

VERA DA CONCEIÇÃO FERNANDES

Engenheira Civil, Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo, 1984.

**JANELAS DE PVC RÍGIDO: CARACTERÍSTICAS DA QUALIDADE**

Dissertação apresentada à  
Escola Politécnica da USP  
para a obtenção do Título  
de Mestre em Engenharia

Orientador: Prof. Dr. Vahan Agopyan, Depto. Eng. Civil

São Paulo, 1991

para minha mãe, Alzira da Conceição Pêgo Fernandes

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Vahan Agopyan pela orientação, dedicação e apoio na realização deste trabalho.

Aos Eng<sup>OS</sup> Ercio Thomaz, Eduardo Ioshimoto e Deborah Martinez de Mattos pela confiança e estímulo dados às minhas atividades profissionais.

Aos amigos da TESIS - Tecnologia de Sistemas de Engenharia pela cooperação e discussão das idéias contidas neste trabalho. Em especial ao Prof. Dr. Orestes Marracini Gonçalves, por me confiar a coordenação do programa de garantia da qualidade, aos Eng<sup>OS</sup> Fernando Landi, Nelson Sikusawa e Jairo Cukierman pelo companheirismo, à Inalda Gonçalves pelas traduções e à Arq<sup>ta</sup> Ana Rita de Souza Gomes de Almeida pela elaboração das figuras e das transparências de apoio.

Aos amigos do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, em particular, àqueles do Agrupamento de Componentes e Sistemas Construtivos, onde adquiri o hábito da pesquisa, da busca minuciosa do conhecimento em suas fontes, e onde iniciei a pesquisa de janelas. Cabe destacar as valiosas contribuições do Arq<sup>tº</sup> Walter Caiaffa Hehl, do Eng<sup>º</sup> Ercio Thomaz, da física Maria Akutsu e do Eng<sup>º</sup> Júlio Ossamu Yoshida.

À Evelyne Y.L.Vaidergorin, do Agrupamento de Materiais do IPT, pela paciência em me esclarecer os aspectos químicos de desempenho e envelhecimento do PVC e revisar os meus escritos específicos.

Aos Profs. Otavio Maizza e José Carlos de Castro Waeny pela orientação nos aspectos relativos à certificação de conformidade.

À Iacyra Gonçalves pela amizade e inestimável ajuda nas cópias e montagens deste trabalho.

Aos meus pais, Osvaldo Batista Fernandes e Alzira da Conceição Pêgo Fernandes que, com sua dedicação e incentivo, não pouparam esforços para a minha formação e, em especial, para a pós-graduação. Ao meu irmão, Paulo Manuel Pêgo Fernandes, que sempre me encorajou em toda atividade profissional e acadêmica a que me propus. À minha sogra, Maria Elisa Coelho Hachich, pela compreensão e apoio.

Ao meu marido, Waldemar Hachich, cujo entusiasmo e encorajamento impulsionaram a elaboração do trabalho, e ainda pela leitura cuidadosa, pelos comentários precisos, pela paciência e pela sua dedicação.

À minha filha, Paulinha, a quem mais devo atenção e carinho pelas muitas horas que dela subtraí para o Mestrado.

## RESUMO

O presente trabalho está inserido no contexto da busca da qualificação de componentes visando a melhoria do desempenho e durabilidade dos edifícios, constituindo-se em uma experiência piloto para a tarefa essencial de adaptação de requisitos genéricos de garantia da qualidade às especificidades de uma indústria de produtos de construção civil: janelas de PVC rígido.

Inicialmente discute-se a implantação do Programa de Garantia da Qualidade de Esquadrias de PVC Rígido, com ênfase nos seus princípios e fundamentos, que são aqueles preconizados na norma ISO 9000.

Em seguida são analisados os procedimentos de fabricação de perfis e de janelas, indicando os controles necessários nos insumos, no processo produtivo e no produto final para garantir os requisitos de desempenho e durabilidade desejados.

Finalmente são descritos os requisitos e controles associados aos procedimentos de instalação das janelas em obra.

## **ABSTRACT**

This research is part of an effort towards qualification of building components aimed at improving performance and durability of constructed facilities. The present work served as a test for the all-important task of adapting general guidelines for quality assurance to the peculiarities of the manufacturers of a specific building product: rigid PVC window frames.

Implementation of the Quality Assurance Program for Rigid PVC Window Frames is discussed, with emphasis on its principles and fundamentals, which derive from the ISO 9000 standard.

The manufacturing process of PVC profiles and window frames is analysed in conjunction with the levels of monitoring required for performance and durability assurance: raw materials, process and end product.

Finally the requirements for window installation are presented and the associated controls discussed.

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. PROGRAMA DE GARANTIA DA QUALIDADE DE ESQUADRIAS DE PVC RÍGIDO.....	12
2.1 Conceituação.....	12
2.2 Requisitos do Programa de Garantia da Qualidade.....	16
2.2.1 Objetivos da qualidade.....	19
2.2.2 Atribuição específica de responsabilidade e autoridade dos participantes do Programa.....	20
2.2.2.1 AFAP E ABIVINILA.....	21
2.2.2.2 Fabricante da resina ou do composto de PVC.....	22
2.2.2.3 Fabricante de perfis.....	23
2.2.2.4 Fabricante de esquadrias.....	24
2.2.2.5 EMPRESA PRIVADA.....	25
2.2.2.6 Laboratório.....	26
2.2.3 Procedimentos operacionais.....	29
2.2.4 Métodos de ensaio, inspeção e auditoria.....	29
2.2.4.1 Métodos de ensaio e inspeção.....	29
2.2.4.2 Programa de auditoria.....	30
2.2.5 Métodos para ajuste do Programa de Garantia da Qualidade de Esquadrias de PVC Rígido.....	37
2.2.6 Outras medidas necessárias para atingir os objetivos do Programa.....	38
2.2.6.1 Confiabilidade metrológica.....	40
2.2.6.2 Elaboração das especificações técnicas.....	41
3. PERFIL DE PVC RÍGIDO - CARACTERIZAÇÃO.....	43
3.1 Características do PVC (Poli(Cloreto de Vinila))....	44
3.1.1 Desenvolvimento do PVC.....	44

3.1.2	Obtenção do monômero.....	44
3.1.2.1	Obtenção a partir do acetileno - C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> .....	44
3.1.2.2	Obtenção a partir do etileno C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> .....	45
3.1.3	Polimerização.....	46
3.1.4	Propriedades do PVC.....	50
3.1.5	Degradação do PVC.....	51
3.1.5.1	Degradação térmica.....	51
3.1.5.2	Fotodegradação.....	52
3.1.5.3	Água e vapor de água.....	53
3.1.5.4	Agentes químicos.....	54
3.1.5.5	Agentes biológicos.....	54
3.1.5.6	Solicitações mecânicas.....	55
3.1.5.7	Comportamento ao fogo.....	55
3.2	Composto de PVC rígido.....	55
3.2.1	Materiais componentes.....	56
3.2.1.1	Resina ou polímero - PVC.....	56
3.2.1.2	Estabilizadores térmicos.....	60
3.2.1.3	Lubrificantes.....	64
3.2.1.4	Cargas.....	65
3.2.1.5	Pigmentos.....	65
3.2.1.6	Modificadores de impacto e auxiliares de processamento.....	67
3.2.1.7	Absorvedores de ultravioleta.....	68
3.2.2	Formulação.....	69
3.2.3	Preparação da Mistura.....	73
3.3	Fabricação de Perfis de PVC rígido.....	77
3.3.1	Linha de extrusão.....	77
3.3.3.1	Roscas.....	80

3.3.3.2	Matriz de extrusão.....	87
3.3.2	Calibragem e refrigeração.....	89
3.4	Controles durante a fabricação.....	91
3.4.1	Condições gerais do Programa de Garantia da Qualidade de Esquadrias de PVC Rígido.....	93
3.4.2	Características de identificação e de constância da qualidade da resina de PVC - o PVC puro.....	94
3.4.3	Características de identificação e de constância da qualidade do composto utilizado para a extrusão dos perfis.....	95
3.4.3.1	Densidade.....	96
3.4.3.2	Temperatura de amolecimento VICAT.....	96
3.4.3.3	Verificação do tempo de indução da deidrocloração - estabilidade térmica.....	96
3.4.3.4	Teor de cinzas.....	97
3.4.3.5	Resiliência na tração.....	100
3.4.4	Características relativas à durabilidade dos perfis.....	103
3.4.4.1	Generalidades.....	103
3.4.4.2	Especificações.....	106
3.4.5	Características relativas à constância da qualidade dos perfis.....	112
3.4.5.1	Aspecto.....	113
3.4.5.2	Desvio da reta.....	114
3.4.5.3	Dimensões.....	114
3.4.5.4	Massa.....	116
3.4.5.5	Resistência ao choque a frio.....	116
3.4.5.6	Verificação da gelificação - estabilidade de aspecto ao calor.....	117
3.4.5.7	Verificação da qualidade da soldagem de um canto soldado.....	118

3.4.5.8	Verificação da estabilidade dimensional - alteração de medida após tratamento térmico.....	121
3.4.5.9	Verificação da estabilidade de aspecto após simulação de instalação e limpeza.....	122
<b>4.</b>	<b>JANELAS DE PVC RÍGIDO - CARACTERIZAÇÃO.....</b>	<b>125</b>
4.1	Requisitos da qualidade de janelas.....	125
4.1.1	Exigências de Segurança.....	126
4.1.1.1	Comportamento mecânico.....	127
4.1.1.2	Comportamento ao fogo.....	140
4.1.2	Exigências de Habitabilidade.....	142
4.1.2.1	Estanqueidade à água.....	142
4.1.2.2	Permeabilidade ao ar.....	145
4.1.2.3	Isolação acústica.....	145
4.1.2.4	Ventilação.....	148
4.1.2.5	Higrotermia.....	152
4.1.2.6	Iluminação.....	154
4.1.2.7	Aspecto e manuseio.....	156
4.1.3	Exigências de Durabilidade.....	156
4.1.4	Qualidade dos dispositivos complementares de estanqueidade e dos acessórios.....	158
4.1.4.1	Guarnições.....	158
4.1.4.2	Acessórios.....	160
4.1.4.3	Elementos de fixação.....	161
4.2	Fabricação de caixilhos e de janelas.....	161
4.2.1	Estocagem e manuseio dos perfis.....	163
4.2.2	Cortes.....	163
4.2.3	Instalação do reforço.....	164
4.2.4	Elementos de fixação.....	164

4.2.5 Soldagem dos perfis.....	164
4.2.6 Acabamento e retoques.....	170
4.2.7 Colocação das guarnições.....	172
4.2.8 Colocação dos acessórios.....	172
4.2.9 Montagem do caixilho.....	173
4.2.10 Envidraçamento.....	173
4.2.10.1 Rebaixos.....	174
4.2.10.2 Folgas de bordos e laterais.....	176
4.2.10.3 Calços de envidraçamento.....	177
4.2.10.4 Disposição dos calços de envidraçamento.....	180
4.2.10.5 Colocação das chapas de vidro.....	183
4.2.11 Embalagem de janelas ou caixilhos.....	184
4.3 Controles durante a fabricação de janelas ou de caixilhos.....	186
4.3.1 Controle de conformidade de insumos (acessórios, guarnições, vidros, etc).....	186
4.3.2 Controle do processo produtivo.....	187
4.3.3 Controle do produto final - janelas de PVC rígido.....	188
4.4 Procedimentos para a instalação de caixilhos e janelas em obra.....	189
4.4.1 Transporte para a obra.....	189
4.4.2 Transporte em obra e armazenagem.....	190
4.4.2.1 Janela/caixilho.....	190
4.4.2.2 Vidro.....	191
4.4.3 Cronograma da obra.....	192
4.4.4 Condições dos vãos.....	192
4.4.4.1 Largura do vão e prumo das faces verticais do vão.....	192

4.4.4.2	Altura do vão e nível das vergas e contravergas.....	193
4.4.5	Modos de colocação da janela/caixilho.....	195
4.4.5.1	Ancoragem direta com grapas.....	196
4.4.5.2	Fixação com parafusos nos vãos acabados.....	196
4.4.5.3	Contramarcos.....	197
4.4.6	Envidraçamento.....	198
4.4.7	Tolerâncias das janelas/caixilhos instalados.....	198
4.4.7.1	Desvio de verticalidade.....	198
4.4.7.2	Desvio de horizontalidade.....	198
4.4.7.3	Eixo da caixilharia em relação ao eixo do vão.....	198
4.4.8	Calafetagem entre caixilho e alvenaria.....	199
4.4.9	Fixação.....	199
4.4.10	Limpeza final.....	200
<b>5.</b>	<b>COMENTÁRIOS FINAIS.....</b>	<b>202</b>
5.1	Qualidade na construção.....	202
5.2	Implantação de programas de garantia da qualidade.....	205
5.3	Conclusões e sugestões para continuidade dos trabalhos.....	208
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>210</b>
6.1	Referências bibliográficas.....	210
6.2	Bibliografia consultada.....	225

## LISTA DE TABELAS

3.1	Comparação entre o PVC rígido e outros materiais.....	51
3.2	Caracterização da massa molecular do PVC.....	58
3.3	Pigmentos utilizados comercialmente.....	67
3.4	Exemplos de formulação encontrados na literatura.....	71
3.5	Problemas mais comuns da extrusão de perfis.....	82
3.6	Temperaturas típicas de extrusoras de rosca simples - dois estágios com degasagem.....	85
3.7	Temperaturas típicas de extrusoras de rosca dupla.....	87
3.8	Resumo dos ensaios de identificação do composto.....	98
3.9	Resumo das propriedades mecânicas exigidas do composto.....	101
3.10	Caracterização de clima para efeito de estudo de durabilidade de PVC rígido.....	104
3.11	Resumo das avaliações no envelhecimento natural.....	108
3.12	Resumo das avaliações no envelhecimento natural acelerado.....	111
3.13	Resumo dos ensaios durante a fabricação.....	123
4.1	Número mínimo de fixações.....	138
4.2	Influência da espessura e da utilização de vidro duplo na isolação acústica de janelas.....	146
4.3	Coefficiente global de transmissão de calor para alguns tipos de envidraçamento, dado em $W/m^2^{\circ}C$ .....	153
4.4	Principais fatores intervenientes na soldagem dos Perfis de PVC rígido.....	166
4.5	Principais características dos equipamentos de soldagem.....	168
4.6	Problemas nas costuras de solda observáveis através do controle visual.....	170
4.7	Armazenagem de chapas de vidro.....	192

4.8	Dimensões e tolerâncias dos vãos (em relação à largura).....	193
4.9	Dimensões e tolerâncias dos vãos (em relação à altura).....	195

## LISTA DE FIGURAS

2.1	Ciclo da Qualidade.....	14
2.2	Organograma do Programa de Garantia da Qualidade de Esquadrias de PVC Rígido.....	21
3.1	Esquema de uma rosca de um estágio.....	84
3.2	Esquema de uma rosca de dois estágios com degasagem.....	85
3.3	Esquema de rosca dupla.....	87
3.4	Equipamentos da fabricação de perfis.....	90
3.5	Etapas da produção de perfis de PVC rígido.....	92
3.6	Dimensões principais dos perfis.....	115
3.7	Dispositivo de ensaio de resistência do canto soldado: método B1 - tração.....	120
3.8	Dispositivo de ensaio de resistência do canto soldado: método B2 -carrinho.....	121
4.1	Diagrama representando a variação do módulo de elasticidade E com a temperatura em um composto comercial.....	128
4.2	Diagrama representando curvas das deformações de fluência de um composto comercial de PVC rígido não modificado em função da duração das cargas e para diferentes temperaturas.....	128
4.3	Esquema do ensaio de pressões efetivas atuantes sobre a janela .....	130
4.4	Esquema do ensaio de arrancamento das articulações.....	133
4.5	Esquema do ensaio de resistência ao esforço vertical no plano da folha.....	133
4.6	Esquema do ensaio de resistência ao esforço vertical no plano da folha com um ou dois vértices imobilizados.....	134
4.7	Esquema do ensaio de resistência à flexão.....	135
4.8	Esquema do ensaio de esforço torsor.....	135
4.9	Disposição das fixações.....	139

4.10	Esquema do ensaio de estanqueidade à água.....	143
4.11	Esquema de ensaio de permeabilidade ao ar.....	144
4.12	Inter-relações entre a ventilação e a salubridade, durabilidade e conforto.....	148
4.13	Características de ventilação e operação para cada tipologia de janelas.....	150
4.14	Posicionamento das guarnições na esquadria.....	159
4.15	Esquema da fabricação de caixilhos ou de janelas.....	162
4.16	Diminuição percentual da carga de ruptura do canto em função do aumento de carbonato de cálcio.....	167
4.17	Rebaixo.....	176
4.18	Calços de envidraçamento.....	180
4.19	Disposição dos calços de envidraçamento.....	182
4.20	Armazenagem de vidros.....	191
4.21	Corte e seções verticais e horizontais: dimensões obtidas em relação às dimensões admissíveis de um vão.....	194
4.22	Furos para fixação por parafusos.....	200
5.1	Etapas para a implantação de um programa de garantia da qualidade.....	204

## 1 - INTRODUÇÃO

"Qualidade é, em sua essência, uma forma de gerência (Otavio Maizza (1))".

A qualidade sempre esteve vinculada ao ser humano. Nos seus primórdios, encontrava-se associada diretamente ao produtor solitário, uma vez que naqueles tempos o serviço artesanal tinha o caráter de trabalho isolado ou, quando muito, restrito a um pequeno grupo de pessoas (artesãos, auxiliares e aprendizes). Portanto, era fato da época que as características pessoais do fabricante (artesão) estavam presentes no produto final de seu trabalho.

Com o advento da revolução industrial, esse quadro foi profundamente alterado, vindo a desaparecer a figura da individualidade profissional, pois agora os outrora artesãos, além de se transformarem em operadores de máquinas (operários), perderam o prazer do trabalho total concluído, já que o processo industrial baseia-se no princípio da divisão de trabalho. Com base nessa nova realidade, houve o desenvolvimento de diversas técnicas visando garantir um padrão de qualidade satisfatório ao produto final.

O início do controle estatístico da qualidade, na década de 20, foi consequência do desenvolvimento, em anos anteriores, da exata teoria da amostragem (2). Tal controle tinha uma abordagem corretiva, enfatizando a detecção de defeitos e a segregação dos itens defeituosos.

A seguir, também indicando uma nova ótica de proteção ao desempenho satisfatório do produto, surgem as entidades de

proteção ao consumidor. A primeira de que se tem notícia originou-se nos Estados Unidos, em 1936, seguida em vários outros países a partir da década de 50. Em 1949, a ISO-International Organization for Standardization criou um comitê para tratar da questão dos consumidores, preocupada inicialmente apenas com as marcas de conformidade, como indicava o próprio título do comitê: "Marcas indicativas da conformidade com as normas"<sup>(3)</sup>. Essas marcas, representadas por um selo ou etiqueta, visavam garantir que um item estava conforme as normas.

Verificou-se porém que a conformidade com normas não era suficiente, dado que normas nem sempre definem qualidade de modo inequívoco.

Surge, na década de 60, o conceito de qualidade total, que pode ser definida como a soma da qualidade de projeto com a qualidade de conformidade com a especificação, objetivando a satisfação do usuário. O conceito evolui para uma abordagem preventiva, ou seja, a qualidade final do produto passa a ser obtida fundamentalmente através da prevenção de falhas.

Um dos marcos indicadores do início da utilização dos conceitos do controle da qualidade total foi o lançamento, em 1961, do livro "Total Quality Control, Engineering and Management" do professor A. Feigenbaum. Nesse livro o controle da qualidade total é definido como sendo "um efetivo sistema para a integração dos esforços de vários grupos da organização envolvidos com o desenvolvimento da qualidade, manutenção da qualidade e melhoria da qualidade de forma a

manter ações mercadológicas, de engenharia, de produção e de serviços, no nível mais econômico que permita a completa satisfação do cliente".

Na definição citada a palavra qualidade não tem o significado absoluto de "melhor" e sim de "melhor para determinadas condições estabelecidas pelo cliente".

Já a palavra controle se refere a um instrumento gerencial dividido em quatro partes:

- estabelecimento dos padrões de qualidade;
- avaliação da conformidade aos padrões;
- ação corretiva quando os padrões não estiverem sendo obtidos;
- planejamento e ações para melhoria dos padrões.

Segundo o Professor Ishikawa, os padrões que afetam a qualidade estão vinculados a 5 M (em inglês): "materials, machines, methods, men and management"; basicamente o mesmo que afirma Feigenbaum, que os divide em dois grupos: *tecnológicos* - máquinas, materiais e processos e *humanos* - operadores, mestres e equipe de trabalho. Ambos consideram que o homem é o fator mais importante a ser considerado na obtenção de produtos adequados ao uso - daí o fato do "total quality control" enfatizar as questões relativas a capacitação e motivação do homem. (4)

Um produto pode ser entendido como um material, um componente, um sistema, ou ainda serviços. Particularmente aqui serão abordados os requisitos de qualidade do componente "janelas de PVC".

Mas o que é uma janela? Para o usuário a janela traz luz natural, ar fresco e uma vista do exterior. Para o arquiteto e projetista, a janela corta a fachada, interrompe sistemas de divisórias ou tetos e requer detalhamento especial de suas interfaces com esses sistemas. Para o engenheiro mecânico, a janela é uma fonte de infiltração de ar, resfriamento ou sobreaquecimento. Para o construtor, a janela é um local onde vários materiais e componentes tem de funcionar conjuntamente. Para o engenheiro de segurança ao fogo, a janela pode ser uma saída no caso de incêndio, uma trajetória para a propagação de chamas para outros compartimentos ou edifícios e uma fonte de ar para o fogo. Para o consultor em construção, a janela pode ser uma fonte de renda porque pode ser associada direta ou indiretamente a falhas de desempenho. Qualquer que seja o ponto de vista, a janela é, como qualquer outro componente de fachada, um filtro das condições externas para as internas, tendo ainda a possibilidade de ser operável e ter um certo grau de transparência à luz natural. (5)

A janela é constituída basicamente pela esquadria, pelas folhas, pelos selantes, pelos acessórios, pelo envidraçamento e suas partes iluminadas. As partes iluminadas são a porção transparente da janela, feita de vidro ou plástico. O envidraçamento é o conjunto das múltiplas partes iluminadas e suas conexões. As folhas emolduram o envidraçamento e são a parte operável da janela. A esquadria emoldura as folhas e é mecanicamente conectada às paredes ou tetos. Os selantes asseguram alguma estanqueidade ao ar, chuva, fluxo de vapor,

neve e transmissão sonora na interface entre materiais, enquanto os acessórios asseguram a operação e fechamento das folhas.

As esquadrias são atualmente constituídas por um dos seguintes materiais (ou combinações deles): madeira, aço, alumínio ou PVC. O presente trabalho aborda as características que garantem a qualidade das esquadrias constituídas por compostos de PVC - Poli (Cloro de Vinila) - rígido .

O PVC é um polímero. Os polímeros são substâncias formadas por moléculas gigantes, nas quais uma ou várias unidades básicas, chamadas monômeros, se repetem inúmeras vezes - no caso do PVC, o monômero é o cloro de vinila. Para designar um polímero comercial puro, isto é, sem adições, utiliza-se o termo resina. A maioria das resinas de PVC são produzidas por meio da polimerização do cloro de vinila em um sistema aquoso contendo um agente emulsionante ou um agente estabilizador de suspensão.

O composto de PVC é um termoplástico, ou seja, é um plástico (material que contém como constituinte principal uma ou mais substâncias poliméricas) capaz de ser repetidamente amolecido por calor e endurecido por resfriamento dentro de uma faixa de temperatura. Os termoplásticos são capazes de serem repetidamente formados em artigos pelo processo de moldagem, extrusão e formagem. Além do polímero, no caso o PVC, o composto contém outras substâncias como cargas,

estabilizadores, plastificantes, lubrificantes e outros aditivos.(6)

Dependendo do tipo de formulação, o PVC pode ser rígido ou flexível, transparente ou opaco.(7)

O composto de PVC utilizado em esquadrias é o rígido, cujas propriedades, explanadas no capítulo 3, devem garantir:

- adequação aos equipamentos e mão de obra disponíveis para extrusão;
- adequação às demais etapas do processo de fabricação de perfis;
- adequação aos projetos e sistemas de perfis para esquadrias;
- características especificadas de desempenho e durabilidade dos perfis.

A utilização de PVC como material de construção para perfis de esquadrias iniciou-se entre 1955 e 1960, na Alemanha. Ao seu lançamento, marcado por uma aceitação bastante lenta (fração do mercado de 5%), seguiu-se uma fase de desenvolvimento intenso nos anos 70, atingindo seu apogeu nos anos 80, com uma fração de aproximadamente 45% do total do mercado de esquadrias naquele país. A Áustria e a Bélgica acompanharam esse desenvolvimento de mercado na mesma época. Há apenas alguns anos outros países europeus começaram a demonstrar interesse na utilização de perfis de PVC para esquadrias. O mercado britânico de perfis de PVC para esquadrias se destaca por um crescimento considerável, de 2200 toneladas em 1980 para nada menos do que 45000 toneladas

em 1986, tornando-se assim o segundo mercado dessas esquadrias na Europa Ocidental. Atividade acentuada pode ser observada também na França, Itália, Espanha e no mercado escandinavo, principalmente na Dinamarca. Desde 1980 a indústria de PVC vem crescendo nos Estados Unidos, Canadá, América do Sul, norte da África, África do Sul, e, a partir de 1983, também na Ásia (8).

As primeiras tentativas de produção e comercialização de esquadrias sintéticas no Brasil datam de meados da década de setenta, quando ainda se importava o PVC. Em 1979 entra em funcionamento a CPC - Companhia Petroquímica de Camaçari que, aliada à Solvay, tornou o país auto-suficiente em PVC. Aprimoram-se ainda os aditivos e pigmentos do mercado nacional.

Nessa época inicia-se no Brasil a produção, em maior escala, das esquadrias de PVC, basicamente com tecnologia alemã ou austríaca (9).

A procura por esquadrias de PVC é ainda incipiente no Brasil, não atingindo 2% do mercado nacional de janelas (10). Os motivos são: o preconceito contra o material plástico, popularmente associado a produtos sem resistência e durabilidade; o preço alto das janelas de PVC, comparável às de alumínio; o desconhecimento dos especificadores a respeito do desempenho do produto e problemas surgidos com esquadrias de PVC de baixa qualidade.

Os principais problemas das esquadrias de PVC no Brasil estiveram relacionados com a estabilidade da cor dos perfis e

com o mau funcionamento decorrente da instalação incorreta. A instabilidade de cor era um problema da formulação do composto de PVC, que com o tempo foi corrigida e adaptada às nossas condições climáticas.

Já o problema da instalação está ligado a um comportamento errado de nossa mão-de-obra, associado a um desconhecimento do material. Como a esquadria de PVC é um produto fabricado industrialmente e os cantos são soldados termicamente, essas esquadrias não podem ser ajustadas ao vão da edificação como as de metal e madeira, que podem ser serradas em obra e adaptadas a diversas situações. Como a esquadria de PVC tem uma certa flexibilidade, porém, quando ocorre qualquer problema em obra a tendência é distorcê-la (tirá-la do esquadro) para adequá-la ao vão, o que origina diversos problemas de funcionamento.

Há ainda algumas peculiaridades relativas ao produto janela de PVC: algumas indústrias fabricam o perfil e o caixilho, sendo o vidro instalado em obra por construtoras; outras fabricam o perfil e a janela; e, finalmente há aquelas que produzem apenas os perfis, credenciando outras indústrias para produzir caixilhos ou janelas. Como o desempenho adequado das janelas de PVC dependerá da seleção da matéria-prima, da extrusão do perfil, da fabricação da esquadria e da instalação, a garantia da qualidade desse produto só será possível quando houver uma estreita cooperação entre os fornecedores de matéria prima, os fabricantes de perfis, os fabricantes de esquadrias e os instaladores.

Conscientes desses fatores, os fabricantes de perfis e os fornecedores de matéria prima iniciaram uma série de atividades, programadas para alcançar a qualidade desejada.

Em 1985 os fabricantes de perfis de PVC para janelas se associaram à comissão de estudos de janelas da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, no âmbito do Comitê Brasileiro da Construção Civil (CB-2), a fim de elaborarem um texto base normativo de janelas, caracterizando-as pelo seu desempenho, independentemente do seu material constituinte, tendo em vista que a única norma de esquadrias do Brasil, datada de 1983, referia-se apenas ao desempenho de janelas de alumínio.

