – piso Absolute
					15,29	Amostra 11 – piso Durafloor

Fonte: Testes no laboratório de Cromatografia, IQSC-USP, São Carlos (2015).

Desta forma, sem tais resultados não há como saber se estas concentrações realmente ultrapassam os valores limites de exposição humana a estes compostos (a não ser que estes valores fossem estipulados por organismos internacionais), o que é um fato preocupante, considerando que estas emissões advêm de revestimentos decorativos aplicados principalmente nos espaços internos dos edifícios residenciais.

Outro fato importante a ser observado nesta análise é que os valores máximos para cada um dos COV estipulados, não são apropriados para ambientes internos de edifícios residenciais. Uma das razões é revelada Matos, Brantes et al. (2009) quando

asseguram que os valores limites da ACGIH são aplicáveis apenas para os trabalhadores da indústria, os quais, provavelmente, ficam expostos a alguns dos poluentes conhecidos, em elevadas concentrações durante uma jornada de trabalho de 40 horas semanais. No entanto, são fornecidos equipamentos de proteção adequados para estes trabalhadores, como roupas de proteção, máscaras faciais, equipamento de respiração, entre outros.

Por outro lado, os autores afirmam que os ocupantes dos espaços internos não industriais estão expostos a um largo espectro de poluentes em baixas concentrações, por períodos, frequentemente superiores a 40 horas por semana sem equipamento de proteção. Mas, como não é conhecido o efeito sinérgico destes compostos orgânicos na saúde do ocupante, seria mais apropriado estabelecer valores limites individuais muito mais baixos que os valores limites estipulados pela ACGIH, ou qualquer outro órgão internacional de segurança da saúde ocupacional. A ASHRAE Standard 62-1989 recomenda que se use um décimo dos valores limites da ACGIH para compostos dos quais não existem normas de conforto. Pois numa gama de exposição de 0,3 a 3 mg/m³, podem surgir odores, irritação e desconforto como resposta à presença de COVT. Para valores superiores a 3 mg/m³, é possível esperar reclamações e acima de 25 mg/m³, foram identificados casos de desconforto temporário e irritação respiratória, para misturas de COV comuns.

4.2.4.2. Toxicidade dos COV pesquisados

Nesta etapa são apresentados os efeitos agudos e crônicos causados na saúde das pessoas que ficam expostas aos compostos orgânicos, identificados e analisados na presente pesquisa. Na tabela 25 foram levantados os sintomas que podem ser causados pelos COV verificados nas amostras de revestimentos vinílicos de piso, obtidos pela técnica de HS-SPME/GC-MS; na tabela 26 são expostos os sintomas que podem ser causados pelos COV verificados nas amostras das colas; e na tabela 27 são mostrados os sintomas que podem ser ocasionados pelos COV identificados nas amostras obtidas por meio da técnica TG-FTIR.

Tabela 25: Sintomas por inalação dos COVs emitidos pelos revestimentos vinílicos (GC-MS).

Compostos Orgânicos	Efeitos à saúde humana
Ésteres	
Acetato de n-butila	A exposição à esta substância pode causar <u>efeitos agudos</u> - ressecamento da pele, irritação, vermelhidão, dermatite e narcose, danos renais, irritação no trato respiratório, secura na garganta, tosse, dificuldade respiratória e lesão pulmonar. Substância depressora e narcótica que em concentrações elevadas produz uma variedade de sintomas neurológicos e distúrbios no ritmo cardíaco (<u>efeitos crônicos</u>).
2-metilpropil -éster	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 (<u>efeitos agudos</u>).
Octil éster do ácido acético (acetato de octila)	Causa irritação dos olhos, nariz e vias respiratórias superiores. <u>Efeitos crônicos</u> - narcose e fortes dores em altas concentrações.
Éter glicólico	
Butoxietoxi etanol	Exposição respiratória a esta substância muitas vezes resulta na irritação das membranas mucosas dos olhos, nariz e garganta (<u>efeitos agudos</u>). Exposição cutânea ou oral pode levar à hipotensão, hemólise, acidose metabólica, edema pulmonar e coma (<u>efeitos crônicos</u>).
Álcool	
2-etil-1-hexanol	<u>Efeitos agudos</u> - riscos de inalação são vertigem, dor de cabeça, tosse, dor de garganta e debilidade. Além de irritação dos olhos e da pele.
Alcanos	
Heptadecano	A exposição a esta substância pode causar irritação dos olhos e da pele (<u>efeitos agudos</u>). Sua inalação pode causar distúrbio do trato respiratório.
Dodecano	Esta substância apresenta efeitos anestésicos inalatórios, podendo causar asfixia simples. A sua exposição pode levar a <u>efeitos crônicos</u> no sistema nervoso e causar dermatite na pele após exposição prolongada.
1-Undecano	Esta substância é relativamente tóxica. Provoca irritação dos olhos, da pele e também das mucosas e para o trato respiratório (<u>efeitos agudos</u>).
Hexano	Se a exposição for prolongada, pode causar dor de cabeça, náuseas, tonteadas, perturbações visuais e auditivas, além de excitação (<u>efeitos agudos</u>).
Alceno	
1-Undeceno	Esta substância é relativamente tóxica. Provoca irritação dos olhos e da pele (<u>efeitos agudos</u>). Altamente prejudicial se ingerida, podendo causar irritação do pulmão e sistema respiratório (<u>efeitos crônicos</u>).

Fonte: CDC (2014); PubChem Database e CAS Database List Chemical Book (2015).

Tabela 25 (Continuação)

Cetonas	
Metil-isobutil-cetona	Provoca irritação dos olhos, vias respiratórias (<u>efeitos agudos</u>). Exposição prolongada pode ocasionar náuseas, vômitos, dores de cabeça, tonturas, sonolência e confusão mental (<u>efeitos crônicos</u>).
Ciclo-hexanona	Idem aos efeitos do metil-isobutil-cetona.
Antioxidantes alimentares	
Butil hidroxitolueno	Possivelmente cancerígeno (<u>efeito crônico</u>). Seu uso alimentício foi banido no Japão em 1958, Romênia, Suécia e Austrália; nos EUA é proibido para alimentos infantis.

Fonte: CDC (2014); PubChem Database e CAS Database List Chemical Book (2015).

Tabela 26: Sintomas por inalação dos COV emitidos pelas colas (GC-MS).

Compostos Orgânicos	Efeitos à saúde humana
Alcanos	
N-hexano	Causa sintomas (<u>efeitos agudos</u>), como irritação dos olhos e nariz; tonturas, náusea e dor de cabeça; dormência nas mãos e dedos dos pés; fraqueza muscular; dermatite; vertigem; perturbações visuais e auditivas, e excitação. Os principais órgãos alvos são olhos, pele, sistema respiratório, sistema nervoso central, sistema nervoso periférico.
N-heptano	Causa tonturas, estupor, perda de apetite, náuseas; dermatite; pneumonite química e inconsciência (<u>efeitos agudos</u>). Principais órgãos alvos são pele, sistema respiratório e sistema nervoso central.
2-metil-pentano	Causa irritação dos olhos, pele, sistema respiratório; dor de cabeça, tonturas; náusea; pneumonite química e dermatite (<u>efeitos agudos</u>). Principais órgãos alvos são olhos, pele, sistema respiratório, sistema nervoso central.
3-metil-pentano	Idem sintomas do 2-metil pentano.
2,4-dimetil-hexano	Não existem dados de sintomas potenciais. Pode causar irritação dos olhos, nariz, garganta e da pele (<u>efeitos agudos</u>). Sua inalação pode causar tonturas, sonolência, dor de cabeça, náuseas e trato respiratório.
2,5-dimetil-hexano	De acordo com as frases de risco definidas pelas diretrizes da União Europeia, esta substância é R10 = inflamável, R38 = irritante para a pele, R67 = vapores podem causar sonolência e tontura.
Ésteres	
Acetato de etila	<u>Efeitos agudos</u> - ressecamento da pele, irritação, vermelhidão, dermatite e narcose, danos renais, irritação no trato respiratório, secura na garganta, tosse, dificuldade respiratória e lesão pulmonar. Substância depressora e narcótica que em concentrações elevadas produz uma vasta variedade de <u>efeitos crônicos</u> , como sintomas neurológicos e distúrbios no ritmo cardíaco.
Ácido acético, éster octílico (acetato de octila)	Causa irritação dos olhos, nariz e das vias respiratórias superiores. Narcose em altas concentrações. Produz fortes odores.

Fonte: CDC (2014); PubChem Database e CAS Database List Chemical Book (2015).

Tabela 26 (Continuação)

Ésteres	
Acetato de etila	<u>Efeitos agudos</u> - ressecamento da pele, irritação, vermelhidão, dermatite e narcose, danos renais, irritação no trato respiratório, secura na garganta, tosse, dificuldade respiratória e lesão pulmonar. Substância depressora e narcótica que em concentrações elevadas produz uma vasta variedade de <u>efeitos crônicos</u> , como sintomas neurológicos e distúrbios no ritmo cardíaco.
Ácido acético, éster octílico (acetato de octila)	Causa irritação dos olhos, nariz e das vias respiratórias superiores. Narcose em altas concentrações. Produz fortes odores.
Cicloalcano	
Metil-ciclopentano	<u>Efeitos agudos</u> - inalação provoca tonturas, náuseas e vômitos; além de perda de consciência e colapso, se o vapor for concentrado. Os <u>efeitos crônicos</u> são irritação pulmonar grave, rápido desenvolvimento de edema pulmonar, e excitação do sistema nervoso central seguida por depressão.
Terpenos	
Diidro-alfa-terpineol	<u>Efeitos agudos</u> - inalação em baixas concentrações pode causar irritação do trato respiratório. <u>Efeitos crônicos</u> - inalação em concentrações elevadas pode causar depressão do sistema nervoso e asfixia.
Alfa-pineno	A inalação em concentrações elevadas causa irritação do trato respiratório (<u>efeitos agudos</u>) e contato direto pode irritar ou queimar a pele e os olhos (<u>efeitos crônicos</u>).
Beta-pineno	A inalação em concentrações elevadas causa <u>efeitos crônicos</u> , como palpitações, tonturas, perturbações nervosas, dores no peito e bronquite.

Fonte: CDC (2014); PubChem Database e Chemical Book CAS Database List (2015)

Tabela 27: Sintomas por inalação dos COVs emitidos por revestimentos vinílicos (TG-FTIR).

Compostos Orgânicos	Toxicidade e efeitos à saúde
Ácido	
Ácido clorídrico	Sua inalação em níveis baixos produz irritação na garganta e nariz. Em níveis elevados pode levar até ao estreitamento dos brônquios, acumulando líquidos nos pulmões, e podendo levar a morte.
Alcano	
Hexano	Se for inalado por muito tempo, pode causar dor de cabeça, náuseas, tonturas, perturbações visuais e auditivas, além de excitação.
2,2-dimetil-hexano	De acordo com as frases de risco, esta substância: H225: Líquido e vapores altamente inflamáveis. H304: Pode ser mortal por ingestão e penetração nas vias respiratórias. H315: Causa irritação à pele. H336: Pode provocar sonolência ou vertigens.
N-Pentadecano	Menos perigoso do que a maioria dos produtos químicos em um sistema de ranking. Sem suspeitas de perigo. Usado em produtos de consumo, materiais de construção ou móveis que contribuem para a poluição do ar.

Fonte: CDC (2014); PubChem Database e Chemical Book CAS Database List (2015)

Tabela 27 (Continuação)

Compostos Orgânicos	Toxicidade e efeitos à saúde
Ácido	
Heptano	De acordo com as frases de risco, esta substância: R11: Facilmente inflamável. R38: Irritante para a pele. R67: Pode provocar sonolência e vertigens, por inalação dos vapores. Os sintomas são tonturas, estupor, perda de apetite, náuseas, dermatite, pneumonite química (líquido de aspiração), inconsciência, etc.
4-Nonano	Irritação dos olhos, pele, nariz, garganta, dor de cabeça, sonolência, tonturas, confusão, náuseas, tremor, incoordenação; pneumonite química (líquido de aspiração).
Alcôois	
Hexanol	A exposição ocupacional à esta substância pode ocorrer através da inalação e contato dérmico em locais de trabalho onde 1-hexanol é produzido ou usado. Não há dados sobre sua toxicidade.
Octanol	Se inalado pode provocar tosse e inflamar a garganta. Acima de 81 °C com misturas de ar pode formar misturas explosivas de vapor.
1-Nonanol	Gases inflamáveis e / ou tóxicos Risco de Saúde - irritação dos olhos.
5-Nonanol	Gases inflamáveis e / ou tóxicos Risco de Saúde - irritação dos olhos.
Ciclohexanol	Irritação dos olhos, pele, nariz e garganta e narcose.
4-Decanol	Provoca queimaduras graves, Irritante para os olhos, sistema respiratório e pele, Perigo de efeitos irreversíveis muito graves, Possibilidade de efeitos cancerígenos
Ácido	
1-Hexanotiol	Substância irritante para os olhos, pele e vias respiratórias. Sua inalação causa dor de cabeça, tontura, sonolência e náuseas.
3,5-Diclorofenol	Incêndio: Combustível. Em caso de fumaça de incêndio (ou gases) é tóxico e irritante. Inalação: Dor abdominal, sensação, diarreia, tonturas, dor de cabeça, falta de ar, náuseas, vômitos, fraqueza, etc.
Dióxido de carbono	Em concentrações de até 1% (10.000 ppm), provoca sonolência. Em concentrações de 7% a 10% podem causar asfixia, mesmo na presença de oxigênio suficiente, além de tonturas, dor de cabeça, disfunção visual e auditiva, e inconsciência em poucos minutos a uma hora.
Monóxido de carbono	Dor de cabeça, taquipnéia, náuseas, cansaço (fraqueza, cansaço), tonturas, confusão, alucinações; cianose; depressão, angina e síncope.

