



## O PVC: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, VANTAGENS E RELAÇÃO COM O MEIO AMBIENTE

Fuad Carlos Zarzar Júnior, [fczj@yahoo.com](mailto:fczj@yahoo.com)<sup>1</sup>  
Marcos G. Holanda, [marcosgholanda@yahoo.com.br](mailto:marcosgholanda@yahoo.com.br)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UFPE, Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFPE

<sup>2</sup> IFPE, Instituto Federal de Pernambuco. Av. Prof. Luiz Freire, 500 - Cidade Universitária - Recife - PE

**RESUMO:** A tecnologia dos plásticos parece ser, à primeira vista, um tema complexo. Em verdade, o assunto envolve um vasto vocabulário técnico destinado à identificação, classificação e descrição dos diferentes tipos de plásticos. Entre eles, o PVC (cloreto de polivinila) se destaca como um dos mais conhecidos e utilizados, em razão de suas reconhecidas vantagens técnicas e econômicas. As resinas de PVC apresentam algumas diferenças quanto às suas propriedades; por essa razão, os produtos moldados também podem apresentar características físicas e mecânicas variáveis, tornando-se difícil muitas vezes a fixação de parâmetros definidos e inalterados.

O PVC é um plástico derivado do sal e petróleo e possui uma gama de aplicações que envolvem uma série de produtos, desde embalagens até fios e cabos, mangueiras, perfis de janelas e laminados. O principal mercado é o de tubos e conexões para construção civil e distribuição de água potável e coleta de esgoto público. Esta posição de destaque em tubulações decorre da prolongada vida útil do PVC.

**Palavras-chave:** Reciclagem, meio ambiente, monômero cloreto de vinila, vida útil

### 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido como um dos temas para os seminários da disciplina Ciências dos Materiais Aplicados à Engenharia Civil do Mestrado de Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco.

O PVC é o segundo termo-plástico mais consumido no mundo. Na área de construção civil tem inúmeras aplicações, desde as consagradas tubulações para instalações prediais de água fria e esgoto sanitário até a fabricação de portas e janelas, mercado este em fase inicial de conquista no Brasil.

Este trabalho apresenta, inicialmente, as características técnicas do PVC, obtenção do monômero-MVC, processo de polimerização, morfologia e aditivos empregados. Em seguida, relata as principais propriedades e vantagens do PVC e termina tratando das questões ambientais.

O estudo possibilita uma visão do PVC como matéria-prima, sua estrutura, sua versatilidade para os processos de transformação e sua relação com o meio-ambiente.

### 2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO PVC

#### 2.1 Obtenção do monômero cloreto de vinila (mvc)

A produção do monômero cloreto de vinila (MVC) é realizada por meio de duas rotas principais. A rota do eteno/cloro ou processo balanceado é a mais amplamente utilizada em escala mundial, enquanto a rota do acetileno teve importância até meados da década de 1960, principalmente na Europa Ocidental. Apesar da rota do acetileno apresentar a vantagem de menor custo de instalação da planta de produção, o custo do acetileno derivado do petróleo é maior que o da eteno, o que a torna economicamente pouco viável. Entretanto, permanece como alternativa devido à possibilidade de obtenção do acetileno a partir de outras matérias-primas. Vale destacar que se encontra em fase experimental uma planta de produção de cloreto de vinila a partir do **etano**, processo bastante viável economicamente, já que se trata de um insumo mais barato que o eteno.

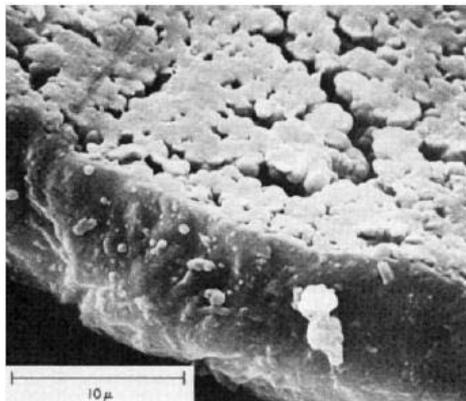
#### 2.2 mecanismo de polimerização via radicais livres

A tecnologia de obtenção de polímeros define três rotas principais de polimerização, sendo elas em cadeia (aplicável a todos os monômeros vinílicos, dentre eles o MVC), em etapas (aplicável a diversos plásticos de engenharia) e por abertura de anel (aplicável a alguns tipos de poliamidas). Dentro da rota de polimerização em cadeia, são três os mecanismos possíveis de ser utilizados: via radicais livres, aniônica e catiônica, sendo que essas duas últimas não são utilizadas comercialmente para a polimerização do PVC.

### 2.3 processo de polimerização em suspensão

Aproximadamente 80% do PVC consumido no mundo é produzido por meio da polimerização do monômero cloreto de vinila em suspensão Fig. (1). Pelos processos de polimerização em emulsão e micro-suspensão (10 a 15%) obtêm-se resinas que são empregadas basicamente em compostos líquidos. Polimerização em massa e polimerização em solução são outras técnicas também empregadas na obtenção do PVC, e possuem pouca representatividade no consumo total dessa resina.

