

Comportamento do PVC em Incêndios



Introdução

Poucas descobertas tiveram influência tão significativa no desenvolvimento da humanidade quanto a habilidade em gerar e utilizar o fogo. Esta capacidade foi requisito básico para todas as civilizações, e possibilitou ao homem reduzir sua dependência de um ambiente muitas vezes hostil. Com o auxílio do fogo, aprendemos a preparar alimentos, queimar cerâmica

e extrair metais de seus respectivos minérios. Com o passar do tempo, o homem abandonou o modo de vida nômade e passou a se fixar em assentamentos, que evoluíram para cidades, o que mostrou um outro lado da utilização do fogo: os incêndios. Pode-se dizer que o homem esteve sob risco do uso do fogo tão cedo o descobriu. Incêndios, conflitos e



epidemias sempre foram considerados os principais ataques à integridade da raça humana. Devido ao desenho urbano das cidades antigas, com forte adensamento das habitações e abundante utilização de materiais altamente inflamáveis, principalmente a madeira e outras fibras naturais, houve diversos exemplos de destruição por incêndios, tais como Roma no ano 64 DC, Londres em

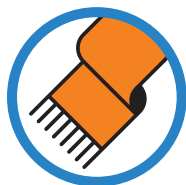
1666 e São Francisco em 1906. No Brasil, mais recentemente em 2013, ocorreu a tragédia da Boate Kiss na cidade de Santa Maria, no Rio Grande do Sul, na qual 242 pessoas morreram pelos efeitos da fumaça tóxica exalada pela utilização de uma espuma de isolamento acústico inadequada do teto, a qual entrou em combustão depois de ser atingida por uma fonte de ignição.



Com o desenvolvimento acelerado da humanidade no século XX, passamos a nos confrontar com circunstâncias, no mínimo, interessantes: nossas habitações são cada vez mais luxuosas, contendo em seu interior uma grande quantidade de materiais combustíveis como móveis, carpetes, revestimentos e aparelhos eletrônicos dos mais diversos tipos; na indústria e no comércio, quantidades cada vez maiores de bens são produzidas e armazenadas em uma mesma localização; é cada vez maior a concentração de pessoas em cidades mais e mais verticalizadas; e, finalmente, novas tecnologias são colocadas à disposição do mercado a cada dia, com novos potenciais riscos

de incêndio, ou novos materiais sobre os quais ainda não existe domínio pleno.

O desenvolvimento de novos materiais mais resistentes à



Tapetes



Cortinas



Eletrodomésticos



Papéis



Revestimentos



Roupas



combustão pode ser destacado como uma importante alternativa para a proteção contra perdas, sendo esta uma preocupação importante da indústria, que investe em tecnologias mais eficientes visando a segurança e qualidade dos materiais utilizados, notadamente na construção civil.

Quando uma quantidade suficiente de calor é fornecida a qualquer polímero orgânico, este se decompõe termicamente, e os produtos dessa decomposição sofrem queima. Um dos principais motivos pelos quais se estudam os processos de decomposição dos polímeros orgânicos é exatamente por conta de sua importância em termos de desempenho frente ao fogo. Sabe-se que a grande maioria das mortes em situações de

incêndio ocorre, não por conta do calor liberado pela combustão, mas sim por asfixia. Na verdade, o risco à vida dado por um determinado material, ou componente em condições de incêndio, é função não só da combinação de sua inflamabilidade e da toxicidade dos gases desprendidos durante sua combustão, mas também da taxa em que estes gases tóxicos são desprendidos. Outros riscos inerentes a uma situação de incêndio são o calor convectivo e radiante, junto com a baixa concentração de oxigênio na atmosfera do ambiente. Assim, o efeito narcótico resultante da combinação da elevada concentração de monóxido de carbono (CO) com a baixa concentração de oxigênio (O₂), torna-se o fator incapacitante mais importante para quem tenta escapar de um incêndio.



O PVC



O PVC é um termoplástico de grande importância industrial, notadamente em aplicações ligadas diretamente à construção civil, tais como em perfis de acabamento e revestimento de isolamento de fios e cabos elétricos, somente para citar dois exemplos. Nestas aplicações, os produtos, independentemente do tipo de material utilizado em sua fabricação, estão sujeitos a regulamentações e normas técnicas cada vez mais restritivas quanto ao

seu comportamento em situações de incêndio. As especificações abrangem questões ligadas mais diretamente à inflamabilidade dos materiais quanto à produção de fumaça e liberação de gases durante a combustão.

Formulações para PVC rígido são muito resistentes à ignição. O PVC queima apenas quando uma chama externa é aplicada sobre ele, sendo que, assim que essa chama

é retirada, o fogo se extingue. Já formulações para PVC flexível são menos resistentes à ignição. Porém, essa característica é melhorada com a incorporação de aditivos retardantes de chama à formulação, reduzindo o grau de inflamabilidade. O sucesso desses materiais garante a utilização de PVC flexível em áreas mais críticas, como cabos externos de plataformas marítimas de petróleo e estações elétricas.

Considerações sobre riscos de materiais em situação de incêndio

O risco que um dado material oferece, quando se considera o aspecto incêndio, é dependente de uma combinação de diferentes fatores, a saber: ignitabilidade, facilidade de extinção, propagação de chamas, liberação de calor, obscuração e toxicidade da fumaça liberada.



Ignitabilidade

Só existe incêndio se algum material sofrer ignição. Logo, garantir baixa ignitabilidade é a primeira linha de defesa frente a incêndios: quanto maior a temperatura, o tempo ou a energia necessários para que o material sofra ignição, melhor será no sentido da segurança.

A ignitabilidade dos materiais pode ser determinada por meio de diversos tipos de ensaio, incluindo calorimetria de cone. É opinião de diversos autores que a técnica de calorimetria de cone (ASTM E1354 ou ISO 5660-1) é a mais completa metodologia disponível atualmente para avaliar as propriedades de combustão e emissão de fumaça, de maneira representativa e em apenas um único ensaio, que além de rápido é relativamente simples.

O calorímetro de cone foi originalmente desenvolvido no NIST (*National Institute of Standards and Technology*) dos EUA, entre o final dos anos 1970 e o início dos anos 1980, por V. Babrauskas, W. J. Parker e D. E. Swanson, com o laboratório ainda sob o nome NBS (*National Bureau of Standards*). Baseia-se no conceito elaborado em 1917 por Thornton, o qual considera que, para um grande número de líquidos e gases orgânicos, uma quantidade constante de calor é liberada por unidade de massa de oxigênio consumida, em sua completa combustão. Hugget, por sua vez, em 1980, descobriu que este valor constante também é válido para sólidos orgânicos e obteve um valor igual a 13,1 MJ/kg de O₂. Desta forma, o princípio de ensaio de calorimetria de cone consiste em medir continuamente a concentração de oxigênio no sistema



de exaustão, através do fluxo de ar e compará-la com a concentração original de oxigênio no fluxo de ar que passa pela amostra em combustão.