Fonte: CDC (2014-15); PubChem Database e Chemical Book CAS Database List (2015)

Como pôde ser observado, os sintomas como irritações de pele, olhos, nariz, garganta, trato respiratório, e de membranas mucosas nos olhos, são ocasionados pelos compostos orgânicos n-butil-acetato, butoxietoxi etanol, 2-etil-1-hexanol, heptadecano, 1-undecano, ácido acético de éster octílico, diidro-alfa-terpineol e alfa-pineno. Tais sintomas resultam da exposição à níveis elevados destes COV, durante horas ou dias.

Por outro lado, os sintomas neurológicos e distúrbio, no ritmo cardíaco, são ocasionados pelo composto n-butil-acetato; aos sintomas de depressão do sistema nervoso e asfixia, são ocasionados pelos compostos 2-metilpropil-ester e diidro-alfa-terpineol; e à probabilidade de câncer, é ocasionada pelo butil hidroxitolueno. Todos estes sintomas são resultados da exposição das pessoas à níveis elevados de COV, durante anos ou décadas.

Assim, o risco destes compostos orgânicos causarem efeitos agudos ou crônicos sobre a saúde das pessoas depende da quantidade de concentração destas substâncias no ar e por quanto tempo ou quantas vezes as pessoas respiram estas concentrações. De acordo com o MDH (2015), vários estudos sugerem que a exposição aos COV, por longo período de tempo, pode piorar os sintomas em pessoas que têm asma ou são particularmente sensíveis a produtos químicos.

Quanto aos riscos oferecidos pelas substâncias químicas identificadas nos testes por TGA-FTIR, apresentados na tabela 27, pôde-se observar que algumas delas revelaram ser não apenas prejudiciais à saúde humana como também inflamáveis, em caso de incêndio no interior dos edifícios. Neste caso, os compostos orgânicos 2,2-dimetil-hexano e 4-decanol, e o composto não orgânico ácido clorídrico, revelaram ser os principais agentes tóxicos, responsáveis pelas mortes que ocorrem após a inalação das substâncias liberadas pelos produtos vinílicos, em decomposição.

No entanto, como na presente pesquisa são avaliadas as emissões de compostos orgânicos voláteis em temperatura ambiente e não em temperaturas altamente elevadas, foram analisadas apenas duas amostras da marca Tarkett pela técnica de termogravimetria acoplada à espectroscopia de infravermelho. Ainda mais se for

considerado que a deterioração da concentração do HCl e dos COV derivados da decomposição de PVC, geralmente acompanhados de grandes quantidades de outros produtos combustíveis em um ambiente interno, à altíssimas temperaturas, exige a realização de pesquisas específicas, que verifiquem detalhadamente o comportamento dos pisos vinílicos e colas, sob testes de fogo ou combustibilidade.

4.2.4.3. Análise de sustentabilidade dos revestimentos vinílicos pelo ponto de vista das emissões nocivas no ar

Conforme os requisitos da LEED, materiais de construção sustentáveis são aqueles feitos a partir de recursos renováveis, altamente duráveis, recicláveis e com baixos níveis de emissões. Além disso, selecionar estes produtos considerando seus ciclos de vida, da extração até o descarte ou reutilização, ajuda no momento de decidir se eles devem ou não ser especificados (PILATOWICZ, 1995).

Com base nestes requisitos e a partir da avaliação dos resultados dos valores limites de exposição dos COV e dos efeitos provocados na saúde humana por estas substâncias, pode-se afirmar que os revestimentos vinílicos e os adesivos de contato testados na presente pesquisa, por meio de métodos analíticos, não podem ser considerados ecologicamente corretos. Pois, ao mesmo tempo que são produzidos com conteúdos reciclado (pós-consumo e pós-instalação) ou com plastificantes naturais, há também o potencial deles emitirem contaminantes químicos no ar.

Pois, a identificação de algumas concentrações de COV acima dos valores limites de exposição máxima, diz respeito aos efeitos nocivos que estas substâncias podem ter, em longo prazo, na saúde dos ocupantes dos edifícios e na qualidade do ar no interior dos ambientes. Entretanto, não se sabe se a soma destas substâncias emitidas pelos revestimentos e adesivos com outros COV emitidos por outros objetos em um mesmo ambiente fechado pode ter algum efeito sobre seus ocupantes e sobre a qualidade do ar, em termos de COV totais.

Conclusões

5. CONCLUSÕES

5.1. Conclusões a partir dos resultados dos experimentos

Nas análises qualitativas da primeira fase de experimentos, realizadas por meio da técnica de HS-SPME/GC-MS, em laboratório de cromatografia, foram obtidos resultados que mostraram a presença de COV em amostras de revestimentos vinílicos e adesivos de contato, recomendados para aplicação em pisos de ambientes residenciais. A partir da avaliação destes resultados pôde-se concluir que:

- a) Os compostos orgânicos encontrados nos revestimentos vinílicos de piso pertencem às classes químicas dos ésteres, éter glicólicos, alcanos, álcoois, cetonas, antioxidantes, ésteres de acetato e terpenos;
- b) As amostras 1, 2 e 3, correspondentes aos revestimentos de piso das linhas Paviflex, Essence e Ambiente, da marca Tarkett Fadamac, contêm mais COV em suas composições do que as amostras 4, 5, e 6, correspondentes aos revestimentos das linhas eSable, eBlond e BlocksLite, da marca ePiso;
- c) A amostra 3 foi que apresentou a eluição de um maior número de compostos orgânicos nos primeiros minutos de corrida cromatográfica, enquanto que a amostra 5 apresentou um menor número de eluições de COV. A partir deste e outros resultados dos testes com as amostras, chegou-se a conclusão que os revestimentos de piso da marca Tarkett Fadamac podem ter maior potencial de emissões de COV do que os revestimentos de piso da linha eBlond;
- d) A amostra do adesivo de contato Globalfix contém as substâncias alfa-pineno; beta-pineno; octil éster ácido acético; dihidroterpineol e o 2-etil-1-hexanol, enquanto que o adesivo Maxi Rubber contém as substâncias 2-metil-pentano; 3-metil-pentano; n-hexano; n-heptano; acetato de etila; metil-ciclopentano; 2,3-dimetil-pentano; 2,4-dimetil-pentano e 2,5-dimetil-hexano. Com isto, chegou-se à conclusão que o adesivo Globalfix, formulado pela empresa Tarkett para ter

menos odores que os adesivos de contato convencionais, também pode ser menos tóxico na aplicação de revestimentos do que o adesivo Maxi Rubber, devido à menor quantidade de COVs apresentada;

- e) As amostras de revestimentos vinílicos de parede indicaram apenas a presença de compostos orgânicos não voláteis, identificados nos cromatogramas. No entanto, a partir do que foi definido na literatura da presente pesquisa (item 2.3.2), a probabilidade dos produtos vinílicos emitirem compostos orgânicos não voláteis para o ar é “extramente baixo”, mas “não nula”, o que pode ser um agravante para a saúde das pessoas hipersensíveis.

Nas análises qualitativas, realizadas pela técnica de TG-FTIR, os resultados revelaram a existência de COV pertencentes às classes dos alcanos, álcoois, tióis, organoclorados, solventes hidrocarbonetos e ácido cloreto, em algumas amostras de pisos vinílicos. Entre estas classes, se destacam algumas substâncias como ácido clorídrico, 4-decanol, e 2,2-dimetil-hexano, que indicaram ter efeitos extremamente crônicos à saúde humana, ao mesmo tempo que são substâncias inflamáveis.

A partir das análises quantitativas das amostras de revestimento das linhas Ambienta, Essence, Absolute e Durafloor, assentadas com adesivo Globalfix sobre contrapiso de concreto, foram obtidas as concentrações de alguns compostos orgânicos, conforme descrito na tabela 28.

Tabela 28: Concentrações de COV em pisos assentados sobre adesivo, análise quantitativa.

Tipos de amostras	Compostos orgânicos voláteis analisados	Concentrações (µg/m³)
Amostra 3 (piso Ambienta) assentada sobre amostra 13 (adesivo Globalfix)	2-etil-1-hexanol	30,55
Amostra 2 (piso Essence) assentada sobre amostra 13	2-etil-1-hexanol	31,67
Amostra 12 (piso Absolute) assentada sobre amostra 13	2-etil-1-hexanol	216,41
Amostra 11 (piso Durafloor) assentada sobre amostra 13	2-etil-1-hexanol	403,33
Amostra 11 (piso Durafloor) assentada sobre amostra 13	2-etil-hexil-acetato	15,29
Amostra 11 (piso Durafloor) assentada sobre amostra 13	diidro-alfa-terpineol	51,3
Amostra 12 (piso Absolute) assentada sobre amostra 13	diidro-alfa-terpineol	21,58

Fonte: Levantamento do próprio autor.

Como pode ser observado, as concentrações do composto 2-etil-1-hexanol, volatizado nos frascos com amostras de revestimento Durafloor e Absolute estão bem acima dos 110 mg/m³ estipulados como limite máximo de exposição permissível ao 2-etil-1-hexanol, pela norma internacional MAK. Com estes dados aliados aos sintomas que podem ser causados por altas concentrações do 2-etil-1-hexanol (descritos na tabela 25), pode-se concluir que os revestimentos Absolute e Durafloor, instalados em pisos nos edifícios, são potenciais fontes de contaminação do ar interno e oferecem riscos à saúde humana. Portanto, mesmo que estes revestimentos tenham conteúdo reciclado e aditivos com origem em fontes naturais, agregados às suas composições, tais emissões tóxicas não os condiciona a serem produtos ecologicamente corretos.

Entretanto, deve ser salientado que os resultados obtidos das concentrações dos COV podem não refletir a concentração destes compostos em uma “escala real” já que os testes foram simulados em frascos fechados de 3000 mL e sem considerar variáveis importantes como temperatura, umidade e circulação de ar.

De uma forma geral, a avaliação dos sintomas que podem ser causados por inalação dos COV identificados na presente pesquisa (conforme tabelas 25, 26 e 27), indicou que os prejuízos provocados à saúde dos ocupantes dos edifícios vão desde efeitos agudos, que corresponde às irritações temporárias de pele e membranas mucosas dos olhos, nariz, garganta e trato respiratório, até efeitos crônicos e doenças graves como sintomas neurológicos e distúrbios no ritmo cardíaco, depressão do sistema nervoso, asfixia e probabilidade de câncer, se ultrapassarem os limites máximos de exposição determinados por agências internacionais, por longo período. Portanto, tal fato deveria ser informado à sociedade antes dos revestimentos vinílicos e adesivos serem especificados.

A respeito dos meios de informação sobre a toxicidade dos revestimentos vinílicos e seus adesivos de contato, de maneira a esclarecer os profissionais de arquitetura, design de interiores e engenharia civil, sobre os contaminantes existentes nestes produtos, fez-se a caracterização de uma ferramenta de divulgação profissional, denominada Declaração de Transparência do Produto, criada pelo Resilient Floor Covering Institut, no item 2.5.7 da presente pesquisa. Com isto, concluiu-se que este modelo de declaração e o software abordado no item 2.6.6.1, possam ser bons subsídios para uma futura pesquisa que contemple este trabalho de divulgação.

Mesmo, porque, tal trabalho beneficiaria os profissionais citados, proprietários e demais especificadores, quanto à uma correta especificação destes produtos, no que tange à preocupação com a saúde dos ocupantes do edifício no ambiente interno. Além de atender aos fabricantes de revestimentos vinílicos que precisassem fornecer informações mais detalhadas sobre os componentes utilizados na fabricação destes produtos, em conformidade com os programas de construção verde, que estão solicitando ou exigindo mais transparência nos materiais usados nos interiores das edificações, especialmente as residências.