No processo de polimerização em suspensão, o MVC é disperso na forma de gotas de diâmetro entre 30 e 150  $\mu\text{m}$ , em meio a uma fase aquosa contínua, por agitação vigorosa e na presença de um colóide protetor, também chamado dispersante ou agente de suspensão. Um iniciador solúvel no monômero é utilizado, de modo que a reação de polimerização ocorra dentro das gotas em suspensão, por um mecanismo de reações em cadeia via radicais livres. O carregamento do reator geralmente é iniciado com água desmineralizada, aditivos de polimerização, dispersantes (na forma de solução) e iniciadores. O reator é então selado e é feito *alto vácuo para eliminar ao máximo o oxigênio* do meio reacional, *pois esse* tem efeitos adversos no processo de polimerização, *aumentando o tempo de reação e afetando as propriedades do produto final*. Após o vácuo no reator, faz-se a carga do monômero cloreto de vinila liqüefeito e o aquecimento da camisa do reator com vapor sob pressão, para início da reação. Uma vez que a reação é iniciada, o reator deixa de ser aquecido e passa a ser resfriado, pois a reação é exotérmica. A temperatura de reação, geralmente na faixa entre 50 e 70°C, é o principal parâmetro para definição do peso molecular da resina. Sendo a conversão da reação atingida, geralmente na faixa dos 75 aos 95%, a reação é encerrada *e o monômero remanescente é recuperado*. O polímero obtido na forma de lama passa, então, por um processo de *stripping*, no qual o *monômero cloreto de vinila remanescente é extraído por meio da aplicação de vácuo e temperatura*. A lama passa, então, por um processo de concentração via centrifugação, e a torta úmida resultante é seca em secadores de leito fluidizado. A resina seca é então peneirada para retenção de partículas extremamente grosseiras e armazenada em silos, para posterior acondicionamento nos diferentes sistemas de distribuição aos clientes, tais como sacaria de 25 kg, *big bags* de 1, 2 t ou mais e caminhões-silo.



Extraído de Nass, L. I.; Heiberger, C. A. (editores) (1986). Encyclopedia of PVC - Volume 1: Resin manufacture and properties.

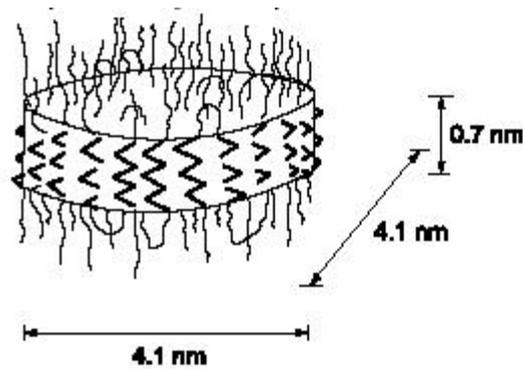
**Figura 1. Micrografia de uma partícula de PVC obtido pelo processo de polimerização em suspensão, cortada de modo a exibir sua estrutura interna e observada através do microscópio eletrônico de varredura. Observam-se a membrana (abaixo) e as partículas primárias (acima), bem como a porosidade interna da resina.**

### 2.4 Cristalinidade do PVC

O PVC é considerado um polímero amorfo ou de baixa cristalinidade, sendo que essa varia conforme as condições de polimerização. Polímeros comerciais possuem cristalinidade da ordem de 8 a 10%, mas, em condições especiais, é possível aumentar significativamente esse valor. Polímeros obtidos a 5°C apresentam cristalinidade da ordem de 15%, ao passo que, se a polimerização for realizada a -75°C a cristalinidade é de cerca de 30%. Os cristaltos do PVC são pequenos, em média com 0,7 nm (3 unidades repetitivas) na direção da cadeia, e são empacotados lateralmente em dimensões relativamente maiores, da ordem de 4,1 nm. A Fig. (2) proporciona uma idéia dessa estrutura.

Uma experiência realizada por White em 1960, consistindo na polimerização do monômero cloreto de vinila a -78°C no estado sólido na presença de complexos de uréia, produziu um polímero de cristalinidade da ordem de 65%.

A cristalinidade presente no PVC não é totalmente descaracterizada durante o processamento: acredita-se que a cristalinidade remanescente atua como ligações cruzadas virtuais entre as moléculas, aumentando significativamente a resistência mecânica do material, principalmente nas aplicações flexíveis.



Extraído de Summers, J. W. (1997). A review of vinyl technology.

**Figura 2. Representação esquemática de um cristalito de PVC**

## 2.5 Porosidade e absorção de plastificantes

As características de absorção de plastificantes estão intimamente ligadas à porosidade da resina, podendo muitas vezes ser utilizadas como parâmetros de avaliação da mesma. Entretanto, vale destacar que características distintas da porosidade apresentam influência nas propriedades de absorção de plastificantes, tais como o tamanho e a distribuição de tamanho de poros. Resinas de partículas muito finas, as quais apresentam área superficial específica elevada, podem aparentemente absorver mais plastificante que resinas mais grossas porém porosas, levando a conclusões nem sempre adequadas. A absorção dos plastificantes e demais aditivos para o interior das partículas de resina é mais importante que a simples adsorção dos mesmos na superfície das partículas. A absorção efetiva dos plastificantes e aditivos garante que os mesmos estarão interagindo com as moléculas do PVC durante as diversas etapas do processamento.

## 2.6 Géis ou fish-eyes

A norma ASTM D-3596 define géis ou *fish-eyes* em resinas de PVC como sendo partículas duras que não se plastificam quando submetidas a condições específicas de processamento. A presença de géis é indesejada e inadequada em inúmeras aplicações finais das resinas de PVC. Géis são indesejados em aplicações tais como filmes rígidos e flexíveis extrudados ou calandrados, laminados transparentes para embalagens tipo *blister* e em frascos soprados. A presença dessas partículas de difícil plastificação é ainda indesejada em aplicações como isolamentos de fios e cabos elétricos, uma vez que a imperfeição resultante no produto pode servir como ponto de falha em testes de medição da eficácia do isolamento elétrico.