Conhecer a taxa de liberação de calor de um dado material em condição de incêndio é a propriedade mais crítica para se determinar ou ponderar o risco deste dado material em iniciar ou sustentar um incêndio real. Além dessa propriedade, pode-se determinar através da calorimetria de cone outros parâmetros importantes na avaliação do risco de incêndio de materiais, tais como, o tempo necessário à ignição dos gases formados a partir do material pirolisado, o calor de combustão médio e instantâneo ao longo do ensaio, além de diversos parâmetros relativos à liberação de fumaça pela amostra. É possível, ainda, medir continuamente,

ao longo do ensaio, parâmetros como a concentração de CO e CO₂, ou mesmo a corrosividade da fumaça ou dos gases gerados, a depender da configuração do equipamento e seus acessórios.

O PVC pode ser considerado um material antichama porque não entra em ignição por meio de fontes comuns geradoras de incêndios (fagulhas, faíscas etc.). Quanto mais tempo o material levar para entrar em ignição mediante um fluxo de calor incidente específico ou um fluxo de calor crítico, mais seguro ele é. A tabela 1 traz uma compilação de dados da literatura sobre o tempo para ignição em diferentes valores de fluxo de calor para alguns materiais poliméricos em comparação com diferentes tipos de compostos de PVC.

Tabela 1: Ignitabilidade de diversos materiais no calorímetro de cone

(adaptado de HIRSCHLER, 2005; HIRSCHLER, 2017)

Compostos de PVC	Tempo para ignição (s) sob fluxo de calor		
	20 kW/m ²	40 kW/m ²	70 kW/m ²
Cabo pleno	10.000	1.212 – 10.000	17 – 1.583
CPVC	10.000	621	372
Antichama	236	47	12
Baixa fumaça	5.171	187	43
Flexível	102	21	15

Outros polímeros

Politetrafluoretileno (PTFE)	10.000	10.000	252
Polycarbonato (PC)	10.000	182	75
Polietileno reticulado (XLPE)	750	105	35
Poli(óxido de fenileno), modificado (PPO/PS)	479	87	39
ABS antichama	212	66	39
Poliestireno (PS), antichama	244	90	51
Poli(óxido de metileno) (POM)	259	74	24
Poliuretano (PUR)	12	1	1
Polimetilmetacrilato (PMMA)	176	36	11
Poliuretano termoplástico (TPU)	302	60	38
Poliamida (PA)	1.923	65	31
ABS	236	69	48
Poliestireno (PS)	417	97	50
EPDM/SAN	486	68	36
Poli(butileno tereftalato) (PBT)	609	113	59
Poli(etileno tereftalato) (PET)	718	116	42
Polietileno (PE)	403	159	47
Polipropileno (PP)	218	86	41

**Mínimo fluxo de calor (kW/m²) necessário
para tempos de ignição**

Compostos de PVC	600 s	100 s
Cabo pleno	45 - 86	64 - 115
CPVC	42	90
Antichama	≤ 15	31
Baixa fumaça	33	44
Flexível	≤ 15	20

Outros polímeros

Politetrafluoretileno (PTFE)	63	83
Polycarbonato (PC)	34	43
Polietileno reticulado (XLPE)	22	40
Poli(óxido de fenileno), modificado (PPO/PS)	17	38
ABS antichama	≤ 15	33
Poliestireno (PS), antichama	≤ 15	38
Poli(óxido de metileno) (POM)	≤ 15	35
Poliuretano (PUR)	≤ 15	≤ 15
Polimetilmetacrilato (PMMA)	≤ 15	27
Poliuretano termoplástico (TPU)	≤ 15	34
Poliamida (PA)	27	37
ABS	≤ 15	34
Poliestireno (PS)	15	40
EPDM/SAN	18	36
Poli(butileno tereftalato) (PBT)	20	41
Poli(etileno tereftalato) (PET)	22	42
Polietileno (PE)	≤ 15	50
Polipropileno (PP)	≤ 15	37



Facilidade de Extinção

Uma vez tendo sofrido ignição, menor será o risco de incêndio de um dado material, quanto mais facilmente sua combustão for extinta. Esta propriedade é determinada, por exemplo, através do ensaio de índice de oxigênio (LOI – *Limiting Oxygen Index*, ASTM D2863), que consiste na determinação da mínima concentração de oxigênio, numa mistura O_2/N_2 , capaz de sustentar uma chama piloto aplicada em um corpo de prova do material em avaliação. Uma vez que a concentração de oxigênio na atmosfera é de aproximadamente 20%, qualquer material que apresente um índice de oxigênio superior a este valor tenderá a apresentar o comportamento

denominado “autoextinguível”, ou seja, incapaz de sustentar a combustão uma vez retirada a fonte de energia térmica. De maneira equivalente, qualquer material que apresente um índice de oxigênio inferior a 20% terá comportamento de elevada combustibilidade. Denomina-se índice de oxigênio esta concentração de oxigênio característica de cada material.

Além do excelente comportamento apresentado anteriormente (dificuldade de ignição), produtos em PVC apresentam a característica de serem de difícil manutenção da combustão: uma vez cessado o fornecimento de energia, o PVC mostra-se um material incapaz de sustentar a combustão. A tabela 2 traz uma compilação de dados da literatura a respeito de valores de LOI para diversos tipos de materiais.

**Tabela 2: Valores de índice de oxigênio (LOI, ASTM D2863)
para diversos tipos de materiais**

(adaptado de ISO/TR 20118 e HIRSCHLER, 2017)

Material	LOI (%)
Poli(tetrafluoretileno) (PTFE)	95,0
CPVC	62,2
Poli(cloreto de vinilideno) (PVDC)	60,0
PVC, rígido	47,0
Poli(fluoreto de vinilideno) (PVDF)	43,7
Poliimida (PI)	36,5
Poli(éter sulfona) (PES)	31,1
PVC, flexível com adição de antichama	25 - 40
Policarbonato (PC)	26,2
Lã	25,2
Poliamida (PA 6.6)	25,1
Laminado de poliéster com fibra de vidro (PRFV)	21 - 43
PVC, flexível	21 - 36
Madeiras em geral	21 - 22
Celulose	19,0
Rayon	18,8
Poliacrilonitrila (PAN)	18,0
Copolímero estireno-acrilonitrila (SAN)	18,0
Polimetilmetacrilato (PMMA)	17,9
Poliestireno (PS)	17,7
ABS	17,6
Borracha natural (NR)	17,2
Polipropileno (PP)	17,1
Polietileno (PE)	17,0
Espuma rígida de poliuretano (PUR)	16,5
Algodão	16,5
Poli(óxido de metileno) (POM)	15,7



Propagação de Chamas

A tendência de um material de propagar chamas a partir da fonte de fogo é muito importante para compreender o perigo potencial de incêndio. Os testes de propagação de chama são utilizados com os próprios materiais ou com produtos em aplicações diversas (tais como tecidos ou isolamento elétrico), de preferência com todos os componentes de um conjunto. Diversos métodos de ensaio são previstos para a avaliação da propagação de chamas, notadamente os métodos previstos nas normas ASTM E84 (túnel de

Steiner), ASTM E162 ou ABNT NBR 9442 (painel radiante) e ASTM E1321 (teste de ignição lateral e propagação de chamas, ou LIFT). Os resultados são apresentados em índice de propagação de chama (*flame spread index*, FSI, ou I_p).