Para elaboração do texto base, a comissão de estudos acima mencionada contou com a colaboração do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e da então SICCT - Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo, que patrocinaram uma extensa pesquisa, visando subsidiar tecnicamente a normalização de janelas no país, envolvendo consultas à literatura técnica, à normalização nacional e de outros países e uma série de ensaios de desempenho e durabilidade de perfis de janelas de madeira, alumínio, aço e PVC.

Tal esforço resultou, em 1990, em quinze textos normativos de janelas, abrangendo os seguintes aspectos:

- estanqueidade ao ar;
- estanqueidade à água;
- resistência a cargas uniformemente distribuídas (cargas

de vento);

- atenuação sonora;
- resistência a esforços de uso.

Outra iniciativa importante dos fabricantes foi a formação, em 1988, da Associação Brasileira dos Fabricantes de Perfis de PVC para esquadrias- AFAP - PVC, tendo como objetivo principal ampliar a participação no mercado através de produtos de qualidade assegurada por programas de garantia da qualidade e certificação de conformidade.

A fim de cumprir seus objetivos, a AFAP-PVC iniciou, em 1989, um planejamento para a conquista de mercado através de um programa global mercadológico fundamentado em um programa de garantia da qualidade. No desenvolvimento de tal estratégia, a AFAP contou com o apoio técnico e financeiro da ABIVINILA - Associação Brasileira das Indústrias de Cloreto de Polivinila. As duas associações contrataram uma empresa privada - TESIS-Tecnologia de Sistemas em Engenharia S/C Ltda, independente comercial e tecnicamente, para elaborar os documentos técnicos de referência e as especificações técnicas necessárias à implementação do Programa de Garantia da Qualidade de Esquadrias de PVC Rígido. Tal empresa, doravante denominada EMPRESA PRIVADA, também cumpre o papel de empresa auditora do Programa.

O presente trabalho apresenta uma revisão bibliográfica dos requisitos e critérios da qualidade de perfis e esquadrias de PVC rígido. Tal revisão, utilizada na elaboração das especificações e dos documentos técnicos

desenvolvidos no âmbito do Programa de Garantia da Qualidade de Esquadrias de PVC Rígido, visa considerar os aspectos mais relevantes e atuais das propriedades de perfis e janelas, aqueles que melhor caracterizam sua qualidade.

O trabalho está dividido em cinco capítulos. Este primeiro apresenta um breve histórico da evolução técnica e mercadológica das janelas de PVC no Brasil e no mundo.

O segundo capítulo define o que é e no que se baseia o Programa de Garantia da Qualidade de Esquadrias de PVC Rígido, destacando os aspectos referentes à normalização, confiabilidade metrológica, capacitação laboratorial, auditoria e garantia da qualidade na fabricação.

O terceiro capítulo descreve as propriedades de interesse para caracterização do desempenho e durabilidade dos perfis de PVC rígido. Nesse capítulo serão estudados os controles de resina e do composto e será apresentado o fluxograma de produção de perfis, mostrando onde e sobre quais propriedades deverão ser efetuados os controles.

O quarto capítulo descreve as propriedades de interesse para caracterização do desempenho e durabilidade de janelas de PVC rígido. Analogamente ao capítulo anterior, serão estudados os controles dos insumos (vidros, acessórios, selantes, perfis, etc) e será apresentado o fluxograma de produção de janelas mostrando onde e sobre quais propriedades deverão ser efetuados os controles durante a produção.

O último capítulo traz alguns comentários sobre os resultados obtidos e sobre a continuidade dos estudos dentro do Programa, visando alcançar as metas estabelecidas.

## 2. PROGRAMA DE GARANTIA DA QUALIDADE DE ESQUADRIAS DE PVC

### RÍGIDO

#### 2.1 Conceituação

Hoje os conceitos que envolvem qualidade e certificação de conformidade causam polêmica devido à confusão existente quanto à interpretação correta de muitos termos usados nessa área de atividade (3).

Apesar de não existirem ainda definições que tenham recebido aprovação geral, neste trabalho utilizar-se-ão as definições que se seguem:

- Qualidade (definição da Sociedade Americana de Controle da Qualidade - ASQC e da Organização Européia de Controle da Qualidade - EOQC) (3):

A totalidade das características e formas de um produto ou serviço que é capaz de atender a uma dada necessidade.

- Controle da Qualidade-CQ (ISO - R 1786) (3):

a) Em sentido amplo: o conjunto de operações (programação, coordenação, execução) objetivando manter ou melhorar a qualidade, colocando a produção no nível mais econômico possível, mas sem deixar de satisfazer ao consumidor.

b) Em sentido restrito: a verificação da conformidade do produto à sua definição ou especificação.

- Confiabilidade metrológica-CM (11):

Conjunto de técnicas e de procedimentos que permitem estabelecer a credibilidade nos resultados de uma dada medição. Esses resultados, portanto, passam a merecer fé, tanto no aspecto técnico como no legal.

- Garantia da Qualidade-GQ (3):

Ações planejadas ou sistemáticas necessárias para prover adequada confiança em que um item ou serviço atenderá satisfatoriamente aos seus objetivos. Tais ações devem envolver uma contínua comparação da adequação com as estabelecidas no Programa de Garantia da Qualidade, com vistas a acionar medidas corretivas onde necessário. Para um produto ou serviço especificado, isso envolve verificação, auditoria e avaliação dos fatores da qualidade que afetam as especificações, produção, inspeção e uso do produto ou serviço.

- Programa de garantia da qualidade (12):

Documento ou conjunto de documentos que define os modos de operação e a sequência de atividades ligadas à qualidade referentes a um serviço, produto, contrato ou projeto específico.

- Auditoria da Qualidade (12):

Exames sistemáticos e independentes para determinar se as atividades e resultados relativos à qualidade satisfazem a

disposições pré-estabelecidas e se essas disposições estão implementadas de forma eficaz e são adequadas aos objetivos pretendidos.

- Sistema da Qualidade (13):

Estrutura organizacional, divisão de responsabilidades, procedimentos, processos e recursos para implementar a qualidade. Aplica-se a todas as atividades relativas à qualidade de um produto ou serviço, interagindo com as mesmas. O sistema envolve todas as fases e atividades representadas na figura 2.1.

Figura 2.1- Ciclo da Qualidade

A norma ISO 9004 (14), que está sendo adaptada pela ABNT no texto base designado por NB 9004/1990 (15), expõe em detalhe todas as atividades relativas a cada uma das etapas

discriminadas no ciclo da qualidade, de forma a implementar um sistema da qualidade.

- Normalização (16,17):

Atividade que dá soluções a problemas de aplicação repetitiva, essencialmente na esfera da ciência, tecnologia e economia, objetivando um grau otimizado de ordem em um dado contexto. Geralmente essa atividade consiste nos processos de elaboração, publicação e implementação de normas.

-Especificação técnica (18):

Documento no qual são estabelecidas as exigências do produto ou serviço, tais como dimensões, desempenho, segurança, níveis da qualidade etc., e pode incluir terminologia, símbolos, ensaios e métodos de ensaio, embalagem entre outros.

- Norma (16,17):

Especificação técnica, ou outro documento disponível ao público, elaborado com a cooperação e consenso ou aprovação geral de todas as partes afetadas pela mesma, baseada em resultados consolidados da ciência, tecnologia e experiência, visando a promoção de benefícios comunitários e aprovada por um organismo reconhecido regional, nacional ou internacionalmente.

-Conformidade com normas ou especificações técnicas:

Circunstância em que o produto ou serviço atende àqueles requisitos existentes em normas ou especificações técnicas.

- Certificação de Conformidade (19):

Ação de certificar, por meio de um certificado ou marca de conformidade, que um produto ou serviço está em conformidade com normas específicas ou especificações técnicas.

- Certificado de Conformidade (16,17):

Documento que atesta que um item ou serviço está em conformidade com normas ou especificações técnicas específicas.

- Marca de Conformidade (16,17):

Símbolo que atesta que um item ou serviço está em conformidade com normas ou especificações técnicas específicas.

## 2.2 Requisitos do Programa de Garantia da Qualidade

Os requisitos de um programa de garantia da qualidade dependem dos documentos técnicos que são utilizados como base do sistema de garantia da qualidade.

A escolha dos documentos básicos é uma questão gerencial e, por vezes, uma exigência contratual do cliente, como é o caso, por exemplo, dos fornecedores das Forças Armadas Americanas. Os documentos mais utilizados para estabelecer os

requisitos de um sistema da qualidade são, em ordem cronológica:

- MIL-Q 9858 (1958) (20) "Quality Program Requirements". Esse documento estabelece os requisitos de um sistema da qualidade para fornecimento às Forças Armadas Americanas.
- USAEC-10-CFR-50 APPENDIX B (21) (1970) "Quality assurance criteria for nuclear power plant and fuel processing plant". Esse documento estabelece 18 critérios da estrutura de um sistema da garantia da qualidade para instalações nucleares e é considerado uma referência normativa para outros segmentos tecnológicos.
- IAEA (1976) (22) "Safety code of practices on quality assurance for nuclear plants". Esse documento condensa em 13 critérios os 18 do USAEC-10-CFR-50 APPENDIX B.
- CSA SÉRIE Z.299 (1978) (23)
  1. Quality assurance program requirements
  2. Quality control program requirements
  3. Quality verification program requirements
  4. Inspection program requirements

Essa série originou uma coletânea de normas ABNT (24,25,26,27,28,29) que hoje estão sendo substituídas por traduções da série ISO 9000 (30,31,32,15,33), em função da aceitação internacional dessa última série.

A série CSA destina-se a implantação de sistemas da qualidade para qualquer área tecnológica exceto centrais nucleares e a área eletro-eletrônica, para as quais existem normas específicas. Os parâmetros da ISO diferem um pouco dos

adotados pelo CSA, a começar pela terminologia. A série CSA considera o termo "program" no lugar de "system", tendência já ultrapassada. Hoje é de consenso que o programa de garantia da qualidade é parte de um sistema da qualidade.

- ISO SÉRIE 9000 (1987)

1. ISO 9000 (34) - Normas de gerenciamento da qualidade e da garantia da qualidade - diretrizes para seleção e uso.
2. ISO 9001 (35) - Sistema da qualidade - modelo de garantia da qualidade no projeto, desenvolvimento, produção, instalação e serviço.
3. ISO 9002 (36) - Sistema da qualidade - modelo de garantia da qualidade na produção e instalação.
4. ISO 9003 (37) - Sistema da qualidade - modelo de garantia da qualidade na inspeção final e ensaio.
5. ISO 9004 (14) - Gerenciamento da qualidade e elementos do sistema da qualidade - diretrizes.

A série ISO 9000 admite que o sistema da qualidade difere de uma empresa para outra e, portanto, a empresa deve selecionar um modelo de sistema que mais se ajuste às suas necessidades, em função dos objetivos da organização, do tipo do produto ou serviço e das práticas internas. Os fatores de seleção de um dado sistema, além dos aspectos funcionais já citados, deve abranger os fatores econômicos relacionados a:

- a) complexidade do processo de projeto;
- b) maturidade do projeto;
- c) complexidade do processo de produção;
- d) características do produto ou serviço;

- e) segurança do produto ou serviço;
- f) economia.

Além dos dados pertinentes à organização da empresa, o modelo do sistema da qualidade poderá ser decidido em função de uma situação contratual; nesse caso, a ISO indica os documentos ISO 9001, ISO 9002 e ISO 9003, como pertinentes para a escolha do modelo a ser adotado.

Em situações não contratuais, quando a empresa deseja espontaneamente possuir um sistema, ela poderá utilizar a ISO 9004 para obter diretrizes para a implantação de um sistema adequado, englobando os fatores técnicos, econômicos e administrativos que afetam a qualidade dos produtos e serviços em todos os estágios do ciclo da qualidade.

O Programa de Garantia da Qualidade de Esquadrias de PVC Rígido, surgido espontaneamente, segue as prescrições da ISO 9004 (14), que estipula que um programa de garantia da qualidade deve, no mínimo, definir as condições apresentadas em 2.2.1 a 2.2.6.

#### 2.2.1 Objetivos da qualidade

Os objetivos do Programa quanto à qualidade são (34):

- a) atingir e manter a qualidade dos perfis e das esquadrias, segundo as especificações técnicas dos produtos, de forma a atender às necessidades dos usuários;
- b) prover os associados da AFAP/ABIVINILA de confiança em que a qualidade pretendida está sendo mantida e atingida;

- c) prover os compradores do produto de confiança em que a qualidade pretendida está sendo alcançada na esquadria e no perfil fornecido;
- d) implantar, a médio prazo, a marca de conformidade AFAP, denominada "selo AFAP";
- e) colocar no mercado produtos com preços competitivos e cuja venda dê lucro, bem como aumentar o número de produtos vendidos.

#### 2.2.2 Atribuição específica de responsabilidade e autoridade dos participantes do Programa

O Programa de Garantia da Qualidade de Esquadrias de PVC Rígido tem como objetivo, conforme exposto anteriormente, a implantação, a médio prazo, da marca de conformidade AFAP, denominada "selo AFAP". Para isso, a AFAP/ABIVINILA funcionam como um órgão certificador e a EMPRESA PRIVADA como suporte técnico do programa de garantia da qualidade e de certificação, além de ser a empresa auditora.

É fundamental, portanto, que haja um instrumento esclarecendo as obrigações que o fabricante tem que assumir para poder participar do Programa e, a médio prazo, receber a licença do uso da marca. No Programa em questão, esse instrumento é o contrato firmado entre a AFAP/ABIVINILA/EMPRESA PRIVADA e devidamente registrado. Além do contrato, o fabricante deve declarar, quando do uso do selo, através de documento formal e sob sua exclusiva

responsabilidade, que o produto que ostenta a marca está em conformidade com as especificações técnicas aplicáveis (38).

A figura 2.2 mostra o organograma do Programa; as relações e obrigações dos participantes são discriminadas a seguir.

Figura 2.2 Organograma do Programa de Garantia da Qualidade de Esquadrias de PVC Rígido.

#### 2.2.2.1 AFAP E ABIVINILA

A AFAP e ABIVINILA são os órgãos responsáveis pelo Programa de Garantia da Qualidade de Esquadrias de PVC Rígido. Suas atribuições são:

- estabelecer as diretrizes técnicas, comerciais e jurídicas para todos os participantes do Programa;
- gerir financeiramente o Programa;
- credenciar e descredenciar os membros do Programa, a partir dos relatórios emitidos pela EMPRESA PRIVADA ou de alguma desobediência ao acordo firmado entre as partes;
- fornecer o selo de qualidade para perfis e esquadrias (39);
- escolher um sistema de concessão do selo que encoraje a melhoria dos procedimentos de controle da qualidade e aproveite ao máximo os existentes (40);
- assegurar que os princípios do modelo de concessão adotado sejam respeitados (40);
- proteger o selo do mau uso (39);
- salvaguardar o sigilo de informações confidenciais obtidas durante suas operações (39).

#### 2.2.2.2 Fabricante da resina ou do composto de PVC

O fabricante de resina ou do composto de PVC é responsável por garantir a qualidade da principal matéria prima usada na fabricação de perfis. Para isso ele deve se comprometer, através de acordo, a cumprir as seguintes tarefas:

- estar de acordo e seguir as diretrizes técnicas, comerciais e jurídicas estabelecidas pelos órgãos responsáveis pelo Programa;
- controlar a qualidade das matérias primas utilizadas no seu processo;

- no caso de fornecer o composto, registrar junto ao órgão auditor e fornecer ao fabricante consumidor, o código que identifica o composto;
- manter equipe de assistência técnica que possa dar suporte aos fabricantes de perfis;
- fornecer matéria prima que atenda aos requisitos estabelecidos nas especificações técnicas de produtos, independentemente do volume de matéria prima fornecida.

#### 2.2.2.3 Fabricante de perfis

O fabricante é responsável por garantir a qualidade dos produtos que ostentam o selo AFAP. Para isso, ele deve se comprometer, através de acordo, a cumprir as seguintes tarefas:

- estar de acordo e seguir as diretrizes técnicas, comerciais e jurídicas estabelecidas pelos órgãos responsáveis pelo Programa;
- fornecer perfis que atendam aos requisitos estabelecidos nas especificações técnicas de produtos, independentemente do volume fornecido;
- controlar a qualidade das matérias primas utilizadas no seu processo (40);
- no caso de produzir o próprio composto, registrar junto ao órgão auditor - EMPRESA PRIVADA, o código que identifica o composto;

- manter um controle da qualidade em suas instalações que inclua atividades de ensaio e inspeção contínuas do produto que ostenta o selo (40);
- permitir as auditorias feitas pela EMPRESA PRIVADA (40);
- obedecer aos critérios impostos pela AFAP e ABIVINILA no que diz respeito à qualidade dos produtos e de processos produtivos (40);
- facilitar o livre acesso do representante do Programa da AFAP/ABIVINILA e da EMPRESA PRIVADA, às suas instalações, documentação, registros e permitir a utilização de seus equipamentos de ensaio, quando necessário (40);
- credenciar, através de auditorias e inspeções, as empresas que montarão as esquadrias a partir de seus perfis, quando a montagem não couber à própria indústria de perfis;
- ser responsável perante o Programa pelas empresas montadoras credenciadas;
- manter equipe de assistência técnica que possa dar suporte aos fabricantes de esquadrias.

#### 2.2.2.4 Fabricante de esquadrias

No âmbito do Programa de Garantia da Qualidade os fabricantes de esquadrias são considerados como uma extensão dos fabricantes de perfis. Para que esses últimos possam credenciá-los, os fabricantes de esquadrias deverão respeitar as seguintes condições:

- estar de acordo e seguir as diretrizes técnicas, comerciais e jurídicas estabelecidas pelos órgãos responsáveis pelo Programa;
- fornecer esquadrias que atendam aos requisitos estabelecidos nas especificações técnicas de produto (40);
- controlar a qualidade dos perfis, acessórios, guarnições e demais insumos utilizados no seu processo (40);
- manter um controle da qualidade em suas instalações que inclua atividades de ensaio e inspeção contínuas da esquadria que ostenta a selo (40);
- permitir as auditorias feitas pela EMPRESA PRIVADA e pelo fabricante dos perfis (40);
- obedecer aos critérios impostos pela AFAP e ABIVINILA no que diz respeito à qualidade dos produtos e dos processos produtivos (40);
- facilitar o livre acesso do representante do Programa e da EMPRESA PRIVADA, às suas instalações, documentação, registros e utilização de seus equipamentos de ensaio (40);
- manter equipe de assistência técnica que possa dar suporte aos instaladores e construtoras.

#### 2.2.2.5 EMPRESA PRIVADA

A EMPRESA PRIVADA é a empresa auditora das empresas participantes do Programa, bem como o suporte técnico das associações para, a médio prazo, implantar o selo AFAP. Também é responsável pela elaboração, em conjunto com a AFAP/ABIVINILA, das especificações técnicas que definem os

parâmetros de qualidade que devem ser respeitados. Deve, portanto, ter os seguintes encargos:

- estar de acordo e seguir as diretrizes técnicas, comerciais e jurídicas estabelecidas pelos órgãos responsáveis pelo Programa;
- avaliar os produtos conjuntamente com os serviços, sistemas ou processos utilizados em sua produção (39);
- executar os ensaios ou supervisioná-los (39);
- avaliar os programas de controle da qualidade dos produtores (39);
- fiscalizar, após a concessão inicial do selo AFAP, a continuidade da conformidade (39);
- salvaguardar o sigilo de informações confidenciais obtidas durante suas operações (39);
- ter técnicos treinados, com familiaridade com métodos de ensaio e especificações de produtos, bem como com conhecimentos de técnicas de inspeção, garantia de qualidade e métodos de produção (41,42);
- ter ausência de interesses comerciais nos produtos e processos do Programa (42);
- garantir ausência de influência externa quanto a verificação rigorosa do cumprimento das exigências estabelecidas no Programa por parte das empresas participantes (42);
- possuir local para armazenamento e recebimento de amostras do mercado e da fábrica, quando necessário (42);

- estar preparado para trabalhar em conjunto com a AFAP/ABIVINILA (42);
- coordenar conjuntamente os procedimentos de inspeção, interpretação de relatórios e especificações técnicas (42);
- estar apto a elaborar relatórios adequados e manter os dados organizados (42).

#### 2.2.2.6 Laboratório

O laboratório, montado pela AFAP/ABIVINILA ou de terceiros, deve cumprir as seguintes determinações:

- possuir sistema da qualidade, que implica em ter técnicos treinados, gerente especializado, equipamentos em conformidade com as especificações e métodos de ensaio utilizados, calibração e manutenção periódicas, condições ambientais adequadas, correto manuseio de corpos de prova e familiaridade com métodos de ensaio e especificações de produtos (41);
- ter ausência de interesses comerciais nos produtos e processos do Programa (41);
- garantir ausência de influência externa, no que se refere ao rigoroso cumprimento das condições de ensaio e apresentação dos resultados (41);
- possuir local para armazenamento e recebimento de materiais e para execução de ensaios (41,42);
- estar preparado para trabalhar em conjunto com a AFAP/ABIVINILA (41,42);

- ter integridade e manter sigilo de resultados e informações (41,42);
- estar apto a elaborar relatórios adequados e manter os dados organizados (41,42).

Apesar de toda a cautela tomada no contrato, pode ocorrer o mau uso da marca. O mau uso pode ser de responsabilidade do fabricante, caso ele seja caracterizado por ostentação da marca em produtos não conformes ou com defeitos de fabricação, ou ainda no caso de utilização da marca sem autorização da AFAP/ABIVINILA/EMPRESA PRIVADA; ou pode ser de responsabilidade das associações, no caso da utilização de especificações técnicas inadequadas para a certificação de um dado produto.

A ação que o Programa, através da AFAP/ABIVINILA/EMPRESA PRIVADA, tomará no caso de mau uso depende de alguns fatores, tais como: onde o mau uso ocorre, a natureza do contrato feito entre as partes, a seriedade do mau uso e se o mau uso foi inadvertido ou deliberado (43). As ações usuais são:

- remover do mercado, os produtos que ostentam o selo (44);
- remover o selo dos produtos que ainda estão nas instalações industriais, caso a AFAP/ABIVINILA julgue-os não conformes (44);
- remontar o produto, no caso de esquadria, de forma a atender aos requisitos da concessão; dependendo do caso, essa remontagem poderá ser feita na fábrica ou no local onde o produto se encontra (44);

- transformar o produto defeituoso em sucata, caso não seja possível a remontagem ou a retirada do selo (44).

Quando o produtor não concorda com as medidas tomadas e se recusa a colaborar, a AFAP/ABIVINILA deve suspender o acordo, aplicar multa e notificar todas as empresas envolvidas.

Quando o problema ocorrido for a utilização de especificações técnicas inadequadas, além das medidas já citadas, a AFAP/ABIVINILA/EMPRESA PRIVADA deve providenciar o quanto antes, a revisão da especificação técnica para eliminar o problema e exigir que todos os produtos certificados atendam a esse novo critério assim que a nova especificação técnica entrar em vigor.

### 2.2.3 Procedimentos operacionais

Os procedimentos operacionais tanto na fabricação dos perfis e das esquadrias quanto na instalação de caixilhos/janelas em obra, serão discutidos nos capítulos 3 e 4 e estão descritos nas especificações técnicas elaboradas pela EMPRESA PRIVADA (à disposição junto às Associações), quais sejam:

- AFAP-PVC E1(45) Perfil de PVC rígido para janelas - Especificação.
- AFAP-PVC E2(46) Janela de PVC rígido - Especificação.
- AFAP-PVC P1(47) Janela de PVC rígido - Tipos e dimensões básicas - Padronização.
- NB.INS. JANELA(48) Janela de PVC rígido - Instalação em obra - Procedimento.

## 2.2.4 Métodos de ensaio, inspeção e auditoria

### 2.2.4.1 Métodos de ensaio e inspeção

Os programas de ensaio e inspeção serão discutidos nos capítulos 3 e 4, para perfis e janelas respectivamente. Tais métodos, disponíveis junto às Associações, são os seguintes:

MB-EST.CALOR<sup>(49)</sup> - Perfil de PVC rígido para janelas -  
Determinação da estabilidade de aspecto ao calor.

MB-EST.DIM<sup>(50)</sup> - Perfil de PVC rígido para janelas -  
Determinação da estabilidade dimensional.

MB-RES.CHOQUE<sup>(51)</sup> - Perfil de PVC rígido para janelas -  
Determinação da resistência a choques.

MB-RES.TRAÇÃO<sup>(52)</sup> - Perfil de PVC rígido para janelas -  
Determinação da resiliência na tração.

MB-SOL / MB-TR<sup>(53)</sup> - Perfil de PVC rígido para janelas -  
Determinação da soldabilidade: ensaio de união por solda e  
avaliação da qualidade da solda.

MB-EST.INT-A<sup>(54)</sup> - Perfil de PVC rígido para janelas -  
Determinação da estabilidade às intempéries provocada  
artificialmente.

MB-EST.INT-N<sup>(55)</sup> - Perfil de PVC rígido para janelas -  
Determinação da estabilidade às intempéries por exposição  
natural.

MB-INT.ACE<sup>(56)</sup> - Perfil de PVC rígido para janelas -  
Determinação da estabilidade às intempéries por exposição  
natural acelerada.

MB-EST.ASP<sup>(57)</sup> - Perfil de PVC rígido para janelas - Determinação da estabilidade de aspecto após simulação de instalação e limpeza.

MB-DENS<sup>(58)</sup> Plásticos - Determinação da densidade.

MB-TEOR Plásticos<sup>(59)</sup> - Determinação do teor de cinzas em termoplásticos.

#### 2.2.4.2 Programa de auditoria

Na organização de um programa de garantia da qualidade, a supervisão de todas as ações relevantes à execução do programa é uma calibração fundamental para a administração. Não basta instituir-se uma estratégia para a qualidade e formalizá-la se não se propicia, no próprio contexto do programa, um mecanismo de acompanhamento e de fiscalização do cumprimento dos requisitos estabelecidos neste programa, bem como da revisão desses requisitos. Não basta meramente verificar se os requisitos estão sendo cumpridos; o mais importante é verificar se eles <sup>(4)</sup>:

- estão sendo cumpridos como foi estabelecido no programa;
- continuam sendo, realmente, os mais adequados aos fins visados.

Muitas vezes, no planejamento do programa é possível que sejam estabelecidas medidas que:

- ou não são suscetíveis de aplicação prática;
- ou, se aplicadas, dificultam ou oneram a produção.

Ou seja, a administração necessita saber se o Programa de Garantia da Qualidade adotado é eficiente e adequado; se os

integrantes dos diversos grupos:projeto, compras, produção, controle da qualidade e outros estão cientes das disposições do programa, se estão qualificados para as tarefas que executam e se as estão cumprindo com propriedade.

Essa verificação, pelo fato de atingir todos os setores envolvidos com a produção, tem que possuir absoluta independência de ação relativamente aos setores supervisionados e fiscalizados.

A essa verificação dá-se o nome de AUDITORIA DA QUALIDADE.

Dentro de um sistema de garantia da qualidade, a auditoria tem duas finalidades importantes:

- verificar se o sistema está sendo cumprido conforme o estabelecido no programa ou no manual de garantia da qualidade;
- aprimorar o sistema através da análise crítica dos procedimentos que estão sendo utilizados visando aumentar a sua eficiência e adequação.

Estes objetivos, no caso do Programa de esquadrias, são usados principalmente pelas associações AFAP e ABIVINILA para julgar as atividades da qualidade dos fabricantes de perfis e de janelas/caixilhos.

No Programa em questão a auditoria é realizada pela EMPRESA PRIVADA, sendo considerada uma auditoria externa, ou seja, é uma auditoria em partes de um programa de garantia da qualidade realizada por uma empresa que não está sob controle direto e nem dentro da estrutura organizacional dos produtores auditados.

O Programa de auditoria é evolutivo. Inicialmente será efetuada a auditoria de produto, ou seja, um exame, inspeção ou ensaio das características das esquadrias e dos perfis segundo as especificações técnicas respectivas. Esta auditoria pode ser uma re-inspeção ou re-ensaio de um produto que já tenha sido aceito, ou uma verificação da evidência documentada dessa aceitação e serve também como uma indicação da qualidade que está indo para o cliente. A auditoria de produto pode envolver a verificação da acurácia dos ensaios, dos equipamentos e procedimentos de ensaio, se a EMPRESA PRIVADA julgar necessário.

Quando a auditoria do produto estiver efetivamente implantada e em funcionamento, deverá ser iniciada a auditoria de processo, que é a verificação de uma operação de fabricação ou de ensaio, em relação aos procedimentos prescritos nas especificações técnicas de perfis e de esquadrias, com a finalidade de avaliar a conformidade a esses procedimentos e a eficácia dos mesmos.<sup>(4)</sup>

Finalmente, deverá ser implantada a auditoria de sistema, que é uma atividade documentada, realizada de acordo com procedimentos escritos ou listas de verificação, para verificar, através de exame e avaliação de evidências objetivas, se os elementos aplicáveis ao programa de garantia da qualidade foram desenvolvidos, documentados e eficazmente implementados de acordo com os requisitos específicos.<sup>(4)</sup>

Devem ser realizadas, por empresa, 6 auditorias por ano com periodicidade de dois meses; tanto a frequência como o

número de auditorias poderá ser aumentado caso a EMPRESA PRIVADA julgue necessário.