## 2.7 Contaminação

Existem diversas fontes potenciais de contaminação de resinas de PVC durante sua produção, transporte, mistura e processamento. Contaminação por resíduos no reator, pelo arraste de partículas nos sistemas de transporte ou até mesmo nos silos de armazenamento são algumas dessas fontes.

## 2.8 Estabilidade térmica

A estabilidade térmica das resinas de PVC é uma preocupação evidente tanto para o produtor da mesma, quanto para o transformador. A estabilidade térmica da resina é função tanto dos aditivos incorporados à batelada na polimerização quanto da história térmica à qual a mesma foi submetida. A avaliação da estabilidade térmica pode ser feita por meio de duas análises: avaliação da estabilidade térmica da resina pura ou na forma de composto.

## 2.9 MVC Residual

O monômero cloreto de vinila (MVC) é reconhecidamente um agente cancerígeno. As plantas de produção do MVC e polimerização do PVC atendem a normas rígidas de saúde ocupacional, mantendo os níveis de MVC constantemente monitorados e, principalmente, abaixo de limites definidos por legislação específica, de modo a garantir baixo risco de exposição dos trabalhadores desses locais. A conversão normalmente atingida na reação de polimerização varia entre 75 e 95%. O monômero cloreto de vinila não reagido é recuperado em uma primeira etapa após a polimerização e, posteriormente, eliminado de maneira forçada por meio de *stripping* ou aquecimento com vapor da lama de PVC. O teor de MVC residual é função direta das condições de polimerização, tratamento posterior da resina e, principalmente, porosidade. Resinas mais porosas permitem a remoção do MVC residual com maior facilidade, enquanto resinas de baixa porosidade apresentam maior dificuldade de eliminação. As resinas comerciais apresentam teores de MVC residual inferiores a 1 ppm, em concordância com as exigências apontadas pelos órgãos responsáveis de

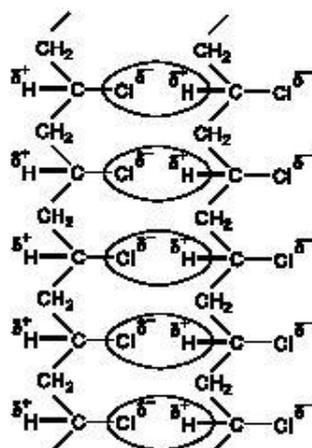
diversos países do mundo, tal como o FDA (*Food and Drug Administration*), o órgão regulamentador de alimentos e fármacos nos Estados Unidos, e o Instituto Adolfo Lutz, no Brasil.

## 2.10 Aditivos

A utilização prática das resinas de PVC, salvo em aplicações extremamente específicas, demanda sua mistura com substâncias, compostos ou produtos químicos variados, conhecidos como aditivos. Definidas as características da resina de PVC adequadas ao processo de transformação e desempenho do produto final, incorporam-se os aditivos nas proporções suficientes para promover características específicas, tais como rigidez ou flexibilidade, transparência ou opacidade, ou, ainda, apresentar resistência à exposição ao intemperismo. A versatilidade do PVC deve-se basicamente à necessidade e à capacidade de incorporação de aditivos antes de sua transformação em produtos finais; mediante a escolha dentro de uma ampla gama de substâncias químicas, permite ao formulador a obtenção de compostos de PVC com as características necessárias a cada aplicação. O desempenho do produto final também é fortemente dependente da escolha da resina de PVC.

### 2.10.1 Plastificantes

De maneira geral, os produtos de PVC podem ser classificados como pertencentes a dois grandes grupos: *rígidos e flexíveis*. A resina de PVC é naturalmente rígida; entretanto, durante a produção dos compostos de PVC, uma classe especial de aditivos pode ser incorporada à resina de PVC de modo a gerar compostos flexíveis: os plastificantes. A Fig. (3) mostra esquematicamente como interagem as moléculas de PVC quando não plastificadas. Em função da presença do átomo de cloro, altamente eletronegativo, a molécula de PVC possui ligações químicas fortemente negativas nos átomos de cloro e positivas nos átomos de hidrogênio, ligados ao mesmo átomo de carbono. Devido à presença desses dipolos ao longo das cadeias, as moléculas de PVC sofrem forte atração eletrostática umas pelas outras, resultando em um polímero rígido. Esse mecanismo de atração intermolecular, ou seja, entre as moléculas do polímero, é conhecido como *ligação secundária ou de Van der Waals do tipo dipolo-dipolo*.



**Figura 3. Esquema do modo de atração dipolo-dipolo entre duas cadeias poliméricas do PVC. Os símbolos  $\delta^+$  e  $\delta^-$  denotam cargas eletrostáticas formadas pelo desbalanceamento de eletronegatividade entre o cloro e o hidrogênio, ligados ao mesmo átomo de carbono da cadeia polimérica (dipolo elétrico).**

A IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*, ou União Internacional de Química Pura e Aplicada) define os plastificantes como “substâncias incorporadas a plásticos ou elastômeros com a finalidade de aumentar sua flexibilidade, processabilidade ou capacidade de alongamento”. Para fins práticos, podemos definir os plastificantes como toda e qualquer substância que, incorporada ao PVC, reduz sua dureza e aumenta sua flexibilidade.

Os plastificantes comerciais são, de maneira geral, líquidos inodoros, incolores, insolúveis em água e de baixa volatilidade. São em sua grande maioria ésteres ou poliésteres, incluindo outros com base em ácidos adípicos, fosfóricos, sebáceos, trimelíticos ou azeláticos.