Produtos produzidos em PVC apresentam reduzidos valores de índice de propagação de chamas, ou seja, reduzida contribuição na propagação de incêndios. A tabela 3 mostra variações de valores do índice de propagação de chama (I_p) para diferentes materiais.

Tabela 3: Valores de índice de propagação de chama (I_p, ASTM E162, equivalente à ABNT NBR 9442) para diversos materiais

(adaptado de HIRSCHLER, 2017)

Material	I _p
CPVC	4
Poliétersulfona (PES)	5
PVC, rígido	10
Poliéster	43
Poliestireno (PS), antichama	59
Policarbonato (PC), antichama	73
Poli(óxido de fenileno) (PPO), modificado	84
Policarbonato (PC)	88
Madeira de carvalho	99
Resina fenólica	114
ABS	131
Compensado	143
Madeira maciça	185
Polimetilmetacrilato (PMMA), antichama	316
Polistireno (PS)	355
Polimetilmetacrilato (PMMA)	416
Espuma rígida de poliuretano (PUR)	1.490
Espuma flexível de poliuretano (PUR)	2.220



Liberação de Calor

A questão central em qualquer incêndio é “quão grande ele é”, e a propriedade que responde esta questão é a taxa de liberação de calor. Um objeto em combustão propaga o incêndio somente se liberar calor suficiente para promover a combustão de outros objetos vizinhos. Desta forma, a taxa de liberação de calor é a propriedade mais importante na avaliação do risco de incêndio de materiais, mesmo frente a outras propriedades, tais como ignitabilidade, toxicidade da fumaça liberada ou propagação de chamas, sendo a responsável pelo tempo de escape disponível para as

vítimas do incêndio. Sua determinação é realizada via calorimetria de cone, por exemplo.

O PVC, por ter taxas de liberação de calor significativamente menores do que outros materiais, não contribui para aumentar a extensão das chamas dos incêndios em que está envolvido. Isto se dá também porque ele carboniza a superfície que está logo abaixo da chama, isolando o material do oxigênio necessário para a continuidade da combustão. Além disso, o cloreto de hidrogênio atua como um inibidor de combustão. A tabela 4 apresenta valores de calor de combustão para diversos materiais.

Tabela 4: Valores de calor de combustão para diversos materiais

(adaptado de ISO/TR 20118 e HIRSCHLER, 2017)

Material	Calor de combustão (MJ/kg)
Politetrafluoretileno (PTFE)	7
CPVC, composto	6 – 8
PVC, composto flexível	11 – 27
PVC, composto rígido	10 – 15
PVC, resina	18
Madeiras em geral	19 – 22
Poli(etileno tereftalato) (PET)	24
Poliuretano (PUR)	24 – 32
Polimetilmetacrilato (PMMA)	27
Poliamidas (PA 6 ou 6.6)	30 – 32
Polycarbonato (PC)	31
Poliacrilonitrila (PAN)	32
Poli(óxido de fenileno) (PPO)	34
Poliestireno (PS)	44
Polipropileno (PP)	46
Polietileno (PE)	48

Perda de Visibilidade pela Liberação de Fumaça

O decaimento ou perda da visibilidade é um fator crítico em incêndios, uma vez que resulta em menos iluminação disponível tanto para permitir a fuga das vítimas quanto a chegada de socorro. O decréscimo na visibilidade é função de dois fatores principalmente: quanto material está sendo queimado no incêndio, e quanto de fumaça é liberada por unidade de massa do material. Diversos métodos são disponíveis para a medida da quantidade de fumaça emitida por materiais em combustão, com diferenças entre os mesmos no que tange o tamanho da câmara de combustão, o modo de combustão (com chama e/ou por irradiação de calor), o tamanho dos corpos de prova, dentre outras. O fator em comum, entre estes diferentes métodos, é o fato do ensaio ser conduzido em uma câmara fechada, e a quantidade de fumaça evoluída durante a combustão é medida através da atenuação de um feixe de luz, tal como definido nos ensaios prescritos nas normas ASTM E662 ou ASTM D2843. No ensaio prescrito na ASTM E662, os resultados

são expressos em termos de “densidade ótica específica”, algo que tem demonstrado não ser representativo da real liberação de fumaça. Por exemplo, materiais com potencial de derretimento, que derretem ou pingam quando frente à chama, ao serem expostos verticalmente no teste parte do corpo de prova, devido ao derretimento, perde contato com a fonte de calor e não queima (ou libera fumaça), enquanto que em caso de incêndio real todo o material derretido irá queimar e gerar fumaça. O motivo da câmara ser fechada implica que a quantidade de oxigênio disponível, ao longo do ensaio, é decrescente. Esta concentração decrescente para o O_2 , e eventualmente crescente para outras espécies químicas como CO e CO_2 , pode desencadear mecanismos de formação de fuligem, fumaça ou mesmo outras espécies químicas, totalmente distintas do observado em condições de abundância de O_2 , ao longo do ensaio. A tabela 5 apresenta resultados de densidade ótica específica máxima (D_m) para diversos materiais.

Tabela 5: Valores de densidade ótica específica máxima (Dm, ASTM E662) para diversos materiais

(adaptado de ISO/TR 20118 e HIRSCHLER, 2017)

Material	Dm, ensaio com aplicação de chama	Dm, ensaio sem aplicação de chama
ABS	780	780
Poliestireno (PS)	780	395
Espuma de borracha natural	660	372
PVC, rígido	535	470
Poliamida (PA), tapete	269	320
Pinus branco	155	325
Polietileno (PE)	150	470
Polipropileno (PP)	119	780
Nogueira negra	91	460
Carvalho	76	395
Politetrafluoretileno (PTFE)	53	0

Neste ponto, a calorimetria de cone, ou mesmo o ensaio prescrito na EN 13823 (*Single Burning Item* ou SBI), nos quais as condições dinâmicas de ventilação são levadas em conta, fornecem em geral resultados mais aderentes à realidade prática. Os resultados em termos de classificação relativa dos materiais tendem a ser muito diferentes daqueles encontrados na câmara de fumaça estática, tal como no ensaio de acordo com a ASTM E662. A tabela 6 apresenta os dados de desenvolvimento de fumaça para diversos materiais no

calorímetro de cone, apresentados em termos de área média específica de extinção (*Specific Extinction Area*, SEA, taxa do coeficiente de extinção da fumaça em relação à perda de massa, a cada ponto de medição), do total de fumaça liberada no teste (*Total Smoke Release*, TSR) e do fator de fumaça (*Smoke Factor*, SmkFct). Os resultados mostram que os compostos de PVC, quando avaliados de forma adequada, podem liberar a mesma quantidade de fumaça que outros materiais, ou mesmo menos em alguns casos, quando adequadamente formulados.