Essas auditorias serão realizadas por no mínimo uma e no máximo quatro pessoas; os nomes dos auditores serão discriminados quando da notificação da auditoria por parte da EMPRESA PRIVADA.

A EMPRESA PRIVADA notificará ao fabricante a data em que será realizada a auditoria com uma antecedência máxima de 15 (quinze) dias.

Cada auditoria terá duração de 2 a 5 horas, conforme a complexidade da fábrica.

Quando da auditoria, caso o grupo auditor julgue necessário, poderá examinar alguns documentos da empresa, tais como:

- manual de garantia da qualidade;
- procedimentos e normas;
- especificações e contratos;
- relatórios de inspeção ou de auditorias já realizadas.

Outras informações, caso julgadas pertinentes, poderão ser pedidas para análise; normalmente pedir-se-ão informações referentes a:

- identificação, armazenagem e embarque de produtos;
- instalações laboratoriais;
- "curriculum vitae" do pessoal que ocupa cargos de decisão;
- critérios de projeto;
- processos especiais e ensaios;
- instalações e capacidade da organização auditada;

- resultados de ensaios.

A auditoria só pode ser iniciada com a participação de um representante da empresa auditada.

A auditoria será norteada pelas listas de verificação elaboradas pela EMPRESA PRIVADA. Tais listas têm como objetivos (4):

- uniformizar a atuação dos auditores;
- evitar a omissão dos pontos importantes;
- reduzir o tempo gasto na auditoria;
- servir de registro dos pontos julgados satisfatórios ou deficientes e de observações pertinentes.

As listas de verificação, tanto de perfis como de esquadrias, se referem a propriedades e pontos de controle que estão explicitados nas especificações técnicas respectivas e que serão discutidos nos capítulos 3 e 4, sendo apenas citados aqui. Assim, tem-se a lista de verificação de perfis com os seguintes itens:

#### **. auditoria do produto**

- controle do aspecto dos perfis, no que diz respeito a tonalidade e uniformidade da cor, efetuado a partir de um exame visual em referência a um padrão do fabricante;
- controle dimensional dos perfis, efetuado por medição direta com paquímetro;
- massa dos perfis por metro linear, pesada com balança;
- verificação da estabilidade dimensional;
- verificação de resistência ao choque a 23oC;

- verificação da resistência dos cantos soldados com equipamento de tração ( Método B com equipamento de carrinho da norma MB-SOL/MB-TR(53)).

Os métodos de ensaio e os respectivos valores especificados dos resultados estão apresentados na Tabela 3.13 do capítulo 3.

#### **. auditoria do processo**

A auditoria do processo de fabricação de perfis consistirá em verificar o cumprimento da execução dos ensaios e a periodicidade dos mesmos, estipulados na especificação AFAP-PVC E1<sup>(45)</sup> e discutidos no capítulo 3.

Da lista de verificação de janelas constam verificações dos seguintes itens:

#### **. auditoria do produto**

- as dimensões do caixilho;
- caso os vidros sejam colocados na fábrica, sua colocação deverá ser verificada através da observação das disposições, dimensões e fixações dos calços de envidraçamento;
- os ângulos dos cantos, o posicionamento dos drenos, a instalação dos acessórios, o controle geral de aspecto e o controle da marca;
- deverão ser efetuados cinco ciclos completos de abertura e fechamento;

- os resultados de laboratório referentes aos ensaios de desempenho de janelas, quais sejam:
  - resistência a cargas uniformemente distribuídas;
  - resistência às operações de manuseio;
  - estanqueidade à água;
  - estanqueidade ao ar.

**. auditoria do processo**

- corte dos perfis, através de exame visual do aspecto e das condições das lâminas.
- soldagem, através da comparação da temperatura das placas, medida com o auxílio de um termômetro, com a indicada no termostato ou sistema de regulagem da máquina;
- resistência mecânica dos ângulos soldados conforme MB-TR/MB-SOL<sup>(53)</sup>, método B, com equipamento de carrinho da empresa.

Os relatórios resultantes das visitas serão emitidos em no máximo 30 (trinta) dias a partir da data da auditoria. Tais relatórios conterão, no mínimo, as seguintes informações:

- nome da empresa auditada;
- grupos ou áreas auditadas
- nomes dos auditores;
- nomes e cargos das pessoas contactadas;
- descrição da auditoria e sua identificação através de nome, número, local e data;

- um sumário dos resultados e das atividades desenvolvidas, incluindo uma avaliação do Programa de Garantia da Qualidade (ou parte do mesmo) que foi auditado;
- uma descrição das não-conformidades;
- recomendações onde apropriado para correção das não-conformidades ou deficiências;
- datas para resposta da empresa auditada.

#### 2.2.5 Métodos para ajuste do Programa de Garantia da Qualidade de Esquadrias de PVC Rígido

Neste Programa os métodos para ajuste serão as auditorias de produto, num primeiro momento, evoluindo para as de processo e finalmente a auditoria do sistema.

### 2.2.6 Outras medidas necessárias para atingir os objetivos do Programa

A Comissão de Regulamentação Nuclear dos EUA (NRC) prescreve (60), no critério II, que o Programa de Garantia da Qualidade :

- a) exerça controle sobre as atividades que afetam a qualidade;
- b) valorize o reconhecimento da necessidade de qualificações profissionais especiais;
- c) forneça instrução e treinamento do pessoal que executa as atividades ligadas à qualidade, quanto a processos e equipamentos;
- d) exija a análise da gerência quanto ao "status" e adequação do Programa de Garantia da Qualidade.

Nota-se que, do ponto de vista da NRC, os programas de garantia da qualidade deverão se preocupar com as questões de treinamento e análise de informações.

De fato, os problemas mais comuns dos programas de garantia da qualidade são, em sua maioria, problemas de gerência, treinamento e análise de dados, segundo observado pela ASQC - American Society for Quality Control (61), que os relaciona:

- planejamento da qualidade não é adequado;
- não existe programa adequado para análise de defeitos;
- dados de custo da qualidade são incompletos;
- relatórios de não-conformidade não estão disponíveis para o pessoal de operação;

- gerenciamento da qualidade não analisa todas as ordens de modificação ou as analisa após o fato consumado;
- não é executada a função auditoria ou é realizada somente sobre as funções tradicionais da qualidade (controles de processo, controle da qualidade dos produtos, etc);
- falta de auditores qualificados;
- relatórios da auditoria da qualidade não percorrem o caminho até a alta administração.

Para que um programa de garantia da qualidade funcione é necessário que ele tenha credibilidade - e a credibilidade não pode ser imposta por força de leis e regulamentos, ela é necessariamente conquistada. E quando conquistada, não se mantém automaticamente, ela requer um constante esforço (62). Isso dependerá de todos os envolvidos no processo - laboratórios, EMPRESA PRIVADA, fabricantes de perfis e de esquadrias, AFAP e ABIVINILA.

Inicialmente é necessário garantir informações cuja credibilidade não seja duvidosa; isso requer uma série de medições. Não adiantará nada mencionar acordos, instalações, equipamentos ou outras informações semelhantes. É preciso que exista uma efetiva capacitação metrológica e laboratorial (63). Em outras palavras, não adianta acumular informações cuja credibilidade seja duvidosa.

Ainda que a credibilidade das informações seja garantida, para se obter a qualidade total do Programa é necessário que todos os elos do processo funcionem adequadamente. Para isso

é preciso que vários procedimentos sejam observados; tais procedimentos serão discutidos a seguir.

#### 2.2.6.1 Confiabilidade metrológica

A metrologia é uma das funções básicas necessárias a todo programa de garantia da qualidade. Efetivar a qualidade depende fundamentalmente da quantificação das características do produto e do processo. Essa quantificação é conseguida através de:

- definição das unidades padronizadas, conhecidas por unidades de medida, que permitem a conversão de abstrações como comprimento e massa em grandezas quantificáveis como metros, quilogramas etc.;
- instrumentos calibrados em termos dessas unidades de medidas padronizadas;
- uso desses instrumentos para quantificar ou medir as "dimensões" do produto ou processo sob análise. Esta operação se chama medição.

A metrologia é importante mas não suficiente para garantia da qualidade do sistema. "A qualidade final depende da qualidade metrológica. A confiabilidade metrológica é a técnica que garante a qualidade das medidas" (64). A utilização de tal técnica requer respostas do tipo:

- a que referência os instrumentos são rastreáveis (passíveis de serem seguidos até uma origem qualquer)?
- a medição consegue reproduzir resultados semelhantes aos que foram obtidos após a aferição?

- qual a incerteza dos resultados?
- a metodologia foi validada por programas interlaboratoriais?
- os operadores estão cientes do processo de medição?

Esse conceito pode ser elucidado através de um exemplo simples. Numa transação comercial ou técnica, o cedente e o adquirente querem ter a garantia do que (qualidade) e de quanto (quantidade) está sendo transacionado. Para garantir isto, é necessário que ambos estejam baseados nas mesmas referências e que os processos de medição sejam homogêneos (4).

A garantia da qualidade em laboratório é a garantia da existência de confiabilidade metrológica (11).

O conceito é fundamental, inclusive na apresentação dos resultados de ensaios e avaliações, para impedir ambiguidade de informação. O guia 45 da ISO (65) trata especificamente deste assunto.

#### 2.2.6.2 Elaboração das especificações técnicas

Para que se garanta respeito às características da qualidade no Programa em questão, alguns cuidados foram tomados na elaboração das especificações técnicas, tais como (66,67):

- definição clara dos objetivos da especificação técnica;
- deu-se preferência a requisitos de desempenho do produto ao invés de requisitos de projeto;

- os requisitos foram definidos conjuntamente com valores limites, tolerâncias (quando foi o caso), métodos de ensaio e equipamentos para obtenção dos seus valores;
- somente características que podem ser verificadas objetivamente constam da especificação técnica;
- os requisitos e características exigidas são precisos e específicos; adjetivos tais como "adequados", "suficientemente fortes", etc. foram evitados;
- métodos de medição e ensaios são exatos e reprodutíveis.

Além das características acima, a especificação técnica levou em conta o desenvolvimento tecnológico, considerando a capacitação laboratorial existente e as facilidades de operação.

A especificação, ainda que utilizada num programa de garantia da qualidade, não considera, em seu conteúdo, a exigência de marcas de conformidade nos produtos; apenas exige aquelas indicativas de designação, código e classificação, conforme determina a ISO/IEC Guide 23 (68).

1 - INTRODUÇÃO.....	1
2. PROGRAMA DE GARANTIA DA QUALIDADE DE ESQUADRIAS DE PVC RÍGIDO.....	12
2.1 Conceituação.....	12
2.2 Requisitos do Programa de Garantia da Qualidade.....	16
2.2.1 Objetivos da qualidade.....	19
2.2.2 Atribuição específica de responsabilidade e autoridade dos participantes do Programa.....	20
2.2.2.1 AFAP E ABIVINILA.....	21
2.2.2.2 Fabricante da resina ou do composto de PVC.....	22
2.2.2.3 Fabricante de perfis.....	23
2.2.2.4 Fabricante de esquadrias.....	24
2.2.2.5 EMPRESA PRIVADA.....	25
2.2.2.6 Laboratório.....	26
2.2.3 Procedimentos operacionais.....	29
2.2.4 Métodos de ensaio, inspeção e auditoria.....	29
2.2.4.1 Métodos de ensaio e inspeção.....	29
2.2.4.2 Programa de auditoria.....	30
2.2.5 Métodos para ajuste do Programa de Garantia da Qualidade de Esquadrias de PVC Rígido.....	37
2.2.6 Outras medidas necessárias para atingir os objetivos do Programa.....	38
2.2.6.1 Confiabilidade metrológica.....	40
2.2.6.2 Elaboração das especificações técnicas.....	41

Figura 2.1- Ciclo da Qualidade.....14

Figura 2.2

Organograma do Programa de Garantia da Qualidade de  
Esquadrias de PVC Rígido.....21

### 3.PERFIL DE PVC RÍGIDO - CARACTERIZAÇÃO

Os principais fatores que afetam o desempenho de janelas são suas características finais resultantes do fato da janela ser um conjunto de diferentes materiais cada qual com uma função específica e a interface física entre ela e a envoltória na qual se localiza (5).

A janela é constituída de diversos materiais dos quais derivam os seus componentes básicos: a esquadria, as folhas, o envidraçamento, os selantes e os acessórios. A esquadria ou caixilho é um componente constituído por perfis que são soldados ou solidarizados por junções mecânicas. Além da janela, os caixilhos estão presentes nas portas, portas-balcão, clarabóias e fachadas-cortina.(69)

Atualmente os perfis constituintes de um caixilho para janelas são de madeira, aço, alumínio e materiais plásticos, destacando-se o PVC rígido, ou ainda de uma combinação desses materiais.

O presente capítulo discute as propriedades do perfil de PVC rígido necessárias para a fabricação de janelas e aborda os controles industriais que devem ser realizados no recebimento de matérias primas, ao longo de sua fabricação e no produto acabado, para garantir o desempenho exigido pela norma brasileira de janelas.

### 3.1 Características do PVC (Poli(Cloreto de Vinila))

#### 3.1.1 Desenvolvimento do PVC

A história do PVC iniciou-se em 1835, quando Regnault descobriu o monômero do qual o PVC é produzido, o cloreto de vinila.<sup>(70)</sup> A primeira menção ao PVC foi feita em 1872 por Baumann, quando ele descreveu a formação de um pó branco resultante da ação da luz solar sobre uma ampola de cloreto de vinila (em estado gasoso) - a reação de polimerização do cloreto de vinila.

O PVC é, portanto, um material de síntese, obtido a partir de um gás, na presença de agentes físicos e sob certas condições de temperatura e de pressão. O gás utilizado é o monômero cloreto de vinila  $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ . A polimerização consiste em formar, a partir do monômero, as cadeias de macromoléculas:  $-(\text{CH}_2-\text{CHCl})-(\text{CH}_2-\text{CHCl})-$ .<sup>(71)</sup>

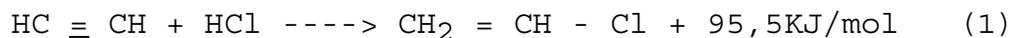
A produção industrial foi iniciada na Alemanha em 1931 e no fim da década de 30 nos Estados Unidos, pela Union Carbide e pela B.F. Goodrich. Durante a segunda Guerra Mundial o PVC plastificado passou a substituir a borracha e a partir daí a produção cresceu enormemente.<sup>(72)</sup>

#### 3.1.2 Obtenção do monômero

##### 3.1.2.1 Obtenção a partir do acetileno - $\text{C}_2\text{H}_2$ (73)

Até o final da década de 50 o cloreto de vinila era obtido através da reação de acetileno com ácido clorídrico gasoso,

na presença de catalisador de cloreto de mercúrio sobre carvão ativo (eq 1)



O acetileno é obtido a partir da reação do carbeto de cálcio com a água. O gás obtido está saturado de água e contém impurezas. O gás precisa ser resfriado e passado através de torres de ácido sulfúrico e hidróxido de potássio para ficar seco e puro.

O ácido clorídrico é obtido através da reação direta entre o hidrogênio e o cloro, os quais são obtidos a partir da eletrólise do cloreto de sódio.

O cloreto de vinila obtido por meio da reação (1) está contaminado de HCl e outras impurezas, as quais se formam em reações secundárias e precisam ser removidas. Esta purificação consiste em lavagens com água e soda (para eliminar o HCl). Depois lava-se com metanol para remover a água e a purificação final é realizada por um fracionamento a baixa temperatura, no qual os produtos secundários são removidos. (70).

#### 3.1.2.2 Obtenção a partir do etileno $\text{C}_2\text{H}_4$

Os procedimentos para a obtenção do monômero cloreto de vinila a partir do etileno foram desenvolvidos em meados da década de 50, época em que os produtos derivados de petróleo eram baratos. Atualmente são os mais utilizados, pois apesar de se terem tornado menos interessantes devido ao aumento constante do preço dos derivados de petróleo, retornar ao

acetileno representaria investimentos altos e um aumento importante do consumo de energia elétrica. (70)

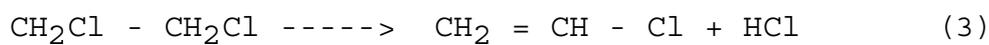
a) Formação do dicloroetano -  $\text{CH}_2\text{Cl}-\text{CH}_2\text{Cl}$

A obtenção a partir do etileno consiste na reação do etileno com cloro na presença de catalisador de cloreto férrico a  $30-50^\circ\text{C}$  (Eq. 2) (73)



O dicloroetano é transformado em cloreto de vinila por aquecimento a  $500^\circ\text{C}$ . O vapor resultante (Eq 3) é uma mistura de cloreto de vinila, ácido clorídrico e dicloroetano. O cloreto de vinila é recuperado por destilação.

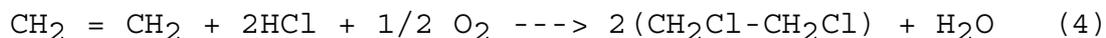
$500^\circ\text{C}$



O ácido clorídrico resultante pode reagir com o acetileno para produzir mais cloreto de vinila.

b) Oxicloração do etileno

Neste processo o etileno reage com o HCl e oxigênio formando dicloroetano conforme mostrado na reação (4)



O dicloroetano é transformado em cloreto de vinila conforme Eq.3.

### 3.1.3 Polimerização

A maioria das resinas de PVC são produzidas por meio da polimerização do cloreto de vinila em um sistema aquoso

contendo um agente emulsionante ou um agente estabilizador de suspensão.

A **polimerização em emulsão** é uma polimerização utilizada para o cloreto de vinila pois o monômero é pouco solúvel em água. Na polimerização se utilizam agentes de emulsificação (no caso do PVC, um ácido graxo ou sabão catiônico) para dispersar e estabilizar o monômero em pequenas gotas.<sup>(6)</sup> Essa polimerização pode ser efetuada de forma contínua, em reatores verticais de cuja base é retirado o polímero, que é mais denso do que a água, ou de forma descontínua, em reatores horizontais que possuem um movimento rotativo lento.

Após o término da polimerização, há a secagem em torres do polímero, que finalmente é retirado da base das torres sob forma de pó fino.

O inconveniente do procedimento em emulsão é a contaminação do produto, em particular pelo emulsificante, que chega à ordem de 2,5 a 3% da resina. Os emulsificantes melhoram a lubrificação quando da passagem pelos equipamentos de transformação, mas prejudicam a transparência e as propriedades de isolamento elétrica da resina. Após o procedimento de secagem, o diâmetro dos grãos pode variar de 15/20 à 250 micromilímetros, variação bem mais significativa que nos demais processos de polimerização utilizados para produção de resinas de perfis rígidos.<sup>(70)</sup>

A **polimerização em suspensão** é aquela na qual o monômero, no caso o cloreto de vinila, é disperso em finas gotas em água ou outro inerte conveniente.<sup>(6)</sup> Em lugar de um agente

emulsificador é utilizada uma vigorosa agitação do monômero líquido, sob pressão, envolto em água, em presença de um colóide protetor.

A polimerização em suspensão é o procedimento mais empregado no mundo todo: o cloreto de vinila, muito pouco solúvel em água, se reparte em finas gotículas. A presença de um colóide protetor (alcool polivinílico, copolímeros acetato de vinila-anidrido maleico, etc) evita o reagrupamento das gotículas entre elas e a colagem das partículas do polímero formado a partir dessas gotículas.

A reação é muito exotérmica, mas o calor despreendido é absorvido pela água. Pela temperatura da reação, pode-se obter partículas de polímero de tamanhos diferentes, em forma de esferas (polimerização em pérolas) ou em forma de pó fino. No segundo caso, o polímero é separado da água por simples filtração, depois é lavado e seco.

O PVC obtido por esse processo é mais puro que o obtido pelo processo de emulsão. O teor de cinzas, medida de pureza da resina, é de 0,1% ( contra 1% obtido pelo processo de emulsão e 0,01% obtido pelo processo de polimerização em massa). O diâmetro dos grãos é da ordem de 150 micromilímetros.

A **polimerização em solução** é um procedimento utilizado apenas para copolímeros contendo acetato de vinila em proporção de 10 a 25%. Os monômeros misturados são dissolvidos em um solvente tipo n-butano ou ciclohexano, formando uma solução a 20% contendo 0,5% de um peróxido

orgânico como iniciador. A polimerização é realizada em uma autoclave provida de agitação a 40°C. Quando o polímero precipita, o conteúdo da autoclave é circulado através de um filtro-prensa e o filtrado é retornado à autoclave adicionando-se mais monômeros e iniciador, para manutenção do processo. (73)

A **polimerização em massa** consiste em colocar o cloreto de vinila e um iniciador em um pequeno reator provido de um agitador de alta velocidade, onde a polimerização é realizada a 50-60°C até cerca de 10% de conversão, o que acontece após aproximadamente 3 horas. A seguir, todo o material é transferido para uma autoclave grande, adiciona-se mais cloreto de vinila e a reação prossegue até 90% de conversão, obtendo-se um polímero na forma de pó seco. O cloreto de vinila residual é removido sob vácuo e o polímero resultante é peneirado. O tamanho dos grãos obtidos é bastante regular, em torno de 150 micromilímetros. (73)

A polimerizações em solução e em massa não são utilizadas, no Brasil, para a aplicação de PVC em janelas. A polimerização em solução resulta em resinas de peso molecular muito baixo, inviabilizando sua utilização para perfis de janelas e a polimerização em massa, apesar de resultar em polímeros muito puros e de tamanho regular, não foi implantada comercialmente ainda. (70)

#### 3.1.4 Propriedades do PVC

O PVC é um polímero termoplástico, ou seja, é um polímero que pode ser repetidamente amolecido por aquecimento e endurecido por resfriamento dentro de uma faixa de temperatura característica do plástico.

Os produtos industriais apresentam temperatura de transição vítrea ( $T_v$  - temperatura na qual ocorre a mudança reversível de um polímero amorfo, ou de sua região amorfa, do estado viscoso ou elástico para um estado rígido, relativamente quebradiço) entre 80 e 85°C. A sua estrutura, predominantemente amorfa (com cerca de 5% de cristalitos pequenos e imperfeitos) é esféricamente mista, com configuração predominantemente atática (os átomos de cloro estão aleatoriamente distribuídos em relação ao plano definido pela cadeia polimérica), mas possuindo pequenos segmentos sindiotáticos, onde os átomos de cloro estão em lados alternados do plano definido pela cadeia polimérica.

Além das moléculas com estrutura regular, moléculas com vários defeitos estruturais têm sido identificadas em amostras do polímero. Como consequência dessas imperfeições da cadeia polimérica, onde se pode iniciar um processo degradativo, o PVC apresenta baixa estabilidade térmica quando comparado com materiais de baixa massa molecular e estrutura análoga. (74)

O PVC é comercializado em partículas de diversos tamanhos, dependendo do método de polimerização que foi utilizado. A massa molecular das resinas de PVC disponíveis no mercado

varia de 50.000 a 120.000.<sup>(72)</sup> Na prática essa propriedade é determinada pelo número "K", conforme será explicado em 3.2.1.1.

A tabela 3.1, a seguir, mostra algumas propriedades do PVC em comparação com as de outros materiais utilizados em janelas.

Tabela 3.1 Comparação entre o PVC rígido e outros materiais<sup>(75)</sup>

Materiais de perfis de janelas	Módulo de elasticidade (MPa)	Coef. de dilatação térmica (10 <sup>-6</sup> )	Condutividade térmica (W/mK)
PVC rígido	2250 a 3300	60 a 80	0.15
madeira	10000	6 a 60	0.23 a 0.93
alumínio	70000	23	203 a 209
aço	210000	12	46 a 70

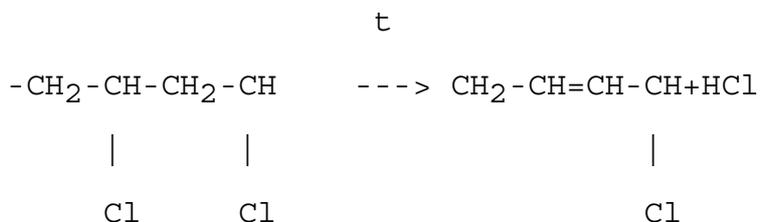
### 3.1.5 Degradação do PVC

Considera-se como degradação qualquer alteração sofrida pelo polímero durante a sua vida útil, tanto na aparência como nas propriedades químicas ou mecânicas. Os processos degradativos são classificados em função do agente agressivo.

#### 3.1.5.1 Degradação térmica (76)

A degradação térmica é caracterizada por uma eliminação efetiva de ácido clorídrico, deidrocloração, que no caso do PVC puro, sem estabilizadores, começa em temperaturas entre 100 e 120°C. Estudos recentes mostraram que o defeito da cadeia polimérica que mais contribui para a degradação

térmica é a presença de átomos cloro em carbonos terciários, que são átomos de carbono com ramificação. O mecanismo de degradação é complexo, sendo representado esquematicamente a seguir:



Além do despreendimento do ácido clorídrico, este processo degradativo é evidenciado, no seu início, pelo aparecimento de cor, decorrente de duplas ligações conjugadas que absorvem radiação no comprimento de onda do espectro visível, tornando o plástico amarelado. A degradação é acelerada pela presença do ácido clorídrico (HCl), o qual atua como catalisador da reação.

A presença de oxigênio acelera a deidrocloração, provoca uma alteração de cor do polímero em consequência da oxidação parcial das duplas ligações, provoca a diminuição da massa molecular através da cisão das cadeias poliméricas e, em menor extensão, promove ainda a formação de ligações cruzadas.

Por outro lado, o abaixamento da temperatura torna o polímero mais frágil, diminuindo a resistência ao impacto.

#### 3.1.5.2 Fotodegradação (76,77)

Juntamente com a ação do calor, a radiação ultravioleta também é um agente importantíssimo no caso do PVC.

Analogamente ao que acontece no caso da degradação térmica, a radiação ultravioleta também provoca a formação de longas sequências polienílicas (duplas ligações), as quais são responsáveis pela coloração indesejada do polímero.

No caso do PVC, a unidade  $-\text{CH}_2-\text{CHCl}-$  só absorve radiação ultravioleta em comprimentos de onda abaixo de 220nm, sendo que o espectro solar apresenta tal radiação apenas a partir de 295nm; portanto, a degradação geralmente inicia-se em locais fotossensíveis do polímero, criados pelas impurezas ou pelos defeitos estruturais, como por exemplo: resíduos de iniciador de polimerização, duplas ligações terminais, peróxidos, grupamentos cetônicos ( $\text{C}=\text{O}$ ), etc..

O efeito do oxigênio é análogo ao que ocorre durante a degradação térmica; ele promove o aumento da velocidade de deidrocloração, promove o branqueamento do polímero e aumenta o número de rupturas da cadeia polimérica.

O efeito deletério da radiação solar é tanto pior quanto maior for a intensidade e a duração da mesma bem como quanto mais defeitos existirem na cadeia polimérica. (71)

#### 3.1.5.3 Água e vapor de água (71,78)

A água e o vapor de água, bem como a atmosfera marítima não são agentes agressivos ao PVC rígido; o PVC plastificado pode sofrer com estes agentes, pois a água em presença de ácido clorídrico (proveniente da degradação do PVC) pode provocar a hidrólise e a exudação de certos plastificantes contidos na sua formulação.

No caso do PVC rígido a única preocupação em relação a estes agentes é que eles podem servir de veículo aos agentes químicos.

#### 3.1.5.4 Agentes químicos (78)

O PVC caracteriza-se por uma notável resistência química, sendo no entanto sensível à ação de alguns elementos orgânicos, tais como:

- solventes clorados, aromáticos, cetônicos e tetrahidrofurânicos (THF), os quais podem ser eventualmente encontrados em algumas tintas e vernizes, em certos produtos de tratamento de madeira, produtos de limpeza, colas e mastiques, etc. A ação desses solventes vai desde a simples provocação de manchas (alteração de aspecto) até mesmo a dissolução do PVC (alteração das propriedades mecânicas).
  
- alguns poluentes atmosféricos (tais como o sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ )) que, em presença de certos aditivos, podem provocar alteração de cor.

#### 3.1.5.5 Agentes biológicos (78)

O PVC rígido apresenta ótima resistência aos agentes biológicos.