5.2. Considerações finais

Com base na revisão bibliográfica da presente pesquisa, pôde-se concluir que:

- a) A técnica analítica de HS-SPME/GC-MS é o método mais aproximado da realidade, na ausência da técnica de câmara de testes/GC-MS, sendo que permite qualificar e quantificar vários dos analitos contidos nas amostras, em maior quantidade que outros métodos;
- b) Há influência de variáveis ambientais, tais como temperatura, umidade e ventilação, sobre as emissões de COVs pelos revestimentos vinílicos e adesivos usados nas superfícies internas das edificações. Por outro lado, em uma situação de incêndio, estes produtos tendem a emitir ainda mais substâncias. Neste caso é possível que as pessoas corram mais risco de vida pela fumaça tóxica proveniente dos materiais do que pelo fogo;
- c) Há carência de normas e regulamentações brasileiras atualizadas, que contenham parâmetros para a melhoria da qualidade do ar interno. Além da ausência de parâmetros para COV e vários compostos carcinogênicos, o que eleva a carga de poluentes acima do recomendável e contribui para a má qualidade do ar interno nos edifícios, originando inclusive a síndrome do edifício doente, que advém de várias fontes de contaminação;
- d) As medidas ideais de controle dos COV no ar interno são a remoção ou redução das fontes de emissão destas substâncias; a adoção de materiais construtivos

menos tóxicos; o controle das taxas de ventilação para remoção destes contaminantes e a remoção deles através de filtros de ar;

- e) O plastificante ftalato DOP influencia na toxicidade dos revestimentos vinílicos, por ser uma substância tóxica, representando consideráveis riscos à saúde humana e ao ambiente. Os COVs identificados, individuais ou em misturas, provocam efeitos agudos e graves na saúde das pessoas, como foi abordado nas tabelas 27, 28 e 29;
- f) A diversidade de revestimentos vinílicos de piso e de parede, existentes no mercado, que são aplicados em projetos arquitetônicos no Brasil e no mundo, impõe dificuldades aos profissionais que planejam ambientes internos, sobre a escolha da solução mais adequada para uma determinada utilização;
- g) Além de informações ambientais, fornecidas pelos fabricantes no rótulo da embalagem dos produtos, como “porcentagem de conteúdo reciclado” ou “porcentagem do conteúdo natural”, os profissionais devem ter informações de “qual é o tipo de conteúdo reciclado” ou se “o plastificante ou outro componente usado é natural”, além de informações sobre os valores das concentrações de compostos orgânicos voláteis que podem ser emitidas pelo produto e de informações sobre o ciclo de vida deste produto;
- h) Durante o desenvolvimento da presente pesquisa, chegou-se à conclusão de que é positiva a atuação dos profissionais da arquitetura, design de interiores e engenharia civil junto aos profissionais da química, em busca de alternativas para novas formulações de pisos vinílicos e colas, de maneira que estes produtos obtenham baixíssimas emissões ou emissões nulas de COV. Ou mesmo, tal iniciativa poderia se estender à produção de outros materiais e componentes construtivos, e a partir daí contribuir para o menor impacto das edificações sobre o meio ambiente.
- i) Todos os compostos orgânicos tóxicos que fazem parte dos ingredientes dos revestimentos vinílicos e dos adesivos de contato devem ser informados pelos fabricantes destes produtos, para que os instaladores e os usuários possam ter conhecimento dos riscos que estão expostos e possam tomar medidas preventivas.

Em meio a este contexto, entende-se que os resultados da presente pesquisa contribuem para as discussões a respeito da QAI e salubridade ambiental nas edificações residenciais e da sustentabilidade na construção civil e arquitetura. Pois, os objetivos que estavam voltados para este fim foram atendidos.

5.3. Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros recomenda-se que:

- a) A quantificação de mais concentrações de COV nos revestimentos vinílicos de piso e adesivos de contato analisados nesta pesquisa, em condições de temperatura ambiente;
- b) O estudo das emissões de COV de outros revestimentos vinílicos de piso e adesivos, e de outros componentes de PVC, em condições de incêndio;
- c) Desenvolvimento de meios de divulgação sobre a toxicidade destes produtos vinílicos para os profissionais da arquitetura, design de interiores e engenharia, como é contemplado no item 5.1;
- d) Estudos de emissões de COV a partir de componentes com base em outros materiais construtivos;
- e) Estudo sobre a influencia das variáveis ambientais - temperatura e umidade - nas emissões de COVs por materiais de acabamento internos e externos;
- f) Estudo e desenvolvimento de um selo ambiental que forneça todas as informações sobre a emissão de COVs por diversos materiais de construção e componentes construtivos, com base em dados de experimentos;
- g) Estudo de aditivos que cumpram os princípios da química verde, para serem aplicados em revestimentos vinílicos e outros produtos em PVC, que são utilizados na arquitetura e engenharia civil;

- h) Estudo que envolva temas como as condições salubres que as fabricas de revestimentos vinílicos e outros materiais de construção devem proporcionar aos seus operários em suas estações de trabalho; conscientização sobre os riscos potenciais dos produtos químicos que eles manipulam, assim como os procedimentos de proteção e segurança que devem seguir; e os valores limites de exposição que as industrias devem cumprir em prol do bem-estar de seus trabalhadores, em suas jornadas;
- i) Pesquisa sobre a emissão de COV por papéis de parede, com camada superficial de vinil que possua estabilizantes de alta eficiência, os quais possam dificultar a volatização dos compostos orgânicos, tal qual foi observado na presente pesquisa;
- j) Pesquisa sobre as consequências das concentrações de COV na saúde dos ocupantes de um ambiente fechado, caso as emissões destas substâncias químicas ultrapassassem os valores limites de exposição;
- k) Pesquisa que verifique o comportamento dos pisos vinílicos e adesivos de contato, em testes de fogo ou combustibilidade, além de analisá-los pela técnica de termogravimetria acoplada à espectroscopia de infravermelho;
- l) Estudo de uma ferramenta de divulgação profissional, adaptada do modelo da Declaração de Transparência do Produto, criada pelo Resilient Floor Covering Institut, associado ao estudo e aplicação do software abordado no item 2.6.6.1;
- m) Proposta de estudo da porcentagem de material reciclado nas amostras estudadas, e das características deste material, além da divulgação destas informações em uma ficha de declaração que pode ser elaborada.

Capítulo 6

Referências bibliográficas

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEYSUNDARA, U.G.Y.; BABEL, S.; GHEEWALA, S. 2009. **A matrix in life cycle perspective for selecting sustainable materials for buildings in Sri Lanka.** *Building & Environment*, **44**(5):997-1004. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.07.005>.

ACETOZE, A. L.; NUNES, L. R.; CUKIERMAN, J. (1996). **Manual Trikem de produtos utilizados na construção civil.** São Paulo: Editora Pini.

ADHETECH QUÍMICA INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. **Globalfix – adesivo de contato.** Ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ). Disponível em: http://www.forumtarkett.com.br/images/downloads/FISPQ_GLOBALFIX.pdf. Acesso em: 20/11/2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. Resolução RE nº. 9, de 16 de janeiro de 2003.

MATOS, J.; BRANTES, J. et al. **Qualidade do Ar em Espaços Interiores: um Guia Técnico.** Ed. Agencia Portuguesa do Ambiente (APA) - Ministério do Ambiente, do Ordenamento e do Desenvolvimento Regional, Amadora, Portugal, 2009.

AMBU, S.; CHU, W.L.; MAK, J.W. et al. (2008) **Environmental health and building related illness.** *Journal of Science, Medicine and Education*, 2(1), 11 – 18.

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS - ACGIH. **Guide of occupational exposures values.** Compiled by ACGIH. Published in the United States of America by ACGIH. Cincinnati Ohio, EUA, 2009.

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HIGIENISTS - ACGIH. **Table of exposure limits for chemical and biological substances.** <https://www2.worksafebc.com/PDFs/regulation/ExposureLimits.pdf> Acesso em: 15/10/2012.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS – **ASHRAE Standard 62-89:** Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Atlanta, GA, American Society of Heating Refrigerating and, Air-Conditioning Engineers, Inc. 1989

_____ **ASHRAE - Standard 55-2004:** Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.

_____ **ASHRAE - Standard 62.2-2007:** Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings.

_____ **ASHRAE - Standard 62.2-2010:** Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL - **ASTM D5116-10** - Standard guide for small-scale environmental chamber determinations of organic emissions from indoor materials/products. Pennsylvania, EUA, 2010.

_____ **ASTM - D6670-13** - Standard practice for full-scale chamber determination of volatile organic emissions from indoor materials/products. Pennsylvania, EUA, 2013.

_____ **ASTM - D6420-99(2004)** - Standard Test Method for Determination of Gaseous Organic Compounds by Direct Interface Gas Chromatography-Mass Spectrometry. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, EUA, 2004.

_____ **ASTM - E2105 – 00 (Reapproved 2010)** - Prática padrão para Técnicas Gerais de Análise Termogravimétrica (TGA) Acoplado com Análise de Infravermelho (TGA /FTIR). ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, EUA, 2010.

ANDERSON, S., WELLS, J.; FEDOROWICZ, A., et al. **Evaluation of the contact and respiratory sensitization potential of volatile organic compounds generated by simulated indoor air chemistry.** *Toxicological Sciences* (2007), 97(2), 355-363.

APOSPOROS, D. **Resilient Flooring for Old Houses.** Ed. Old-House Journal , Washington D.C., November/December 2008. Disponível em:
<http://www.oldhouseonline.com/resilient-flooring-for-old-houses/>

ARMSTRONG COMMERCIAL FLOORING. **Environmental Product Declaration - Luxury Vinyl Tile.** ASTM International certification. (2014) Disponível em:
[http://www.astm.org/CERTIFICATION/DOCS/191.EPD for Armstrong Luxury Vinyl tile - Solid Vinyl Tile.pdf](http://www.astm.org/CERTIFICATION/DOCS/191.EPD%20for%20Armstrong%20Luxury%20Vinyl%20tile%20-%20Solid%20Vinyl%20Tile.pdf). Acesso em: 15/10/2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISO 14020:** Rótulos e declarações ambientais, princípios gerais. São Paulo, Brasil, Jul, 2002.

_____. **NBR ISO 14021:** Rótulos e declarações ambientais, autodeclarações ambientais (Rotulagem do Tipo II). São Paulo, Brasil, Mai, 2004.

_____. **NBR ISO 14024:** Rótulos e declarações ambientais, rotulagem ambiental do tipo I, princípios e procedimentos. São Paulo, Brasil, Mai, 2004.

_____. **NBR ISO/IEC 17025:** Escopo da acreditação – Ensaio - Determinação de Compostos Orgânicos Voláteis pelo método da Espectrometria de Massa Acoplado à Cromatografia Gasosa com Injeção por Head Space. São Paulo, Brasil, Mai, 2013.

AVEZUM, A. L. **Arquitetura Ecológica e Tecnologia no Século XX: base para o projeto arquitetônico sustentável.** Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP. São Paulo, 2007.

AZEVEDO, D. **Espectrometria de Massas.** Departamento de Química Orgânica Instituto de Química Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

BALZER, P. S. **Estudo Comparativo do Efeito Plastificante de Policaprolactonas diol e triol e Dioctil Ftalato em Poli (cloreto de vinila)**. Tese de Doutorado, Programa de PósGraduação em Ciências e Engenharia de Materiais - PGMAT. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

BANAR, M.; ÇOKAYGİL, Z. **Life Cycle Comparison of Floor Covering Materials: Vinyl Covering and Laminated Parquet Covering**. Journal of Polytechnic, Vol: 14 Nº: 3 pp. 203-206, 2011. Department of Environmental Engineering, Turkey, 2011.

BATISTA, J. **Eficácia da Ventilação Mecânica Noturna para Resfriamento: Impacto de Estratégias Híbridas de Ventilação no Desempenho Térmico de Residência em Florianópolis**. Tese apresentada ao Programa de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2011.

BEACH, E. **Run Silent, Run Deep**. Henry Holt & Co., *New York, USA*, 1955.

BISSOLI-DALVI, M.; ALVAREZ, C.; HOFMAN, I et al. **Sistematização de indicadores de sustentabilidade como ferramenta auxiliar ao projetista na seleção dos materiais de construção**.Arquiteturarevista, Vol. 9, n. 2, p. 99-111, jul/dez, 2013. Universidade Federal do Espírito Santo, ES, 2013.

BLANCHARD, S.; REPPE, P. **Life Cycle Analysis of a Residential Home in Michigan**. Center for Sustainable Systems University of Michigan, Michigan, U.S.A., 60, 1998.

BLUYSSSEN, P.M. et al. **European Indoor Air Quality Audit Project in 56 Office Buildings**. Indoor and Built Environment, Ed. vol. 6, Issue 4, p. 221–238, 1996.