Tabela 6: Valores de desenvolvimento de fumaça para diversos materiais no calorímetro de cone, em diferentes valores de fluxo de calor

(adaptado de ISO/TR 20118 e HIRSCHLER, 2017)

Material	Fluxo 20kW/m ²		
	SEA (m ² /g)	TSR	SmkFct (MW/m ²)
Compostos de PVC			
PVC, CP(1)	131-331	417-1.249	0,4-4,3
CPVC	51	225	1,3
PVC, AC(2)	440	2.149	278
PVC, rígido	96	934	14
PVC, LS(3)	54	465	9,3
PVC, flexível	914	4.912	482
Outros polímeros			
PTFE	0	200	0,4
PC	3	15	0,1
XLPE	607	387	1,5
PPO/PS	0	7.830	26
ABS, AC(2)	0	9.053	456
PS, AC(2)	865	12.090	290
POM	74	249	13
PUR	225	138	33
PMMA	67	2.506	52
TPU	0	3.970	216
PA	118	1.966	2,7
ABS	0	5.520	793
PS	107	6.653	45
EPDM	0	7.795	29
PBT	7	41.362	1,4
PET	1	2.308	2,8
PE	1.982	892	30
PP	0	2.700	536

Legenda: (1) Composto para cabo tipo pleno; (2) Antichama; (3) Baixa emissão de fumaça

Estudos de testes do tipo *room corner* (de “canto de sala”) mostraram que a maior parte dos materiais com baixa propagação de chamas (ou baixa liberação de calor, como os materiais

baseados em PVC) tendem a apresentar baixa liberação de fumaça. Em vários estudos, somente cerca de 10% dos materiais testados (8 dentre 84) apresentaram características adequadas

Fluxo 40 kW/m ²			Fluxo 70 kW/m ²		
SEA (m ² /g)	TSR	SmkFct (MW/m ²)	SEA (m ² /g)	TSR	SmkFct (MW/m ²)
246-547	670-3.198	14-76	174-572	945-4.888	26-239
18	200	3,8	33	405	7,9
566	2.391	105	664	3.754	284
569	6.653	298	1.041	6.920	702
591	1.937	79	528	2.285	149
1.053	6.075	915	1.156	6.809	1.277
673	376	0,3	33	764	4,4
993	3.620	733	978	3.900	728
93	837	24	198	1.427	134
1.731	8.056	1.143	1.627	7.830	1.519
1.772	9.705	3.741	1.331	8.222	3.438
1.870	12.799	3.462	1.445	10.575	4.490
10	198	18	25	477	10
572	301	134,4	545	297	240
77	3.646	429	97	3.009	1.012
566	3.592	367,6	684	4.037	746
217	3.088	887,9	251	2.130	4.003
885	4.773	4.457	666	3.897	5.06
1.293	7.738	6.792	852	5.906	9.153
1.014	7.570	5.785	1.162	8.586	10.376
466	3.941	4.711	660	4.704	9.657
286	2.837	1.208	503	4.009	2.356
299	1.870	1.822	275	4.009	3.976
475	2.503	3.417	429	2.317	5.509

de liberação de calor (baixa contribuição para o crescimento do fogo), porém com liberação de fumaça muito alta. Isso precisa ser considerado ao se avaliar uso do PVC em produtos que

ocupem amplas superfícies, porque estes possuem uma liberação de fumaça intrinsecamente alta, porém somente quando todo o material é forçado a queimar.

Toxicidade da Fumaça

A maior parte dos óbitos em uma situação de incêndio decorre da inalação de fumaça e outros produtos de combustão, e não de queimaduras. No entanto, isso não significa que fatalidades ocorram em incêndios porque a fumaça gerada na combustão de alguns materiais seja mais tóxica que outras – na verdade, a avaliação do perigo em um incêndio por conta da toxicidade dos materiais em combustão foi amplamente revista e alguns fatos são hoje aceitos pela comunidade científica que estuda o assunto:

- Óbitos de incêndio geralmente ocorrem em eventos que se tornam de grande proporção; nos EUA, por exemplo, tais incêndios resultam em taxas de letalidade seis vezes maiores do que em

incêndios de menores proporções;

- A concentração de CO em incêndios plenamente desenvolvidos não é afetada pela composição química dos materiais e substâncias envolvidos nos mesmos. A produção de CO em incêndios de larga escala, em uma compilação de 24 estudos, mostrou-se como sendo da ordem de aproximadamente 0,2 g/g, o que corresponde a uma toxicidade de 25 mg/l. Outros estudos abrangentes permitiram correlacionar estatisticamente a quantidade de fatalidades associadas ao CO com sua concentração encontrada no sangue das vítimas, sem a necessidade de serem incluídos outros fatores na taxa de letalidade;

- Por definição, toda fumaça é extremamente tóxica, independente do que está sendo queimado. Valores de potencial tóxico da fumaça determinados através de ensaios de pequena escala (ASTM E1678 e NFPA