#### 3.1.5.6 Solicitações mecânicas (78)

O conhecimento atual não permite prever com certeza qual a influência das solicitações mecânicas sobre as características do PVC. No entanto sabe-se que as contrações mecânicas excepcionais (fadiga) podem acelerar o processo de envelhecimento.

#### 3.1.5.7 Comportamento ao fogo (78)

Os produtos de PVC rígido caracterizam-se pelo seguinte comportamento:

- são auto-extinguíveis;
- a inflamação é difícil;
- são de fraca combustibilidade;
- não ocorre propagação superficial da chama, a não ser em presença de uma chama externa;
- emissão de fumaça de características ácidas;
- o gás resultante da combustão, o qual contém ácido clorídrico, é muito tóxico e corrosivo.

### 3.2 Composto de PVC rígido

A resina de PVC se apresenta sob a forma de um pó branco, inodoro; nessa situação a resina não apresenta nenhum interesse, devendo necessariamente passar por um processo denominado "gelificação" ou "processamento".

O processamento é a transformação da resina, sob a ação de calor e pressão, em uma massa homogênea translúcida. Essa massa quente poderá ser transformada em produtos. Como o PVC

é um material rígido, incolor, com baixa estabilidade térmica e com tendência a aderir às superfícies metálicas quando aquecido, para transformá-lo em uma massa serão necessárias algumas adições no processamento. O material resultante da união da resina com os aditivos é denominado composto de PVC rígido.

O sucesso da gelificação ou processamento depende, além das características de equipamento e mão de obra, da qualidade da resina e dos aditivos utilizados na formulação do composto. (70)

### 3.2.1 Materiais componentes

A formulação do composto é determinada em função do equipamento utilizado no processamento, da forma que o composto será utilizado (em grãos ou pó) e das características especificadas do produto final. Os ingredientes básicos para o composto, qualquer que seja sua aplicação, são os mesmos: polímero, estabilizador, lubrificantes (internos e externos), cargas e pigmento. Eventualmente, em casos onde são necessárias propriedades específicas no produto acabado ou no processamento a formulação inclui modificadores de impacto, absorvedores de ultravioleta ou auxiliares de processamento.

#### 3.2.1.1 Resina ou polímero - PVC

Conforme foi visto em 3.1.4, o PVC em pó se caracteriza essencialmente pelo seu peso molecular, correspondente ao

grau de polimerização. Na prática, a massa molecular da resina é medida pelo valor "K".(70) Tal valor, característica mais importante da resina de PVC, é obtido de medidas de viscosidade relativa de soluções diluídas de PVC através da seguinte fórmula:

$$\log n_{rel} = \left( \frac{75K^2 \times 10^{-6}}{1 + 1,5 K.C \times 10^{-3}} \right) + K \times 10^{-3} C$$

onde:  $n_{rel}$  = viscosidade relativa  $n/n_0$

$n$  = viscosidade da solução polimérica

$n_0$  = viscosidade do solvente puro

$K$  = valor K

$C$  = concentração em g/100 ml

Numa série de polímeros de PVC, o valor K determina o tipo de processamento que deve ser usado, as características da formulação, a temperatura de processamento e os limites de propriedades mecânicas possíveis.

Como o valor "K" pode ser determinado em vários solventes, tornou-se usual a caracterização do PVC pelo índice de viscosidade adotado pela norma ISO R174 (79). Essa medida é determinada em uma solução de 0,5g de PVC em 100ml de ciclohexanona, através da seguinte relação:

$$\text{índice de viscosidade} = \frac{(t/t_0 - 1)}{C}$$

onde:  $t$  = tempo de escoamento da solução de PVC

$t_0$  = tempo de escoamento do solvente

$C$  = concentração da solução em g/ml

A massa molecular média ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) pode ser determinada por métodos recomendados na norma ASTM D1243 (80). A tabela 3.2 apresenta os valores mais comuns dessas características do PVC. (73)

Tabela 3.2 Caracterização da massa molecular do PVC

Índice de viscosidade ISO R 178	Valor K			ASTM D1243	
	0,5% em dicloreto de etileno	1% em ciclohexanona	0,4% em nitrobenzeno	Método A viscosidade inerente	Método B viscosidade específica
57	45	47	42	0,49	0,19
70	50	54	57,5	0,62	0,24
87	55	60	62,5	0,75	0,3
105	60	65	68	0,88	0,36
125	65	70	70,5	1,01	0,41
145	70	74	78	1,13	0,47

Em formulações de PVC rígido os polímeros de baixo número K são de interesse porque eles são processados mais rapidamente sem se decomporem e porque não se notam diferenças de propriedades mecânicas significativas em relação a resinas de maior número K, ao contrário das formulações de PVC plastificado, onde só resinas de alto valor K geram produtos de boa qualidade (81). Como um exemplo, para tubos utiliza-se índice de viscosidade de 105, para placas ou perfis rígidos o índice é de 85-95 e para compostos rígidos que serão moldados por injeção, o índice de viscosidade utilizado é igual a 70. (73)

As maiores diferenças entre os polímeros comerciais estão nas características das partículas, isto é, na forma, no tamanho, na distribuição granulométrica e na porosidade, as quais afetam muito o comportamento do polímero no processamento. (73)

Quando o composto final é fornecido na forma de grânulos, ele já sofreu uma transformação intermediária que consiste na passagem dos componentes misturados em forma de pó por uma extrusora que conforma o composto em grãos - é o processo de granulação. (82) Nesses compostos granulares o tamanho e a forma da resina só tem importância no processo de granulação, pois a determinação da quantidade de resina que deve ser colocada na mistura é feita em função da densidade desejada para o composto, que por sua vez dependerá desses parâmetros.

Já no caso do composto em pó a escolha da resina é muito mais importante. Por exemplo, resinas obtidas pelo processo de emulsão não devem ser utilizadas para compostos em pó por serem muito leves e possuírem partículas de tamanho muito pequeno. (72)

Os fatores de degradação da resina são: (83)

- calor durante o processamento;
- oxigênio atmosférico durante o processamento;
- oxigênio atmosférico durante o uso;
- radiação ultravioleta durante a exposição.

Estes fatores determinarão a escolha dos aditivos para cada aplicação, conforme será visto a seguir.

### 3.2.1.2 Estabilizadores térmicos

Como a resina polimérica é instável nas temperaturas elevadas que ocorrem durante o processamento do PVC, estabilizadores térmicos são adicionados para evitar o desprendimento de ácido clorídrico e para evitar a descoloração. Apesar disso a decomposição durante o processamento do PVC se efetua com ou sem a presença de estabilizadores, embora a escolha acertada dos mesmos modere a intensidade da degradação. A função mais importante do sistema de estabilização consiste em limitar a decomposição de modo a se obter um produto acabado incolor e sem prejuízo das propriedades físicas ou da vida útil. (84)

Portanto, na escolha dos estabilizadores devem ser considerados os seguintes fatores: (72)

- a) tipo de polímero utilizado, no caso o PVC;
- b) natureza dos outros ingredientes presentes;
- c) custo do estabilizador em função do tempo de vida previsto para o composto;
- d) a transparência necessária para o composto;
- e) toxidez do estabilizador;
- f) efeito na lubrificação e demais características do processamento.

O estabilizador ideal é aquele que, respondendo às condições a) a f) específicas para cada aplicação, absorve o ácido clorídrico sem qualquer efeito na cor, durabilidade, odor, resistência à água e neutralidade do composto; é um antioxidante e um filtro da radiação ultravioleta.

O estabilizador necessita ser um antioxidante pois está provado que a deidrocloração aumenta com o processo oxidativo e as estruturas responsáveis pelo decréscimo da estabilidade do PVC se formam necessariamente com a participação dos átomos de oxigênio. (85)

Os materiais que são utilizados como estabilizadores térmicos possuem a capacidade de reagir quimicamente com o ácido clorídrico, evitando o efeito autocatalítico deste ácido no processo de decomposição.

Os estabilizadores são consumidos durante todo o tempo no qual os ingredientes da formulação são transformados em um produto fundido, sendo empregados em excesso para que o processamento possa ser concluído com segurança.

Os estabilizadores mais comuns são sais metálicos de chumbo, bário, cádmio e estanho ou misturas desses sais. (74)

#### a) Estabilizadores à base de chumbo (Pb)

Os estabilizadores à base de chumbo foram os primeiros utilizados. (84) Suas vantagens em relação aos demais estabilizadores são a processabilidade fácil, o baixo preço e uma alta estabilidade térmica no processamento. As desvantagens são uma nítida tendência a degradar após um tempo relativamente curto de exposição às intempéries, o conseqüente leve encardimento das superfícies do perfil, a opacidade causada e embranquecimento dos produtos coloridos em geral.

Em função disso, na Inglaterra, por exemplo, seu uso é limitado a perfis brancos. (86)

b) Estabilizadores de complexos bário/cádmio (Ba/Cd)

Estes sistemas tem sido testados ao longo dos anos e são muito utilizados em locais com alta incidência de agentes degradadores do PVC. Em tais locais, verifica-se que esses estabilizadores tem melhor comportamento frente às intempéries que os demais e apresentam pouco descolorimento, pois há uma ação sinérgica dos dois sais. Porém, em misturas com mais de 2% de sal de cádmio há risco de ocorrer exsudação (70) e, em produtos coloridos, após 6 a 8 anos podem aparecer as primeiras mudanças de cor para cinza ou branco. (87)

Uma das maiores desvantagens desse sistema é a tendência de incrustação (plate-out) nos equipamentos de processamento. Este problema pode ser minimizado com o uso dos estabilizadores na forma líquida. (84)

Com o sistema Ba/Cd normalmente são utilizados um estabilizador secundário à base de óleo de soja, que melhora a estabilidade à radiação e ao calor, e um fosfito orgânico, que melhora a resistência ao intemperismo e facilita o processamento. (86)

Por motivos ecológicos, face à toxidez do cádmio, seu teor é encarado de maneira cada vez mais crítica, inclusive seu uso atualmente é vedado em alguns países nórdicos. (88).

c) Estabilização com bário/cádmio e chumbo (Ba/Cd/Pb)

Ela reúne vantagens de cada sistema de estabilização individual: processabilidade fácil, alta estabilidade térmica, boa resistência às intempéries para produtos brancos ou claros, nenhum componente líquido, preço menor que o da estabilização somente com Ba/Cd.

As desvantagens são: o teor de Cd, a limitação a tons claros e a tendência a degradar devida à porção de Pb (86).

d) Estabilização à base de estanho (Sn)

Há dois tipos desses estabilizadores: um à base de mercaptetos de estanho e outro à base de carboxilatos de estanho.

Os produtos à base de mercaptetos de estanho se caracterizam por uma alta estabilidade térmica e fácil processabilidade. As desvantagens de sua utilização são o odor desagradável apresentado durante o processamento, o fato desse estabilizador necessitar de adições muito elevadas de pigmentos - da ordem de 15% - e uma escolha limitada de tonalidades de cor. A adição elevada de pigmentos encarece o sistema e aumenta o desgaste dos misturadores e da extrusora.

Os estabilizadores à base de carboxilatos de estanho apresentam uma estabilidade térmica elevada, absorção de água muito baixa e uma excepcional resistência às intempéries em praticamente todas as cores. Suas principais desvantagens são: o odor desagradável que surge durante o processamento e a aderência às partes metálicas da extrusora, que obriga à

interrupção da extrusão para limpeza geral da máquina a cada 10 ou 12 horas de trabalho. (86)

### 3.2.1.3 Lubrificantes

No PVC rígido, os lubrificantes facilitam o processamento e influenciam nas propriedades do produto acabado. Existem dois tipos de lubrificantes: os internos, que melhoram o deslizamento das cadeias poliméricas umas em relação às outras, e os externos, que ajudam o escoamento do PVC fundido através do equipamento de processamento e impedem a aderência do PVC às superfícies metálicas (72).

Os lubrificantes externos devem ser materiais que apresentam compatibilidade limitada com o polímero, exsudando durante o processamento, formando um filme entre o composto e as superfícies metálicas. No caso particular do PVC rígido, normalmente extrudado a cerca de 165°C, devem-se utilizar lubrificantes que fundem na faixa de 100 a 120°C, pois estes dão um filme com a viscosidade adequada para a temperatura de processamento. (73)

Como lubrificantes externos geralmente são utilizadas graxas sintéticas, ésteres graxos, éteres, álcoois, polietilenos de baixa massa molecular e estearato de chumbo.

Os lubrificantes internos incluem ácidos graxos de cadeia longa, estearato de cálcio, ácidos graxos alquilados e alquil-aminas de cadeias longas. (74)

Os lubrificantes são aditivos muito importantes numa formulação de PVC rígido, pois um composto altamente estabilizado não extrudará sem uma lubrificação apropriada.

Em extrusoras de rosca simples, em que o processamento depende do atrito do polímero com as paredes do corpo da extrusora, o uso do lubrificante externo deve ser moderado para não provocar oscilações na produtividade e nas dimensões do produto, superfície rugosa ou subfusão do produto, com as consequentes perdas nas propriedades físicas. (84)

#### 3.2.1.4 Cargas

As cargas são utilizadas para diminuir o custo do componente fabricado com PVC e também para melhorar as propriedades físicas do material. Geralmente são utilizados o carbonato de cálcio na forma de calcitas ou dolomitas, argilas, dióxido de titânio, metassilicato de cálcio e sulfato de bário.

O uso de carbonato de cálcio precipitado favorece o processamento do PVC rígido e aumenta sua resistência ao impacto. O dióxido de titânio é usado quando se deseja opacidade e alvura; esta carga também aumenta a resistência ao ultravioleta dos produtos de PVC (72).

#### 3.2.1.5 Pigmentos

Os pigmentos utilizados no PVC rígido devem ser resistentes às altas temperaturas de processamento, à radiação solar e também compatíveis com os demais

ingredientes do composto. Devem ainda permanecer intactos com as condições de exposição, não alterar as demais propriedades físico-mecânicas do produto e, se possível, melhorar a resistência do PVC ao ultravioleta. (89)

Na prática é difícil encontrarem-se pigmentos que não descoram ao longo do tempo em aplicações externas; a faixa de cores é limitada ao branco, ao bege ( obtido a partir de pigmentos amarelos), ao marrom e ao cinza, cores que podem ser obtidas pela mistura do dióxido de titânio e negro de fumo, além de outros poucos pigmentos, conforme tabela 3.3.

Há dois tipos básicos de pigmento: os orgânicos e os inorgânicos. Os inorgânicos são, em geral, de fácil dispersão e bom recobrimento. Os orgânicos, pelo fato de apresentarem uma alta superfície específica, exigem o uso de uma quantidade maior de lubrificante que os inorgânicos; tal fato obriga a um ajuste de formulação. (87)

Existe uma demanda para perfis coloridos que é atendida normalmente por uma faixa limitada de cores, em geral aquelas que já foram descritas. Isso decorre do fato de compostos de PVC coloridos introduzirem uma série de variáveis que são difíceis de controlar. Essas variáveis incluem estabilidade de cor durante o processamento, efeitos adversos na soldagem dos cantos e estabilidade ao intemperismo reduzida. Além disso, cores escuras absorvem mais calor da luz do sol, que aumenta a movimentação e ações deletérias ao desempenho ao longo do tempo. Por essa razão, algumas vezes as cores são introduzidas por co-extrusão de uma camada de poli(metil

metacrilato)-PMMA ou por um laminado aplicado na superfície interna do perfil de PVC. (86)

Dentro da faixa limitada de cores que podem ser incorporadas, são utilizados os pigmentos da tabela 3.3.

Tabela 3.3 Pigmentos utilizados comercialmente (87)

CORES	PIGMENTOS UTILIZADOS	DESVANTAGENS
Branco	Dióxido de titânio TiO <sub>2</sub>	desgaste das partes metálicas da extrusora
Amarelo (pigmentos inorgânicos)	níquel-titânio cromo-titânio  amarelo de óxido de ferro amarelo de cádmio amarelo de cromo	baixa poder colorante  durabilidade insuficiente quando no exterior da edificação
Amarelo (pigmento orgânico)	tetracloro-isoindolinon	ajuste da fórmula devido ao consumo de lubrificante
Marron (pigmento inorgânico)	manganês-antimônio-titânio  espinélios de óxidos de cromo e ferro	possibilidade de coloração limitada  utilização apenas com sistemas estabilizados à base de chumbo
Marron (pigmento orgânico)	azopigmento condensado - marron 23	resulta em diferentes colorações de marron
Cinza	dióxido de titânio com negro de fumo	desgaste das partes metálicas da extrusora

### 3.2.1.6 Modificadores de impacto e auxiliares de processamento

O PVC rígido apresenta alta viscosidade no estado fundido, o que dificulta o processamento e pode resultar em produtos muito quebradiços para determinadas aplicações. Para superar esses problemas são utilizados alguns aditivos poliméricos chamados de modificadores de impacto. Esses polímeros possuem algumas características da borracha e parâmetro de solubilidade próximo ao do PVC.(73)

O primeiro modificador de impacto utilizado em compostos de PVC para janelas foi o CPE (polietileno clorado). Com o tempo, introduziram-se o EVA (etileno vinilacetato) e alguns poliacrilatos.(86)

Vários desses materiais podem ser considerados como auxiliares de processamento, pois promovem um fluxo mais uniforme do PVC no estado fundido e portanto resultam em um produto com melhor acabamento superficial.

O PVC dito modificado é aquele que, quando da polimerização, sofre a adição de modificadores de impacto como o EVA ou o CPE; da mesma forma, o PVC dito não modificado não sofreu tal adição. Independentemente do PVC ser modificado ou não, na mistura para a formação do composto, poderão ser acrescentados aditivos modificadores de impacto conjuntamente com os demais aditivos.

#### 3.2.1.7 Absorvedores de ultravioleta

São aditivos utilizados para aumentar a resistência ao ultravioleta dos produtos de PVC. Quando o perfil é branco ou cinza, os pigmentos utilizados à base de dióxido de titânio e

negro de fumo já funcionam como absorvedores de ultravioleta; no caso de outras cores, o próprio  $\text{TiO}_2$  pode ser utilizado com esta função(72).

### 3.2.2 Formulação

A formulação mais adequada para obtenção de um bom perfil para janelas deve considerar os seguintes fatores:

- tipo de extrusora empregada

Uma extrusora com modesto grau de gelificação precisa de uma formulação cujos aditivos antecipem a gelificação, assim como uma maior quantidade de lubrificante interno e um auxiliador de processamento.

Já quando a extrusora possui excesso de gelificação, deve-se alterar a reologia do material com lubrificante externo e reduzir todos os aditivos que possam facilitar o processamento.

- extrusão do produto em pó(dry blend) ou do produto em grânulo

A extrusão direta do pó requer a máxima facilidade de processamento, para se obterem melhores características de resiliência. Portanto a formulação normalmente contém o mínimo de lubrificante externo.

As características da resina e dos aditivos também dependerão da forma final do composto (pó ou grânulo), conforme foi abordado em 3.2.1.

- características climáticas do local onde o perfil será usado

Conforme abordado na discussão de cada aditivo, as condições de exposição (radiação solar, temperatura) do local de exposição do perfil deverão indicar a escolha correta dos tipos de aditivos da formulação (cargas, pigmentos, estabilizadores, lubrificantes, etc) bem como da quantidade de cada um na formulação.

- tipos de ferramentas necessárias (fieiras, calibradores, roscas, etc)

O conhecimento das ferramentas influi na formulação na medida em que certas propriedades do perfil são alteradas em função delas. Por exemplo, comprovou-se que a retração dimensional dos perfis está diretamente relacionada com o tipo de fieiras e calibradores do equipamento de extrusão. (88)

A literatura consultada apresenta alguns exemplos de formulação de compostos de PVC para janelas, resumidos na tabela 3.4.

Tabela 3.4 Exemplos de formulação encontrados na literatura

Exemplo 1: Perfis de janela estabilizados por Ba/Cd/Pb, com PVC modificado com polietilieno clorado - CPE(87)

MATÉRIA PRIMA	PARTES
PVC modificado	
PVC	92,0
Aditivo CPE	8,0
estabilizador chumbo/bário/cádmio	3,5
lubrificante interno	0,4
lubrificante externo	0,15
dióxido de titânio - pigmento	4,0
carbonato de cálcio - carga	7,0
auxiliar de processamento	1,0
absorvedor de ultravioleta	0,2

Exemplo 2: Perfis de janela estabilizados por Ba/Cd, com PVC modificado com EVA (86)

MATÉRIA PRIMA	PARTES
PVC modificado	
PVC	94,0
Aditivo EVA	6,0
estabilizador de bário/cádmio	2,5
fosfito orgânico	0,5
óleo de soja	1,5
lubrificantes interno e externo	1,1
dióxido de titânio (pigmento branco)	5,0
carbonato de cálcio (carga)	3,0

Exemplo 3: Perfis de janela estabilizados por Ba/Cd, com PVC  
modificado com CPE(86)

MATÉRIA PRIMA	PARTES
PVC modificado com CPE	100,0
estabilizador de bário/cádmio	3,0
fosfito orgânico	0,5
óleo de soja	1,5
lubrificantes interno e externo	1,05
dióxido de titânio (pigmento branco)	3,0
carbonato de cálcio (carga)	4,0
auxiliar de processamento	0,5

Exemplo 4: Perfis de janela estabilizados por Ba/Cd, com PVC  
modificado com poliacrilato(86)

MATÉRIA PRIMA	PARTES
PVC modificado com poliacrilato	100,0
estabilizador de bário/cádmio	2,5
fosfito orgânico	0,3
óleo de soja	1,0
lubrificantes interno e externo	0,8
dióxido de titânio (pigmento branco)	4,0
carbonato de cálcio (carga)	4,0

Exemplo 5: Perfis de janela estabilizados por chumbo, com PVC  
não modificado (86)

MATÉRIA PRIMA	PARTES
PVC não modificado	100,0
estabilizador de chumbo	4,0
lubrificantes interno e externo	1,65
dióxido de titânio (pigmento branco)	4,0
carbonato de cálcio (carga)	4,0
auxiliar de processamento	1,5
aditivo modificador de impacto	10,0

Exemplo 6: Perfis de janela estabilizados por estanho, com  
PVC não modificado (86)

MATÉRIA PRIMA	PARTES
PVC não modificado	100,0
estabilizador de estanho	2,5
lubrificantes interno e externo	2,1
dióxido de titânio (pigmento branco)	5,0
carbonato de cálcio (carga)	2,0
auxiliar de processamento	2,0
aditivo modificador de impacto	10,0

### 3.2.3 Preparação da Mistura

Para que o PVC possa ser transformado satisfatoriamente, é necessário que todos os aditivos estejam completamente dispersos na resina, de modo a obter-se um material homogêneo. A mistura pode ser um pó ou um produto granular no qual os ingredientes foram misturados a quente e posteriormente convertidos em grãos ou "pellets" por um processo de extrusão. (88)

No caso do PVC em pó, os aditivos são misturados pelo transformador (fabricante de perfis). Esse método permite o controle da qualidade dos materiais empregados mas é mais suscetível a erros nos equipamentos de dosagem.

Inicialmente todas as matérias primas são guardadas em silos de estocagem ou recipientes menores, dependendo do volume de produção da empresa. Cada aditivo é pesado em balanças apropriadas e transportado para o misturador.

O misturador é um tanque que possui uma hélice que gira a 1200/1400 rpm. Os ingredientes são misturados a uma temperatura de cerca de 120°C ( a temperatura exata depende de cada formulação). Durante a mistura, alguns componentes fundem-se. A fase posterior, de resfriamento (abaixo de 40°C), deve ser efetuada o mais bruscamente possível e destina-se a manter constante a densidade aparente do material. Após o resfriamento a mistura é homogeneizada em um silo intermediário, com instalações para homogeneização estática ou dinâmica, por aproximadamente 5 a 8 horas, quando então a mistura está pronta para a extrusão. (86,88)

O comportamento da resina no misturador é fortemente afetado pelo processo através do qual foi fabricada. Resinas produzidas por suspensão normalmente geram mais atrito, mas os aditivos não penetram facilmente nas partículas, pois estas possuem uma camada protetora muito dura. Consequentemente temperaturas mais altas são necessárias para uma boa incorporação. Outros tipos de resina não possuem tal camada e consequentemente incorporam os aditivos mais rapidamente a temperaturas mais baixas.

Auxiliadores de processo e modificadores de impacto normalmente têm ponto de amolecimento mais baixo que a resina de PVC, o que resulta em um aumento no atrito durante o processamento, favorecendo a dispersão dos ingredientes.

Alguns lubrificantes (certos tipos de cera, por exemplo) podem aglomerar rapidamente no início do processo aumentando o atrito e facilitando a mistura. Outros, como os estearatos,

reduzem o atrito e retardam a preparação do composto. É fundamental conhecer as características de todos os lubrificantes da formulação para se assegurar que a temperatura de fusão dos mesmos tenha sido atingida, permitindo uma boa incorporação. (84)

Resumindo, o processo de mistura é dividido nas seguintes etapas: (72)

- i) simples mistura dos ingredientes ( resinas, estabilizadores, etc);
- ii) absorção dos componentes líquidos pela camada superficial da resina;
- iii) completa plastificação das partículas da resina;
- iv) coesão entre as partículas plastificadas da resina;
- v) perda de identidade das partículas individuais;
- vi) interação química do polímero com alguns ingredientes (estabilizadores);
- vii) degradação inevitável do polímero pela ação do calor e das forças de cisalhamento.

No composto em pó a mistura é efetuada até parte da etapa iv). No composto granular todas as etapas descritas são cumpridas.

Se ocorrer algum erro durante a mistura pode acontecer as seguintes consequências: (87)

- a cor do composto não corresponder à desejada;
- a capacidade de escoamento ser ruim;
- a formação de aglomerados prejudicar a passagem do material pela rosca de extrusão ou piorar a qualidade da superfície;

- a plastificação ser totalmente alterada.

Para obtenção do composto em grânulos, após sofrer a mistura pelo processo anteriormente descrito, o composto em pó passa por uma transformação em extrusora, a temperaturas da ordem de 160°C, denominada granulação. A granulação normalmente é efetuada pelo fornecedor da resina; o composto resultante é vendido ao transformador. Para o transformador, adquirir o composto granulado é garantir a eficiência e constância da dosagem e da mistura, mas não lhe permite identificar a origem dos diferentes constituintes nem a qualidade dos mesmos. Há o risco do fornecedor do composto fornecê-lo com qualidade variável ao longo do tempo; assim sendo, as características desejadas do composto devem ser estipuladas via contrato e deverão ser efetuados os devidos controles pelo transformador, quando do recebimento do composto na fábrica. (89)

O composto pronto, fornecido em forma de grânulos, é mais caro, mais fácil de manusear e sua extrusão é mais rápida do que a do composto em pó; porém, como o grânulo já sofreu uma transformação, quando do novo processamento o composto granular não apresenta a mesma estabilidade térmica que aquele que não passou por nenhum processo térmico e isso pode implicar numa menor resistência às intempéries. (86)

A utilização do composto em pó tem a vantagem adicional de necessitar de quantidades menores de estabilizadores, por ter maior estabilidade térmica que o granular. (72) Dentro do Programa de Qualidade Assegurada consideram-se algumas

exigências para que o composto seja aceito, conforme será exposto em 3.4.

### 3.3 Fabricação de Perfis de PVC rígido

No Brasil, conforme citado anteriormente, o transformador de perfis é o responsável pela definição da formulação de seu composto e executa a mistura dos diversos materiais componentes para depois cumprir-se a transformação do composto em perfis para janelas.

Nos países europeus, atualmente a situação mais comum é aquela em que o composto granular é fornecido ao fabricante, tendência que tende a diminuir com a modernização das extrusoras. Assim sendo, a fabricação inicia-se pelos controles de conformidade do composto, que serão expostos em 3.4, seguidos pela extrusão.

#### 3.3.1 Linha de extrusão

A extrusão tem como objetivo transformar a matéria plástica em perfis contínuos. O equipamento necessário para essa transformação é denominado "extrusora" e a transformação "processamento". (88)

O processamento do PVC rígido é crítico pois ele só se torna processável em uma faixa de temperatura na qual a degradação já é significativa. A formulação do polímero deve ser tal que tenha baixa viscosidade no estado fundido, o que é conseguido com polímeros com baixo índice de viscosidade e

incorporando-se ao composto lubrificantes internos e auxiliares de processamento, conforme já foi discutido.

Os princípios gerais para o processamento do PVC rígido aplicam-se para a extrusão dos perfis de janela, porém alguns fatores específicos deverão ser considerados, quais sejam: (86)

- as formulações de perfis para janelas são geralmente mais sensíveis às condições de processamento do que as formulações padrão de PVC rígido para tubos ou outros tipos de perfis utilizados em edificações (forro, venezianas, etc);
- a complexidade do projeto e dimensões dos perfis de janela impõe cuidados especiais no projeto da matriz de extrusão;
- a aparência do perfil e as exigências quanto ao seu desempenho e durabilidade impõem requisitos severos para a calibração e para a variação dimensional.