Existem duas teorias principais que procuram explicar a ação do plastificante sobre o PVC, conferindo-lhe flexibilidade:

1. **teoria da lubrificação:** desenvolvida a partir do trabalho de Kirkpatrick e outros, propõe que o plastificante atua como um lubrificante, reduzindo o atrito intermolecular existente entre as cadeias poliméricas ou em segmentos das mesmas;
2. **teoria do gel:** desenvolvida a partir do trabalho de Doolittle, propõe que os plastificantes atuam sobre as ligações de Van der Waals, atenuando-as, e, conseqüentemente, reduzindo a rigidez do polímero. A atenuação das ligações de Van der Waals ocorre uma vez que as moléculas de plastificante, ao se posicionarem entre as cadeias de PVC, aumentam a distância entre as mesmas. A força de atração eletrostática é inversamente proporcional à distância entre as cargas elétricas; portanto, o aumento da distância intermolecular atenua a

força de atração entre as cadeias, flexibilizando o polímero. Em outras palavras, a presença das moléculas do plastificante em meio às cadeias poliméricas do PVC promove a “quebra” das ligações dipolo-dipolo entre as últimas, criando novos dipolos entre o PVC e o plastificante.

O tipo e quantidade de plastificante incorporado ao composto de PVC interfere significativamente nas propriedades finais do mesmo.

### Mecanismo de degradação do PVC

A exposição do polímero PVC sem a adição de estabilizantes ao calor, radiação ultravioleta ou, ainda, à radiação gama, pode, dependendo da intensidade e tempo de exposição, causar a liberação de cloreto de hidrogênio (HCl), acompanhado da formação de seqüências poliênicas e ligações cruzadas na cadeia, resultando em um rápido processo de degradação Fig (4), revelado normalmente pela mudança de coloração para amarelo, até o marrom escuro. Esse processo é conhecido como desidrocloração e está apresentado abaixo:

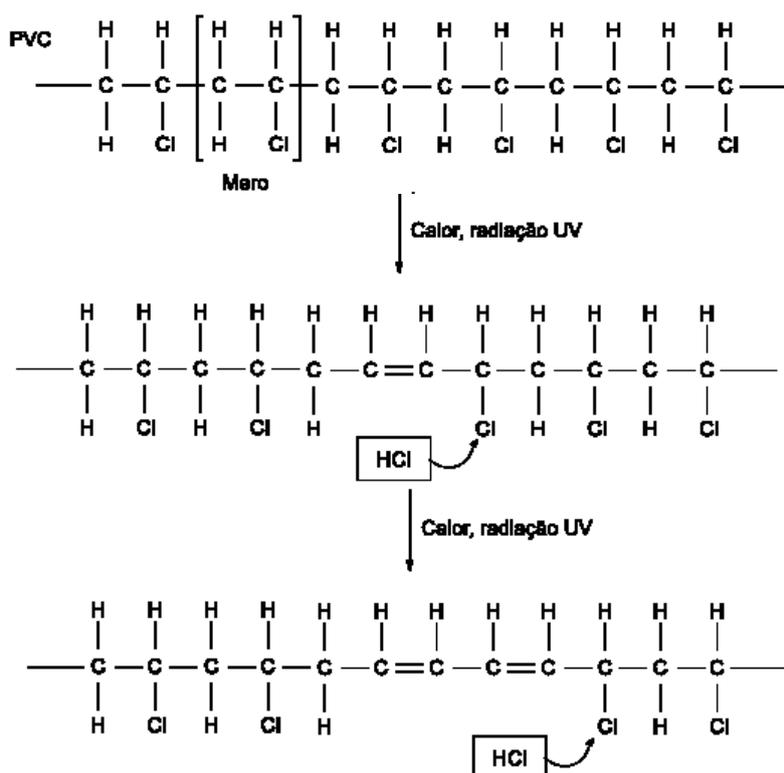


Figura 4. rápido processo de degradação

Os estabilizantes térmicos atuam no composto de PVC capturando e estabilizando os íons cloreto formados, impedindo a propagação da reação. O estabilizante térmico não atua no sentido de impedir a degradação do PVC, mas sim controla a formação de HCl, evitando que o processo de degradação atinja um estágio que comprometa o desempenho do produto final.

Sistemas de estabilizantes baseados em chumbo são os mais antigos e os mais utilizados, proporcionando ao composto vinílico estabilidade de longo prazo satisfatória, boa relação custo-benefício e boas propriedades dielétricas, especialmente interessantes em compostos para isolamento de fios e cabos elétricos. Os compostos de chumbo não são aprovados para contato com alimentos e fármacos.

Atualmente é crescente a utilização de estabilizantes baseados em cálcio e zinco em aplicações anteriormente exclusivas de compostos de chumbo, tais como compostos para fios e cabos elétricos, tubos, conexões e perfis rígidos, incluindo aqueles que requerem elevada resistência ao intemperismo, tais como perfis para esquadrias. Em brinquedos, vedantes de embalagens, embalagens sopradas de água mineral e laminados flexíveis para bolsas de soro, sangue e seus derivados emprega-se, de longa data, compostos de cálcio e zinco como estabilizantes térmicos.

### 3 VANTAGENS DO PVC

Com diversas aplicações no mercado, o PVC é o segundo termoplástico mais consumido no mundo. Com uma demanda mundial superior a 27 milhões de toneladas no ano de 2001, a capacidade mundial de produção de resina de PVC está estimada em cerca de 31 milhões de toneladas ao ano. A Tab.(1) apresenta dados de consumo *per capita* de PVC em diversos países em comparação com o do Brasil.