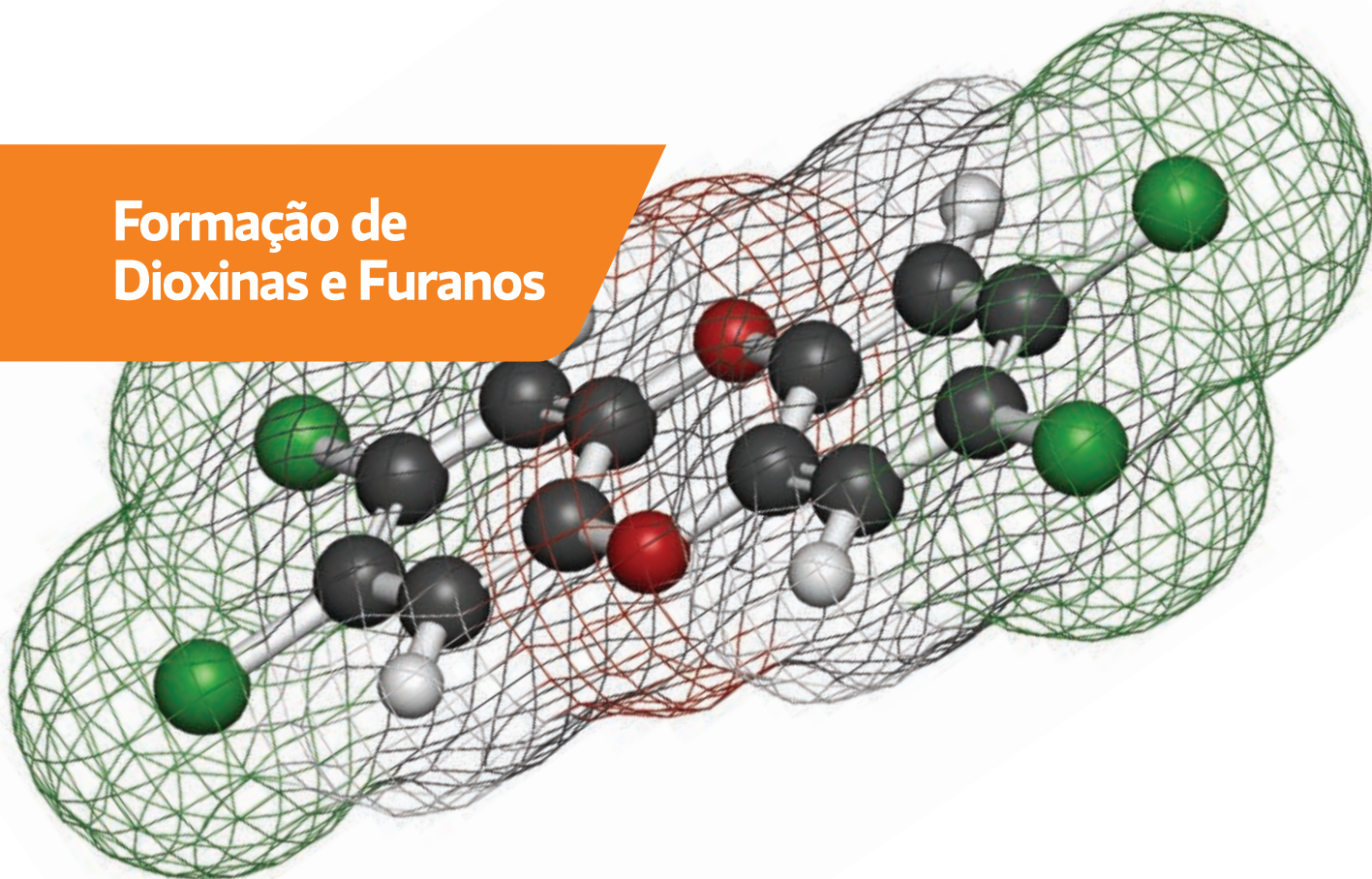
269, utilizando cobaias) mostram-se bem correlacionados em relação à toxicidade da atmosfera de incêndios de larga escala, porém a variação do potencial tóxico da fumaça de quase todos os materiais quando queimados, incluindo o PVC, é tão pequena que perde significância quando comparada com a variação do potencial tóxico de venenos típicos ou mesmo com a concentração de CO comumente encontrada em situações reais de incêndio. Portanto, materiais comuns comportam-se, na prática, como se apresentassem a mesma toxicidade de

fumaça, e o perigo de incêndio a eles associados não é então uma função do potencial tóxico de suas emissões mas sim do quanto eles queimam e do quão elevada é sua taxa de liberação de calor.

Além do mais, pode-se afirmar que nem o PVC nem quaisquer um de seus produtos de decomposição, quer seja pela queima ou pela simples ação térmica, estão inclusos em qualquer lista de substâncias preocupantes. Deve-se observar ainda que o PVC não sofre despolimerização quando submetido ao calor.



Formação de Dioxinas e Furanos



Dioxinas e furanos podem se formar quando qualquer substância contendo os elementos carbono, hidrogênio e cloro é decomposta em temperaturas relativamente baixas. A quantidade formada depende das condições de combustão, como por exemplo, da quantidade de oxigênio e da temperatura que o incêndio alcança.

Um estudo realizado nos EUA envolvendo a incineração de resíduos sólidos urbanos mostrou que a eficiência dos incineradores, expressa em termos de temperatura máxima de operação, tempo de residência

dos gases nestas condições de elevadas temperaturas, e nível de mistura dos efluentes na câmara de combustão (turbulência) são os fatores preponderantes na formação de dioxinas e furanos: nas situações nas quais os incineradores eram eficientes, ou seja, operavam em condições de temperatura elevada, tempo de residência e nível de mistura dos gases adequados, os níveis de dioxinas e furanos formados mostravam-se baixos e dentro das regulamentações ambientais vigentes. Neste mesmo estudo, foi analisado o efeito da presença

e da quantidade de resíduos de PVC no resíduo sólido urbano na formação de dioxinas e furanos. As conclusões foram de que a presença ou quantidade de PVC não afetam a formação e quantidade de dioxinas e furanos na saída do incinerador.

Outros estudos demonstraram que a quantidade de dioxinas gerada pelo PVC em incêndios residenciais é insignificante em comparação ao total de emissões de dioxinas por outras fontes, tais como incêndios florestais ou atividades industriais como a produção de aço e cimento. Muitos estudos realizados na Europa a respeito das quantidades de dioxinas e furanos presentes em fuligens de incêndios foram revisados, concluindo que sua formação é uma das menores fontes de emissão desse gás para o meio ambiente.

A maior parte das informações existentes sobre dioxinas e furanos gerados na combustão do PVC vem de ensaios de laboratórios. De maneira similar à questão da toxicidade da fumaça, estes ensaios de pequena escala não simulam as reais condições em que ocorre a

combustão, e estudos realizados nos anos 1990 na Alemanha mostraram que na vizinhança da maioria dos incêndios envolvendo o PVC ocorreu apenas um leve aumento de dioxinas e furanos, e que os bombeiros, em comparação com outras pessoas, não apresentaram aumento nos níveis de contaminação por dioxinas.

Um incêndio ocorrido em 1992 em uma planta de reciclagem de plástico na Alemanha consumiu cerca de 1.500 toneladas de diversos materiais, incluindo-se cerca de 500 toneladas de PVC. Autoridades locais e o Ministério Regional para o Meio Ambiente estudaram posteriormente a região e constataram que a quantidade de dioxinas após o incêndio estava muito abaixo do esperado: na atmosfera, distante 100 metros de onde houve o incêndio, não se registrou a presença de dioxinas, e não foram detectadas dioxinas nos efluentes da planta industrial nem no lençol freático da região. O exame de 26 pessoas que mais se expuseram ao incêndio mostraram que nenhuma delas estava contaminada por dioxinas.