BLUYSSSEN, P.M. **Management of the indoor environment: from a component related to an interactive top-down approach**. Indoor and Built Environment, Ed. vol. 17 nº. 6 483-495, 2008.

BOBINEX – PAPEL DE PAREDE. Coleção Harmonia Natural. Catálogo institucional. <http://www.bobinex.com.br/site/>. Acesso em: 10/11/2015.

BORNEHAG, C.; LUNDGREN, B.; WESCLER, C. **Phthalates in Indoor Dust and Their Association with Building Characteristics.** *Environ Health Perspect.*, 113(10): 1399–1404. Departamento de Ciências da Saúde, Karlstad University, Sweden, October 2005.

BOURDEAU, L.; HOUVILLA, P.; LATING, R.; GILHAM, A. **Sustainable Development and the Future of Construction: A comparison of visions from various countries.** CIB Publications, 32 p. Rotterdam, Holland, 1998.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria 3.523 de 28 de agosto de 1998.

BRAUN, J.; SATHYANARAYANA, S.; HAUSER, R. **Phthalate Exposure and Children's Health.** *Curr. Opin. Pediatr.* Author manuscript; 25(2):247–254, April 2013.

BREMER, J., WITTE, E.; SCHNEIDER, D. **Measurement and characterisation of emissions from PVC materials for indoor use.** In *Indoor Air'93*. O.Seppanen, J. Railio e J. Sateri (Eds.). Espoo, 2: 419-424, 1993.

BRICKUS, L., CARDOSO, J.; AQUINO NETO, F.; **Proceedings of the 5rd International Conference: HealthyBuildings'97**, Washington,D.C., USA. Aceito.1997.

BRICKUS, L.; AQUINO NETO, F. **A Qualidade do Ar de Interiores e a Química.** LADETEC – UFRJ, Rio de Janeiro, 1998.

BRUCE, N.; PEREZ-PADILLA, R.; ALBALAK, R. **Indoor air pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge.** *Bulletin of the World Health Organization*, Suíça, v.78, n. 9, p. 1078-1092, 2000.

BRUNDTLAND, G. H. **Our common future: The World Commission on Environment and Development.** Oxford: Oxford University,1987.

BUENO, C.; ROSSIGNOLO, J. **Desempenho ambiental de edificações: cenário atual e perspectivas de sistemas de certificação**. Ed. Revista Pesquisa e Tecnologia Minerva, São Carlos, SP, 2013.

CADOGAN D.; HOWICK C. **Plasticizers**. In: **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology**. New York: John Wiley and Sons, 258–290, 1996.

CADOGAN, D.; CHRISTOPHER, H. **Plasticizers**. Copyright by John Wiley & Sons, Inc., 2001.

CARLISTE PLASTICS COMPANY INC. **A short history of plastisol**. Disponível em: <http://www.carlisleplastics.com/a-short-history-of-plastisol/>. Acesso em: 15/08/2014.

CARLSTEDT, F.; JONSSON, B.; BORNEHAG, C. **PVC flooring is related to human uptake of phthalates in infants**. Ed. Indoor Air 2013; 23: 32–39, 1Primary Care Research Unit, County Council of Värmland, Karlstad, Sweden, 2013.

CARMO, A.T.; PRADO, R.T. **Qualidade do ar interno**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; 1999.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION – CDC. **Niosh Pocket Guide to Chemical Hazards**. Disponível em: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>. Acessos de 02/2014 a 12/2015.

CHARLES, K.; MAGEE, R.; WON, D. et al. **Indoor Air Quality Guidelines and Standards**. Published by National Research Council Canada, in Final Report 5.1-CMEIAQ-II: Consortium for Material Emission and IAQ Modelling II, 2005.

CHEMICAL ABSTRACTS SERVICE (CAS) DATABASE LIST CHEMICAL BOOK. Disponível em: http://www.chemicalbook.com/CASDetailList_19500_EN.htm. Acesso em: 15/11/2015.

CICOLELLA, A. **Assessing risks of indoor air pollutants**. WG14 Report, draft, 16-22, 1998.

CLAUSEN, P.; XU, Y.; SORENSEN, V. et al. **The influence of humidity on the emission of di-(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) from vinyl flooring in the emission cell “FLEC”**. Atmospheric Environment 41 (2007) 3217–3224. National Institute of Occupational Health, Dinamarca, 2007.

COELHO, C.; STEERS, M.; LUTZLER, P. et al. **Indoor air pollution in old people's homes related to some health problems: a survey study**. *Indoor Air*, 15(4), 267-274, 2005.

COLLABORATIVE FOR HIGH PERFORMANCE SCHOOLS (CHPS) (2006). **Low emitting materials table**. Best Practices Manual. Disponível em: http://www.chps.net:80/manual/lem_table.htm. Acesso em: 22/09/2012.

COLLINS, C.; BRAGA, G.; BONATO, P. **Fundamentos de cromatografia**. Editora Unicamp, 453 p., Campinas, SP, 2006.

COMETTO-MUÑIZ, J.; CAIN, W.; ABRAHAM, M. **Detection of single and mixed VOCs by smell and by sensory irritation**. Pub. *Indoor Air*, v. 14: 108-17, 2004.

COMPOUND SUMMARY PUBCHEM (2015). **Bis (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)**. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/dehp#section=Top>. Acesso em: 15/01/2016.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CNUMAD). **Agenda 21. Capítulo 6 – Proteção e promoção das condições da saúde humana**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global>. Acesso em: 24/08/2015.

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGATION CIENTIFICA (CSIC). **Cromatografia de gases**. Museo Nacional de Ciencias Naturales de España. Disponível em: http://www.mncn.csic.es/docs/repertorio/es_ES//investigation/cromatografia_de_gases.pdf. Acesso em: 22/09/2012.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para ostrópicos: conforto ambiental.** Rio de Janeiro: Revan, 2003.

CORDEIRO, R.; LIMA-FILHO, E. **A inadequação dos valores dos limites de tolerância biológica para a prevenção da intoxicação profissional pelo chumbo no Brasil.** Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v.11, n. 2, p. 177-186, 1995.

COSTA, N. **A reciclagem do resíduo de construção e demolição: uma aplicação da análise multivariada.** Tese (Doutorado) – Programa de pós-graduação do departamento de Engenharia de Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

CUELL, M. **Building Related Sickness.** Buildings Services the CIBSE journal, v.15, n.03, p. 21-22, 1993.

DAISEY, J.; ANGELL; W. et al. **Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information.** *Indoor air*, 13(1), 53-64, 2003.

DEISINGER, P., PERRY L.; GUEST, D. **In vivo percutaneous absorption of DEHP from DEHP-plasticized polyvinyl chloride film in male Fischer 344 rats.** Food Chem Toxicol, 36(6):521–527; doi: 10.1016/S0278-6915(98)00015-5, 1998.

DENARI, G.; CAVALHEIRO, E. **Princípios e Aplicações de Análise Térmica.** Material de apoio, curso teórico/prático, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2012.

DIAS, G. **Educação Ambiental: princípios e práticas.** 7ª ed. São Paulo: Gaia, 2001.

DINGLE, P.; FRANKLIN, P. **Formaldehyde levels and the factors affecting these levels in homes in Perth, Western Australia.** *Indoor and Built Environment*, 11(2), pp. 111—116, 2002.

DONGGAN HAO HOME DECORATION Ltd. Disponível em: <http://pt.aliexpress.com/cheap/cheap-woven-vinyl-placemat.html>. Acesso em: 10/01/2016.

DREYER, L.; HAUSCHILD, M.; SCHIERBECK, J. **A framework for social life cycle impact assessment.** *International Journal*, 11(2):88-97, 2006.

DURATEX Ltd. **Durafloor – piso LVT - piso vinílico de última geração.** Folder institucional. Disponível em: <http://www.durafloor.com.br/Upload/ImgConteudos/1284.pdf>. Acesso em: 10/12/2015.

EDWARDS, B. **O guia básico para a sustentabilidade.** 2ª Edição. Barcelona: Editorial Gustavo Gilli, 2008.

ELEKEIROZ – empresa química e petroquímica. **Plastificante DOP FG (Di Octil Ftalato – Food Grade).** Disponível em: <http://www.elekeiroz.com.br/PT/produtos/Paginas/dopfg.aspx>. Acesso em: 15/10/2015.

EPISO – Ficha técnica Wood Planks. Disponível em: <http://episo.com.br/produtos/wood-planks>. Acesso em: 10/11/2015.

EPISO - Casa Cor Mato Grosso do Sul (2011). Disponível em: http://episo.com.br/projetos/casa-cor-2011_mato-grosso-do-sul. Acesso em: 10/11/2015.

EUROPEAN COLLABORATIVE ACTION (ECA) "Indoor Air Quality and Its Impact on Man". **Guideline for the characterization of volatile organic compounds emitted from indoor materials and products using small test chambers.** Report Nr.8, EUR13593 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1991.

EVERARD, M.; MONAGHAN M.; RAY, D. **PVC: An Evaluation Using the Natural Step Framework - The Natural Step.** Pub. Environment Agency, UK, July 2000.

EWING, G. W. **Métodos Instrumentais de Análise Química.** Editora Edgar Blücher, São Paulo, 2002.

FANG L., WYON D., CLAUSEN G. et al. **Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance.** *Indoor Air*. Ed. 2004; 14 suppl 7:74-81, 2004.

FPACEOH - FEDERAL PROVINCIAL ADVISORY COMMITTEE ON ENVIRONMENTAL AND OCCUPATIONAL HEALTH. **Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality.** Minister of Supply and Services Canada, 1995.

FARROW, A., TAYLOR, H., NORTHSTONE, K. et al. **Symptoms of mothers and infants related to total volatile organic compounds in household products.** *Archives of Environmental Health*, 58(10), 633-64, 2003.

FENG, L. **Developing mass transfer based model for predicting VOCs emission from building materials.** Tese de Doutorado, Department of Building Services Engineering, Hong Kong, 2006.

FIEDLER, N.; LAUMBACH, R.; KELLY-MCNEIL, K. et al. **Health effects of a mixture of indoor air volatile organics, their ozone oxidation products, and stress.** *Environmental Health Perspectives*, 113(11), 1542-1548, 2005.

FLORENTINO, E. **Qualidade do Ar Interno do Edifício Residencial em Niterói - Rio de Janeiro.** Dissertação apresentada ao Programa de PG em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2006.

FUGIWARA ENTERPRISES INTERNATIONAL GROUP NET (2015). Disponível em: <http://www.fugiwara.com/v1/areasdeatuacao.php?id=7>. Acesso em: 15/11/2015.

FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI. **Referencial Técnico de Certificação: Edifícios do Setor de Serviços – Processo AQUA/ escritórios – edifícios escolares.** Fundação Vanzolini/ Groupe CSTB, São Paulo, 2008.

FUNDAÇÃO VANZOLINI & CERWAY. **Regras de Certificação AQUA-HQE™ Certificado pela Fundação Vanzolini e Cerway para Edifícios em Construção.** Fundação Vanzolini, São Paulo, 2016.

GABRIEL, C. M. **Revestimento vinílico em pavimentos: características, execução e patologia.** Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia Civil, do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Portugal, 2011.

GANGI, J. **Ftalatos em Produtos Médicos de PVC de Doze países.** Greenpeace, EUA, 1999.

GERFLOR – Technical Characteristics Vinyl Planks (2015). Disponível em: <http://www.gerflor.com/products/residential/floor/vinyl-plank-1,8mm.html>. Acesso em: 26/05/2011.

GERFLOR IBÉRIA S.A. Disponível em: [URL:http://www.gerflor.com/data/document/gerflor-desenvolvimento-sustentado.pdf](http://www.gerflor.com/data/document/gerflor-desenvolvimento-sustentado.pdf). Acesso em: 26/05/2011.

GIODA, A.; AQUINO NETO, F. **Considerações sobre estudos de ambientes industriais e não- industriais no Brasil: uma abordagem comparativa.** Cadernos de Saúde Pública, v. 19, n. 5, p. 1389-1387, 2003 (a).

GIODA, A.; AQUINO NETO, F. **Poluição química relacionada ao ar de interiores no Brasil.** Química Nova, Vol. 26, N°3, 359-365, 2003 (b).

GIOLITO, I. **Fundamentos da Termogravimetria e Análise Térmica Diferencial/ Calorimetria Exploratória Diferencial.** São Paulo: Giz Editorial, 2004.

GODISH, T. **Air Quality.** CRC Press. Inc. 1997.

GODISH, T. **Indoor air quality handbook.** New York: McGraw-Hill, 2001.

GOMES, A. O.; KUWAHARA, M. Y. **Custos de saúde associados à poluição do ar em ambientes internos: possibilidades da valoração econômica ambiental.** Revista Jovens Pesquisadores, Ano V, N. 8, Jan./Jul., 2008.