**Tabela 1. Dados de consumo per capita de PVC em alguns países selecionados**

Dados de consumo <i>per capita</i> de PVC em alguns países selecionados	
Pais/Região	Consumo <i>per capita</i> (kg/hab/ano) 1998
Taiwan	44,6
Canadá	21,0
Estados Unidos	20,1
Europa Ocidental	14,4
Japão	13,4
Europa Oriental	4,9
Oriente Médio	4,3
Argentina	4,0
América do Sul	4,0
<b>Brasil</b>	<b>3,9</b>
Colômbia	3,8
México	3,1
China	2,2
Venezuela	1,3
África	1,1
Índia	0,8
Antiga URSS	0,6
<b>Média Mundial</b>	<b>4,4</b>

Fonte: CMAI 2000.

As aplicações diretamente ligadas à construção civil (tubos e conexões, perfis e cabos) somam aproximadamente 68% da demanda total de PVC no Brasil.

O PVC mostra excelente relação custo-benefício quando comparado com materiais como a madeira, metais e cerâmicas, além de apresentar vantagens em quesitos como comportamento antichama, resistência química e ao intemperismo, isolamento térmico, facilidade de instalação, baixa necessidade de manutenção e excelente acabamento.

O PVC é obtido a partir de 57% de insumos provenientes do sal marinho ou da terra (salgema), e somente 43% de insumos provenientes de fontes não renováveis como o petróleo e o gás natural. Estima-se que somente 0,25% do suprimento mundial de gás e petróleo são consumidos na produção do PVC. Esta é uma das grandes vantagens do PVC em relação aos outros plásticos.

A alta concentração de cloro permite a mistura do PVC com vários tipos e quantidades de aditivos, possibilitando uma grande variação nas formulações. O cloro contido em sua estrutura lhe confere uma propriedade de retardamento da chama quando exposto ao fogo.

Devido à necessidade da resina ser formulada mediante a incorporação de aditivos, o PVC pode ter suas características alteradas dentro de uma gama de propriedades em função da utilização final, que vão desde aplicações em tubos e perfis para construção civil até brinquedos e laminados flexíveis para acondicionamento de sangue e plasma. Esta versatilidade deve-se, também, à adequação do PVC aos mais variados processos de moldagem.

#### **4. O PVC E A RELAÇÃO COM O MEIO AMBIENTE**

Por ser o único no grupo dos termoplásticos que integra a cadeia de derivados orgânicos do cloro, o PVC tem sido nos últimos 20 anos, objeto de intensas pressões e preocupações por parte de organizações e autoridades governamentais ligadas ao controle ambiental. Neste período ocorreu a comprovação de que, efetivamente, diversas substâncias organocloradas exercem efeitos adversos sobre o meio-ambiente e a saúde humana. O monômero cloreto de vinila (MVC), intermediário utilizado na produção de PVC, é conhecido desde 1974 como potente cancerígeno. Além deste aspecto, outras preocupações de ordem ambiental com relação ao PVC vieram a se somar:

1. os estabilizantes térmicos, adicionados para permitir a conversão do PVC em produtos finais, continham metais pesados como o cádmio e o chumbo, de elevada toxidez;
2. o DOP ( dioctil-ftalato) e o DOA (dioctil-adipato), dois dos plastificantes mais utilizados para conferir maleabilidade ao PVC, que no estado puro é rígido e quebradiço, foram considerados suspeitos de carcinogenicidade;
3. os produtos provenientes da combustão do PVC foram considerados mais tóxicos do que os gerados por outros materiais, contribuindo mais para a chuva ácida e a presença de dioxinas na atmosfera.

Este conjunto de fatores resultou no estabelecimento de medidas variadas de controle e restrição ao PVC em diversas regiões, especialmente em países europeus, com destaque para Alemanha, Suécia e Dinamarca. Estas medidas

geraram uma série de ações, por parte das empresas produtoras e a realização de pesquisas e estudos adicionais, cujos principais resultados até o presente são:

1. redução do nível de emissão de organoclorados nos processos produtivos, em especial o MVC, matéria-prima do PVC e com efeitos cancerígenos comprovados;
2. redução do teor de MVC residual no PVC final;
3. substituição dos metais pesados nos estabilizantes adicionados ao PVC por metais de menor toxidez, tais como zinco e cálcio;
4. as pesquisas relativas aos possíveis efeitos carcinogênicos dos plastificantes não foram conclusivas para o DOP, por outro lado houve resultados conclusivos pela inocuidade do DOA;
5. quanto aos efeitos da combustão do PVC, as pesquisas já realizadas revelaram-se insuficientes para justificar uma regulação mais restritiva e abrangente ao PVC do que em relação a outros materiais.

#### 4.1 Processos de produção do PVC

Na produção do PVC, são utilizados dois processos fundamentais: a polimerização do MVC em suspensão (80%) e a polimerização em emulsão (10%). A produção do MVC a partir do etileno e do cloro, ou do etileno e do HCl, respectivamente, é em grande parte realizada em processos industriais fechados. Podem verificar-se emissões de cloro, etileno, 1,2-dicloroetano, HCl, MVC e subprodutos clorados, incluindo dioxinas, para o ambiente de trabalho ou o ambiente exterior (ar e água). Vários destes produtos químicos são substâncias tóxicas bem conhecidas, sendo, por conseguinte, necessárias medidas rigorosas de controle das emissões.

A exposição dos trabalhadores pode ocorrer enquanto doseiam os compostos no misturador. Cuidado especial deve ser tomado durante a limpeza do reator utilizado no processo de polimerização, devido a permanência de resíduos do MVC nas paredes do reator.

#### 4.2 A utilização de aditivos no PVC

As categorias de aditivos mais importantes que é preciso avaliar em termos das características perigosas e dos riscos para a saúde humana e o meio ambiente, são os estabilizantes, em especial aqueles que contém metais pesados, e os plastificantes, sobretudo os ftalatos.