A temperatura a que o composto fica sujeito na linha de extrusão interfere enormemente nas propriedades do perfil. Essa temperatura depende, por sua vez: (88)

- da formulação utilizada;
- do tipo de PVC (número K maior ou menor);
- da capacidade de gelificação ou processamento;
- do comprimento da matriz de extrusão.

Temperaturas pouco elevadas não permitem processamento completo, principalmente usando PVC modificado, podendo ocorrer uma diminuição nos valores de resiliência dos perfis.

Por outro lado, temperaturas muito elevadas deterioram o material, superaquecendo-o e provocando a dificuldade na saída dos gases (degasagem - 3.3.3.1). Além disso, o aumento excessivo de temperatura na extrusora aumenta a retração dimensional.

Para melhor compreensão dos fenômenos que ocorrem numa extrusão é necessária uma descrição de cada ferramenta que compõe uma extrusora e de sua interferência no produto final.

Uma extrusora se compõe essencialmente de um cilindro aquecido denominado corpo, dentro do qual há uma rosca sem fim que se move com a função de transportar o material plástico e de malaxar o mesmo contra as paredes internas do cilindro. Na ponta da rosca existe uma grelha que tem a função de reter materiais estranhos e exercer uma contrapressão sobre o material plástico, melhorando a plastificação.

Após a grelha existe uma peça denominada matriz de extrusão que contém a fieira, responsável pela forma definitiva da seção de material plástico.

Na saída da fieira o perfil passa sucessivamente por dispositivos de calibração, resfriamento, tração e corte.(82)

Como o PVC libera ácido clorídrico durante o aquecimento, é importante que o metal da extrusora seja resistente ao ácido.(73)

A seguir será discutida cada uma das partes que compõem uma linha de extrusão.

### 3.3.3.1 Roscas

Em roscas longas, pode-se dividir a rosca da extrusora em cinco partes distintas:

- a) zona de alimentação;
- b) zona de homogeneização;
- c) zona de gelificação;
- d) zona de degasagem;
- e) zona de compressão.

Na zona de alimentação o volume do material é três vezes superior ao encontrado na zona de máxima gelificação, que antecede a degasagem.

Na zona de homogeneização o material deve ser levemente comprimido e aquecido de forma mais intensa, sem contudo, criar atrito; se superaquecido pode causar desgaste na rosca. Nesta fase da extrusão, o material é preparado para a zona de gelificação, onde o material é comprimido em um volume com grau de enchimento da seção de 80%. Tudo isto para obter um grau de gelificação de 70% do total.

Na fase seguinte, na zona de degasagem, o volume do material alcança valor superior àquele da zona de alimentação, de forma a permitir a expansão e liberação dos gases voláteis nele contido, através de bomba a vácuo.

Cada fase deve ser realizada de forma gradual e de modo a não causar torções anômalas na rosca, superaquecimento do material, elevados momentos torçores e excessiva absorção de potência do motor da extrusora.

Para verificar anomalias ocorridas devido à má conformação geométrica da rosca da extrusora convém controlar: (88)

- o grau de gelificação e de degasagem;
- o desgaste da rosca e do cilindro em cada segmento;
- o superaquecimento, evidenciado pelo aumento de temperatura da massa plástica;
- a contrapressão excessiva;
- a pressão adequada do material, no transdutor.

A Tabela 3.5 mostra os problemas mais comuns de extrusão e as soluções que devem ser tomadas para um processamento adequado. (84)

Tabela 3.5 Problemas mais comuns da extrusão de perfis

Tabela 3.5 Problemas mais comuns da extrusão de perfis  
(continuação)

Cada um dos diversos tipos de rosca tem um princípio de funcionamento e é indicado para determinados tipos de perfis ou de compostos. Os tipos de rosca mais comuns são descritos a seguir:

a) Extrusora de rosca simples com um estágio

A extrusão por rosca simples, método característico de equipamentos antigos, é utilizada atualmente na produção de perfis auxiliares e para granulação dos compostos. Essa extrusão gelifica o material por pressão e ação térmica. (84,88)

Sua utilização para a fabricação de produtos acabados é possível desde que se adote algum método de remoção de voláteis (alimentação a vácuo, por exemplo) e se utilizem compostos granulares. Um projeto de rosca eficiente é mostrado na figura 3.1. (84)

Figura 3.1 Esquema de uma rosca de um estágio (84)

b) Extrusora de rosca simples com dois estágios e degasagem

O constante aperfeiçoamento das extrusoras de rosca simples de dois estágios tem levado à adoção de relações

comprimento/diâmetro (L/D) cada vez maiores. As extrusoras com maior L/D promovem uma melhor homogeneização do material processado, podendo ser operadas a temperaturas muito baixas. A degasagem é feita através de um bocal instalado sobre a seção de descompressão da rosca. O projeto adequado da máquina evita o escoamento do composto pelo bocal da degasagem.

Uma rosca de dois estágios pode ser visualizada na figura 3.2. (84)

Figura 3.2 Esquema de uma rosca de dois estágios com degasagem

As temperaturas típicas que se desenvolvem ao longo de uma extrusora deste tipo são:

Tabela 3.6 Temperaturas típicas de extrusoras de rosca simples - dois estágios com degasagem

(comprimento/diâmetro 24:1 taxa de compressão 3:1)

zonas traseiras	150 - 190°C
zonas frontais	165 - 185°C
temperatura da matriz	150 - 160°C
temperatura do óleo da rosca	125 - 135°C

c) Extrusora de rosca dupla

A extrusora de rosca dupla foi desenvolvida principalmente para se facilitar o processamento de compostos de PVC rígido em pó. (72)

Neste tipo de extrusora o material é forçado para frente pelo movimento rotativo do dente de uma rosca dentro do canal da outra, propelindo o material. Ao contrário da extrusora de rosca simples, a extrusora de rosca dupla não depende do atrito do material com a superfície do corpo para forçar o material para frente, o que a torna muito mais eficiente, permitindo trabalhar com temperaturas mais baixas, ter produtividade mais alta e, especialmente, ter maior flexibilidade de processamento e formulação. (84)

O efeito calandra que a rosca dupla exerce sobre o material se dá pela diferença de velocidade de rotação dos filetes da rosca em relação ao corpo da rosca paralela. De fato, os dois diâmetros, por serem muito diferentes, criam velocidades distintas que laminam e esticam o material, antecipando a gelificação. Além disso, o movimento entre filetes de dupla rosca cria um alta força de cisalhamento. (88)

Existem muitos tipos de extrusoras de rosca dupla, variando no desenho das roscas, que podem ser paralelas ou cônicas, no comprimento e no número de zonas de aquecimento. Cada extrusora tem sua condição ótima de processamento, entretanto a maioria das formulações pode ser utilizada em

qualquer extrusora de rosca dupla apenas com pequenos ajustes de temperatura. (84)

A melhor homogeneização fornecida por vários tipos de rosca permite uma fusão mais rápida do composto em distâncias menores. As temperaturas de operação mais baixas permitem a redução dos níveis de estabilizador e conseqüentemente de custo. Entretanto, níveis maiores de lubrificante externo são necessários para assegurar um bom escoamento do composto. (84)

Uma rosca dupla pode ser visualizada na figura 3.3.

Figura 3.3 Esquema de rosca dupla

As temperaturas mais comuns neste tipo de rosca são:

Tabela 3.7 Temperaturas típicas de extrusoras de rosca dupla

zonas traseiras	140 - 165°C
zonas frontais	110 - 145°C
temperatura da matriz	145 - 165°C
temperatura do óleo da rosca	120 - 150°C

#### 3.3.3.2 Matriz de extrusão

A matriz de extrusão deve ser devidamente dimensionada a fim de se obter um fluxo constante do material, sem

apresentar resíduos que causem redução sensível no fluxo do plástico em função do atrito causado.

A matriz de extrusão é dividida em três partes:

- acoplamento à extrusora;
- caixa porta machos;
- fieira.

O acoplamento à extrusora é feito através de um aro que encaixa em um ressalto de forma semelhante à parte externa do perfil.

A caixa porta machos é que dimensiona as partes internas do perfil.

A fieira é constituída por duas partes: a primeira usinada ou desbastada, onde é possível realizar retoques visando modificar o fluxo do material, e a segunda, também usinada, porém completamente fechada, sem encaixes para evitar infiltrações de material nos cantos.

A elaboração do projeto da fieira é uma tarefa altamente especializada e não se podem prescrever valores de projeto válidos para qualquer tipo de perfil. Um complicador é que, em geral, as ferramentas devem ser projetadas de acordo com o comportamento do composto, que pode ser variável para cada fabricante em função de uma série de fatores, inclusive de sua granulometria. Os objetivos do projeto da fieira, no entanto, são bem definidos. Deve-se garantir que o perfil saia da fieira com a máxima vazão que seja compatível com a velocidade de fluxo uniforme através da seção e com as

dimensões corretas. O material constituinte das fieiras deve ser resistente à abrasão e à corrosão. (86)

### 3.3.2 Calibragem e refrigeração

A zona de calibragem e refrigeração é construída de acordo com as características do perfil (da relação peso/metro e da sua complexidade geométrica), com o tipo de extrusora da qual faz parte e com a metragem a ser produzida em um ano.

O projeto dos calibradores determina o fluxo de saída e a qualidade do perfil que pode ser obtida. Os calibradores tem a função de resfriar e dar forma definitiva aos perfis.

Os parâmetros que devem ser controlados durante a calibração são: o gradiente de temperatura entre o material extrudado amolecido que entra no calibrador e o material endurecido que emerge do mesmo; a razão de resfriamento; a transferência de calor para as paredes do calibrador e o atrito provocado pela aplicação de vácuo nas superfícies do calibrador. (86)

O número de zonas de calibração e o comprimento de cada zona variam de acordo com o tipo de perfil. Assim, para os perfis complementares são utilizadas zonas de calibragem mais curtas, com um número maior de calibres. Para os perfis principais, produzidos em maior escala, a zona de calibragem é mais longa e inclui, além de 4 a 5 calibres de 400 a 500mm de comprimento cada um, a utilização de jatos de ar e tanques de refrigeração.

Para os perfis secundários, cuja produção se dá em larga escala, há equipamentos de refrigeração próprios com maior número de calibradores e maior refrigeração, de forma que se obtenha uma velocidade de extrusão da ordem de 3 a 5 metros/minuto.

Após a fase de calibragem e resfriamento o perfil é seco com jatos de ar, sofre um controle da qualidade e tem sua face plana recoberta por uma película de proteção. Em seguida o perfil é cortado conforme a necessidade. (88)

Para se obter retração dimensional inferior a 2% convém que a força de tração causada pelo atrito nos calibres seja a menor possível.

Caso haja alterações, seja no valor da força de tração adequada ao tipo de perfil, seja na relação peso/comprimento ou na geometria, as dimensões dos calibres podem ser reduzidas a fim de corrigir a anomalia. (88)

Figura 3.4 Equipamentos da fabricação de perfis

### 3.4 Controles durante a fabricação

A qualidade e durabilidade dos produtos em PVC dependem: (71)

- da regularidade da estrutura do PVC puro (resina);
- da qualidade dos aditivos, de uma formulação adequada, da precisão de sua dosagem e da mistura homogênea com a resina para constituir os compostos;
- do modo de transformação e da regulagem precisa da extrusão.

Esquemáticamente, a figura 3.5 mostra os controles mínimos necessários durante a produção para que o perfil de PVC possa ser considerado satisfatório.

Figura 3.5 Etapas da produção de perfis de PVC rígido

Formalmente esses controles são especificados "pari passu", em cada uma das etapas da produção. O que se nota na literatura é que não há diferenças significativas nem na natureza nem na periodicidade exigida para esses controles em diversos países. Tal fato possibilita a importação/exportação entre eles, atualmente muito comum na Europa.

A seguir serão detalhados os procedimentos de controle adotados dentro do Programa, que são resultados de experiências de vários países e do consenso das empresas participantes.

#### **3.4.1 Condições gerais do Programa de Garantia da Qualidade de Esquadrias de PVC Rígido**

O composto pode ser processado na forma de pó ou de grânulos, desde que a forma utilizada seja a mais adequada às condições de sua transformação e à utilização dos perfis, conforme requisitos mínimos estabelecidos pelas especificações do Programa. As cores devem ser bege, branco ou cinza, em tonalidades claras.

Compostos de composição e origem desconhecida, assim como material reciclado, ou seja, plástico preparado a partir de artigos refugados que foram limpos e remoídos, não podem ser utilizados para fabricação de perfis.

Material reprocessado, isto é, termoplástico preparado de fragmentos já processados, de partes rejeitadas do próprio processo de fabricação de perfis ou de material virgem não padrão ou não uniforme - com composto da mesma classe (ou

tipo) - pode ser usado na própria fabricação de perfis, pelo mesmo fabricante, desde que atenda a todos os requisitos das especificações do Programa. (90,91)

Dependendo de acordo prévio entre fabricante e comprador e com especificações próprias do fabricante (até que sejam elaboradas normas específicas), podem ser fornecidos perfis com as seguintes características especiais:

- a) com material homogêneo em cores distintas das estabelecidas;
- b) com camada externa decorativa, obtida pelo processo de co-extrusão;
- c) com aplicações de filmes ou laminados decorativos;
- d) com aplicações externas de tintas e/ou vernizes decorativos.

Esses perfis especiais devem ter qualidade que possibilite a fabricação de janelas que tenham o desempenho equivalente aos requisitos mínimos estabelecidos pelas Especificações do Programa. (90)

#### 3.4.2 Características de identificação e de constância da qualidade da resina de PVC - o PVC puro

Os controles devem ser efetuados para cada lote de resina recebido. Estes controles devem ser registrados; são eles: (91)

- densidade aparente;
- fluidez;
- granulometria;

- teor de cinzas.

No caso do transformador não possuir os equipamentos necessários para a elaboração dos ensaios, o fornecedor da resina deverá enviar uma ficha contendo estas propriedades para cada lote fornecido. A intervalos maiores, o transformador poderá recolher amostras para realização dos ensaios em laboratório independente.<sup>(91)</sup> Este é o procedimento adotado no Programa.

Após a elaboração do composto deverá ser efetuado um teste de extrusão e os controles descritos em 3.4.3.

### 3.4.3 Características de identificação e de constância da qualidade do composto utilizado para a extrusão dos perfis

Quando do recebimento do composto, fornecido por terceiros, ou após efetuada a mistura pelo transformador, deve-se verificar se o composto está identificado por uma designação (código ou marca) e pelas suas propriedades (e respectivas tolerâncias). Deverá ser efetuado um teste de extrusão em cada lote de composto produzido ou fornecido. As propriedades de identificação estão descritas nos itens 3.4.3.1 a 3.4.3.4 e resumidas na tabela 3.8.<sup>(91)</sup>

As características de identificação são verificadas novamente no produto final, a partir de corpos de prova retirados de perfis principais de janela. A frequência é de 2 vezes por mês quando o composto é produzido no transformador

e de 1 vez a cada dois meses quando o composto é fornecido por terceiros. (91)

#### 3.4.3.1 Densidade

A densidade é frequentemente utilizada no sentido de detectarem-se eventuais variações da estrutura física das amostras, podendo-se a partir dessa determinação estabelecer-se um juízo sobre a homogeneidade do PVC. A densidade é a massa do material por unidade de volume, a uma dada temperatura.

#### 3.4.3.2 Temperatura de amolecimento VICAT

Este ensaio determina a temperatura na qual os termoplásticos começam a amolecer rapidamente. No ensaio é determinada a temperatura, em °C, na qual uma agulha padrão, com uma carga de 50 Newtons, penetra 1mm na superfície do plástico. Nos compostos de PVC rígido utilizados na fabricação de esquadrias o valor da temperatura VICAT varia entre 75°C e 80°C.

#### 3.4.3.3 Verificação do tempo de indução da deidrocloração - estabilidade térmica

Os processos de degradação do PVC, seja por via térmica, seja por via fotoquímica, provocam o desprendimento de ácido clorídrico. A medida da deidrocloração está relacionada com o teor de estabilizador térmico empregado no composto de PVC durante o processamento.

O ensaio consiste em submeter a amostra a uma temperatura de 200°C durante um certo tempo. Os gases liberados pela amostra de PVC borbulham em uma solução aquosa; o teor de ácido clorídrico despreendido pelo PVC é avaliado pela variação do pH da solução aquosa. O resultado do ensaio pode ser representado por uma curva de variação do pH em função do tempo, determinando-se na mesma o ponto de mudança de inclinação da curva ou o tempo necessário para que o pH chegue a 3,8.

Se durante o processamento industrial o PVC foi submetido a uma temperatura elevada durante muito tempo, o tempo de deidrocloração será menor do que o usual para este material, pois o estabilizador térmico terá sido significativamente consumido durante o processamento. (74)

Os corpos de prova devem ser retirados por corte ou puncionamento da parede externa do perfil, de modo que a sua espessura corresponda à espessura total da parede do perfil. (95)

A partir de três determinações de estabilidade térmica, conforme a NBR 7977<sup>(94)</sup>, a variação aceitável em torno do valor nominal fornecido pelo fabricante é de 15%. (91,95)

#### 3.4.3.4 Teor de cinzas

Representa o teor de material volátil presente no PVC e é determinado o resíduo após calcinação da amostra a 850°C.

Tabela 3.8 Resumo dos ensaios de identificação do composto

Propriedade avaliada	Método de ensaio	Tolerância de variação em relação aos valores indicados pelo fabricante. (valor nominal)
Densidade	MB 1160 <sup>(92)</sup>	$\pm 0,03 \text{ g/cm}^3$
Temperatura de amolecimento Vicat	NBR 7139 <sup>(93)</sup> Método B	$\pm 2^\circ\text{C}$
Estabilidade térmica	NBR 7977 <sup>(94)</sup> Método B	$\pm 15\%$
Teor de cinzas	MB - Teor <sup>(59)</sup>	$\pm 5\%$

Há ainda a caracterização das propriedades mecânicas do composto, que deve ser efetuada a partir de corpos de prova retirados dos perfis de janela.

Surgem aqui algumas diferenças de ótica entre as exigências dos países consultados. Na Alemanha, por exemplo, a norma de perfis existente<sup>(95)</sup> compreende apenas a caracterização do PVC modificado, uma vez que é este o único tipo de composto utilizado naquele país, graças a pressão política dos produtores de aditivos. Propõe ainda um ensaio de impacto de ranhura dupla (raio da ranhura  $r = 0,1\text{mm}$ ) que

os demais países europeus não adotam devido à má reprodutividade(\*) e repetitividade(\*\*) do ensaio.(75)

A UEAtc<sup>(91)</sup> propõe a distinção dos dois tipos de composto produzidos:

- tipo A: PVC não modificado;
- tipo B: PVC modificado.

Essa divisão é aceita e utilizada pelos seus países membros em seus documentos normativos; alguns, como a Inglaterra, por exemplo, preferem não discriminar o tipo de PVC na especificação de valores admitidos para as propriedades. Os países membros são: Áustria, França, Inglaterra, Espanha, Portugal, Itália, Irlanda, Países Baixos, Dinamarca, Bélgica, Suécia, Noruega e Finlândia. Nesses países há a utilização dos dois tipos de composto, com a predominância do não modificado.(75)

Nos Estados Unidos não há essa distinção do tipo de PVC; o composto é caracterizado pelas suas propriedades e pelo seu desempenho. Foi este também o critério utilizado no Programa.

-----

(\*) REPETITIVIDADE (r) - valor máximo esperado para a diferença entre pelo menos dois resultados obtidos com a mesma amostra e o mesmo método sob as mesmas condições, tais como: mesmo operador e mesmo equipamento.(96)

(\*\*) REPRODUTIVIDADE (R) - valor máximo esperado para a diferença entre pelo menos dois resultados, obtidos com a mesma amostra e o mesmo método, sob condições ou laboratórios diferentes.(96)

Num primeiro momento o Programa só considerou a resiliência na tração para a caracterização mecânica do composto, uma vez que o equipamento de ensaio correspondente está disponível na maioria das instalações industriais participantes e que essa propriedade é utilizada também para avaliação do envelhecimento, conforme será visto em 3.4.3. Essa característica deve ser verificada duas vezes por semana em amostras retiradas de perfis principais, conforme o método e os valores especificados na Tabela 3.9.

No decorrer do Programa pretende-se acrescentar a resistência à tração e o módulo de elasticidade na tração, conforme recomendam as normas da maioria dos países consultados.

#### 3.4.3.5 Resiliência na tração

Neste ensaio é determinado o comportamento do material plástico tracionado quando submetido ao impacto. O corpo de prova com forma padronizada é submetido ao impacto por meio de um pêndulo calibrado; a energia de ruptura é representada pela perda de energia cinética do pêndulo no impacto que provocar a ruptura do material.

A determinação é efetuada em 10 (dez) corpos de prova para cada temperatura, considerando-se como energia de ruptura a média das determinações realizadas nas temperaturas de 23°C e 0°C (o ensaio a 0°C pode ser executado em câmara fria ou com uma amostra que foi condicionada a esta temperatura e rompida em até 10 segundos após ter sido retirada do ambiente a 0°C).

As propriedades mecânicas exigidas pelos diversos países estão resumidas na tabela 3.9.

Tabela 3.9 Resumo das propriedades mecânicas exigidas do composto

PROPRIEDADE	MÉTODO DE ENSAIO / País	VALORES ESPECIFICADOS
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	ISO R 527 <sup>(97)</sup> Vel 5mm/m Vel 5mm/min UEAtc  ASTM D 638 <sup>(98)</sup> -EUA  BS 2782 <sup>(99)</sup> -INGLATERRA method 306A  NÃO ESPECIFICADO: ALEMANHA BRASIL (Programa)	PVC A - 44 MPa PVC B - 39 MPa  > 34 MPa  40 a 60 MPa
MÓDULO DE ELASTICIDADE NA FLEXÃO OU NA TRAÇÃO	ISO 178 <sup>(100)</sup> -na flexão UEAtc ou ISO R 527 <sup>(97)</sup> na tração UEAtc  ASTM D 638 -na tração EUA <sup>(98)</sup>  BS 2782 - na tração Method 306A INGLATERRA <sup>(99)</sup>  NÃO ESPECIFICADO: ALEMANHA BRASIL (Programa)	PVC A - 3000 MPa PVC B - 2250 MPa  > 2000 MPa  2500 a 3800 MPa

Tabela 3.9 Resumo das propriedades mecânicas exigidas do composto (continuação)

PROPRIEDADE	MÉTODO DE ENSAIO / País	VALORES ESPECIFICADOS
RESISTÊNCIA AO IMPACTO	ALEMANHA INGLATERRA  ASTM D 4226 (101) - EUA  Não especificado: UEAtc BRASIL	está sendo abandonado (substituído por resiliência na tração)  > 4450 J/m
RESILIÊNCIA NA TRAÇÃO	ISO 8256 (102) - UEAtc 23oC - 0oC -  23oC - 0oC -  NÃO ESPECIFICADO: EUA INGLATERRA ALEMANHA  MB-RETRAÇÃO (52) BRASIL 23oC - 0oC -	PVC A ≥600KJ/m <sup>2</sup> ≥400KJ/m <sup>2</sup>  PVC B ≥700KJ/m <sup>2</sup> ≥500KJ/m <sup>2</sup>      ≥650KJ/m <sup>2</sup> ≥450KJ/m <sup>2</sup>

### 3.4.4 Características relativas à durabilidade dos perfis

#### 3.4.4.1 Generalidades

No Programa a durabilidade dos perfis é controlada verificando-se a evolução de quatro propriedades ao longo do tempo:

- resiliência na tração;
- cor;
- estabilidade térmica;
- aspecto.

A UEAtc<sup>(91)</sup> utiliza apenas três propriedades, desconsiderando a estabilidade térmica. Diversos trabalhos publicados demonstram que há uma boa probabilidade de existência da correlação da deidrocloração com o envelhecimento. (77,103,104,105,106) A pesquisa dessa correlação motivou a medição dessa propriedade no Programa.

É consenso entre a UEAtc e a Alemanha a consideração de duas regiões climáticas distintas ( moderada e quente) na Europa, caracterizadas de acordo com a tabela 3.10.

Tabela 3.10 Caracterização de clima para efeito de estudo de durabilidade de PVC rígido(91)

	Clima moderado	Clima quente
radiação solar anual sobre superfície horizontal	< 5GJ/m <sup>2</sup> .ano ( < 3,8kWh/m <sup>2</sup> .dia )	>= 5GJ/m <sup>2</sup> .ano ( >=3,8kWh/m <sup>2</sup> .dia)
Temperatura média do mês mais quente do ano (°C)	< 22	>= 22

Para o clima ser classificado como moderado é necessário que às estatísticas meteorológicas locais indiquem valores de radiação e de temperatura inferiores aos indicados na tabela 3.10.

No Brasil, alguns estudos (107,108) que quantificam a radiação solar sugerem que o País também poderia ser dividido em duas regiões classificadas da mesma forma (predominando a região quente). Apesar disso, os campos de envelhecimento natural do Programa estão localizados somente em cidades com características de clima quente, mais agressivas ao PVC.

Para apreciação da durabilidade são considerados três casos:

**caso a)**

O caso **a** diz respeito às seguintes situações:

- composto novo;

- sistemas de estabilizadores novos, porém testados ( em natureza e em quantidade);
- aditivos modificadores de impacto novos, porém testados;
- mudança de cargas.

A apreciação se efetua após 5 anos de exposição natural conforme MB-EST.INT-N<sup>(55)</sup>, nos campos de envelhecimento do Programa.

Em se tratando de compostos derivados de composições já aprovadas quanto à durabilidade, a apreciação pode ser efetuada com base no ensaio de envelhecimento natural acelerado, que é mais rápido (MB-INT.ACE<sup>(56)</sup>).

**caso b)**

Neste caso se enquadram as modificações da formulação inicial por mudança de uma característica de identificação ou da taxa de estabilizador.

A apreciação se faz após uma exposição natural acelerada de um ano ( em clima particularmente agressivo, conforme definido no método MB-INT.ACE<sup>(56)</sup> )<sup>(90)</sup>. A degradação é acelerada por prateleiras (nas quais os corpos de prova são apoiados) que giram de forma a coletar o máximo de radiação solar durante o dia e pela exposição em locais de alta incidência de radiação e temperaturas médias anuais elevadas. Como exemplo, nos Estados Unidos, um dos locais utilizados para exposição natural acelerada é o deserto do Arizona. No Brasil, o local para essa exposição ainda está em processo de seleção.

**caso c)**

O Programa só avalia pigmentos brancos, cinzas e beges em tonalidades claras. Quando só há mudança de pigmento a avaliação é efetuada após exposição total de 8000MJ/m<sup>2</sup>, na câmara de xenônio, conforme MB-EST.INT-A<sup>(54)</sup>.

**3.4.4.2 Especificações**

O ensaio de envelhecimento natural é descrito no método MB-EST.INT-N<sup>(55)</sup>. Este método foi baseado nos seguintes documentos:

- norma ASTM D 1435<sup>(109)</sup> no que diz respeito às condições de exposição, equipamentos, prateleiras e outros instrumentos necessários em campos de envelhecimento natural;
- norma ASTM D 1898<sup>(110)</sup> concernente às condições estatísticas que devem ser consideradas na amostragem de plásticos;
- UEAtc<sup>(91)</sup> que especifica as condições de aceitação, em relação à durabilidade, de perfis de PVC rígido utilizados como janelas de edificação;
- DIN 16830<sup>(95)</sup> que especifica as condições de aceitação, em relação à durabilidade, de perfis de PVC rígido utilizados como janelas de edificação.

Os corpos de prova para a realização dos ensaios de avaliação descritos devem ser retirados da superfície externa de cada perfil principal e ter as dimensões e formas preconizadas no método MB-RES.TRAÇÃO<sup>(52)</sup>.

O número de corpos de prova a serem retirados é 13 para cada avaliação ( tempo = 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60 meses), sendo que a avaliação final deve ser efetuada após 5 (cinco) anos de exposição.<sup>(91)</sup>

Devem ser conservados em temperatura ambiente e em ambiente não exposto às intempéries, corpos de prova em número igual aos considerados para cada série de avaliação, retirados dos mesmos perfis ou de perfis fabricados no mesmo lote e com o mesmo composto. Esses corpos de prova deverão possuir forma e dimensões idênticas aos que serão expostos, para servir de controle ou testemunho.<sup>(91,95)</sup>

O valor médio da resiliência à tração, medida conforme MB-RES.TRAÇÃO<sup>(52)</sup> em 10 corpos de prova após 5 anos de envelhecimento natural, não deve ser inferior a 250KJ/m<sup>2</sup> e nenhum valor deve ser inferior a 120KJ/m<sup>2</sup>.<sup>(91)</sup>

A partir de três determinações de estabilidade térmica, conforme o método NBR 7977<sup>(94)</sup>, no material não exposto e no material submetido à exposição natural, serão pesquisadas correlações entre os resultados obtidos no material novo e no envelhecido.