GONÇALVES, J. J. **Difusão de Compostos Orgânicos Voláteis em Materiais de Construção. Influência da Microestrutura.** Mestrado em física dos materiais avançados, Universidade do Minho, Portugal, 2009.

GONÇALVES, J.; DUARTE, D. **Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino.** Ed. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 51-81, 2006.

GRANDE, M.D. **Cromatografia gasosa princípios básicos.** SINC do Brasil Scientific Instruments co. Instrumentação Científica Ltda., 2012.

GREEN BUILDING COUNCIL – BRASIL (GBC – Brasil), **Leadership in Energy and Environmental Design.** Disponível em: <<http://www.gbcbrazil.org.br/?p=home>>. Acesso em: 20/05/2012.

GROES, L. **The European IAQ-Audit Project. A statistical analysis of indoor environmental factors.**, Ph.D. Thesis, Laboratory for Heating and Air Conditioning, Technical University of Denmark, 1995.

GUÍO, L. **Compostos Orgânicos Voláteis em Tintas Imobiliárias: caracterização e efeitos sobre a qualidade do ar em ambientes internos construídos.** Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Arquitetura da Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 2013.

GÜNTHER, A.; LANGOWSKI, H., **Life Cycle Assessment Study on Resilient Floor Coverings**, Int. J. LCA, 2 (2), 73- 80, 1997.

GUSTAFSSON, H. **Building materials identified as major sources for indoor air pollutants - A critical review of cases studies.** Swedich Council for Building Research, Issue 199306, Estocolmo, Suécia, 1992.

HAGHIGHAT, F., ZHANG, Y.; DE BELLIS, L. **Surface Airflow characteristics in indoor environments. An important parameter for material emissions control.** In Proceedings of the Second International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation

and Energy Conservation in Buildings. F. Haghighat (Ed). Centre for Building Studies Concordia University, Montreal, 1: 161-165, 1995.

HAINES, P. **Principles of Thermal Analysis and Calorimetry**. Cambridge, UK: Lynx Edicions, ISBN 0-85404-610-0, 1992.

HANSEN, S.J. **Managing Indoor Air Quality**. The Fairmont Press, 3ª ed., Lilburn, Georgia, EUA, 1991.

HAVWOODS INTERNATIONAL. **Grade II Listed Barn Conversion, Derbyshire**. Disponível em: <http://www.havwoods.co.uk/grade-ii-listed-barn-conversion-derbyshire/>. Acesso em: 10/11/2015.

HEALTH CANADA. **Environmental Contaminants**. Ottawa, Ontario, Canada, 2014. Disponível em: <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/securit/chem-chim/envIRON/index-eng.php>. Acesso em: 15/10/2014.

HEALTH CANADA. **Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality**. Report of the Federal – Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health. Ed. Minister of Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario, Canada, 1995.

HEPFNER, E.; STAHL, T.; SALTHAMMER, T. et al. **Genotoxicity of indoor airborne C4-C9-aldehydes: current state of knowledge**. Umweltmedizin in Forschung und Praxis, 10(1), 7-19, 2005.

HODGSON, A. et al. **Volatile organic compound concentrations and emission rates in new manufactured and site-built houses**. *Indoor Air*, 10(3), 178 -192, 2000.

HOPPE L.F. **Qualidade dos ambientes interiores e o papel da saúde ocupacional**. In: Anais do I Encontro paulista de meio ambiente e controle da qualidade do ar de interiores; São Paulo. São Paulo: Sociedade Brasileira de Meio Ambiente e Controle de Qualidade do Ar de Interiores; p. 43-51, 1999.

HUANG, H.; ZHANG, L.; LIU, Z. et al. **Multi-criteria decision making and uncertainty analysis for materials selection in environmentally conscious design.** The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, V. 52, p 421-432, 2011.

HUBERMAN, N.; PEARLMUTTER, D. **A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert.** *Energy and Buildings*, **40**(5):837-848, 2008.

HUGGETT, C.; LEVIN, B. **Toxicity of the pyrolysis and combustion products of poly(vinyl chlorides): A literature assessment.** Ed. Fire and Materials, Volume 11, pages 131–142, September 1987.

HUNTER, P.; OYAMA, S (2000). **Control of volatile organic compounds emissions.** Information Systems Division, National Agricultural Library. Disponível em: <http://agris.fao.org/agrissearch/search.do?recordID=US201300042029>. Acesso em: 10/11/2015.

INSIGHT EQUIPAMENTOS LTDA. **EQQ 410 – Balança eletrônica digital.** Disponível em: <http://insightltda.com.br/insight-equipamento-cientifico-414-Balan%C3%A7a-eletr%C3%B4nica-digital>. Acesso em: 10/07/2013.

INSTITUTO DO PVC. Pisos. Disponível em: http://www.institutodopvc.org/hs_construcao/79.html. Acesso em: 20/11/2015.

INSTITUTO DO PVC. **Brasil recicla 19% do resíduo de PVC pós-consumo gerado no país.** Disponível em: http://www.institutodopvc.org/publico/?a=imprensa&imp_id=236. Acesso em: 10/09/2015.

INSTITUTO FALCÃO BAUER. **Centro Tecnológico de Controle de Qualidade.** Disponível em: <http://www.institutofalcaobauer.com.br/>. Acesso em: 20/10/2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARDIZATION (ISO). **ISO 16.000 séries** - normas que estabelecem os requisitos mínimos relativos a um sistema da gestão da sustentabilidade. Sede: Genebra, Suíça.

ITO, L. **Monitoramento da qualidade do ar de ambientes internos – Bibliotecas**. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal, São Carlos, SP, 2007.

JACUKOWICZ-SOBALA, I.; KOCIOLEK-BALAWAJDER, E. **Formaldehyde in air - sources, toxicology and methods for removal from indoor air**. *Wiadomosci Chemiczne*, 60(1-2), 91-119, 2006.

JENSEN, L.; LARSEN, A.; MOLHAVE, L. et al. **Health evaluation of volatile organic compound (VOC) emissions from wood and wood-based materials**. *Archives of Environmental Health*, 56(5), 419-432, 2001.

JESTER, T. **Twentieth Century Building Materials: History and Conservation**. Journal of the Institute of Conservation, Volume 38, Issue 2, 2015.

JOHN, V.; OLIVEIRA, D. **Projeto de tecnologias para construção habitacional sustentável: estado da arte. 7 Critérios de sustentabilidade para a seleção de materiais e componentes**. Journal of Building Environment, pp 7 – 92, 2006.

JONES, A. P. **Indoor air quality and health**. Atmospheric Environment, Elsevier, 33, pp. 4535 – 4564, 1999.

JÖNSSON, A.; TILLMAN, A.; SVENSSON, T. **Life Cycle Assessment of Flooring Materials: Case Study**. Ed. Building Environment, vol. 32, n.3, pp.245-255. Chalmers University of Technology, Göteborg, Suécia, 1997.

KANG, M.; GUERIN, D. **As características dos designers de interiores que praticam**. Design interior ambientalmente sustentável Meio Ambiente e Comportamento, 41, 170 – 184. Doi: 10.1177/0013916508317333, 2009.

KANG, M.; GUERIN, D. (2009). **O estado do interior ambientalmente sustentável prática do design**. American Journal of Environmental Sciences, 179-186. Retirado de <http://www.scipub.org/fulltext/ajes/ajes52179-186.pdf>

KRAUSSMAFFEI B. **In line production process for luxurious floor tiles**. Disponível em: http://www.kraussmaffeiberstorff.com/en/press-releases/d/inline_production_floor_tiles.html. Acesso em: 10/11/2015.

KIM, S.B.; HONG, C.H. **Kinetic Study for Photocatalytic Degradation of Volatile Organic Compounds in Air Using Thin Film TiO₂ Photocatalyst**. Applied Catalysis B: Environmental, 35, 305-315, 2002.

KNUDSEN, H, KJAER, U., NIELSEN, P.; WOLKOFF, P. **Sensory and chemical characterization of VOC emissions from building products: impact of concentration and air velocity**. Atmospheric Environment, 33, 1217-1230, 1998.

KOZIEL, J.; NOAH, J.; PAWLISZYN, J. **Field sampling and determination of formaldehyde in indoor air with solid-phase microextraction and on-fiber derivatization**. Environ. Sci. Technol., 35 (7), pp 1481–1486, 2001.

LABORATÓRIO DE QUALIDADE DO AR INTERIOR - LQAI. **Os problemas da qualidade do ar interior**. Publicação associada ao Departamento de Mecânica da Universidade do Porto, Portugal, 2013.

LAMBERTS, R.; TRIANA, A.; FOSSATI, M. et al. **Sustentabilidade nas Edificações: Contexto Internacional e algumas Referências Brasileiras na Área**. Texto publ. Laboratório em Eficiência Energética nas Edificações. UFSC, Florianópolis, 2011.

LAJOIE, P; LECLERC, J.; SCHNEBELEN, M. **Ventilation of residential buildings: Impacts on the occupants' respiratory health**. Institut national de santé publique du Québec, Canada, 2007.

LANÇAS, F.M. **Cromatografia em fase gasosa**. Teoria Elementar. Publ. Química Nova, Instituto de Química, Universidade de São Paulo, 1983.

LEARNERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN (LEED) NC-2009
IEQc4.3: **Low-Emitting Materials - Flooring Systems**. Ano 2009.

LEI Nº 6.514 (22/12/1977). Alteração Capítulo V do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho, relativo a segurança e medicina do trabalho [...].

LESLIE, G.B. **Health risks from indoor air pollutants: public alarm and toxicological reality**. Indoor Built Environment, 9:5-16, 2000.

LEMELSON - MIT PROGRAM. **Waldo Semo - Plasticized PVC**. Disponível em: <http://lemelson.mit.edu/resources/waldo-semon>. Acesso em: 10/11/2015.

LIBRELOTTO, G. R. **Comparação entre os Critérios de Avaliação envolvidos nos Sistemas de Certificação de Edificações AQUA e LEED for Schools**. Trabalho de Diplomação – Escola de Engenharia da Universidade Federal do RJ, 2010.

LIMA, F.; ARANHA, E. **O uso dos materiais naturais na arquitetura**. São Paulo, Archidomus, 49 p., 2007.

LIPPIATT, B.C. **BEES® 4.0 – Building for Environmental and Economic Sustainability Technical Manual and User Guide**. Gaithersburg, Maryland: NIST – National Institute of Standards and Technology. Technology Administration, U.S. Department of Commerce, 2007.

LIU, M.; LI, B.; YAO, R. **A generic model of exergy assessment for the environmental impact of building lifecycle**. *Energy & Buildings*, 42(9): 1482 - 1490, 2010.

LIU, X.; LI, Wei-hua. **Sick building syndrome prevention and control**. Huanjing Yu Jiankang Zazhi, 22(4), 312-314, 2005.

LOGUE, J.M.; MCKONE, T.E., SHERMAN et al. **Hazard assessment of chemical air contaminants measured in residences**. *Indoor Air* 21(2): 92-109. LBNL-3650-E, 2011.

LOPES, C.E. **A descoberta do PVC.** Disponível em: [www:URL: http://carlosedison.blogspot.com/2011/03/descoberta-do-pvc.html](http://carlosedison.blogspot.com/2011/03/descoberta-do-pvc.html). Acesso em: 7 de maio 2011.

LÓPEZ, L.; RAMIREZ, R.; CALAFAT, A. et al. **A exposição a ftalatos e risco de câncer de mama no norte do México.** Environmental Health Perspect. National Institute of Environmental Health Science, EUA, 118 (4): 539-544, Abr., 2010.

LUCAS, E.; SOARES, B.; MONTEIRO, E. **Caracterização de polímeros: determinação de peso molecular e análise térmica.** Rio de Janeiro: e-papers, p. 366, 2001.

MACEDO, D. **Metodologia de avaliação do ciclo de vida de sistemas construtivos: aplicação em um sistema estruturado em aço.** Tese apresentada ao Depto. Engenharia de Estruturas da UFMG, Belo Horizonte, 2011.

MACHADO, M. E. **Análise Térmica Diferencial e Termogravimétrica.** Material de aula da disciplina EMC5733 - Análise Termo-física de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, SC, 2008.

MADALENO, E.; ROSA, D.; ZAWADZKI, S. et al. **Estudo do Uso de Plastificantes de Fontes Renovável em Composições de PVC.** Publ. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 19, nº 4, p. 263-270, São Paulo, 2009.

MANNINGTON COMMERCIAL. **Luxury Vinyl Sheet Flooring in Unity Health Rochester.** Disponível em: <https://www.pinterest.com/pin/385480049331476863/>. Acesso em: 10/11/2015.

MAXI RUBBER – ADESIVO UNIVERSAL. **Ficha de informações de segurança de produto químico (FISPQ).** Disponível em: <http://www.maxirubber.com.br/uploads/fispq/cola-universal-maxi-rubber.pdf>. Acesso em: 15/11/2015.