Liberação de Cloreto de Hidrogênio (HCl) e seu Decaimento

Conforme comentado anteriormente, a combustão do PVC resulta na liberação de HCl. Sua concentração em situações reais de incêndio foi amplamente estudada, com as seguintes principais conclusões:

- A concentração de HCl em uma atmosfera de incêndio é muito menor do que aquela calculada através da composição estequiométrica dos materiais envolvidos;
- Esta concentração inicialmente apresenta-se em baixos níveis, alcança um pico máximo e então começa a decair;
- Esta redução da concentração de HCl na atmosfera do incêndio depende primeiramente das superfícies com as quais o mesmo possa reagir, e decai sempre que há vapor d'água na atmosfera, situação comum em incêndios;
- Quanto menor a temperatura, menor é a geração de HCl;
- Outros gases gerados em incêndios não se comportam da mesma maneira, ou seja, suas concentrações

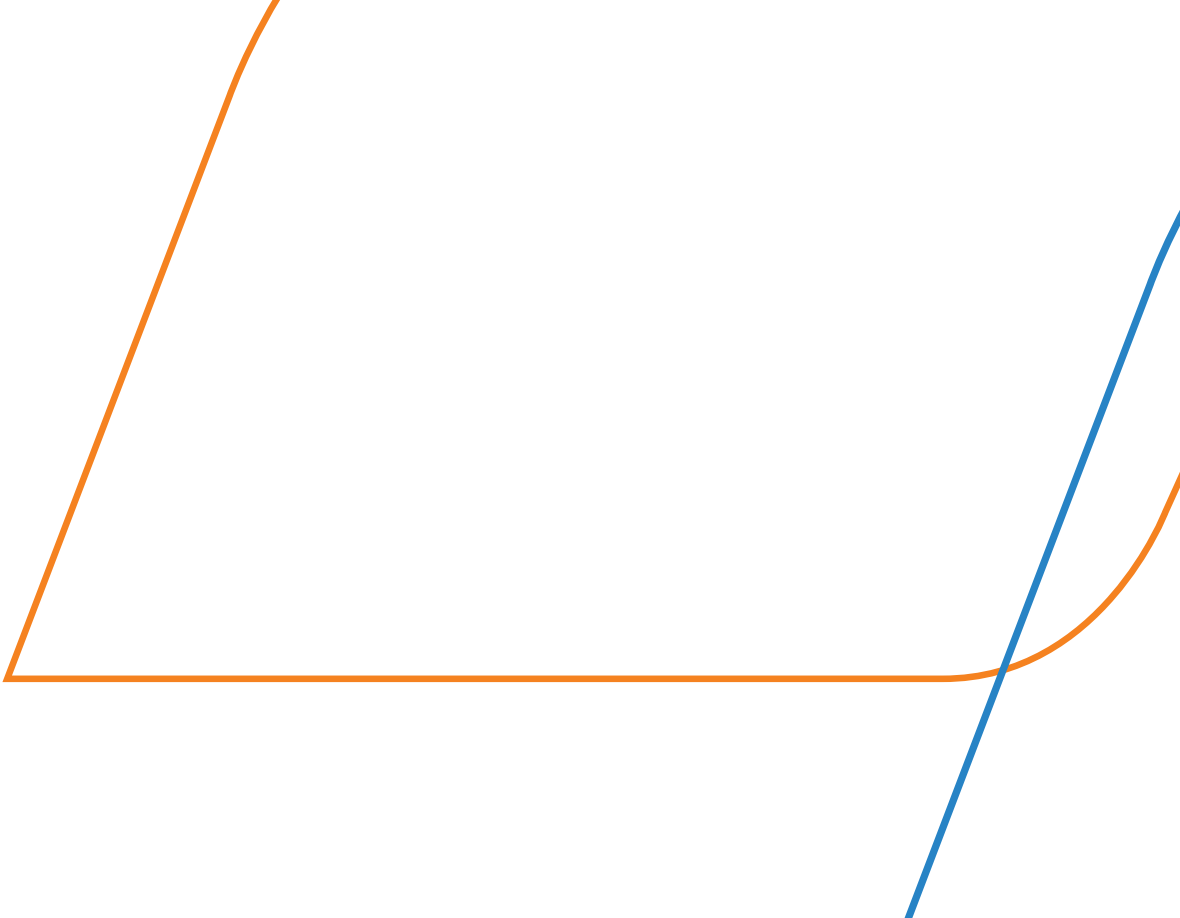


não se reduzem ao longo do incêndio nem são adsorvidos pelas superfícies circundantes.

Conforme comentado anteriormente, o grande perigo em um incêndio é o monóxido de carbono, pela sua elevada toxicidade e impossibilidade de ser detectado pelo odor. Por outro lado, a presença de HCl, por seu odor facilmente perceptível, serve como um alarme mesmo nos instantes iniciais ou mesmo pré-configuração do incêndio.

Em 1986, pesquisadores americanos

do *Southwest Research Institute* realizaram uma série de estudos para a Administração Federal da Aviação dos EUA (*Federal Aviation Administration, FAA*), e determinaram que animais podem sobreviver a níveis de HCl de até 10.000 ppm. Um outro estudo concluiu que, em incêndios comuns, os níveis de HCl, quando gerado, raramente excedem a 300 ppm. Pesquisadores americanos avaliaram, também, os laudos de centenas de autópsias de vítimas fatais de incêndios e verificaram que o HCl não atuou, em qualquer caso, como agente causador das mortes.