A observação visual do corpo de prova lavado com água e sabão, após o envelhecimento natural, não deve revelar sintomas que indiquem deterioração funcional do PVC, tais

como: fissuras, fendas, bolhas ou nítidas alterações de cor. (91,95)

A tabela 3.11 apresenta um resumo das avaliações de envelhecimento natural.

Tabela 3.11 Resumo das avaliações no envelhecimento natural

PROPRIEDADE	MÉTODO DE ENSAIO	VALORES ESPECIFICADOS
DURABILIDADE	MB-EST.INT N <sup>(55)</sup>	RESILIÊNCIA NA TRAÇÃO (MB-RESTRACÃO <sup>(52)</sup> ) VALOR MÉDIO > = 250KJ/m <sup>2</sup> VALOR INDIVIDUAL > = 120KJ/m <sup>2</sup>
		ESTABILIDADE TÉRMICA (NBR 7977 - MÉTODO B <sup>(94)</sup> )
		OBSERVAÇÃO VISUAL SEM BOLHAS, SEM FISSURAS, SEM NÍTIDAS ALTE- RAÇÕES DE COR

No caso da durabilidade natural acelerada, o método MB-INT-ACE<sup>(56)</sup> foi baseado nos seguintes documentos:

- norma ASTM D 1435<sup>(109)</sup> no que diz respeito às condições de exposição de corpos de prova de material plástico em campos de envelhecimento natural;

- norma ASTM D 1898(110) concernente às condições estatísticas que devem ser consideradas na amostragem de plásticos;
- norma ASTM D 4726(90) que especifica as condições de aceitação, em relação à durabilidade, de perfis de PVC rígido utilizados no exterior como portas ou janelas de edificação.

Para a realização do ensaio preconizado no MB-INT.ACE(56) deve ser empregado um número de perfis proporcional ao lote a ser avaliado, conforme descrito no método. Os corpos de prova para realização do ensaio devem ser retirados da superfície externa de perfis principais.

Os corpos de prova devem ter dimensões e formas preconizadas no método MB-RES.TRAÇÃO(52).

O número de corpos de prova a serem retirados é de no mínimo 39, sendo 13 para cada avaliação ( tempo = zero meses, seis meses e um ano). (90)

A avaliação final do composto em desenvolvimento deve ser efetuada após um ano de exposição. (90)

A observação visual dos corpos de prova lavados com água e sabão, após 6 meses e um ano de exposição, não deve revelar sintomas que indiquem deterioração funcional do PVC, tais como: fissuras, fendas, bolhas ou nítidas alterações de cor. (91,95)

As três determinações de estabilidade térmica, conforme a NBR 7977(94), no material novo, após 6 meses de exposição e

após um ano de exposição, destinam-se à pesquisa de correlações entre o material novo e o envelhecido.

O valor médio da resiliência à tração, medida conforme MBRES.TRAÇÃO<sup>(52)</sup> em 10 corpos de prova após 6 meses e um ano de exposição, não deve ser inferior a 390KJ/m<sup>2</sup> e nenhum valor deve ser inferior a 200KJ/m<sup>2</sup>. Estes valores foram obtidos a partir da porcentagem de redução permitida pela ASTM D 4726<sup>(90)</sup>.

A variação de cor em perfis brancos após a exposição, medida conforme ASTM D 2244<sup>(111)</sup>, não deve superar os valores:  $L_H = -4$  a  $+2$ ,  $a_H = -2$  a  $+2$  e  $b_H = -2$  a  $+8$  e ser uniforme ao olho.

Caso os resultados da primeira avaliação ou da segunda, após 6 meses de exposição, não sejam satisfatórios, a exposição poderá ser descontinuada e os perfis produzidos pelo novo processo não devem ser utilizados na fabricação de janelas.

Tabela 3.12 Resumo das avaliações no envelhecimento natural acelerado

PROPRIEDADE	MÉTODO DE ENSAIO	VALORES ESPECIFICADOS
DURABILIDADE	MB-INT.ACE <sup>(56)</sup>	RESILIÊNCIA NA TRAÇÃO (MB-RESTRACÃO <sup>(52)</sup> ) VALOR MÉDIO $> = 390 \text{KJ/m}^2$ VALOR INDIVIDUAL $> = 200 \text{KJ/m}^2$
		ESTABILIDADE TÉRMICA (NBR 7977 - MÉTODO B <sup>(94)</sup> )
		OBSERVAÇÃO VISUAL SEM BOLHAS, SEM FISSURAS, SEM NÍTIDAS ALTERAÇÕES DE COR
		VARIAÇÃO DE COR: $L_H = -4 \text{ A } +2$ $a_H = -2 \text{ A } +2$ $b_H = -2 \text{ A } +8$ (branco)

Finalmente, a avaliação do pigmento, conforme MB-EST.INT-A<sup>(54)</sup>, foi baseada nos seguintes documentos:

- norma ISO 4892<sup>(112)</sup> no que diz respeito às condições de exposição de corpos de prova em câmaras de envelhecimento artificial com lâmpada de xenônio;

- norma ASTM D 1898<sup>(110)</sup> concernente às condições estatísticas que devem ser consideradas na amostragem de plásticos;
- UEAtc<sup>(91)</sup> que especifica as condições de aceitação em relação à durabilidade, de perfis de PVC rígido utilizado como janelas de edificação;
- DIN 16830<sup>(95)</sup> que especifica as condições de aceitação em relação à durabilidade, de perfis de PVC rígido utilizados como janelas de edificação.

A especificação é que uma eventual variação de cor não pode ultrapassar o estágio 3 na escala de tons cinza da Norma ISO 105-Seção A02<sup>(113)</sup>. As eventuais alterações não podem levar à formação de manchas, bolhas, fissuras, escamações ou rachaduras, nem de outros danos significativos na aparência do perfil. A determinação do grau de alteração de cor deve ser feita dentro de 24 horas após concluída a exposição.

No caso de perfis brancos, a variação após a exposição, medida conforme ASTM D 2244<sup>(111)</sup>, não deve superar os valores:  $L_H = -4$  a  $+2$ ,  $a_H = -2$  a  $+2$  e  $b_H = -2$  a  $+8$  e ser uniforme ao olho.

#### 3.4.5 Características relativas à constância da qualidade dos perfis

A constância da qualidade dos perfis deve ser apreciada pelas observações ou medidas descritas a seguir. A periodicidade proposta no Programa para essas observações está indicada na tabela 3.13. Esta periodicidade está mais

rigorosa do que a exigida pelos países consultados porque inicialmente é necessário um maior volume de dados para se conseguir ajustar o processo produtivo. Na medida em que as empresas já tiverem um processo capaz e sob controle, o que já acontece nos países consultados, a periodicidade poderá ser abrandada.

Estes controles deverão ser executados à temperatura ambiente e pelo menos 16 horas após a fabricação do perfil.(95)

Além de tais controles, o transformador deve efetuar, permanentemente ao longo da extrusão, as seguintes observações:(91)

- exame de aspecto dos perfis fabricados ( deformação, brilho, ranhuras);
- exame das dimensões internas e externas através de medição indireta por gabarito;
- verificação da cor por comparação com um padrão.

#### 3.4.5.1 Aspecto

As superfícies dos perfis examinadas visualmente à luz do dia, devem apresentar uma aspecto homogêneo, uma coloração uniforme e constante, serem livres de corpos estranhos, bolhas, rachaduras, fissuras ou outros defeitos. Estrias de extrusão podem ser aceitas desde que em local não visível na montagem da janela e desde que a resistência mecânica não seja diminuída.(90,91,95)

As faces visíveis dos perfis devem ser planas dentro de limites aceitáveis. (91)

O controle do aspecto dos perfis, no que diz respeito à tonalidade e à uniformidade da cor, deve ser feito em cada máquina de extrusão, no mínimo duas vezes por turno de trabalho. Tal controle é efetuado a partir de um exame visual em referência a um padrão do fabricante. (91,95)

#### 3.4.5.2 Desvio da reta

A fim de medir o desvio do eixo longitudinal, um segmento do perfil de  $(1000 \pm 1)$ mm de comprimento é colocado sucessivamente com cada o canto externo sobre uma superfície plana, por exemplo sobre uma placa de desempenho. Nos pontos onde o perfil não tocar a superfície, a distância entre o perfil e a superfície será medida com um instrumento de medição apropriado. (95)

O desvio de reta permitido é de 1mm/m. (91)

#### 3.4.5.3 Dimensões

Os perfis devem ser fabricados nos formatos e dimensões padronizados pelos fabricantes. As tolerâncias estão sujeitas aos seguintes critérios: (ver figura 3.6)

- a)  $\pm 10\%$  sobre a espessura nominal de paredes externas, quando a espessura for maior que 2,5mm;
- b) 0,2mm sobre a espessura nominal de paredes externas, quando a espessura for menor que 2,5mm;

c) + 0,5mm no geral para as dimensões externas dos perfis; (91)

d) para detalhes específicos dos perfis o fabricante deve estabelecer tolerâncias específicas, como por exemplo nas medidas funcionais destinadas à colocação de guarnições, fixação de baguetes ou de acessórios, encaixe do vidro, etc. (95) A UEAtc (91) determina que no caso de ranhuras destinadas a esses fins a tolerância seja de  $\pm 0,3$ mm.

O comprimento padrão para o fornecimento de barras de perfis é de 6 metros e a tolerância de + 1,0% e -0,5%, salvo por acordo específico entre comprador e vendedor.

Os Estados Unidos é o único país, dentre os pesquisados, que especifica que a tolerância das dimensões deve ser acordada entre o comprador e o fornecedor na ordem de compra, ou ainda ser aquela admitida em normas de controle da qualidade da empresa produtora de perfis. (90)

Figura 3.6 Dimensões principais dos perfis

#### 3.4.5.4 Massa

A massa dos perfis por metro linear não deve ter desvio para menos superior a 5% do seu valor nominal. (91)

A massa dos perfis por unidade de comprimento deve ser determinada com precisão de 10g/m. (95)

#### 3.4.5.5 Resistência ao choque a frio

O ensaio consiste em submeter um perfil de comprimento mínimo de 200mm, biapoiado, a um choque de uma massa de aço de 1kg tombando de uma altura de 1 metro. A determinação da resistência ao choque a frio é realizada a temperaturas de 23°C e 0°C, a partir de no mínimo 10 corpos de prova para cada temperatura conforme MB-RES.CHOQUE. (51).

Nos países de clima temperado a temperatura utilizada nesse ensaio é de  $(-10 \pm 1)^\circ\text{C}$  (91,95). Esse ensaio visa simular um impacto quando o perfil está com uma temperatura baixa, na qual o PVC pode apresentar fragilidade ao choque. A temperatura de ensaio é, portanto, uma temperatura típica de inverno. Em discussão com técnicos das empresas participantes do Programa e particularmente com base nas experiências da SOLVAY em regiões de clima quente, considerou-se mais adequada a utilização da temperatura de 0°C para caracterização do inverno no Brasil.

Este ensaio é também efetuado durante a produção, para avaliar o composto; neste caso a temperatura é a ambiente. A especificação é que nenhum corpo de prova pode quebrar a 23°C

(considerada a temperatura ambiente mais frequente) e somente 10% podem quebrar a 0°C.

#### 3.4.5.6 Verificação da gelificação - estabilidade de aspecto ao calor

Distinguem-se dois métodos para verificação de defeitos no processamento: a imersão em um solvente e a colocação em estufa.

O **método de imersão em um solvente** consiste em colocar segmentos de perfis de 200mm de comprimento em acetona ou cloreto de metileno. Dentro da acetona, a imersão dura de duas a três horas, dependendo da espessura do perfil ensaiado; no cloreto de metileno o tempo de imersão é de 20 a 30 minutos. A espessura de perfil máxima para realização da imersão é de 2mm. (91,90)

A **colocação em estufa** consiste em colocar uma seção de perfil de  $(220 \pm 5)$ mm de comprimento sobre uma placa de vidro polvilhada com talco numa estufa aquecida a  $(150 \pm 3)$ °C, com ventilação forçada, durante 30 minutos, de forma que possíveis deformações no perfil durante o ensaio não sejam impedidas. (91,95)

A avaliação em ambos os ensaios é a mesma: após submeter 10 corpos de prova ao ensaio de estabilidade de aspecto ao calor, estes não podem apresentar bolhas, fissuras, rachaduras ou escamações. (90,91,95)

No Programa foi escolhido o método de colocação em estufa, descrito em MB-EST.CALOR<sup>(49)</sup>, dada a maior facilidade de

ensaio e uma vez que a estufa é utilizada em outros ensaios. Além disso o ensaio na estufa é mais rápido do que com solvente e não há limitação para a espessura do perfil ensaiado.

#### 3.4.5.7 Verificação da qualidade da soldagem de um canto soldado

Este ensaio é dividido em duas partes:

- método A: qualidade da costura de solda;
- método B: resistência do canto soldado;
  - método B1: tração;
  - método B2: carrinho.

##### a) **Método A - qualidade da costura de solda;** <sup>(95)</sup>

Para testar a qualidade da costura de solda, as extremidades de duas seções de perfil são soldadas a topo por meio de um elemento térmico. Das paredes das superfícies aparentes dos perfis soldados são cortados, no mínimo, 5 corpos de prova n<sup>o</sup>1 conforme NBR 9622<sup>(114)</sup>, de tal modo que a superfície de união no meio do comprimento útil do corpo de prova se localize transversalmente ao sentido em que se aplicará a tração.

O cordão de solda não deve ser retirado. Os corpos de prova são submetidos a um ensaio de tração conforme MB-TR/MB-SOL<sup>(53)</sup>, à temperatura de 23°C ± 2°C.

Da mesma maneira são testados, como amostras de referência, no mínimo 5 corpos de prova não soldados, obtidos

das seções do perfil. Pela relação entre os valores médios das forças de ruptura dos corpos de prova soldados ( $F_s$ ) e dos corpos de prova de referência não soldados ( $F_{ref}$ ) é calculado o fator de solda de curta duração.

A especificação diz que os corpos de prova devem alcançar um fator de solda de curta duração de no mínimo 0,8.

b) **Método B - resistência do canto soldado:**

b.1 Com dispositivos de ensaio concebidos para aplicação de solicitações predominantemente de tração aos perfis - denominado de agora em diante "**método B1 - tração**"<sup>(91)</sup>

O dispositivo de ensaio consta de um suporte rígido, grampos de fixação, calços e um elemento de carregamento, conforme figura 3.7.

A solda avaliada segundo este método, com equipamento de tração conforme MB-TR/MB-SOL<sup>(53)</sup>, é considerada adequada caso a ruptura do corpo de prova não ocorra totalmente no plano de soldagem e a carga média de ruptura seja ao menos igual à carga nominal declarada pelo fabricante de perfis.

Figura 3.7 Dispositivo de ensaio de resistência do canto soldado método B1 - tração

b.2 Com dispositivos de ensaio concebidos para aplicação de solicitações predominantemente de compressão aos perfis - denominado no trabalho "**método B2 - carrinho**"(91,95)

Para testar a resistência dos cantos, as extremidades de duas seções do perfil cortadas em meia esquadria ( de  $45^\circ$ ) são soldadas por meio de um elemento térmico, de tal modo que seja obtido um ângulo de  $90^\circ \pm 1^\circ$ . Os cordões de solda não devem ser retirados.

O dispositivo de ensaio é mostrado na figura 3.7 e dispõe de carrinhos de apoio móveis.

A especificação é que as forças máximas ( $F_s$ ) aplicáveis ao canto não podem ser menores que o valor limite calculado para a resistência de canto ( $F_t$ ). O valor  $F_t$  pode ser calculado a partir da tensão de referência,  $T = 35\text{N/mm}^2$ , conforme MB-TR/MB-SOL(53).

Figura 3.8 Dispositivo de ensaio de resistência do canto soldado método B2 -carrinho

#### 3.4.5.8 Verificação da estabilidade dimensional - alteração de medida após tratamento térmico

O ensaio é realizado em três seções de perfil de  $(220 \pm 5)$  mm de comprimento. Em cada uma das duas superfícies aparentes de uma seção de perfil é feita uma marca de medição por meio de um risco ou de um furo no meio da largura das superfícies aparentes, a aproximadamente 10mm de distância das duas pontas.

A fim de que a tendência às alterações de comprimento das seções de perfil não seja impedida, as mesmas deverão ser colocadas horizontalmente sobre uma placa de vidro polvilhada com talco. Em seguida, a placa com os corpos de prova é colocada em uma estufa com ventilação forçada, aquecida a  $(100 \pm 3)^\circ\text{C}$  durante 60 minutos.

É avaliada a alteração de comprimento conforme MB-EST.DIM<sup>(50)</sup>, duas vezes por turno, por extrusora. A retração dimensional não pode ser superior a 2%.

#### 3.4.5.9 Verificação da estabilidade de aspecto após simulação de instalação e limpeza

Este método não é recomendado por nenhum país consultado e de fato não é necessário. O Programa especifica este ensaio somente porque os usuários, como desconhecem o produto, requisitam a verificação do comportamento dos perfis de PVC rígido em contato com outros materiais empregados em obra. Assim, o método foi baseado na NBR 7385<sup>(115)</sup>, que trata de ataque químico em revestimentos vinílicos de piso e parede.

As superfícies externas dos perfis e as dotadas de algum tipo de acabamento devem resistir ao ataque químico dos materiais comumente utilizados nas obras. Para simulação de tais condições, deve-se submeter no mínimo cinco corpos de prova a esses ataques, conforme MB-EST.ASP<sup>(57)</sup>. O corpo de prova consiste de pedaços da superfície externa de perfis, com 100mm de comprimento.

Tabela 3.13 Resumo dos ensaios durante a fabricação

PROPRIEDADE	MÉTODO DE ENSAIO / Periodicidade	VALORES ESPECIFICADOS
ASPECTO: COR TONALIDADE E UNIFORMIDADE	EXAME VISUAL EM REFERÊNCIA A UM PADRÃO Duas vezes por turno por extrusora	NENHUMA DIFERENÇA
MASSA DOS PERFIS POR METRO LINEAR	DETERMINAÇÃO EM BALANÇA Duas vezes por turno por extrusora	+/- 5% do valor nominal
CONTROLE DIMENSIONAL	MEDIÇÃO COM PAQUÍMETRO (exceto o comprimento e desvio) Duas vezes por turno por extrusora	+/- 10% da espes- sura das paredes externas para e >= 2,5mm  0,2mm sobre a espessura das pa- redes externas para e < 2,5mm  +/- 0,5mm para dimensões externas  detalhes - tole- râncias fixas por fabricante  desvio da reta < 1mm/m  comprimento de 6,0m + 1,0% 6,0m - 0,5%

Tabela 3.13 Resumo dos ensaios durante a fabricação  
(continuação)

PROPRIEDADE	MÉTODO DE ENSAIO / Periodicidade	VALORES ESPECIFICADOS
ESTABILIDADE DIMENSIONAL	MB-EST.DIM(50) Duas vezes por turno por extrusora	RETRAÇÃO $\leq 2,0\%$
RESISTÊNCIA AO CHOQUE	MB-RES.CHOQUE(51): 23oC - Duas vezes por turno por extrusora	NENHUMA QUEBRA
SOLDABILIDADE	MB-TR/MB-SOL(53) Duas vezes por turno por extrusora	Método B 2 $F > F_t$
SOLDABILIDADE	MB-TR/MB-SOL(53) Uma vez por semana	Método A FATOR DE SOLDA DE CURTA DURAÇÃO $\geq 0,8$ Método B 1 (tração) RUPTURA FORA DO PLANO DA SOLDA
ESTABILIDADE DE ASPECTO AO CALOR	MB-EST.CALOR <sup>(49)</sup> Duas vezes por semana	EXAME VISUAL: SEM BOLHAS, SEM FISSURAS, SEM DESAGREGAÇÃO

Além destes ensaios, efetuados diária ou semanalmente, há ainda os ensaios de identificação do composto ( Vicat, cinzas, estabilidade térmica e densidade), que devem ser repetidos nos perfis duas vezes por mês e apresentar resultados conforme discutido em 3.4.3, tabela 3.8.

3.PERFIL DE PVC RÍGIDO - CARACTERIZAÇÃO.....	43
3.1 Características do PVC (Poli(Cloreto de Vinila))....	44
3.1.1 Desenvolvimento do PVC.....	44
3.1.2 Obtenção do monômero.....	44
3.1.2.1 Obtenção a partir do acetileno - C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (73).....	44
3.1.2.2 Obtenção a partir do etileno C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> .....	45
3.1.3 Polimerização.....	46
3.1.4 Propriedades do PVC.....	50
3.1.5 Degradação do PVC.....	51
3.1.5.1 Degradação térmica (76).....	51
3.1.5.2 Fotodegradação (76,77).....	52
3.1.5.3 Água e vapor de água (71,78).....	53
3.1.5.4 Agentes químicos (78).....	54
3.1.5.5 Agentes biológicos (78).....	54
3.1.5.6 Solicitações mecânicas (78).....	55
3.1.5.7 Comportamento ao fogo (78).....	55
3.2 Composto de PVC rígido.....	55
3.2.1 Materiais componentes.....	56
3.2.1.1 Resina ou polímero - PVC.....	56
3.2.1.2 Estabilizadores térmicos.....	60
3.2.1.3 Lubrificantes.....	64
3.2.1.4 Cargas.....	65
3.2.1.5 Pigmentos.....	65
3.2.1.6 Modificadores de impacto e auxiliares de processamento.....	67
3.2.1.7 Absorvedores de ultravioleta.....	68
3.2.2 Formulação.....	69
3.2.3 Preparação da Mistura.....	73

3.3	Fabricação de Perfis de PVC rígido.....	77
3.3.1	Linha de extrusão.....	77
3.3.3.1	Roscas.....	80
3.3.3.2	Matriz de extrusão.....	87
3.3.2	Calibragem e refrigeração.....	89
3.4	Controles durante a fabricação.....	91
3.4.1	Condições gerais do Programa de Garantia da Qualidade de Esquadrias de PVC Rígido.....	93
3.4.2	Características de identificação e de constância da qualidade da resina de PVC - o PVC puro.....	94
3.4.3	Características de identificação e de constância da qualidade do composto utilizado para a extrusão dos perfis.....	95
3.4.3.1	Densidade.....	96
3.4.3.2	Temperatura de amolecimento VICAT.....	96
3.4.3.3	Verificação do tempo de indução da deidrocloração - estabilidade térmica.....	96
3.4.3.4	Teor de cinzas.....	97
3.4.3.5	Resiliência na tração.....	100
3.4.4	Características relativas à durabilidade dos perfis.....	103
3.4.4.1	Generalidades.....	103
3.4.4.2	Especificações.....	106
3.4.5	Características relativas à constância da qualidade dos perfis.....	112
3.4.5.1	Aspecto.....	113
3.4.5.2	Desvio da reta.....	114
3.4.5.3	Dimensões.....	114
3.4.5.4	Massa.....	116
3.4.5.5	Resistência ao choque a frio.....	116

- 3.4.5.6 Verificação da gelificação -  
estabilidade de aspecto ao calor.....117
- 3.4.5.7 Verificação da qualidade da soldagem  
de um canto soldado.....118
- 3.4.5.8 Verificação da estabilidade  
dimensional - alteração de medida  
após tratamento térmico.....121
- 3.4.5.9 Verificação da estabilidade de  
aspecto após simulação de instalação  
e limpeza.....122

Tabela 3.1 Comparação entre o PVC rígido e outros materiais (75).....	51
Tabela 3.2 Caracterização da massa molecular do PVC.....	58
Tabela 3.3 Pigmentos utilizados comercialmente (87).....	67
Tabela 3.4	
Exemplos de formulação encontrados na literatura.....	71
Tabela 3.5 Problemas mais comuns da extrusão de perfis....	82
Tabela 3.6 Temperaturas típicas de extrusoras de rosca simples - dois estágios com degasagem.....	85
Tabela 3.7 Temperaturas típicas de extrusoras de rosca dupla.....	87
Tabela 3.8 Resumo dos ensaios de identificação do composto.....	98
Tabela 3.9 Resumo das propriedades mecânicas exigidas do composto.....	101
Tabela 3.10 Caracterização de clima para efeito de estudo de durabilidade de PVC rígido (91).....	104
Tabela 3.11 Resumo das avaliações no envelhecimento natural.....	108
Tabela 3.12 Resumo das avaliações no envelhecimento natural acelerado.....	111
Tabela 3.13 Resumo dos ensaios durante a fabricação.....	123

Figura 3.1 Esquema de uma rosca de um estágio(84).....	84
Figura 3.2 Esquema de uma rosca de dois estágios com degasagem.....	85
Figura 3.3 Esquema de rosca dupla.....	87
Figura 3.4 Equipamentos da fabricação de perfis.....	90
Figura 3.5 Etapas da produção de perfis de PVC rígido.....	92
Figura 3.6 Dimensões principais dos perfis.....	115
Figura 3.7 Dispositivo de ensaio de resistência do canto soldado método B1 - tração.....	120
Figura 3.8 Dispositivo de ensaio de resistência do canto soldado método B2 -carrinho.....	121

#### 4. JANELAS DE PVC RÍGIDO - CARACTERIZAÇÃO

Historicamente as janelas evoluíram do conceito de serem "os buracos nas paredes" de habitações primitivas para funcionarem como elemento fundamental na fachada de um edifício. Entre estes dois conceitos há uma infinidade de variações no projeto de janelas ao longo de seu desenvolvimento. Indubitavelmente diferenças no clima, métodos estruturais e materiais disponíveis têm uma importante participação nas variações das janelas, num dado momento, mas os projetos também sofrem uma forte influência dos costumes, da moda, de tendências arquitetônicas e da tradição.

Atualmente é dada maior atenção ao desempenho dos componentes de edificações, de forma que eles podem ser projetados para preencherem exatamente as funções desejadas: novos sistemas e materiais podem ser colocados em uso a partir da avaliação dos requisitos exigidos, sem que necessariamente essa utilização seja a tradicional. (116)

As esquadrias de PVC já tem um história de desempenho no mundo, mas são pouco difundidas no Brasil. O presente capítulo aborda as características que garantem a qualidade destas esquadrias, bem como as técnicas de fabricação, controles e procedimentos de instalação em obra.

##### 4.1 Requisitos da qualidade de janelas

Para que a janela possa ter um comportamento satisfatório, é necessário que ela atenda a certas exigências da qualidade, que podem ser assim classificadas (117):

- *Exigências de Segurança*: envolvem comportamento mecânico e comportamento ao fogo;
- *Exigências de Habitabilidade*: envolvem os aspectos de estanqueidade, higrotermia, acústica, aspecto e manobras;
- *Exigências de Durabilidade*: dizem respeito à conservação das propriedades e aos aspectos de manutenção e reparos;
- *Exigências da Qualidade dos dispositivos complementares de estanqueidade e dos acessórios*.

#### 4.1.1 Exigências de Segurança

Na sua aplicação prática, as janelas são submetidas a numerosas solicitações mecânicas, térmicas e eventualmente solicitações devidas a incêndios. O comportamento da janela face a estas solicitações depende da concepção do perfil, da qualidade de sua transformação (extrusão, no caso de perfis de PVC), das junções entre os perfis do caixilho e das características intrínsecas do material do perfil. (118)

Para a verificação da qualidade da extrusão são efetuados os ensaios de verificação da gelificação (item 3.4.5.6), de estabilidade dimensional (item 3.4.5.8), duas vezes por semana, e o de estabilidade térmica (item 3.4.3.3), duas vezes por mês, nas fábricas de perfis de PVC rígido. As demais propriedades verificadas serão discutidas em cada um dos requisitos de segurança.

#### 4.1.1.1 Comportamento mecânico

A janela, do ponto de vista do comportamento mecânico, deve resistir a cargas devidas aos agentes atmosféricos, aqui incluídos vento, temperatura e umidade, às vibrações, aos esforços introduzidos pelos demais componentes do edifício, provenientes da movimentação dos mesmos ao longo do tempo e esforços devidos ao uso, sem deterioração nem deformações que prejudiquem seu funcionamento. (117)

A rigidez de um perfil é função do módulo de elasticidade e da fluência do material utilizado. A deformação instantânea de um perfil sob a ação de uma carga externa é inversamente proporcional ao módulo de elasticidade. No caso da fluência, a deformação aumenta sob carga constante, meramente em função da sua duração. (118)

O módulo de elasticidade de um material é medido na tração ou na flexão. O módulo do PVC rígido varia de 2250 a 3300MPa e é um valor baixo em relação aos valores dos outros materiais de janelas (ver tabela 3.1). Em função disto, os perfis de PVC devem ser mais robustos e, em janelas de grandes dimensões, torna-se necessária a introdução de reforços metálicos.