MARONI, M.; SEIFERT, B.; LINDVALL, T. **Indoor Air Quality - a comprehensive reference book.** Pub. Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands, 1995.

MARTINS, A. **Influencia de materiais de revestimento de pavimentos na qualidade do ar interior em termos de compostos orgânico voláteis.** Dissertação apresentada ao Departamento de Química da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Portugal, 2003.

MEADOWS, D.; RANDERS, J.; MEADOWS, D. **Limits to growth: The 30-Year Update.** White River Junction: Chelsea Green, 2004.

MELO, N. **Migração de plastificantes e avaliação de propriedades mecânicas de filmes de poli(cloreto de vinila) para alimentos.** Dissertação, Universidade de Viçosa, Minas Gerais, 2007.

MENDELL, M. **Indoor residential chemical emissions as risk factors for respiratory and allergic effects in children: a review.** Indoor Air 2007; 17: 259–277, Indoor Environment Department, Lawrence Berkeley N. Laboratory, EUA, 2007.

MIYAKE, Y.; NAKAGAWA, M.; ASAKURA, Y. **Effects of odors on humans (I): Effects on sleep latency, and (II): Reducing effects of mental stress and fatigue.** *Chemical Senses*, 16: pp. 183, 1991.

MOUSSATCHE, H.; LANGUAGELL, J. **Flooring materials: Life cycle costing for educational facilities.** *Facilities*, 19:333-343. DOI: 10.1108/02632770110399370, 2001.

NAJAFI, S. K. **Use of recycled plastics in wood plastic composites – A review.** Ed. Waste Management 33 (2013) 1898–1905. Department of Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Iran, 2013.

NASCIMENTO, J. **Bases de assentamento de revestimentos de piso resilientes.** Laboratório Nacional de Engenharia Civil, ITE 38, 2ª edição, Lisboa, Portugal, 2002.

NASCIMENTO, J. **Exigências funcionais de revestimentos de pisos,** Laboratório Nacional de Engenharia Civil, DIT 15, 3ª edição, Lisboa, Portugal, 2007.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (NIST). **Mass Spectrometry Data Center**. Disponível em: <http://chemdata.nist.gov/>. Acesso em: 10/12/2015.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH - NIOSH. **NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards**. Department of Health and Human Services – Centers for Disease Control and Prevention. DHHS (NIOSH) Publication Nº. 2005-149, 2005.

NORBACK, D.; BJORNSSON, E.; JANSON C. et al. **Asthmatic Symptoms and Volatile Organic Compounds, Formaldehyde, and Carbon Dioxide in Dwellings**. Ed. Occup. Environ. Med., 52(6):388, Junho 1995.

NORBACK, D., WIESLANDER, G., NORDSTROM, K. et al. **Asthma symptoms in relation to measured building dampness in upper concrete floor construction, and 2-ethyl-1-hexanol in indoor air**. Int. J. Tuberc. Lung Dis. 4 (11): 1016-1025, 2000.

NORMA REGULAMENTADORA Nº15 (NR-15) – Atividade e Operações Insalubres.

NUNES; CARREIRA; RODRIGUES apud CÂNDIDO, S. **Arquitetura Sustentável é questão de bom senso**. Artigo publ. Revista Arquitexto, 2012.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION – OSHA. **Federal Register – Indoor Air Quality**. USA, 2015. Disponível em: https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=federal_register&p_id=13369. Acesso em: 10/11/2015.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION - OSHA. **Safety and health topics chemical sampling information**. USA, 2012.

PAES, R. **Materiais de Construção e Acabamento para Escolas Públicas na Cidade do Rio de Janeiro: Uma Reflexão sob Critérios de Sustentabilidade**. Dissertação apresentada ao Programa de PG, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

PAPPAS, G.; HERBERT, R.; HENDERSON, W. et al. **The respiratory effects of volatile organic compounds.** *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 6(1), 1-8, 2000.

PARK, J.; IKEDA, K. **Variations of formaldehyde and VOC levels during 3 years in new and older homes.** *Indoor Air*, 16(2), pp. 129—135, 2006.

PAVIA, D. L.; LAMPMAN, G.M.; KRIZ, G.S. **Introduction to Spectroscopy – A Guide for Students of Organic Chemistry**, Harcourt, Inc., 3. Ed., 2001.

PEDROZA A.; RODRIGUES A.; SOUZA, C. et al. **Limites de Exposição Ocupacional: estudo comparativo entre valores aplicados no Brasil e Estados Unidos.** *Revinter Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade*, v.4, n.3, p.20-29, out. 2011.

PEREIRA, J.V. **Sustentabilidade: diferentes perspectivas, um objetivo comum** (2013). Crônicas e ensaios/ essays and reports. Disponível em: <http://www.scielo.oces.mctes.pt/pdf/egg/v14n1/v14n108.pdf>. Acesso em: 10/11/2015.

PICCOLI, R. **Análise das Alterações no Processo de Construção decorrente da Aplicação de Sistemas de Certificação Ambiental de Edificações.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UNISINOS. São Leopoldo, RGS, 2009.

PICCOLI, R.; KERN, A.; GONZÁLEZ, M. et al. **A Certificação de desempenho ambiental de prédios: exigências usuais e novas atividades na gestão da construção.** *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 69-79, ISSN 1678-8621, jul./set. 2010.

PILATOWICZ, G. **Eco-interiors: a guide to environmentally conscious interior design.** John Wiley & Sons, Inc., New York, 170 pages, 1995.

PINHEIRO, M.; SOARES, L. **Contribuindo para os mecanismos de ponderação dos critérios, no sistema para avaliação e gestão ambiental da construção sustentável.** Artigo científico, Lisboa, Portugal, 2007.

PLOA – Projeto de Lei Orçamentária Anual. **Orçamento Federal ao Alcance de Todos.** Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Brasília, 2013.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL (PUCRS). **Cromatografia gasosa.** Disponível em: http://www.pucrs.br/quimica/professores/arigony/cromatografia_FINAL/cg.htm. Acesso em: 10/11/2015.

PORTAL DA ARQUITETURA, ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO (AECWEB). Piso vinílico autoportante moderniza antigo Edifício Martinelli. Disponível em: http://www.aecweb.com.br/prod/cont/m/allura-flex_8446_16552_9857. Acesso em: 10/01/2016.

PORTAL LABORATÓRIOS VIRTUAIS DE PROCESSOS QUÍMICOS (PLVPQ) Laboratórios Virtuais de Processos Químicos. Disponível em: http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1&lang=pt. Acesso em: 20/11/2015.

POSUDIN, Y. **Volatile Organic Compounds in Indoor Air Scientific, Medical and Instrumental Aspects.** Publ. Dep. Horticulture, University of Georgia, USA, 2008.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). **Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável e a Erradicação da Pobreza – Síntese para Tomadores de Decisão** (2011). www.unep.org/greeneconomy

PUBCHEM – OPEN CHEMISTRY DATABASE. Disponível em: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/search>. Acesso em: 15/12/2015.

PUTUS, T.; TUOMAINEN, A.; RAUTIALA, S. **Chemical and microbial exposures in a school building: adverse health effects in children.** *Archives of Environmental Health*, 59(4), 194-201, 2004.

QIAN, H.; DAI, H. **Indoor air pollution and its adverse health effects**. Huanjing Yu Zhiye Yixue, 24(4), 426-430, 2007.

RABELLO M.S. **Aditivação de Polímeros**. São Paulo: Artiber Editora, 2000.

REISER, R.; MEILE, A. **Indoor air pollution by volatile organic compounds (VOC) emitted from flooring material in a technical university in Switzerland**. Proceedings: Indoor Air. Swiss State Secretariat for Economic Affairs, Labor and Health, 2002.

RESILIENT FLOOR COVERING INSTITUTE. **Divulgação Internacional de Declaração de Transparência do Produto**. Disponível em: <http://rfci.com/ptd-product-transparency-declaration/>. Acesso em: 02/02/2016.

RODES, C.; KAMENS, R.; WIENER, R. **The significance and characteristics of the personal activity cloud on exposure assessments for indoor contaminants**. *Indoor Air*, 2: 123-145, 1991.

ROLLE-KAMPCZYK, U.; DIEZ, U.; REHWAGEN, M. et al. **Biomonitoring in environmental medicine - results of LARS**. WIT Transactions on Biomedicine and Health, 9(Environmental Health Risk III), 41-49, 2005.

RODOLFO JR., A.; NUNES, L.; ORMANJI, W. **Tecnologia do PVC**. Publicação Braskem, São Paulo, 2006.

RODRIGUEZ, G.; ALEGRE, F. J.; MARTÍNEZ, G. **The contribution of environmental management systems to the management of construction and demolition waste: The case of the Autonomous Community of Madrid**. *Resources Conservation and Recycling*, 50(3):334-349, Spain, 2007.

ROIVAINEN, A. **TLC and HPLC in determining metabolite fractions**. Disponível em: http://www.turkupertcentre.net/petanalysis/input_chromatography.html. Acesso em: 20/11/2015.

ROSA, H.; SIQUEIRA, M.; COLACIOPPO, S. Monitoramento ambiental e biológico. In: OGA, S.; CAMARGO, M.; BATISTUZZO, J. **Fundamentos de toxicologia**. 3. ed. São Paulo: Atheneu editora, p. 246, 2008.

RUSSO, F. **Climatic responsive design in Brazilian Modern Architecture**. Dissertation (Master) - Martin Centre for Architectural and Urban Studies, University of Cambridge, EUA, 2004.

RUSYN, I. et al. **Modes of action and Species- Specific Effects of Di-(2- ethylhexyl) Phthalate in the Liver**. Ed. by Taylor & Francis online, 2006, Vol. 36, No.5, Pages 459-479. [http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408440600779065? journal Code=itxc20](http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408440600779065?journalCode=itxc20)

SAARELA, K., TIRKKONEN, T.; TAHTINEN, M. **Preliminary database for materials emissions**. Nordic Committee on Building Regulations, Helsinki, Finland, 1994.

SACK, T.; STEELE, D.; HAMMERSTROM, K. et al. **A survey of household products for volatile organic compounds**. Atmospheric Environment, Part A: General Topics, 26A, 1063-70, 1992.

SANGUESSUGA, M. **Síndrome dos Edifícios Doentes Estudo da qualidade do ar interior e deteção da eventual existência de SED entre a população do edifício “E” de um estabelecimento de ensino superior**. Mestrado em Segurança e Higiene do Trabalho pelo Instituto Politécnico de Lisboa, Portugal, 2012.

SANTANA, E.; CUNHA, K.; FERREIRA, A. et al. **Padrões de qualidade do ar: Experiência comparada Brasil, EUA e União Europeia**. Ed. Instituto de Energia e Meio Ambiente, São Paulo, 2012.

SATHYANARAYANA, S.; KARR, C.; LOZANO, P. et al. **Baby Care Products: Possible Sources of Infant Phthalate Exposure**. Pediatrics, Vol. 121 / Issue 2, February 2008.

SCHIRMER, W.; PIAN, L.; SZYMANSKI, M. et al. **A Poluição do ar em Ambientes Internos e a Síndrome dos Edifícios Doentes** Dept. Engenharia Ambiental,

Universidade Estadual do Centro Oeste, Paraná. Publ. Ciência e Saúde Coletiva, v. 16, nº 8, Rio de Janeiro, 2011.

SDS BIONIC World Wide Ltda, Londres. (2015). Disponível em: <http://www.sds-bionic-worldwide.com>. Acesso em: 10/11/2015.

SEÇÃO 01.350 – Padrão de especificação da Califórnia – padrão mais popular dos EUA para avaliar e restringir as emissões de COV do ar interior. Revisão: fev. 2010.

SELTZER, J.M. **Building-related illness**. Journal of allergy and clinical immunology, Volume 94, Issue 2, Part 2, Pages 351–361, 1994.

SENJEN, R. **Pisos Saudáveis e Sustentáveis - Selecionando pisos resilientes para o setor Europeu da saúde**. Health Care Without Harm Alliance. Impresso pela Z.B. Kunstdruck, Colonia, Alemanha, 2012.

SERRADOR, M. **Sustentabilidade em arquitetura: referências para projeto**. Dissertação apresentada ao Dep. Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

SICHIERI, E.; FERREIRA, O.; CARAM, R. et al. **Materiais de Construção III: Polímeros na Arquitetura e na Construção Civil**. Ed. USP, São Carlos, SP, 2005.

SIDHESWARAN, M.; DESTAILLATS, H.; SULLIVAN, Douglas et al. **Energy efficient indoor VOC air cleaning with activated carbon fiber (ACF) filters**. Publ. Building and Environment (2011) 1-11. Lawrence Berkeley National Laboratory, Indoor Environment Department, California, USA, 2011.