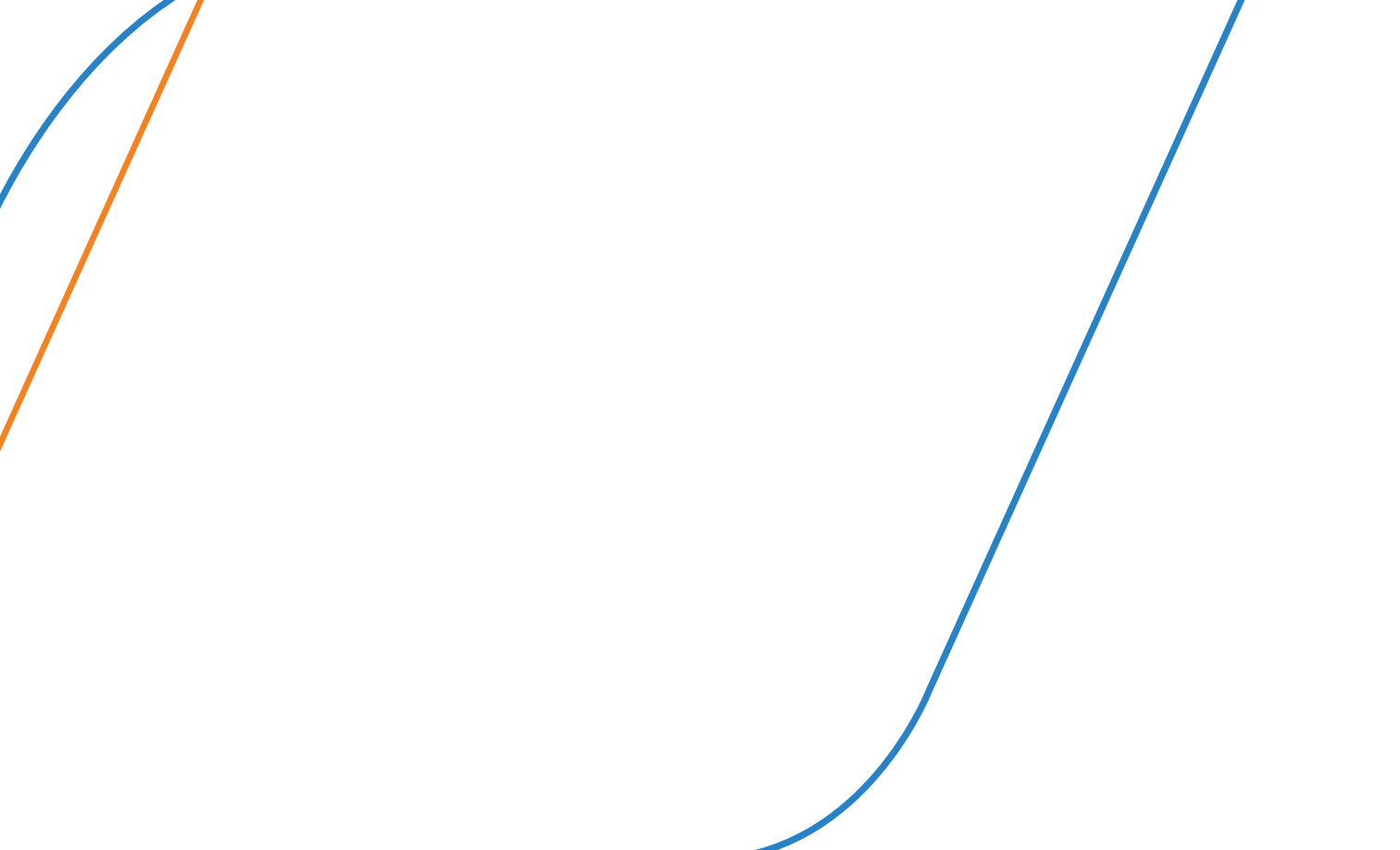
Conclusões

Ao analisar estes dados é possível confirmar que o PVC é um material extremamente seguro. Desde que corretamente utilizado, o PVC pode reduzir os riscos de um incêndio, contribuindo para a segurança do local. Essa é uma das razões para o aumento do uso de PVC em cabos elétricos, entre outras aplicações que requerem o uso de materiais de elevada performance.

A presença do elemento cloro na estrutura química do PVC o torna um polímero com características antichama. É um material indicado

para aplicações que exigem alta resistência ao fogo. Formulações de PVC flexível também se tornam extremamente seguras pela incorporação de aditivos retardantes de chama.

O índice de calor liberado do PVC é menor em comparação à maioria dos materiais inflamáveis e tem-se demonstrado que o índice de calor liberado comanda a intensidade do fogo. Isso significa que, quando o PVC finalmente queima, ele libera menos calor e de forma mais lenta em relação à maioria dos materiais.



A fumaça produzida pelo PVC em testes de pequena escala está na mesma categoria do que muitos outros materiais e a fumaça gerada em incêndios de larga escala é normalmente menor, pois os produtos de PVC queimam menos do que outros. Independentemente da quantidade de PVC presente em um incêndio, o gás gerado em maior quantidade é o monóxido de carbono, que é também o mais perigoso. Os gases gerados pela queima do PVC não são mais tóxicos do que os gases gerados pela queima de outros materiais, e o cloreto de

hidrogênio produzido em incêndios contendo PVC não pode ser associado à letalidade do incêndio, conforme comprovado por inúmeros estudos. Por outro lado, a presença de HCl, por seu odor facilmente perceptível, serve como um alarme.

A teoria de que a queima de PVC, seja em incêndios ou incineradores, é uma grande fonte de dioxinas já foi derrubada pela ciência em diversos estudos na Europa e nos EUA. O PVC é um dos materiais mais seguros quando a segurança em relação a incêndio é um fator essencial.

Referências e Leitura Adicional

BANKSTON, C. P.; ZINN, B. T.; BROWNER, R. F.; POWELL, E. A. Aspects of the mechanisms of smoke generation by burning materials. *Combust. Flame*, v.41, p.273-292, 1981. doi:10.1016/0010-2180(81)90062-6

BOURBIGOT, S.; LE BRAS, M.; TROITZSCH, J. Introduction. In: TROITZSCH, J. (Ed.). *Plastics flammability handbook. Principles, regulations, testing, and approval*. 3. Ed. Munique: Hanser, 2004. p.3-7.

BRITISH PLASTICS FEDERATION. *PVC in fires*. Londres: The British Plastics Federation, 1996.

CARROLL, W. F. PVC and incineration. *J. Vinyl Technol.*, v.10, n.2, p.90-94, 1988. doi:10.1002/vnl.730100209

CARROLL, W. F. Is PVC in house fires the great unknown source of dioxin? *Fire Mater.*, v.20, n.4, p.161-166, 1996. doi:10.1002/(SICI)1099-1018(199607)20:4<161::AID-FAM563>3.0.CO;2-7

COGHLAN, P. A discussion of some of the scientific issues concerning the use of PVC. Victoria: CSIRO Molecular Science, 2001.

DI BLASI, C. The burning of plastics. The combustion process. In: TROITZSCH, J. (Ed.). *Plastics flammability handbook. Principles, regulations, testing, and approval*. 3. Ed. Munique: Hanser, 2004. p.47-57.