O diagrama da figura 4.1 apresenta uma curva de variação do módulo de elasticidade na flexão (E) com a temperatura em um composto comercial de PVC rígido não modificado.

Figura 4.1 Diagrama representando a variação do módulo de elasticidade  $E$  com a temperatura em um composto comercial. (118)

O diagrama da figura 4.2 apresenta curvas das deformações de fluência de um composto comercial de PVC rígido em função da duração das cargas e para diferentes temperaturas.

Figura 4.2 Diagrama representando curvas das deformações de fluência de um composto comercial de PVC rígido não modificado em função da duração das cargas e para diferentes temperaturas. (118)

**a. Cargas devidas aos agentes atmosféricos: vento, temperatura e umidade**

**.Vento**

As condições de exposição a que uma janela será submetida são decorrentes das máximas pressões dos ventos incidentes sobre ela que são função da velocidade básica do vento, da sua posição em relação à envoltória externa do edifício, da sua altura em relação ao solo e da localização topográfica ou regional do edifício.

A velocidade básica do vento é a velocidade de uma rajada de 3 segundos, excedida na média uma vez em 50 anos, medida a 10 metros acima do terreno em campo aberto e plano. A metodologia para determinação das pressões exercidas pelo vento sobre um edifício é estabelecida pela NBR 6123 (119) e está no anexo da norma brasileira de janelas NBR 10821 (120).

Para se determinar a pressão efetiva atuante sobre a janela é necessário multiplicar a pressão dinâmica do vento por um coeficiente que leve em conta a forma do edifício e a posição da janela no mesmo e os fatores aerodinâmicos, a fim de prever efeitos combinados de sobrepressão e sucção. A norma NBR 10821 (120) adota o valor de 1,5, que pode ser considerado adequado para a maioria das possíveis posições da janela no edifício. Em casos excepcionais de janelas localizadas em cantos de edifícios muito altos é necessário o cálculo deste coeficiente.

As pressões da norma que estão indicadas na figura 4.3 referem-se à janelas instaladas a 10 metros de altura, num edifício localizado num terreno sem obstruções; de maneira aproximada, essas pressões podem também representar uma série de outras situações, por exemplo uma janela a 30 metros de altura, num edifício localizado em terreno com relativa presença de obstruções (pequenas cidades, subúrbios de grandes cidades, etc).

Deve-se ter em mente que a janela não deve , quando submetida às pressões de vento características do local de implantação do edifício, ter prejudicado o seu desempenho quanto às condições de funcionamento e de estanqueidade nem sofrer deformações residuais superiores aos valores especificados.

No Programa, as janelas cujos projetos já estão testados, aprovados e em uso são ensaiadas 2 vezes ao ano.

Figura 4.3 Esquema do ensaio de pressões efetivas atuantes sobre a janela (120,121)

#### **.Variações de temperatura e umidade**

Atualmente a norma brasileira não possui exigências quanto a variações de temperatura e umidade. No entanto, a janela deve ser concebida e constituída de materiais e componentes tais que as variações dimensionais devidas às mudanças de temperatura e umidade do meio ambiente não levem à ruptura de suas partes nem prejudiquem seu funcionamento normal.(122)

O Programa de Garantia da Qualidade de Esquadrias de PVC Rígido visando atender a este critério, exige a verificação diária das seguintes propriedades, já discutidas no capítulo 3:

##### *- Resistência ao choque a frio*

Esse ensaio visa simular um impacto quando o perfil está submetido a baixa temperatura, na qual o PVC pode apresentar fragilidade ao choque, conforme já discutido no item 3.4.5.5.

##### *- Deformação pela ação do calor*

Caracteriza-se habitualmente a aptidão do PVC a resistir às deformações sob a ação do calor pela medida da temperatura de amolecimento Vicat, medida conforme NBR 7139 (93) - método B, para identificação e controle do composto (item 3.4.3). Esta temperatura varia de 75°C a 80°C, sob a ação de uma carga de 50 Newtons.

- *Comportamento em presença de água e de vapor de água* (71,78)

A água e o vapor de água, bem como a atmosfera marítima não são agentes agressivos ao PVC rígido utilizado para perfis de janelas. (item 3.1.5.3)

#### **b. Esforços devido ao uso - operações de manuseio**

Com relação à resistência a operações de manuseio (esforços devidos ao uso), a exigência da NBR 10821 (120) é que sob a ação das cargas aplicadas de forma a simular operações da utilização normal ou acidental de cada tipo de janela, a janela não deve apresentar deformações permanentes acentuadas, ruptura de vidros ou degradação de qualquer dos seus componentes. Esses ensaios são: resistência ao esforço torsor; resistência ao esforço vertical no plano da folha (deformação diagonal); arrancamento das articulações; comportamento sob ações repetidas de abertura e fechamento; resistência da travessa inferior à deflexão; resistência ao esforço horizontal no plano da folha, com um ou dois vértices imobilizados; resistência à flexão; resistência ao esforço vertical no plano da folha, com um ou dois vértices imobilizados; resistência do sistema de travamento da folha. As figuras 4.4 a 4.8 ilustram alguns desses ensaios, com o valor das cargas aplicadas para cada tipo de janela. No Programa, as janelas cujos projetos já estão testados, aprovados e em uso são ensaiadas 2 vezes ao ano.

Figura 4.4 Esquema do ensaio de arrancamento das articulações  
(120,121)

Figura 4.5 Esquema do ensaio de resistência ao esforço  
vertical no plano da folha (120,121)

Figura 4.6 Esquema do ensaio de resistência ao esforço vertical no plano da folha com um ou dois vértices imobilizados (120,121)

Figura 4.7 Esquema do ensaio de resistência à flexão  
(120,121)

Figura 4.8 Esquema do ensaio de esforço torsor (120,121)

**c. Esforços introduzidos pelos demais componentes do edifício, provenientes da movimentação dos mesmos ao longo do tempo**

Este é outro critério que a norma brasileira não possui, e que poderia ser assim enunciado:

"A janela, notadamente seu sistema de fixação, deve ser tal que permita absorver os esforços introduzidos pelos demais componentes do edifício, provenientes da movimentação dos mesmos ao longo do tempo, sem que haja ruptura de suas partes ou seu funcionamento normal seja prejudicado." (117)

Na verificação do atendimento a este critério, o Programa passa por duas linhas básicas:

*- verificação da qualidade da soldagem de um canto soldado*

Este ensaio é dividido em duas partes, conforme visto em 3.4.5.7.

**- método A - qualidade da costura da solda**

Este é um ensaio de tração para verificação da solda

**- método B - resistência do canto soldado:**

**- "método B1 - tração" (91)**

Esse ensaio tem por finalidade a determinação do tipo de ruptura ocorrido na solda e o seu respectivo valor.

**- "método B2 - carrinho" (91,95)**

Esse ensaio tem por finalidade a comparação entre os valores teóricos de ruptura, os valores obtidos através dos

ensaios e a determinação do tipo de ruptura ocorrida na solda. Esse método consiste na aplicação de uma carga sobre um canto de esquadria, conforme discutido em 3.4.5.7.

- *determinação do número e posicionamento das fixações das janelas.*

Para cumprir esta exigência, o Programa de Garantia da Qualidade de Esquadrias de PVC Rígido, elaborou um procedimento de instalação em obra (NB-INS.JANELA (48)), determinando as fixações e tolerâncias que devem ser adotadas.

As fixações do caixilho de PVC ou contramarco sobre o vão são feitas por meio de grapas ou parafusos de ancoragem e devem ser calculadas em função das seguintes solicitações: (123,124)

- a) peso do caixilho de PVC;
- b) peso do vidro;
- c) cargas resultantes da utilização da janela;
- d) cargas resultantes dos efeitos do vento.

Assim sendo, as fixações devem ser distribuídas de maneira uniforme ao longo de cada lado do caixilho de PVC, sendo que a distância entre duas fixações sucessivas no perímetro do vão não deve ultrapassar 700mm (123), conforme figura 4.9.

Deve haver um elemento de fixação a uma distância máxima de 150mm e mínima de 100mm, de cada ponto do caixilho de PVC em que haja dobradiças, rodas, braços, fechos, hastes de

cremona ou qualquer outro acessório que transmita uma carga localizada. (123)

A distância entre o canto e a fixação deve ser de 100 a 150mm nos perfis verticais do caixilho de PVC (ombreira do marco) e de no máximo 700mm nos perfis horizontais (verga e peitoril do marco). O número mínimo de fixações por caixilho de PVC é dado na tabela 4.1: (124)

Tabela 4.1 Número mínimo de fixações

semiperímetro do caixilho	Número mínimo de fixações
$\geq 1,50\text{m}$	6
$< 1,50\text{m}$	4

Quando houver previsões de deformações estruturais na obra, deve-se tornar o caixilho de PVC independente da estrutura através de juntas de movimentação estanques. (91)

Cotas: A = distância entre fixações ou entre o canto e a  
fixação na verga e no peitoril do marco:  $\leq 700\text{mm}$ ;  
E = distância entre o canto e a fixação nas ombreiras  
do marco: 100 a 150mm;  
P = distância entre acessório e fixação: 100 a 150mm.

Figura 4.9 - Disposição das fixações (123)

#### **d Esforços introduzidos por vibrações**

Este é outro critério que a norma brasileira não possui, e que poderia ser assim enunciado:

"As vibrações produzidas pela circulação ou ação do vento não devem ocasionar ruptura nem deterioração de nenhum componente da janela, notadamente daqueles que possam trazer danos sérios, como por exemplo o envidraçamento." (117)

Para evitar que as vibrações possam causar danos são necessários alguns cuidados em relação ao envidraçamento que vão desde o dimensionamento dos rebaixos até a colocação das chapas de vidro, conforme será discutido em 4.2.10.

##### 4.1.1.2 Comportamento ao fogo

Em relação à segurança contra o fogo, a janela deve ser considerada tanto dentro do contexto do edifício quanto isoladamente.

No contexto do edifício a janela pode ser utilizada pelo usuário para deixar o local incendiado; para isso, no projeto deve ser prevista a existência, em cada andar e em cada apartamento, de uma janela voltada para o exterior do edifício, com dimensões que permitam a passagem de um adulto e com espaço suficiente para as operações de salvamento.

Quanto à propagação do fogo, a janela, constituída fundamentalmente por placas de vidro, tem comportamento frágil, pois em poucos minutos o vidro se rompe, possibilitando a passagem do fogo originado em um andar para andares contíguos, ou mesmo para edifícios vizinhos. Assim

sendo, é muito importante promover a compartimentação vertical do edifício a fim de diminuir a propagação do fogo entre andares adjacentes.

No contexto da janela isoladamente, o ponto a ressaltar quanto à segurança contra o fogo refere-se à contribuição de seus materiais constituintes para a propagação da chama e geração de fumaça e gases tóxicos. (122)

Os produtos de PVC rígido, incluindo as janelas, caracterizam-se pelo seguinte comportamento em relação ao fogo, conforme visto no item 3.1.5.7: (78)

- são auto-extinguíveis, ou seja, se houver a inflamação de um perfil rígido de PVC, o fogo se extinguirá sem que haja a necessidade de combate por meio de extintores;
- a inflamação é difícil;
- são de baixa combustibilidade (combustível é qualquer elemento que alimente o fogo). O PVC, além de não ser um bom alimentador do fogo, possui a característica de somente queimar quando colocado em contato direto com a chama. Não há queima do PVC por efeito do calor ou de faíscas;
- não ocorre propagação superficial da chama, a não ser em presença de uma chama externa: este comportamento, associado ao fato do PVC ser autoextinguível, implica que o fogo pode ser combatido diretamente nos materiais combustíveis propagadores do fogo ao PVC, já que eliminada a chama, o fogo no PVC se apagará;
- emissão de fumaça de características ácidas, cuja opacidade, no que diz respeito à composição química do

material, é baixa: a densidade da fumaça depende das demais condições da combustão (temperatura do ambiente, quantidade de oxigênio, radiação incidente sobre o material, duração do incêndio, etc);(125)

- o gás resultante da combustão, o qual contém ácido clorídrico, é tóxico; no entanto, o HCl possui um odor característico que serve de alerta aos ocupantes.(126)

#### 4.1.2 Exigências de Habitabilidade

As exigências de habitabilidade referem-se aos aspectos de estanqueidade; higrotermia - isolação térmica e condensação; ventilação, iluminação, acústica, aspecto, manobras, limpeza e manutenção.

##### 4.1.2.1 Estanqueidade à água

Para o estabelecimento do critério relativo à estanqueidade à água, deve-se considerar uma condição climática crítica, representada pela ação simultânea de chuva e de vento. Tal fato justifica-se porque a penetração de água para o interior do edifício ocorre sobretudo pela ação do vento, fluindo a água através de frestas ou juntas mal vedadas ou que se abrem quando há deformação dos seus perfis, em função da pressão exercida pelo vento.

Outro aspecto que deve ser considerado é o tipo de penetração de água que se admite quando a janela é submetida às pressões de vento. Destacam-se dois tipos: o vazamento, caracterizado pelo aparecimento de gotas ou filetes de água

na face interna da janela e o escorrimento, caracterizado pelo aparecimento de um filete de água contínuo que, transbordando da janela, flui pela parede.

Figura 4.10 Esquema do ensaio de estanqueidade à água  
(120,121)

Na NBR 10821 (120), considerando a insuficiência de dados meteorológicos sobre precipitação e ventos, foram adotados como limites de pressão para verificação de estanqueidade à água, os valores de 5% e 10% da máxima pressão de vento atuante sobre a janela; para os valores de 5% da máxima

pressão de vento atuante, a janela não deve apresentar nenhum tipo de vazamento e para 10% não deve apresentar escoamento de água pela sua face interna.

A pressão de vento atuante é considerada, neste caso, com um coeficiente de forma de 1,1, condição mais real na ocorrência de chuva onde é normal que a maioria das janelas dos edifícios estejam fechadas, reduzindo conseqüentemente a sucção que se desenvolve internamente ao edifício.

A vazão de água incidente adotada é de 4 l/min.m<sup>2</sup>, para ambas as pressões.

Figura 4.11 Esquema de ensaio de permeabilidade ao ar  
(120,121)

#### 4.1.2.2 Permeabilidade ao ar

Pela norma vigente, sob pressão de 135Pa a penetração de ar através de uma janela está limitada aos valores indicados na figura 4.11.

Este critério é particularmente importante em regiões de clima frio e em edificações em que se utiliza condicionamento artificial de ar.

#### 4.1.2.3 Isolação acústica

A norma brasileira possui uma exigência em relação à isolação sonora de janelas que é função das condições de exposição ao ruído e das condições de tolerância do usuário. Assim, uma janela localizada por exemplo num hospital na Av. Paulista deve ter uma classe de transmissão sonora - CTS (indicador de desempenho: quanto maior o valor de CTS menor o ruído que adentra o ambiente) bem maior do que uma janela localizada numa lanchonete da mesma avenida. Para o atendimento a este critério, deve-se ter conhecimento de que numa janela a isolação acústica depende fundamentalmente:

- *do tipo de vidro utilizado.*

A influência da espessura dos vidros e da utilização de vidro simples e duplo pode ser visualizada na tabela 4.2.<sup>(75)</sup>

Tabela 4.2 Influência da espessura e da utilização de vidro duplo na isolação acústica de janelas

<b>VIDRO SIMPLES</b>		<b>2 VIDROS SIMPLES DE 2,5mm DE ESPESSURA SEPARADOS POR UM ESPAÇO DE AR</b>	
Espessura do vidro (mm)	Isolação acústica (dB)	Espaço de ar (mm)	Isolação acústica (dB)
2,8	25	3	33
4	27	6	35
6	29	12	38
10	31	25	42
12	33	50	46
20	36	125	49
		200	53

O tipo de vidro também modifica os valores de isolação sonora; assim, o vidro simples, o laminado, o temperado e o aramado têm valores diferentes de isolação.

*- do modo de colocação e fixação do vidro*

As guarnições do vidro devem ser contínuas e compressíveis, de forma que se evite a formação de frestas. Os vidros devem ser instalados sobre calços de material plástico ou acusticamente isolante.

A janela de PVC rígido tem seus panos de vidro fixos através de guarnições de material sintético compressível, que garante um desempenho acústico bem superior à massa de vidraceiro e outros materiais comumente utilizados na fixação de vidro (item 4.1.4). Os calços são de borracha ou de madeira, garantindo boa isolação acústica (item 4.2.10.3).

- *da estanqueidade entre o marco e as folhas e entre o marco ou o contramarco e a alvenaria*

Evidentemente, quanto menor for a permeabilidade ao ar, melhor o desempenho acústico das janelas. No caso das janelas de PVC, a estanqueidade dada pelos cantos soldados contribui para um bom desempenho acústico.

As guarnições utilizadas entre o marco e as folhas fixas e móveis devem garantir estanqueidade e impedir a formação de frestas.

O reforço da vedação na interface caixilho/parede deve ser tanto mais cuidadoso quanto mais críticas forem as condições de ruído e de tolerância no local de utilização da janela. Este reforço pode ser efetuado com diversos materiais que impedem a formação de frestas; entre eles, destaca-se o silicone, que é o mais utilizado para janelas de PVC (item 4.4.8).

- *do tipo de material que constitui o caixilho.*

O PVC, dentre os materiais hoje disponíveis para fabricação de caixilhos, é o que possui maior poder de absorção sonora; isto quer dizer que uma onda sonora é retida por atrito ao atingir o PVC, perdendo parte de sua energia. (127)

Além dos requisitos acima, a janela deve possuir dispositivos que permitam a absorção de vibrações de suas partes que pudessem prejudicar o conforto acústico dos

usuários, como por exemplo os calços de envidraçamento (item 4.2.10.3) e guarnições (item 4.1.4) adequados. (117)

#### 4.1.2.4 Ventilação

A ventilação tem por funções: remover o vapor d'água dos ambientes com o objetivo de evitar a condensação nas superfícies ou no interior dos componentes, possibilitar a troca de calor entre os meios interno e externo e facilitar a secagem das superfícies.

O esquema abaixo (figura 4.12) relaciona a ventilação com outras características da edificação.

Figura 4.12 Inter-relações entre a ventilação e a salubridade, durabilidade e conforto (129)

Os parâmetros que caracterizam o desempenho de uma janela em termos de ventilação são: (128)

- posicionamento e dimensões relativas das aberturas de entrada e saída de ar;
- área útil da janela para passagem de ar;
- possibilidade de controle da área de passagem do ar;
- possibilidade de direcionamento do fluxo de ar;
- possibilidade de separação dos fluxos de ar quente e frio.

Para que se tenha uma boa ventilação do ambiente é necessária a obediência a duas condições básicas:

- escolha correta da janela, em função do ambiente considerado;
- estudo da colocação das janelas em local adequado, observando as correntes de ar.

A figura 4.13 descreve cada tipo de janela e as características de ventilação e operação.

Figura 4.13 Características de ventilação e operação para cada tipologia de janelas (130)

Figura 4.13 Características de ventilação e operação para cada tipologia de janelas (continuação) (130)

#### 4.1.2.5 Higrotermia

##### **. *Isolação térmica***

A isolação térmica é desejada não só para proteger os ambientes das variações climáticas externas como também para reduzir ou eliminar as trocas de calor com o meio externo, através de vários componentes do edifício, inclusive de janelas. Essas trocas podem gerar custos adicionais de aquecimento ou resfriamento e, é claro, desconforto. (127)

Sob este aspecto, a janela deve, de modo geral, proporcionar o maior ganho possível de energia solar durante o dia e a menor perda possível de calor durante a noite, no inverno, e o oposto em condições de verão. (131)

As perdas ou ganhos de calor são proporcionais à diferença entre as temperaturas do ar exterior e interior e ao coeficiente global de transmissão de calor da janela. Quanto menor este coeficiente, maior a capacidade de isolação térmica da janela. A tabela 4.3 (131) contém os valores desse coeficiente para alguns tipos de vidro de janelas, com e sem sombreamento.

Analogamente à isolação acústica, a isolação térmica é tanto maior quanto menor for a permeabilidade ao ar de uma janela, depende também dos vidros, da calafetação caixilho/parede e do próprio material dos perfis. Quanto à calafetação, às guarnições e à permeabilidade valem as mesmas observações efetuadas em 4.1.2.3.

Tabela 4.3 Coeficiente global de transmissão de calor para alguns tipos de envidraçamento, dado em  $W/m^2\text{°C}$  (131)

Tipos de vidros (vidros planos)	Sem dispositivos de sombreamento		Com dispositivos de sombreamento	
	inverno	verão	inverno	verão
simples, incolor	6,2	5,9	4,7	4,6
duplos, incolores				
espaço de ar de 5mm*	3,5	3,7	3,0	3,3
6mm*	3,3	3,5	2,7	3,1
13mm**	2,8	3,2	2,4	3,0
triplos, incolores				
espaço de ar de 6mm**	2,2	2,5	1,8	2,3
13mm***	1,8	2,2	1,5	2,0

\* espessura dos vidros igual a 3mm

\*\* espessura dos vidros igual a 6mm

\*\*\* vidros externos com 6mm de espessura e vidro intermediário com 3mm de espessura.

Quanto ao material do caixilho, o PVC é, dentre os materiais disponíveis para fabricação de caixilhos, o melhor isolante térmico, conforme apresentado na tabela 3.1.

### . Condensação

Janelas utilizadas em regiões onde a condensação pode ocorrer nas superfícies envidraçadas, devem possuir dispositivos de recolhimento e escoamento da água condensada para o exterior do edifício. (122)

O Programa prevê que os rebaixos devam ser projetados prevendo-se um número de drenos que impeça o escoamento da

água condensada para o interior da edificação conforme será discutido em 4.2.10.1.

#### 4.1.2.6 Iluminação

A iluminação através das janelas tem por função o atendimento ao conforto visual e luminoso através da luz natural, diminuindo, dessa forma, a necessidade de iluminação artificial.

No caso de janelas de dormitórios, devem ser previstos dispositivos que limitem a entrada de luz natural a níveis aceitáveis para o sono.

Para que haja um bom desempenho das janelas quanto à iluminação é necessário atender a alguns requisitos ligados mais ao projeto e ao envidraçamento do que propriamente ao material dos perfis. Entre esses aspectos podem ser citados:

- dimensões: grandes janelas reduzem a necessidade de iluminação artificial. Entretanto, também implicam uma troca maior de energia térmica, provocando desconforto tanto no verão (calor) quanto no inverno (frio). Janelas pequenas limitam a visão para o exterior e levam a maior necessidade de iluminação artificial.

As dimensões ideais da janela variam de caso para caso, já que dependem das necessidades dos ocupantes, da disponibilidade de luz natural do local e das características do entorno. (132)

- posicionamento: o bom posicionamento da janela é muito importante a fim de determinar uma distribuição favorável da luz.
  
- orientação da janela em relação a luz solar: as janelas podem ser orientadas de modo a receber direta ou indiretamente a luz solar.

Se os raios solares incidirem diretamente na janela, ocorrerá um acúmulo de energia térmica. Entretanto, a incidência direta dos raios solares poderá provocar ofuscamento nas superfícies de trabalho.

A incidência indireta dos raios solares (luz difusa) é conseguida com o uso de proteções móveis ou fixas para o redirecionamento desses raios. A luz difusa possibilita uma iluminação uniforme e confortável.

- manutenção: deve-se proceder a limpezas frequentes, mormente dos vidros, para não prejudicar a quantidade de luz que atravessa a janela.
  
- refletância: a distribuição da luz natural em um ambiente não é só função das características da janela, mas também da refletância das superfícies internas do recinto. Sob este ponto de vista, é aconselhável, para que se tenha uma boa iluminação, que os ambientes sejam claros. (132)

- obstruções exteriores: a existência de obstruções exteriores que impeçam a luz direta é aconselhável, desde que não reduza excessivamente a luz difusa. Deve-se dar atenção especial às grades, árvores, edifícios, muros, etc..

#### 4.1.2.7 Aspecto e manuseio

O aspecto da superfície da janela deve ser uniforme, sem descontinuidades acentuadas e sem deformações excessivas.

A janela deve ser concebida e executada de tal forma que as operações de manuseio (abertura, fechamento e travamento das folhas) não exijam esforços excessivos do usuário. (122)

#### 4.1.3 Exigências de Durabilidade

A atual norma NBR 10821 (120) prevê a verificação da durabilidade potencial da janela apenas no que se refere ao seu funcionamento; assim sendo, através dos ensaios de abertura e fechamento (ciclos de utilização), verifica-se o comportamento em uso de componentes como roldanas, gaxetas, articulações, etc.

Do ponto de vista dos materiais constituintes dos perfis, é necessário, portanto, o estabelecimento de parâmetros que assegurem a adequada durabilidade da janela quando submetida aos diferentes agentes agressivos (raios ultravioleta, atmosferas ácidas, agentes biológicos, etc.) que podem ocorrer durante a sua vida útil. (74)

No caso dos perfis de PVC, seu comportamento face a agentes agressivos foi descrito no capítulo 3, onde foram discutidos:

- Degradação térmica (item 3.1.5.1);
- Fotodegradação (item 3.1.5.2);
- Água e vapor de água (item 3.1.5.3);
- Agentes químicos (item 3.1.5.4);
- Agentes biológicos (item 3.1.5.5).

No Programa a durabilidade dos perfis é controlada acompanhando-se a evolução ao longo do envelhecimento de quatro propriedades, quais sejam: a resiliência na tração; a cor; a estabilidade térmica; o aspecto, conforme discutido em 3.4.4.

A característica comum aos campos de envelhecimento natural do Programa é a localização em cidades com alta radiação solar. As demais características são variáveis em função dos agentes agressivos investigados: cidades litorâneas, montanhosas, com nível alto de poluentes, etc..

Além do envelhecimento, as exigências de durabilidade dizem respeito à manutenção e reparos.

É muito importante que uma janela atenda de forma satisfatória aos requisitos "facilidade de limpeza" e "manutenção", tanto no que se refere ao tempo gasto com esse trabalho e ao aspecto final da janela, quanto no que se refere à segurança da pessoa que realiza essa tarefa.

Os caixilhos de PVC têm como característica a extrema facilidade de limpeza e manutenção. Para que se consiga um

bom desempenho da janela em relação a esses requisitos é necessária somente uma lavagem periódica com água e sabão.

Além dos perfis, os acessórios, as fixações e os dispositivos de estanqueidade devem ser de fácil reposição e ter compatibilidade físico-química com o PVC e entre si, conforme item 4.1.4.

#### 4.1.4 Qualidade dos dispositivos complementares de estanqueidade e dos acessórios.

No Programa estabeleceram-se as seguintes exigências para esses dispositivos:

##### 4.1.4.1 Guarnições

As guarnições utilizadas na fabricação de janelas de PVC (cantos de envidraçamento, encontros entre partes móveis e fixas, juntas lineares, etc) devem ser compatíveis com os perfis de PVC.

Não se permite a utilização de "massa de vidraceiro" (mastique à base de óleo de linhaça) e mastiques oleoplásticos como elementos de fixação e vedação dos vidros em janelas de PVC, face a problemas de aderência e compatibilidade química.<sup>(133)</sup> Para tanto devem ser utilizadas gaxetas de borracha sintética como o EPDM (etileno propileno), Neoprene (policloropreno) ou borracha de silicone.

As guarnições de encosto, colocadas entre as partes móveis e no encontro entre partes móveis e fixas (juntas abertas),

são constituídas por escovas perimétricas duplas com felpas de polipropileno, cujas cerdas devem ter altura variável conforme o tipo de janela.

Figura 4.14 Posicionamento das guarnições na esquadria.

As guarnições de estanqueidade para calafetagem entre a alvenaria e o caixilho devem ser imunes aos efeitos dos movimentos diferenciais. Em particular, o enchimento à base de ligante hidráulico deve ser desconsiderado tendo em vista a fissuração inevitável face à ausência de aderência entre o enchimento e o PVC. (133)

Em todo o perímetro do contato caixilho/alvenaria deve ser efetuada uma calafetagem eficiente; recomenda-se a utilização de silicone.

A figura 4.14 indica o posicionamento das guarnições na esquadria.

#### 4.1.4.2 Acessórios

Os acessórios de manobra, comando e travamento devem ter qualidade e durabilidade compatíveis com as dos perfis de PVC rígido.

Os acessórios devem satisfazer a normas específicas e às condições aqui expostas.