SIGMA ALDRICH. **Solid Phase Microextraction (SPME)**. Disponível em: <https://www.sigmaaldrich.com/analytical-chromatography/analyticalproducts.html?TablePage=9644384>. Acesso em: 10/11/2015.

SILVA, B. A. **Superfícies em Madeira e Qualidade do Ar: um Estudo sobre os Produtos e Tratamentos Associados ao Uso da Madeira no Ambiente Construído**

e as Práticas de Especificação dos Arquitetos Paranaenses. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SILVA, G.V. **Estudo de Emissões de COVs por Materiais Usados em Interiores de Edifícios.** Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2000.

SILVA, R. **Estudo Termoanalítico de Éster de Sorbitan Etoxilado.** Dissertação apresentada ao Instituto de Química da Universidade de São Paulo, 2008.

SILVA, S. M. **Sustentabilidade e o Conforto das Construções.** Tese apresentada à Universidade do Minho, Depart. de Engenharia Civil. Guimarães, Portugal, 2009.

SILVA, V. G. **Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Brasileiros: Diretrizes e base Metodológica.** Tese de Doutorado em Engenharia. São Paulo: EPUSP, 2003.

SILVA, V. G. **Indicadores de sustentabilidade de edifícios: estado da arte e desafios para desenvolvimento no Brasil.** Revista Ambiente Construído (Online), v. 7, p. 47-66, 2007.

SILVA, V. G. **Metodologias de Avaliação de Desempenho Ambiental de Edifícios: estado atual e discussão metodológica.** Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável. Projeto FINEP, 2386/04. UNICAMP –Universidade de Campinas, SP, 2007.

SILVERSTEIN, R.M.; WEBSTER, F.X. **Identificação espectrométrica de Compostos Orgânicos,** Editora LTC, 6. Ed., p. 67-73, 2000.

SIMÕES, J.R.; LEITE, B.C. **Principais aplicações dos polímeros na Construção Civil.** Publ. Trikem, São Paulo, 1997.

SMITH, E. **Um homem de idéias: A Biografia de Dr. Waldo Lonsbury Semon, Inventor de Plasticized Policloreto de Vinila**. Publ. Geon. Company, Cleveland, EUA, 1993.

SOLLINGER, S., LEVSEN, K.; WUNSCH, G. **Indoor pollution by organic emissions from textile floor coverings: climate test chamber studies under static conditions**. *Atmospheric Environment*, 28(14): 2369-2378, 1994.

SOUTO, J. M. **Impacto dos Filtros na Qualidade do Ar Interno**. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade do Porto, Portugal, 1999.

SOUZA, E.; MOREIRA I.; ZOTELLE, J. et al. **Cromatografia gasosa acoplada a espectrômetro de massa**. Trabalho de química analítica II, Escola Superior de Ciências da Santa Casa de Misericórdia de Vitória. Espírito Santo, 2010.

SOUZA, P.G. **Estudos da Incorporação do óleo da mamona no PVC flexível em substituição ao DOP**. Trabalho TCC, Fatec, Sorocaba, SP, 2009.

SPECIAL CHEM ADHESIVES. **The Universal Selection - Source Adhesives Ingredients**. Disponível em: <http://adhesives.specialchem.com>. Acesso em: 10/01/2016.

SPENGLER, J.; SEXTON, K. **Indoor air pollution: a public health perspective**. *Science*, 221 (4605): 9-17, 1983.

STEWART, L.; WATSON, A.; GEE, I. L. et al. **Monitoring internal air quality within a community of known respiratory health status**. *Advances in Air Pollution*, 8(Air Pollution VIII), 765-773, 2000.

TA INSTRUMENTS. **SDT Q600 Thermogravimetric Analyzer**. Ficha técnica. Disponível em: <http://www.tainstruments.com/product.aspx?id=22&n=1&siteid=11>. Acesso em: 10/11/2015.

TANAKA, T. **Reproductive and neurobehavioural toxicity study of bis (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) administred to mice in the diet.** Food and Chemical Toxicology 40, p.1499- 1506, 2002.

TAKEDA, M.; SAIJO, Y.; YUASA, M. et al. **Relationship between sick building syndrome and indoor environmental factors in newly built Japanese dwellings.** *Int Arch Occup Environ Health*, 82(5): 583-593, 2009.

TAKIGAWA, T.; WANG, B.; SAKANO, N. et al. **A longitudinal study of environmental risk factors for subjective symptoms associated with sick building syndrome in new dwellings.** *Science of the Total Environment*, 407(19):5223-5228, 2009.

TARKETT. **Guia prático de pisos vinílicos.** Disponível em: www.tarkett.com.br. Acesso em: 20/07/2014.

TARKETT. **Guia de produtos 2014.** The Ultimate Flooring Experience.

TARKETT. **Vinyl Flooring History.** Disponível em: [http:// home.tarkett.com/content/vinyl-flooring-history#.UWKVPMJDVNI](http://home.tarkett.com/content/vinyl-flooring-history#.UWKVPMJDVNI). Acesso em: 10/05/2014.

TARKETT. **Obras de referência.** Disponível em: www.tarkett.com.br/linha-imagine/obras-referencia. Acesso em: 10/01/2016.

TARKETT – SUSTAINABILITY REPORT (2014). **Sustainability: a State of Mind at Tarkett.** . Disponível em: http://www.tarkett.com/sites/default/files/TARKETT_2013-2014%20CSR-Sustainability%20Report.pdf. Acesso em: 15/01/2016.

TARKETT FADEMAC (2014). **Manual geral de instalação.** Disponível em: <http://www.decoranea.com.br/img/uploads/manuais/aphppo16mg.pdf>. Acesso em: 10/07/2014.

THE VINYL INSTITUTE. **Vinyl wallcoverings**. Arlington, Virginia, Estados Unidos, 2013. Disponível em: <http://www.azom.com/keyservices.aspx?supplierID=228>. Acesso em: 22/08/2015.

THORTON, J. **Environmental Impacts of Polyvinyl Chloride (PVC) Building Materials**. Paper for Healthy Buiding Network. Washington, D.C., USA, 2002.

TISSUE, B. **Gas Chromatography Columns**. Disponível em: <http://elchem.kaist.ac.kr/vt/chem-ed/sep/gc/gc-col.htm>. Acesso em: 10/12/2015.

TUOMAINEN, A.; SUERI, M.; SIEPPI, A. **Indoor air quality and health problems associated with damp floor coverings**. International Archives of Occupational and Environmental Health, V. 7, pp 222-226, 2004.

TURK, A.M. **The benefits associated with ISO 14001 certification for construction firms: Turkish case**. Journal of Cleaner Production, 17(5):559-569, 2009.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM – UNEP. **Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products**. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative at UNEP, CIRAIG, FAQDD and the Belgium Federal Public Planning Service. Publicação, 2009.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM – UNEP. **Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication**. Nairobi, Quenia, Africa, 2011.

US GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). LEED (Leadership and Energy & Environmental Design): green building rating system – version 3, Nov. 2008.

US GREEN BUILDING COUNCIL - USGBC (2009). LEED for Schools – New Construction and Major Renovations. <http://www.usgbc.org/Docs/Archive/General/Docs5547.pdf>

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Indoor Air Quality.** United States of America, 2015. Disponível em: <http://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq>. Acesso em: 10/09/2015.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **America's Children and the Environment.** Third Edition. EUA, 2013. Disponível em: http://www.epa.gov/ace/pdfs/ACE3_2013.pdf. Acesso em: 10/09/2015.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Criteria Air Pollutants.** Disponível em: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants>. Acesso em: 15/01/2016.

UNITED STATES INTERNATIONAL TRADE COMMISSION (USITC). Disponível em: <https://www.usitc.gov/>. Acesso em: 20/10/2015.

VALENTE, A.; AUGUSTO, F. **Microextração por Fase Sólida.** Pub. Química Nova, 23 (4). Instituto de Química – Universidade Estadual de Campinas, SP, 2000.

VINYL INSTITUTE. **Como o Vinil é Feito.** Alexandria, Virginia, USA. Disponível em: <http://www.vinylinfo.org/WhatIsVinyl/HowIsVinylMade.aspx>. Acesso em: 15/05/2012.

VÕ, U.; MORRIS, M. **Non-Volatile, Semi-Volatile, or Volatile: Redefining Volatile for Volatile Organic Compounds.** South Coast Air Quality Management District, EUA, 2012.

WALLCOVERING ASSOCIATION. **Modelos de papel de parede.** Disponível em: <http://www.wallcoverings.org/?page=WallcoveringStandard>. Acesso em: 10/10/2014.

WALLACE, L.A.; NELSON, W.C. et al. **The Los Angeles Team study: Personal exposures, indoor-outdoor air concentrations and breath concentrations of 25 volatile organic compounds.** *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 1 (2): 37-72, 1991.

WATSON, D.; LABS, K. **Climatic Design: energy-efficient building principles and practices.** McGraw-Hill, New York city, EUA, 288 pages, 1983.

WIESLANDER, G.; NORBACK, D.; EDLING, C. **Airway symptoms among house painters in relation to exposure to volatile organic compounds a longitudinal study.** Publ. by an Occup. Hyg. Vol. 41:155-166, 1997.

WILSON, R.; SNODGRASS, K. **Early 20th-Century Building Materials: Resilient Flooring.** Department of Agriculture, Forest Service, Missoula Technology and Development Center, p. 12, Missoula, Montana, EUA, 2007.

WOLFF, M.; TEITELBAUM, S.; MCGOVERN, K. et al. **Phthalate exposure and pubertal development in a longitudinal study of US girls.** Pub. Oxford University Press, European Society of Human Reproduction and Embryology, England, 2014.

WOLKOFF, P. **Impact of air velocity, temperature, humidity and air on long-term emissions from building products.** *Atmospheric Environment*, 32(14/15): 2659-2668, 1998.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. European Commission, Joint Research Centre-Environment Institute, **Evaluation of VOC Emissions from Building Products, Solid Flooring Materials.** (Report nº 18), Luxemburgo, (1997).

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Air Quality Guidelines. Environmental health information** (1999). Disponível em URL:http://www.who.int/environmental_information/air/guidelines/AQGUIDEPREF.htm. Acesso em: 20/11/2014.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Air quality guidelines global update,** Report on a working group meeting Bonn, Germany, 18-20, October 2005. Disponível em: <http://euro.who.int/document/e87950.pdf>. Acesso em: 10/10/2014.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Programmes and projects: indoor air pollution.** Disponível em: <http://www.who.int/indoorair/en>. Acesso em: 10/12/2012.

YANG, J.; BRANDON, P.; SIDWELL, A. **Smart & Sustainable Built Environment.** Publ. Blackwell Publishing. Oxford, Inglaterra, 2005.

ZAIONCZ, S. **Estudo do Efeito de Plastificação Interna do PVC Quimicamente Modificado**. Dissertação apresentada ao Curso de PG em Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

ZHU, H.; JIANG, X. et al. **TG-FTIR analysis of PVC thermal degradation and HCl removal**. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 82, Pg. 1–9. Zhejiang University, Hangzhou, China, 2008.

ZMYSLOWSKI, E. **Sustentabilidade no Design de Interiores**. Artigo, Anais do 2º Simpósio Brasileiro de Design sustentável. São Paulo, 2009.

Capítulo 7

Apêndices

7. APÊNDICES

7.1. Limite de exposição máxima aos COV encontrados

Na presente pesquisa, foram levantados os valores de exposição máxima humana aos compostos orgânicos voláteis identificados nos experimentos de GC-MS e TG-FTIR, a partir das fontes bibliográficas descritas no item 3.2.3.5. Com isto, os valores das concentrações dos COVs encontrados nas análises quantitativas da segunda fase dos testes em GC-MS, foram comparados aos valores limites máximos destas substâncias, segundo normas e diretrizes das organizações reguladoras, levantadas no item 2.2.5.2. Estes valores limites são relacionados nas tabelas 29 e 30.

Tabela 29: Limite de exposição máxima aos COV identificados nos testes, por GC-MS.

		ACGIH		OSHA		NIOSH		MAK	
		TWA		TWA		TWA		TWA	
Compostos	CAS	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Ésteres									
N-butil acetato	123-86-4	150	713	150	710	150	710	---	---
2-metil propil-éster	110-19-0	---	---	150	700	150	700	---	---
Acetato de etila									
Ácido acético, éster octílico (octil de acetato)	112-14-1	---	---	---	---	---	---	---	---
Éter glicol									
Butoxietóxi-etanol	112-34-5	---	---	---	---	---	---	15	101
Alcool									
2-etil-1-hexanol	104-76-7	---	---	---	---	---	---	20	110
Alcanos									
Heptadecano	629-78-7	---	---	---	---	---	---	---	---
Dodecano	112-40-3	---	---	---	---	---	---	---	---
1-undecano	1120-21-4	---	---	---	---	---	---	---	---
1-undeceno	821-95-4	---	---	---	---	---	---	---	---
2-metil-pentano	107-83-5	---	---	---	---	100	350	---	---
3-metil-pentano	96-14-0	---	---	---	---	100	350	---	---
Ciclo-alcano									
Metil-ciclopentano	96-37-7	---	---	---	---	---	---	---	---

Fonte: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH); Occupational Safety and Health Administration (OSHA); National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH); e Maximale Arbeitsplatz-Konzentration (MAK).