O PVC puro é um material rígido, mecanicamente duro, bastante resistente às intempéries, resistente à água e aos produtos químicos, isolador elétrico, mas relativamente instável sob a ação do calor e da luz. O calor e a luz ultravioleta originam uma perda de cloro sob a forma de ácido clorídrico (HCl). Esta perda pode ser evitada mediante a adição de estabilizantes. Estes últimos são freqüentemente compostos por sais de metais como o chumbo, o bário, o cálcio ou o cádmio.

As propriedades mecânicas do PVC podem ser alteradas através da adição de compostos de baixo peso molecular, que se misturam com a matriz polimérica. A adição destes chamados plastificantes em diversas quantidades produz materiais com propriedades muito versáteis, que permitiram a utilização do PVC numa ampla gama de aplicações. Os principais tipos de plastificantes utilizados são os ésteres de ácidos orgânicos, principalmente ftalatos e adipatos.

##### 4.2.1 Estabilizantes

Os principais pontos de interesse na discussão dos potenciais riscos causados pelos estabilizantes à base de chumbo ou de cádmio incorporados no PVC são os seguintes:

os estabilizantes à base de chumbo e de cádmio presentes no PVC continuarão aglutinados neste material durante a fase de utilização, pelo que não contribuirão muito significativamente para a exposição. Poderá ocorrer uma potencial contaminação do ambiente devido à utilização de estabilizantes à base de chumbo ou de cádmio no PVC, nas fases de produção e de resíduos;

durante as fases de produção e de tratamento de resíduos, é necessário tomar várias medidas específicas de proteção e prevenção, a fim de eliminar ou reduzir ao mínimo a exposição dos trabalhadores relativa à sua saúde e sua segurança;

não há dados exatos disponíveis sobre a contribuição dos estabilizantes à base de chumbo presentes no PVC para o teor global de chumbo dos resíduos sólidos urbanos que são depositados em aterro ou incinerados. Vários cálculos e estimativas conduziram a resultados muito divergentes: 1%, 3%, 6%, 10% e 28%. Quanto ao cádmio, estima-se que cerca de 10% do cádmio presente nas instalações de incineração de resíduos ou nos aterros têm origem no PVC;

realizaram-se poucas investigações experimentais sobre o comportamento em aterro dos resíduos de PVC contendo chumbo e cádmio. É de esperar que os compostos de chumbo e cádmio se mantenham encapsulados nos resíduos de PVC rígido. Em relação ao chumbo incorporado no PVC flexível, a situação é mais duvidosa. Um estudo revelou uma liberação de 10% do estabilizante à base de chumbo de um tipo de cabo em PVC *flexível* contendo uma mistura de vários plastificantes. A contribuição do PVC para o teor de chumbo encontrado nos lixiviados dos aterros não foi investigada;

durante a incineração do PVC e de outros resíduos, o chumbo e o cádmio acabam, praticamente na totalidade, nas cinzas residuais e nas cinzas volantes das instalações de incineração. Devido à elevada contaminação com metais

pesados, as cinzas volantes e os resíduos, que se encontram geralmente misturados, têm de ser depositados em aterros controlados. As cinzas residuais são reutilizadas, ou depositadas em aterro. Por conseguinte, uma dispersão de metais pesados no ambiente não pode ser excluída, mas parece improvável a curto prazo.

Já estão sendo usados substitutos potenciais do chumbo e do cádmio. Os principais substitutos são os estabilizantes à base de cálcio-zinco e os estabilizantes orgânicos com estanho. Os compostos cálcio-zinco têm, sem dúvida, um perfil de risco mais vantajoso do que os compostos de chumbo e cádmio e não estão, atualmente, classificados como perigosos. Razões técnicas (qualidade dos produtos, normas, requisitos de ensaio) e econômicas (custos mais elevados) impedem atualmente a substituição geral dos estabilizantes à base de chumbo. Prevê-se que, nos próximos anos, a diferença de preço entre os estabilizantes à base de chumbo e os estabilizantes à base de cálcio-zinco diminua, devido às novas capacidades de produção que estão sendo instaladas no momento. Os estabilizantes com estanho têm propriedades menos favoráveis em termos ambientais e humanos.