GALLOWAY, F. M.; HIRSCHLER, M. M. Hydrogen chloride release from poly(vinyl chloride): model for its decay. *Eur. Polym. J.*, v.23, n.9, p.667-676, 1987. doi:10.1016/0014-3057(87)90174-1

GREEN, J. 25 years of flame retarding plastics. *J. Fire Sci.*, v. 15, n.1, p.52-67, 1997. doi:10.1177/073490419701500104

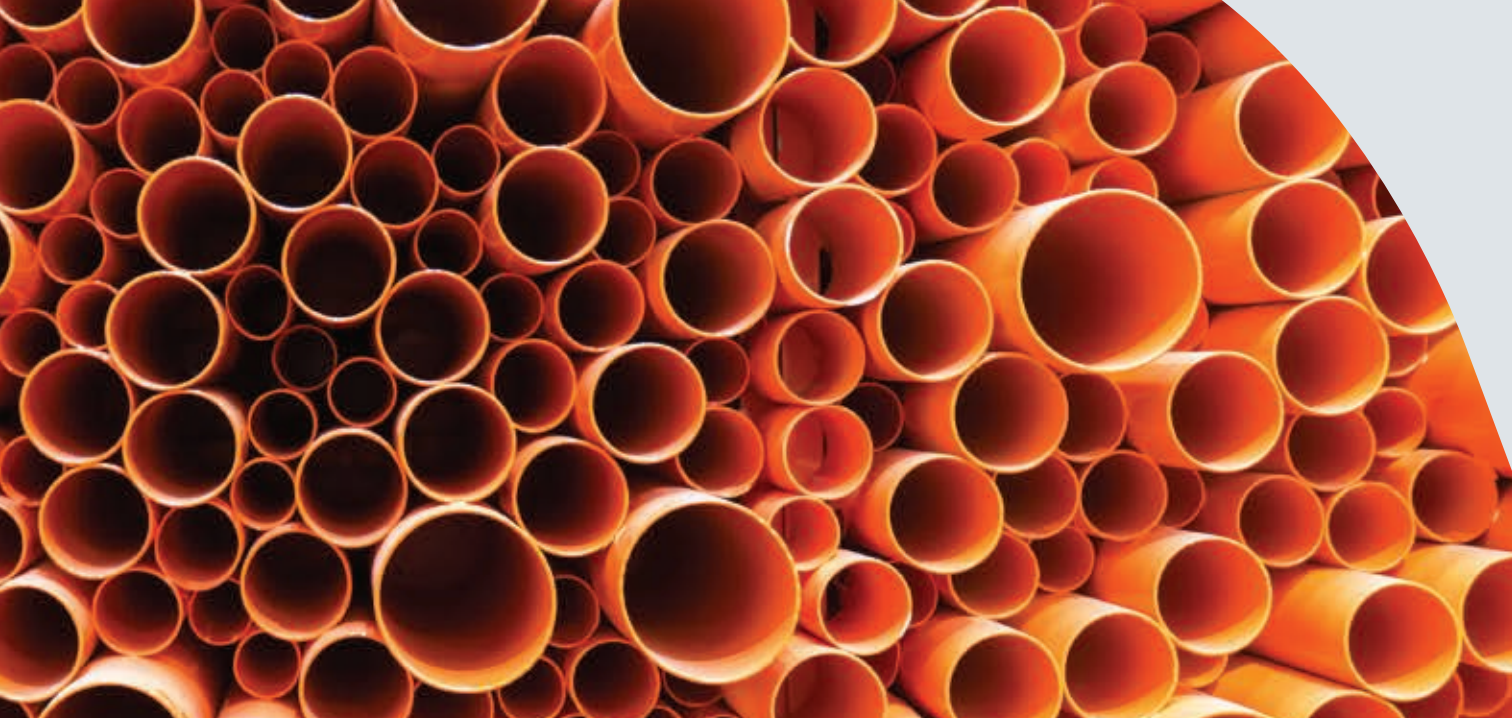
HINDERER, R. K. A comparative review of the combustion toxicity of polyvinyl chloride. *J. Fire Sci.*, v.2, n.1, p.82-97, 1984. doi:10.1177/073490418400200108

HIRSCHLER, M. M. Heat release from plastic materials. In: BABRAUSKAS, V.; GRAYSON, S. J. (Eds.). *Heat release in fires*. Londres: E & FN Spon, 1992. p.375-446.

HIRSCHLER, M. M. Flammability and fire performance. In: WILKES, C. E., SUMMERS, J. W., DANIELS, C. A. (Eds.). *PVC handbook*. Cincinnati: Hanser Gardner Publishers, 2005. p.419-482.

HIRSCHLER, M. M. *Fire properties of polyvinyl chloride*. Washington: The Vinyl Institute, 2017. Disponível em: <http://www.vinylinfo.org>. Acesso em 7 de março de 2018.

HULL, T. R.; STECK, A. A.; LEBEK, K.; PRICE, D. Factors affecting the combustion toxicity of polymeric materials. *Polym. Degrad. Stabil.*, v.92, n.12, p.2239-2246, 2007. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2007.03.032



INNES, J. D.; COX, A. W. Smoke: test standards, mechanisms, suppressants. *J. Fire Sci.*, v.15, n.3, p.227-239, 1997. doi:10.1177/073490419701500305

INNES, J.; INNES, A. Plastic flame retardants: technology and current developments. Shropshire: Rapra Technology Ltd., 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO/CD TR 20118. Plastics – Guidance on fire characteristics and fire performance of PVC materials used in building applications. Genebra: International Organization for Standardization, 2018.

KARLSSON, B. The burning process and enclosure fires. In: TROITZSCH, J. (Ed.). *Plastics flammability handbook. Principles, regulations, testing, and approval*. 3. Ed. Munique: Hanser, 2004. p.33-46.

LE BRAS, M.; PRICE, D.; BOURBIGOT, S. Smoke development and suppression. In: TROITZSCH, J. (Ed.). *Plastics flammability handbook. Principles, regulations, testing, and approval*. 3. Ed. Munique: Hanser, 2004. p.189-206.

MORLEY, J. C. Flame retardants and smoke

suppressants. In: WICKSON, E. J. (Ed.). *Handbook of polyvinyl chloride formulating*. Nova York: John Wiley & Sons, 1993. p.551-578.

MOY, P. Y. Formulating vinyl for flame resistance. In: GROSSMAN, R. F. *Handbook of vinyl formulating*. 2. Ed. Nova Jersey: Wiley Interscience, 2008. p.287-304.

NORSK HYDRO. PVC and the environment 96. Oslo: Norsk Hydro a.s., 1995.

RODOLFO JR., A. Nanocompósitos de PVC, argila organicamente modificada e óxidos metálicos: estudo do processo de preparação e propriedades de combustão e emissão de fumaça. 2010, 226p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

RODOLFO JR., A.; INNOCENTINI-MEI, L. H. Metallic oxides as fire retardants and smoke suppressants in flexible poly(vinyl chloride). *J. Appl. Polym. Sci.*, v.118, n.5, p.2613-2623, 2010. doi:10.1002/app.32596

WEIL, E. D.; LEVCHIK, S.; MOY, P. Flame and smoke retardants in vinyl chloride polymers – commercial usage and current developments. *J. Fire Sci.*, v.24, n.3, p.211-236, 2006. doi:10.1177/0734904106057951.

Através do nosso portal,
você pode acompanhar
a divulgação de notícias,
pesquisas e outras novidades
do Instituto Brasileiro do PVC.

Acesse:

pvc.org.br



Instituto
Brasileiro do
PVC

Av. Chedid Jafet, 222
Bloco C · 4º andar
Vila Olímpia · São Paulo · SP
04551-065

info@pvc.org.br
tel: (011) 2148-4735

pvc.org.br