Tabela 29 (Continuação)

		ACGIH		OSHA		NIOSH		MAK	
		TWA		TWA		TWA		TWA	
Compostos	CAS	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Cetonas									
Metil-isobutil-cetona	108-10-1	20	82	100	410	50	205	---	---
Ciclo-hexanona	108-94-1	50	200	50	200	25	100	---	---
Antioxidante									
Hidroxi-tolueno botilado	128-37-0	---	10	---	10	---	---	---	---
Terpenos									
Diidro-alfa-terpineol	7322-63-6	---	---	---	---	---	---	---	---
Alfa-pineno	80-56-8	20	110	---	---	---	---	---	---
Beta-pineno	127-91-3	20	110	---	---	---	---	---	---
Acetato									
Acetato de 2-etil- hexilo	103-09-3	---	---	---	---	---	---	---	---

Tabela 30: Limite de exposição máxima aos COVs identificados nos testes, por TGA-FTIR.

		ACGIH		OSHA		NIOSH		MAK	
		TWA		TWA		TWA		TWA	
Compostos	CAS	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Alcanos									
Hexano	110-54-3	50	176	500	1800	50	180	---	---
Heptadecano	629-78-7	---	---	---	---	---	---	---	---
Dimetil hexano	590-73-8	300	1450	---	---	---	---	---	---
Pentadecano	629-62-9	---	---	---	---	---	---	---	---
Heptano	142-82-5	400	1640	500	2000	85	350	---	---
Nonano	111-84-2	200	1050	---	---	200	1050	---	---
Alcôois									
Nonanol	143-08-8	200	1050	---	---	---	---	---	---
Ciclohexanol	108-93-0	50	200	50	200	50	200	50	210
Decanol	112-30-1	---	---	---	---	---	---	---	---
Octanol	111-87-5	---	---	---	---	---	---	---	---
Hexanol	111-27-3	---	---	---	---	---	---	---	---
Tiól									
1-Hexanotiol	111-31-9	---	---	---	---	0,5	2,7	---	---
Organoclorado									
Diclorofenol	120-83-2	---	---	---	---	---	---	---	---
Solventes de hidrocarboneto									
Deca-hidro naftaleno	91-17-8	---	---	---	---	---	---	---	---
Acido cloreto									
Ácido clorídrico	7647-01-0	---	---	5	7	5	7	---	---

Fonte: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH); Occupational Safety and Health Administration (OSHA); National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH); e Maximale Arbeitsplatz-Konzentration (MAK).

7.2. Modelos de pisos vinílicos (Tarkett), disponíveis no mercado

Tabela 31: Características das linhas de piso vinílico da marca Tarkett, disponíveis no mercado.

Especificações dos revestimentos vinílicos de piso		
Modelos	Algumas especificações	Descrições
Linha Paviflex Recomendada para segmentos: hotelaria, saúde, corporativo, educação e comercial.		
Chroma Concept	Placas de 30x30cm Espessura de 2,0mm.	Coleção desenvolvida em parceria com a Rosenbaum Design. Segue as últimas tendências internacionais.
Thru	Formato de 30x30cm Espessuras de 2,0mm ou 3,2mm.	Piso que amplia as possibilidades de criação de desenhos, é adequado para tráfego leve e pesado.
Dinamic	Placas de 30x30cm Espessuras de 2,0mm ou 3,2mm.	Indicado para as mais variadas necessidades de tráfego, possui padrão mesclado - 6 cores diferentes.
Sixty	Formato 60x60cm Espessura de 2,0mm.	Indicado para levar beleza e estilo onde há grande circulação de pessoas.
Intensity	Formato 30x30cm Espessuras de 1,6mm e 2,0mm.	Seu padrão com veios discretos e cores suaves criam ambientes harmônicos e aconchegantes.
Linha Ambienta Recomendada para segmentos: hotelaria, corporativo e comercial.		
Click	Formato 200x1220cm Espessuras de 1,6mm e 5,0mm.	Com sistema de encaixe fácil está disponível em 5 cores exclusivas. Ideal para quem precisa de mais agilidade na hora de construir ou reformar.
Rústico	Formato 184x950cm Espessura de 3,0mm.	Reproduz com fidelidade toda a beleza e textura dos veios e nós, mantendo as tonalidades, o alto relevo e o aspecto rústico e bucólico da madeira.
Liso	Formato 184x950cm Espessura de 3,0mm.	Sua superfície apresenta pouco relevo. É um produto sofisticado que embeleza e torna os ambientes mais confortáveis.

Fonte: Guia de produtos (2014). The Ultimate Flooring Experience, Tarkett.

Tabela 31 (Continuação)

Especificações dos revestimentos vinílicos de piso		
Modelos	Algumas especificações	Descrições
Linha Ambienta Recomendada para segmentos: hotelaria, corporativo e comercial.		
Trend	Formato 184x950cm Espessura de 3,0mm.	Estampas de madeira que são tendência no design mundial. Uma moderna coleção de cores atualizada conforme a evolução da decoração.
Stone	Formato 184x950cm Espessuras de 3,0mm.	Coleção que simula pedras e superfícies rústicas com fidelidade, proporcionando um visual natural e inovador ao ambiente.
Textile	Formato 184x950cm Espessuras de 3,0mm.	Nova coleção, com estampas modernas que lembram o conforto e o aconchego dos tecidos.
Linha Square		
Acoustic	Formato 500x500cm Espessuras de 4,7mm.	Piso vinílico autoportante. Ideal para instalação em pisos elevados. Fácil de limpar e instalar e reduz os ruídos até 14dB. Oferece estampas e cores variadas.
Compact	Formato 500x500cm Espessuras de 4,0mm.	Reduz até 8dB do ruído causado pelo impacto.
Linha Absolute		
Madero	Mantas de 2x20m Espessura de 2,0mm.	São 6 cores que simulam madeira em diversas tonalidades. Proporciona mais aconchego e conforto a todos os ambientes.
Tissé	Mantas de 2x20m Espessura de 2,0mm e 3 mm.	Possui estampa diferenciada, com cores modernas que proporcionam elegância e beleza aos projetos em que é utilizado.
Elements	Mantas de 2x20m Espessura de 3,0mm.	Esta coleção deixa os ambientes mais criativos, pois apresenta cores intensas e vibrantes, que podem ser utilizadas junto com outras coleções.

Fonte: Guia de produtos (2014). The Ultimate Flooring Experience, Tarkett.

Tabela 31 (Continuação)

Especificações dos revestimentos vinílicos de piso		
Modelos	Algumas especificações	Descrições
Linha Absolute		
Stone		Esta coleção oferece 6 estampas que simulam superfícies rústicas com elegância. Oferece conforto visual através de design primoroso.
Totalsafe		Este modelo oferece a melhor opção de segurança. Contém grãos de “carbeto de silício” que causam efeito antiderrapante. Além de haver agente bacteriostático em suas camadas (*não possui PUR TOP).
Linha Infinity		
Mantas de 2x20m Espessura de 1,8 mm.	Novo piso vinílico para ambientes comerciais com tráfego moderado. Indicado para academias, clínicas, escritórios, escolas e outros ambientes que precisem de um piso com alta durabilidade e facilidade na instalação. Possui PUR em sua camada superficial, que facilita a limpeza.	
Linha Natural		
Recomendada para segmentos: saúde, educação, corporativo e comercial.		
Mantas de 2x20m Espessura de 1,8 mm.	Piso vinílico homogêneo com tecnologia iQ. Possui alta qualidade, durabilidade e baixo custo de conservação. São 38 cores e design clássico para dar um toque contemporâneo a paginações criativas. Não precisa ser polido e nem receber aplicação de cera, em toda sua vida útil. Possui exclusiva restauração de superfície e custo reduzido de conservação.	
Linha Optima		
Recomendada para segmentos: saúde, educação e hotelaria.		
Classic colours	Disponível em mantas 2 x 25 m e espessura de 2,0 mm.	Pisos vinílicos homogêneos. Coleção de alta qualidade e durabilidade, além de baixo custo de conservação. Possui 38 tonalidades, design clássico e contemporâneo, além do melhor custo de ciclo de vida do mercado. Dispensa uso de cera e polimento.
Nature colours		
Urban colours		

Fonte: Guia de produtos (2014). The Ultimate Flooring Experience, Tarkett.

Tabela 31 (Continuação)

Especificações dos revestimentos vinílicos de piso		
Modelos	Algumas especificações	Descrições
Eclipse Premium Indicada para ambientes: clínicas, laboratórios, escritórios, universidades e outros.		
Classic 		

Fonte: Guia de produtos (2014). The Ultimate Flooring Experience, Tarkett.

Tabela 31 (Continuação)

Especificações dos revestimentos vinílicos de piso		
Modelos	Algumas especificações	Descrições
Toro SC Melhor escolha para áreas onde é necessário o controle da condutividade elétrica, como indústria eletrônica e petroquímica, indústria farmacêutica e alimentícia, telecomunicações e instalações hospitalares (sala de cirurgia, anestesia e recuperação).		
Disponível em mantas de 2 x 23 m Espessura: 2,0 mm		Piso vinílico homogêneo e condutivo. Possui excelente resistência à abrasão e maior facilidade de limpeza. Pode ser instalado com adesivo acrílico Globalfix® ou Decorfix
Omnisports Desenvolvido para ambientes esportivos.		
Omnisports	Disponível em manta. Dimensões: 2x20,5m Espessuras: 5,0mm Produtos com 6,5 e 8,3mm são disponibilizados sob consulta.	Sua superfície é resistente ao deslizamento sem limitar os movimentos durante as atividades. Possui excelente absorção de impacto, e sua proteção superficial facilita a limpeza e reduz gastos de conservação. Resistente aos fungos e bactérias.
Essence Desenvolvido para ambientes residenciais.		
Click	Dimensões: 200x1220mm Espessura: 4mm	Possui sistema com encaixe fácil. Disponível em 5 cores perfeitas p/ criar clima aconchegante. Ideal para quem deseja valorizar os ambientes de um jeito muito mais rápido e sem sujeira.
Rústico	Dimensões: 184x950mm Espessura: 2mm	Possui 6 estampas exclusivas, com textura rústica, oferece beleza e praticidade.
Liso	Dimensões: 184x950mm Espessura: 2mm	Possui beleza clássica da madeira em 4 estampas que combinam com todos os ambientes.
Stone	Dimensões: 184x950mm Espessura: 2mm	Proporciona um visual natural e inovador ao ambiente, pois simula pedras e superfícies rústicas com fidelidade.

Fonte: Guia de produtos (2014). The Ultimate Flooring Experience, Tarkett.

Tabela 31 (Continuação)

Especificações dos revestimentos vinílicos de piso		
Modelos	Algumas especificações	Descrições
Imagine Recomendável para ambientes residenciais, educativos e de saúde infantil.		
Wood	Disponível em mantas de 2 x 25m e 4 x 25m. Espessura 2,6mm.	Piso vinílico que reproduz a beleza da madeira em estampas e cores atuais, proporcionando conforto e modernidade à decoração.
Trend	Disponível em mantas de 2 x 30m. Espessura 2,6mm.	Coleção de pisos que traz as últimas tendências de decoração para diversos ambientes da casa.
Graph	Disponível em mantas de 2 x 30m. Espessura 2,6mm.	Piso vinílico feito para inspirar a decoração com estampas e grafismos de alto contraste, levando um toque de design a todos os ambientes da casa.
Magic	Disponível em mantas de 2 x 25m. Espessura 3,0mm.	Piso vinílico criado especialmente para ambientes infantis. Antialérgico, térmico, não escorrega e é confortável ao caminhar. Destaca a decoração com estampas coloridas, deixando cada cantinho mais divertido e seguro para as crianças. Ideal para áreas de circulação leve, como dormitórios, creches, salas de recreação, consultórios e clínicas pediátricas.
Decorflex Desenvolvido para ambientes residenciais.		
Feiras	Disponível em mantas de 2 x 40m. Espessura de 1,2mm.	Coleção com 12 cores e estampas exclusivas para deixar os espaços mais aconchegantes. Fácil de limpar e instalar.
Residence	Disponível em mantas de 2 x 35m. Espessura de 1,2mm.	Em 20 novas cores e estampas, dá um toque de sofisticação especial. Oferece facilidade de limpeza e instalação.

Fonte: Guia de produtos (2014). The Ultimate Flooring Experience, Tarkett.