#### 4.2.2 Plastificantes

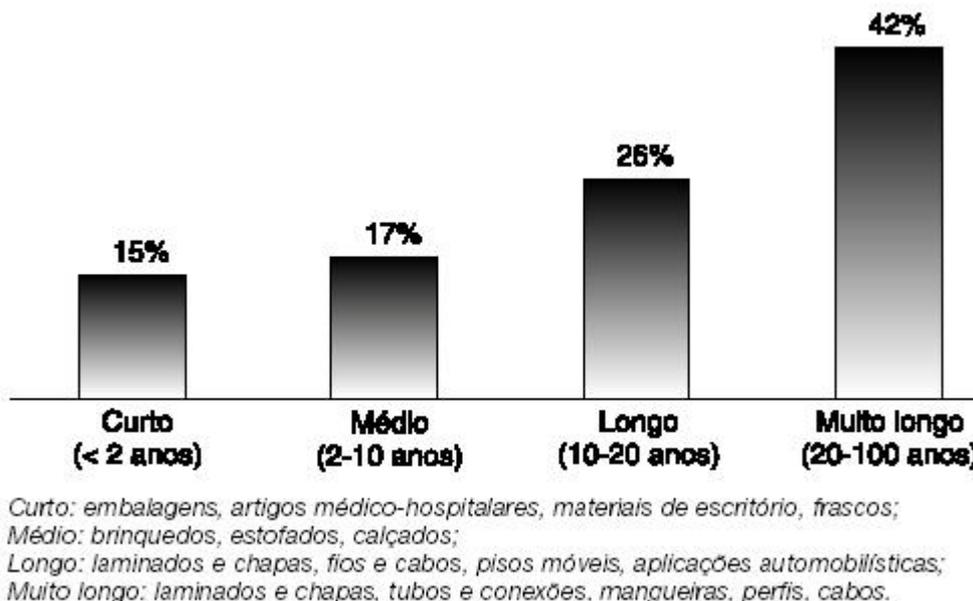
Os plastificantes são necessários para fabricar produtos em PVC flexível. Na Europa Ocidental são produzidas cerca de um milhão de toneladas de ftalatos por ano e aproximadamente 900 000 toneladas são utilizadas para plastificar o PVC. Em 1997, 93% dos plastificantes do PVC eram ftalatos. Os mais comuns são os seguintes: dioctil ftalato (DOP), o memo que ftalato de di(2-etil-hexil) (DEHP), o disodecil ftalato (DIDP) e o disononil ftalato (DINP). Nos últimos anos, a utilização do DEHP diminuiu, enquanto a do DIDP e do DINP aumentou. As quantidades de plastificantes adicionados ao polímero de PVC variam conforme as propriedades requeridas. Dependendo da utilização final, o teor de plastificantes varia entre 15 e 60%, atingindo, nas aplicações mais flexíveis, os 35 a 40%.

Outros plastificantes, em especial os adipatos, como o dioctil adipato (DOA), os trimelitatos, os organofosfatos e o óleo de soja epoxidado, também podem ser utilizados como amaciantes no PVC, mas representam apenas uma pequena fração dos plastificantes usados. As informações disponíveis relativas ao impacto destes plastificantes no ambiente e na saúde humana decorrentes da sua utilização no PVC ainda são limitadas.

Os ftalatos são os plastificantes mais importantes em termos de quantidade e aqueles cujos riscos ambientais e sanitários estão sendo principalmente estudados. Alguns ftalatos, podem causar efeitos nocivos na saúde humana (em especial no fígado e nos rins, no caso do DINP, e nos testículos, no caso do DEHP). As propriedades potenciais de perturbação do sistema endócrino estão sendo, também, avaliadas.

#### 4.3 a reciclagem do PVC

O PVC é caracterizado como um material de aplicações de longo ciclo de vida, ou seja, aplicações nas quais o tempo de vida útil do produto antes de seu descarte para o meio ambiente é bastante longo, por exemplo, mais de 20 anos. A Fig. (5) apresenta o tempo de vida útil aproximado dos principais produtos feitos com PVC e seu percentual de utilização.



Fonte: ECVI.

Figura 5. Tempo aproximado de vida em serviço de produtos de PVC, em função do percentual de aplicação

A quantidade total de resíduos de PVC varia em função do consumo de PVC. Todavia, devido aos tempos de vida, que podem atingir 50 anos ou mais em algumas aplicações, como as tubulações e os perfis, há uma defasagem temporal entre o consumo de PVC e a presença de PVC no fluxo de resíduos. Os produtos de PVC obtiveram uma aceitação de

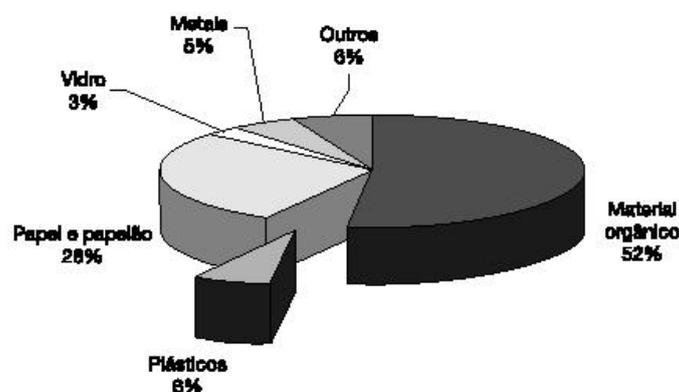
mercado significativa a partir dos anos 60 na Europa e dos 70 no Brasil. Considerando o tempo de vida superior a 50 anos, está previsto que comece a haver um aumento importante da quantidade de resíduos de PVC nas próximas décadas. As previsões sobre a produção futura de resíduos de PVC estão sujeitas a incertezas, mas espera-se que o volume destes resíduos sofra aumentos significativos, de 30%, em 2010, e de 80%, em 2020, sobretudo devido ao importante crescimento da quantidade de resíduos de produtos com um tempo de vida longo. O processo de reciclagem de produtos de PVC pode ocorrer em três formas distintas: mecânica, química e energética.

#### 4.3.1 Reciclagem Mecânica

Consiste das etapas de coleta seletiva, separação dos tipos de plástico, lavagem e moagem do plástico, extrusão e transformação em novos produtos. A reciclagem mecânica consiste na combinação de um ou mais processos operacionais para aproveitamento do material descartado, transformando-o em material apto para a fabricação de novos produtos. Existem dois processos de reciclagem mecânica: reciclagem primária e reciclagem secundária.

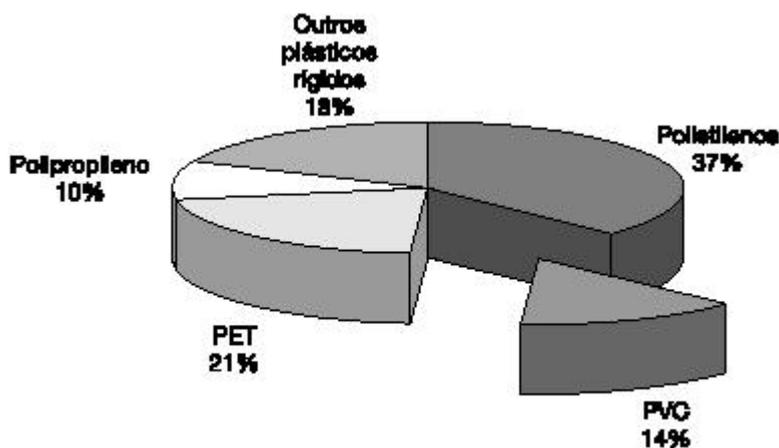
Na reciclagem primária, o material descartado é proveniente de aparas de indústrias de transformação. O processo de reciclagem é simples, realizado dentro das próprias instalações da indústria geradora das aparas ou por empresas especializadas prestadoras de serviço.

No caso da reciclagem secundária, o material pós-consumo é retirado do resíduo sólido urbano. A Fig. (6) mostra a distribuição dos materiais no resíduo sólido urbano, enquanto a Fig. (7) representa a distribuição média dos plásticos encontrados neste resíduo.



Extraído de Wiebeck, H; Piva, A. M. (2000). Reciclagem mecânica do PVC: Uma oportunidade de negócio.

Figura 6. Distribuição dos materiais que compõem o resíduo sólido urbano



Extraído de Wiebeck, H; Piva, A. M. (2000). Reciclagem mecânica do PVC: Uma oportunidade de negócio.

Figura 7. Distribuição média dos plásticos encontrados no resíduo sólido urbano

O processo da reciclagem secundária envolve etapas de triagem do material, lavagem e secagem para eliminação de contaminantes provenientes do resíduo sólido urbano, moagem, extrusão/filtração para retenção de contaminantes sólidos diversos e granulação. A formulação geralmente necessita de correção antes da etapa de extrusão, por meio da incorporação de plastificantes no caso de produtos flexíveis, ou complementação dos teores de estabilizantes térmicos e lubrificantes para garantir estabilidade durante o processamento.

### 4.3.2 Reciclagem Química

A reciclagem química consiste na conversão do resíduo de PVC em matérias-primas petroquímicas básicas. Alguns processos encontram-se disponíveis para a reciclagem química do PVC, consistindo basicamente nas seguintes rotas:

1. **Hidrogenação do Resíduo**  $\Rightarrow$  ácido clorídrico, hidrocarbonetos e betume;
2. **Pirólise**  $\Rightarrow$  ácido clorídrico, carvão coque e hidrocarbonetos;
3. **Gaseificação**  $\Rightarrow$  ácido clorídrico, monóxido de carbono e hidrogênio;
4. **Incineração**  $\Rightarrow$  ácido clorídrico, dióxido de carbono e água.

### 4.3.3 Reciclagem Energética

Consiste na compactação dos resíduos plásticos e na sua incineração para utilização como combustível na geração de energia elétrica ou calorífica. Os gases gerados nesse processo são tratados para reduzir o impacto sobre a atmosfera, enquanto as cinzas resultantes do processo de incineração são dispostas em aterros.

## 4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A resina de PVC é utilizada com uma grande variedade de aditivos, os quais lhe conferem propriedades diversas como rigidez ou flexibilidade, cores variadas, resistência ao intemperismo e leveza dos produtos.

O processo de fabricação exige cuidados especiais quanto ao MVC, agente cancerígeno. Também, a resina deve apresentar um baixo teor de MVC residual, menor ou igual a 1ppm.

Os estabilizantes à base de metais pesados, como o chumbo e o cádmio, podem provocar câncer. Os fabricantes de resina e os fabricantes de produtos de PVC vem tomando certas medidas durante o processo de fabricação. Outros estabilizantes, como o cálcio e o zinco, vem também sendo utilizados em substituição aos primeiros.

Alguns ftalatos, aditivos plastificantes, foram considerados também como cancerígenos e estão sendo estudados, como o dioctil ftalato (DOP)/(DEHP). Sua utilização foi proibida em brinquedos e produtos hospitalares de PVC de vários países.

A vida útil de grande parte dos produtos de PVC é superior a 50 anos. Logo, estima-se que o volume de resíduos de PVC cresça em torno de 80% em 2020, já que a sua grande utilização começou entre os anos 60 e 70.

O PVC é versátil, tem bom acabamento e fácil de ser utilizado. As questões ambientais são importantes e espera-se que os transformadores e fabricantes de resina consigam caminhar juntos em busca de soluções que mantenham o equilíbrio entre a fabricação de um excelente material dentro de normas de proteção ambiental.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Callister Jr, William D.. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5. ed., Rio de Janeiro: LTC, 2002.

BRASKEM. **Tecnologia do PVC**. São Paulo: pro editores, 2002.

Blass, Arno. **Processamento de Polímeros**. Florianópolis: Editora da U.F.SC, 1985.

Tigre. **Manual Técnico Tigre**. São Paulo: Pini, 1987.

Pirelli. **Manual Pirelli de Instalações Elétricas**. São Paulo: Pini, 1990.

AKROS. **Catálogo Técnico**.

Comision de las Comunidades Europeas. **Cuestiones medioambientales relacionadas com el PVC**. Bruxelas, 2000, 42 p.

Green Peace. **Ftalatos em Produtos Médicos de PVC de 12 Países**. EUA, 1999, 11 p.

[www.institutodopvc.org](http://www.institutodopvc.org)

[www.jorplast.com.br](http://www.jorplast.com.br)

[www.projetandocompvc.com.br](http://www.projetandocompvc.com.br)

[www.apme.org](http://www.apme.org)

## 6 DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste artigo.