Os trincos e fechos devem obedecer à especificação própria (NBR 7177 (134)), assim como as cremonas (NBR 7805 (135)); os materiais constituintes desses acessórios para as janelas de PVC são: aço inoxidável, latão cromado, alumínio anodizado, poliamida, ou outro plástico de engenharia.

As roldanas podem ser constituídas por poliamida, nylon reforçado com fibra de vidro ou outro plástico de engenharia.

Os braços e articulações são constituídos por alumínio anodizado ou latão cromado.

As dobradiças devem obedecer à especificação própria (NBR 7178 (136) ou NBR 7782 (137)) e serem constituídas por alumínio anodizado, latão cromado ou aço inoxidável.

#### 4.1.4.3 Elementos de fixação

Os elementos de fixação das janelas no vão da edificação devem ter qualidade e durabilidade compatíveis com as dos perfis de PVC rígido.

As grapas são de chapas de aço galvanizado, conforme NBR 7008 (138).

Os parafusos, porcas e rebites, suscetíveis de serem molhados por água de infiltração ou condensação devem ser de aço inoxidável ou protegidos contra a corrosão por cadmiagem (NBR 8350 (139)) ou zincagem bicromatada (NBR 6323 (140)).

Os contramarcos são constituídos por chapa de aço galvanizado (NBR 7008 (138)) ou alumínio anodizado.(133)

Os procedimentos utilizados para a fixação devem obedecer aos critérios de 4.1.1.1.c.

## 4.2 Fabricação de caixilhos e de janelas

Conforme foi discutido no Capítulo 1, dentro do Programa de Garantia da Qualidade de Esquadrias de PVC Rígido, existem tanto fabricantes que fabricam o perfil e o caixilho (sendo o vidro instalado em obra por vidraceiros), quanto outros que fabricam o perfil e a janela, e ainda aqueles que produzem apenas os perfis, credenciando outras indústrias para produzir caixilhos ou janelas.

Figura 4.15 Esquema da fabricação de caixilhos ou de janelas

Neste item serão abordadas as condições de fabricação de caixilhos e de janelas; a instalação de caixilhos, que inclui a colocação de vidros em obra, será abordada em 4.4.

A fabricação de caixilhos ou janelas consiste em uma série de etapas, como se visualiza na figura 4.15.

Cada etapa da fabricação será discutida a seguir.

#### 4.2.1 Estocagem e manuseio dos perfis

A estocagem dos perfis é efetuada horizontalmente sobre suportes contínuos, para evitar a ocorrência de deformações.

#### 4.2.2 Cortes

Os cortes dos perfis para soldagem são feitos por equipamento apropriado, que evita a contaminação do material por outros plásticos, óleos, graxas ou outros produtos que possam prejudicar as soldagens.

Os cortes são feitos com um comprimento adicional que será consumido na operação de soldagem. Após os cortes, os perfis são furados conforme especificação de projeto, utilizando-se brocas de aço. Dentre os furos executados devem estar os necessários à drenagem dos perfis, conforme o projeto da janela.

Os furos de drenagem devem-se situar no mínimo a 50mm dos cantos a serem soldados. (133)

#### 4.2.3 Instalação do reforço

Os reforços de aço galvanizado são colocados nos perfis e fixados por parafusos, sendo que suas extremidades são 5mm mais curtas do que as extremidades a serem soldadas.

Cada reforço deve receber no mínimo dois parafusos de fixação até o comprimento de 1m e no mínimo 3 parafusos por metro acima deste comprimento. Os parafusos de fixação devem estar a distância superior a 100mm dos cantos soldados. (133)

Após a instalação, os reforços metálicos não devem balançar dentro da câmara do perfil e devem permitir a execução normal das operações subseqüentes da fabricação (soldagem, colocação dos acessórios, etc.).

#### 4.2.4 Elementos de fixação

Os elementos de fixação, grapas, parafusos e buchas devem ser instalados nos perfis, conforme projeto da janela, atendendo os requisitos mínimos dos itens 4.1.1.1.c e 4.1.4.3.

A fixação desses elementos deve transpassar o reforço; tais elementos podem ser instalados antes da operação de soldagem, conforme especificação de cada fabricante.

#### 4.2.5 Soldagem dos perfis

Os perfis de PVC rígido são soldados, já trabalhados e reforçados, num prazo máximo de 48 horas após os cortes, evitando-se, com isso, acúmulo de poeira nas superfícies a serem soldadas.

A temperatura correta para soldar os perfis varia de 230°C até 250°C; os valores exatos e respectivas tolerâncias devem constar do projeto da janela.

A soldagem pode ser dividida em etapas, conforme ilustra a tabela 4.4. A soldagem deve seguir rigorosamente as prescrições do equipamento, devendo ser explicitados no projeto os fatores intervenientes descritos em "condições de soldagem". Qualquer falha na soldagem pode diminuir a resistência do canto soldado.

Tabela 4.4 Principais fatores intervenientes na soldagem dos Perfis de PVC rígido. (141)

ETAPAS DE SOLDAGEM	FATORES INTERVENIENTES
Operações anteriores à soldagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>.projeto dos perfis.</li> <li>.precisão e aspereza dos cortes</li> <li>.comprimento adicional do perfil consumido na soldagem</li> </ul>
Condições de soldagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>.temperatura dos elementos térmicos</li> <li>.pressão e tempo de aquecimento</li> <li>.pressão e tempo de junção</li> <li>.tempo de retirada da placa térmica</li> <li>.caminho de aproximação</li> <li>.ocorrência ou não de cisalhamento do material fundido durante a junção</li> <li>.dimensões das ranhuras provenientes da remoção de rebarbas</li> </ul>
"Soldabilidade" dos perfis	<ul style="list-style-type: none"> <li>.teor e tipo de pigmento, cargas e modificadores de impacto</li> <li>.mistura homogênea</li> <li>.espessura da parede</li> <li>.grau de gelificação</li> <li>.temperatura de amolecimento Vicat</li> <li>.exatidão das dimensões (desvio)</li> <li>.nível das tensões internas na extrusão ("contração")</li> <li>.forma do perfil</li> </ul>

ETAPAS DE SOLDAGEM	FATORES INTERVENIENTES
Condições Ambientais na Soldagem	.temperatura do meio-ambiente .correntes de ar .umidade superficial .contaminação das superfícies de junção por impurezas, gorduras ou aparas.

Através da análise da tabela 4.4, pode-se concluir que a preocupação em se garantir uma boa soldagem deve existir tanto na fabricação dos perfis quanto na das janelas, uma vez que a "soldabilidade" dos perfis depende também da formulação, das condições da mistura e da extrusão.

Esta é a razão pela qual os ensaios que verificam a resistência dos cantos soldados são feitos também na fábrica de perfis. Exemplificando, um componente da formulação que diminui a soldabilidade dos perfis é o carbonato de cálcio, conforme pode ser observado na figura 4.16. (142)

Figura 4.16 Diminuição percentual da carga de ruptura do canto em função do aumento de carbonato de cálcio (142)

O aumento na dosagem de aditivos inorgânicos também diminui a resistência do canto, já que eles próprios não permitem soldagem.

As condições da soldagem e os cuidados que devem ser tomados nesta operação (além dos já citados na tabela 4.4) dependem fundamentalmente do equipamento que é utilizado. A tabela 4.5 discrimina as principais características dos equipamentos de soldagem.

Tabela 4.5 Principais características dos equipamentos de soldagem (141)

Tabela 4.5 Principais características dos equipamentos de soldagem (continuação) (141)

Após a soldagem, deve-se aguardar no mínimo 20 minutos para que o esquadro seja novamente trabalhado e submetido às demais operações de montagem.

Os ângulos de corte devem ser tais que, mesmo havendo contrações diferenciais durante e após a soldagem, o ângulo da junta soldada resulte no estabelecido pelo projeto da janela.

Alguns problemas podem ocorrer nas costuras de solda durante a soldagem. Os mais comuns, que podem ser observados visualmente, estão relacionados na tabela 4.6.

Tabela 4.6 Problemas nas costuras de solda observáveis através do controle visual. (141,142)

PROBLEMAS	CAUSAS
.Coloração marrom - amarelada	.temperaturas elevadas demais ou tempo de aplicação muito longo.
.Costuras reforçadas de soldas pouco nítidas	.temperaturas muito baixas.
.Existência de poros	.temperaturas elevadas demais ou ação da umidade.
.Fissuração do canto	.formulação inadequada ou soldagem mal executada.

#### 4.2.6 Acabamento e retoques

A operação de soldagem dos perfis provoca a formação de uma rebarba. Tal rebarba deverá ser retirada tanto por razões técnicas (para não impedir a movimentação das folhas) quanto estéticas.

Para o acabamento, do ponto de vista técnico, basta a simples retirada da rebarba. Do ponto de vista estético, uma das seguintes soluções deverá ser empregada:

- a) retirada da rebarba e posterior polimento para acabamento;
- b) retirada da rebarba com marcação da ranhura em concavidade ou em relevo pela ação mecânica de um formão. Nesse caso, a rebarba deverá ter sido conformada na soldagem.

A profundidade da ranhura influencia a resistência de canto dos perfis soldados; profundidades muito grandes diminuem a resistência. Estudos efetuados na Alemanha mostram que as dimensões de ranhura que não causariam nenhuma diminuição de resistência mecânica são de cerca de 2mm de espessura e 0,2mm de profundidade. (141)

Atualmente existem equipamentos próprios para a retirada de rebarbas automaticamente. No caso da utilização destes equipamentos, há que se tomar um cuidado especial com aqueles que eliminam as rebarbas dos cantos internos e externos da esquadria. Se essa retirada provocar entalhes vivos nos cantos internos, a resistência dos cantos ficará diminuída, principalmente se não tiverem sido utilizados modificadores de impacto.

É importante salientar que também a retirada manual das rebarbas, com formão, requer atenção pelos mesmos motivos.

Como essas operações podem danificar a superfície do perfil, deve-se proceder ao polimento, antes do acabamento final.

O acabamento destina-se a recuperar o aspecto original do perfil. Deve ser efetuado por lustragem com escova de material macio, por exemplo de pele de carneiro.

#### 4.2.7 Colocação das guarnições

Para facilitar a colocação das gaxetas nas ranhuras apropriadas, deve-se imergi-las em um recipiente com água e sabão. As gaxetas que são inseridas nas baguetes devem ser cortadas a 90° e no comprimento dos próprios baguetes.

A colocação deve ser fácil, sem provocar o alongamento da guarnição, e permitir a continuidade de estanqueidade nos ângulos. Tal estanqueidade pode ser obtida por: (133)

- a) colagem ou vulcanização dos ângulos;
- b) recobrimento dos bordos sem corte da seção plena, por exemplo através de cortes de até 3/4 da seção transversal, de forma a se encaixarem nas ranhuras e evitar descontinuidade nos ângulos;
- c) colocação de peças de canto produzidas especialmente.

Deve-se aplicar mastique de borracha de silicone na base e nas junções das guarnições.

As felpas de polipropileno devem ser introduzidas nas ranhuras apropriadas.

#### 4.2.8 Colocação dos acessórios

A colocação dos acessórios deve ser efetuada de forma a assegurar o desempenho exigido da janela, conforme abordado em 4.1.

A fixação dos acessórios de manobra deve ser efetuada de forma que tais acessórios não possam ser removidos por esforços oriundos da utilização normal da janela.

Os acessórios de travamento ou fechamento que forem salientes devem ser colocados quando a janela/caixilho estiver no local onde deve ser instalada, para evitar danos durante o transporte e armazenamento.

Para a fixação podem ser utilizados rebites, parafusos auto-atarraxantes e parafusos com porcas, desde que obedeçam às condições colocadas em 4.1.4.

#### 4.2.9 Montagem do caixilho

Após todas as operações acima descritas, as folhas são montadas dentro do marco. Nessa etapa são verificadas as dimensões das folhas, o respeito às folgas previstas na concepção e o funcionamento normal do caixilho.

Caso ainda não tenham sido instalados, deve-se ainda instalar os acessórios de montagem (machos, cunhas e cantoneiras), entre as folhas e o marco.

#### 4.2.10 Envidraçamento

O vidro poderá ser instalado dentro da fábrica ou na obra, dependendo do disposto no contrato entre comprador e fornecedor.

Caso o vidro seja colocado em obra, devem ser atendidas as disposições adicionais de estocagem e transporte contidas no item 4.4.

Os cuidados que devem ser tomados em relação ao envidraçamento vão desde o correto dimensionamento de rebaixos, folgas e calços até a colocação das chapas de vidro. Esses cuidados são descritos a seguir.

#### 4.2.10.1 Rebaixos

O rebaixo é uma reentrância existente no caixilho para a fixação da chapa de vidro. Aqui estão sendo considerados apenas os rebaixas fechados (rebaixos abertos só podem ser utilizados em condições especiais, conforme especificado na NBR 7199 (143)), que têm suas dimensões assim representadas:

- a) largura  $L$  = dimensão de fundo;
- b) altura  $H$  = dimensão da lateral.

Os rebaixas podem situar-se tanto junto à face interna quanto junto à face externa da janela, desde que permitam a substituição normal dos vidros, se for preciso (ver figura 4.17).

As dimensões dos rebaixas, em função da espessura e semiperímetro dos vidros, obedecem às seguintes indicações:

- a) a altura mínima do rebaixo ( $H$ ) é função do semiperímetro ( $p$ ) da chapa de vidro e deve respeitar os seguintes valores: (143)

para $p < 2,50\text{m}$	:	$H = 12\text{mm}$
para $2,50\text{m} < p < 5,00\text{m}$	:	$H = 16\text{mm}$
para $5,00\text{m} < p < 7,00\text{m}$	:	$H = 22\text{mm}$
para $p > 7,00\text{m}$	:	$H = 27\text{mm}$

b) a largura mínima do rebaixo deve ser calculada como se segue: (143)

$$L = e + M + F_{1a} + F_{1p}$$

onde: L = largura do rebaixo;

e = espessura da chapa de vidro;

M = largura da moldura (baguete);

$F_{1a}$  = folga lateral anterior;

$F_{1p}$  = folga lateral posterior.

O fundo do rebaixo deve permitir um correto dimensionamento dos calços e um assentamento estável do vidro.

As faces verticais do rebaixo devem estar paralelas às faces do vidro, não podendo existir saliências superiores a 1mm.

Os rebaiços devem possuir furos em seu fundo, de modo a permitir a drenagem das águas de infiltração ou condensação. A drenagem do fundo dos rebaiços tem por objetivo equilibrar a pressão entre o ar exterior e o fundo do rebaixo, diminuindo assim as possibilidades de infiltração de água e favorecendo o escoamento das mesmas. (133)

Os rebaiços drenados devem ser projetados de forma a evitar qualquer estagnação de umidade nos drenos e impedir que os orifícios de drenagem se constituam em entradas de água.

A cada metro de rebaixo devem existir, no mínimo, dois orifícios de drenagem; deve ser acrescentado um orifício a cada 0,50m que ultrapassar 1 metro de rebaixo.

H = altura útil do rebaixo  
L = largura útil do rebaixo  
Fb = folga de bordo  
E = encosto  
Fla = folga lateral anterior  
Flb = folga lateral posterior

a = caixilho  
b = baguete ou moldura  
c = saliência eventual  
d = local da colocação da guarnição para vidros e dos calços laterais  
e = local da colocação dos calços de bordo de apoio e dos calços de bordo complementares ou periféricos  
f = orifício de drenagem

Figura 4.17 Rebaixo

A menor dimensão de um orifício de drenagem no rebaixo deve ser de 5mm no mínimo; a área mínima de cada orifício deve ser de 50mm<sup>2</sup>. (133)

#### 4.2.10.2 Folgas de bordos e laterais

Folga é a distância entre a chapa de vidro e o rebaixo, entre a chapa de vidro e a moldura (baguete) ou entre duas chapas de vidro.

Distinguem-se (ver figura 4.17):

- a) folga de bordo, quando em relação ao fundo do rebaixo;
- b) folga lateral posterior, quando em relação à lateral do rebaixo;
- c) folga lateral anterior, quando em relação à moldura;
- d) folga em instalação auto-portante, quando em relação ao piso, paredes ou outra chapa de vidro.

As folgas de bordo e laterais mínimas, em função da espessura do vidro  $e$ , são: (143)

- para  $e \leq 3\text{mm}$  :  $F_l = F_b = 3\text{mm}$

- para  $e \geq 4\text{mm}$  :  $F_l = F_b = 5\text{mm}$

As folgas de bordo (de apoio e complementares), em função do semiperímetro do vidro  $p$ , são: (133)

$p$ (em m)	$< 2,75$	$2,75 \leq p < 5$	$5 \leq p \leq 7$	$> 7$
$F_b$ (em mm)	3	4	5	6

Deve ser adotado como valor mínimo da  $F_b$  o maior valor encontrado com base nos dois critérios acima.

As folgas laterais devem ser determinadas em função do sistema de estanqueidade adotado respeitando o valor mínimo em função da espessura do vidro.

#### 4.2.10.3 Calços de envidraçamento

Os calços devem ser constituídos por material imputrescível, compatível com os produtos de vedação, fixação e calafetagem utilizados, bem como com o PVC.(133)

Os calços de envidraçamento, destinam-se a:(144)

- a) assegurar o posicionamento correto da chapa de vidro nos caixilhos;
- b) transmitir os esforços solicitantes da chapa de vidro ao caixilho, de maneira a não promover tensões inaceitáveis para o vidro ou caixilho;
- c) evitar o contato entre o vidro e a alvenaria ou elementos de PVC e metálicos (acessórios).

Os calços podem ser classificados, segundo sua posição nas folgas:(143,144)

- a) Calço de bordo de apoio: destinado a distribuir o peso do vidro sobre a travessa inferior da folha;
- b) Calço de bordo complementar ou periférico: destinado a assegurar a posição da vidraça e evitar qualquer deslocamento da mesma sob a ação de manobras;
- c) Calço lateral anterior ou posterior: destinado a conservar os jogos laterais e transmitir aos caixilhos as cargas transmitidas às vidraças, normalmente ao seu plano;
- d) Calço periférico de segurança: destinado a assegurar a segurança do vidro e evitar a perda de contato entre vidro e caixilho.

Os calços podem ser de madeira, de borracha, de plástico ou de chumbo.

Os calços em madeira dura tratada (como o carvalho), são particularmente recomendados para janelas de PVC. Os calços em madeira mole devem ser evitados; permite-se sua utilização apenas em janelas de pequenas dimensões.

Os calços em borracha ou plástico suscetíveis de amolecimento em contato com alguns componentes usualmente utilizados em mastiques, não devem ser utilizados conjuntamente com tais vedantes.

Os calços dentro dos rebaixos são obrigatórios, qualquer que seja o tipo do caixilho ou do vidro.

A dureza dos calços de envidraçamento deve ser inferior à do vidro, conforme NBR 7199 (143). O comprimento dos calços de bordo de apoio e periféricos é função de sua dureza e da pressão exercida pelo peso do vidro. Assim, para uma mesma chapa de vidro, quanto menor o valor da dureza dos calços, mais compridos eles devem ser; para o mesmo valor da dureza, quanto mais a chapa de vidro pesar, maior deverá ser o comprimento dos calços.

Para os calços em borracha ou plástico, os comprimentos mínimos, dados em função da dureza, correspondem a um esmagamento máximo de 10% sob o peso da chapa de vidro.

Em qualquer caso, o comprimento dos calços de bordo de apoio e complementares ou periféricos deve ser maior ou igual a 3cm. (144)

A espessura dos calços de bordo de apoio e dos calços de bordo complementares ou periféricos deve ser igual à folga de

bordo, conforme figura 4.17 e, em qualquer caso, o suficiente para impedir que o vidro entre em contato com o caixilho.

A largura dos calços de bordo deve ser igual à espessura do vidro mais uma folga lateral, isto é:  $e + FL$  (ver figura 4.17).

No caso dos calços laterais, suas dimensões devem ser determinadas em função das folgas laterais, dos esforços solicitantes normais ao plano da chapa e das tensões admissíveis de esmagamento dos materiais de contato.

É necessário assegurar que o fundo do rebaixo e o posicionamento do calço permitam uma drenagem eficaz, um posicionamento correto do calço e um apoio estável dos vidros. A figura 4.18 ilustra os diferentes tipos de calço.

Figura 4.18 Calços de envidraçamento (133)

#### 4.2.10.4 Disposição dos calços de envidraçamento

A chapa de vidro deve repousar no rebaixo, sobre um ou dois calços de bordo de apoio, em um ou dois pontos escolhidos de forma a tornar mínima a deformação do caixilho. O número e a posição desses calços bem como as distâncias exatas dos calços aos pontos de rolamento, ao vértice, ao montante que comporta os acessórios de rotação são função do tipo de janela e está especificado na NBR 7199 (143). (ver figura 4.19)

Os calços não devem obstruir os orifícios de drenagem.

Após a colocação dos calços de bordo de apoio, devem ser colocados os calços de bordo complementares ou periféricos.

Os calços de bordo complementares ou periféricos devem ser ajustados com um leve aperto entre a chapa de vidro e o caixilho.

Quando o sistema de abertura é tal que em posição aberta normal e de limpeza estes calços devem suportar o peso da chapa de vidro, eles devem atender às prescrições relativas aos calços de bordo de apoio.

Os calços periféricos de segurança devem estar dispostos em pontos que permitam evitar, quando houver deformação do caixilho, o contato entre o fundo do rebaixo e a beira da chapa de vidro, suscetível de ocasionar a quebra do vidro. Estes calços não devem ser forçados entre a chapa de vidro e o caixilho, a fim de evitar que eles façam o papel dos calços de bordo.

Os calços laterais devem ser obrigatórios quando o material utilizado na calafetagem não se tornar

suficientemente rígido para equilibrar as tensões transmitidas pela chapa de vidro normalmente ao seu plano; estes calços devem ser dispostos aos pares de um lado e de outro da chapa (ver figura 4.19).

Figura 4.19 Disposição dos calços de envidraçamento (144)

#### 4.2.10.5 Colocação das chapas de vidro

Os vidros devem ser cortados e trabalhados nas dimensões e tolerâncias estabelecidas no projeto, permitindo-se a movimentação e dilatação normal da janela.

Os vidros devem ser posicionados mediante o uso de calços de apoio, cunhas e calços periféricos de segurança, obedecendo rigorosamente às especificações do projeto das janelas e às prescrições aqui discutidas.

As chapas de vidro devem ser colocadas de tal modo que não sofram tensões suscetíveis de quebrá-las, qualquer que seja a origem das mesmas (dilatação, contração ou flambagem da chapa de vidro; dilatação, contração ou flambagem do caixilho; deformação ou assentamento na obra, etc.), salvo casos de choques acidentais ou movimentos imprevisíveis na obra.

Não é permitido o contato das chapas de vidros entre si, com alvenaria ou peças metálicas, com exceção dos casos em que essas peças foram especialmente estudadas para tal fim.

As chapas de vidro devem ser colocadas de maneira a não serem deslocadas de sua posição sob a ação dos esforços solicitantes que sobre elas atuam.

Quando houver chapas de vidro com bordos livres acessíveis (somente permitidos em aplicações de vidraças interiores), estes devem ter suas arestas lapidadas.

Os bordos das chapas de vidro, em qualquer caso, não devem apresentar defeitos que venham a prejudicar a utilização ou resistência do vidro após a colocação.

As chapas de vidro aplicadas em caixilhos em contato com o meio exterior devem ser colocadas de maneira que garanta estanqueidade à água e ao vento.

Após o envidraçamento, deve-se evitar a aplicação na chapa de vidro, para assinalar a sua presença, de pinturas com materiais higroscópicos, como por exemplo a cal e a alvaiade (que provocam ataques à sua superfície), ou a marcação com outros processos que redundem em danos à superfície da chapa. (143)

Em vidraças duplas ou múltiplas, as superfícies das chapas de vidro que limitam as câmaras de ar devem ser perfeitamente limpas antes do envidraçamento.

A fixação da baguete deve-se fazer por parafuso ou encaixe sob pressão, ou qualquer outro sistema que permita a desmontagem e remontagem normal, com o mínimo de risco de quebra ou deformação. (133)

#### 4.2.11 Embalagem de janelas ou caixilhos

As janelas devem ser embaladas individualmente, visando sua proteção nas diversas fases: estocagem de fábrica, manuseio, transporte, estocagem de obra e instalação com obra em andamento, até o acabamento final.

As embalagens devem atender aos seguintes requisitos básicos:

- a) proteger os vidros; recomenda-se para isso o uso de uma placa de aglomerado rígido de 3mm ou filme de termoplástico que tenha desempenho equivalente;

- b) no caso da janela ser instalada em ambiente que necessite de sua iluminação natural durante a obra, dependendo de acordo prévio entre comprador e fabricante o vidro deve ser protegido por filme de termoplástico transparente ou translúcido;
- c) no caso de janelas de correr e de janelas guilhotina, um quadro, de preferência de madeira, deve proteger internamente as faces dos marcos (canaletas e trilhos), mantendo o vão livre para ventilação e iluminação;
- d) as superfícies aparentes da janela devem ser protegidas do acúmulo dos materiais de obra e poeira, facilitando com isso a limpeza final da janela para entrega da obra;
- e) manter fixos todos os acessórios da janela, inclusive os de fixação;
- f) conter, de forma visível, as advertências quanto à possibilidade de quebra dos vidros e da própria janela devido a choques e armazenagem mal executada;
- g) conter, de forma visível e detalhada, a melhor forma de manusear, transportar, estocar e instalar a janela.

No caso de caixilhos, a embalagem deve obedecer aos requisitos de c) a g).

### 4.3 Controles durante a fabricação de janelas ou de caixilhos

#### 4.3.1 Controle de conformidade de insumos (acessórios, guarnições, vidros, etc)

Antes da assinatura do contrato de fornecimento de qualquer um dos componentes constituintes da janela, o fabricante de caixilhos ou de janelas e o fornecedor de tais componentes devem estabelecer a forma como deve ser feita a verificação da qualidade.

Qualquer que seja o acordo, os insumos devem atender às condições estipuladas nas normas específicas, conforme 4.1.4, e deve ser realizada uma verificação da conformidade desses componentes, no mínimo um controle visual de aspecto e um controle dimensional.

No caso dos vidros, nas fábricas de janelas devem ser verificadas as dimensões principais e o aspecto, com atenção especial para o estado das bordas.

Os acessórios devem ser verificados com base nas normas específicas.

As gaxetas devem sofrer um controle de aspecto e, no caso de virem cortadas, um controle dimensional por medição indireta, com uso de gabaritos.

No caso dos reforços não aparentes, devem ser verificadas a natureza e proteção do metal constituinte (aço galvanizado, alumínio anodizado), bem como a exatidão das dimensões dentro das tolerâncias admissíveis.

No caso dos perfis de PVC, o fabricante de caixilhos é um credenciado do fabricante de perfis, que está diretamente vinculado ao Programa de Garantia da Qualidade de Esquadrias de PVC Rígido. Ainda assim, deve-se efetuar um controle visual da cor, do aspecto (ausência de riscos, ranhuras) e das dimensões principais.

#### 4.3.2 Controle do processo produtivo

Deve se verificar o corte dos perfis uma vez por dia, no mínimo, através de exame visual do aspecto e das condições das lâminas.

A soldagem é controlada através de verificações sistemáticas da máquina de soldagem, no sentido de garantir: o paralelismo do apoio dos perfis, o tempo de aquecimento, o tempo de fusão, o tempo de resfriamento, a determinação das temperaturas mesmo quando os controles térmicos forem automáticos e a limpeza das superfícies em contato com os perfis, mesmo com o aquecimento da máquina.

A temperatura das placas deve ser verificada com o auxílio de um termômetro e deve ser comparada com o termostato ou sistema de regulação da máquina. No caso de se constatar diferença maior que 2°C entre tais valores, deve-se reajustar a temperatura para soldagem. Este controle deve ser efetuado no mínimo uma vez por dia.

Deve-se verificar a resistência mecânica dos ângulos soldados conforme MB-SOL/MB-TR (53), método B, com equipamento de carrinho, pelo menos duas vezes por turno.

O valor do fator de solda de curta duração deverá ser obtido uma vez por semana, no mínimo, conforme MB-SOL/MB-TR (53). Tanto o valor do fator de solda, quanto o da resistência dos ângulos devem obedecer aos valores especificados.

Após a montagem do caixilho, devem ser verificadas as dimensões. As tolerâncias nos rebaixos, encaixes e folgas variam conforme o projeto e o tipo da janela. A tolerância das dimensões básicas da janela (comprimento, altura e diagonal) é de  $\pm 3,2\text{mm}$  para qualquer tamanho de janela. Colocado horizontalmente sobre um suporte plano, o caixilho sem vidro não pode apresentar afastamento entre as duas diagonais superior a:

- 4mm se o lado maior for menor ou igual a 2m e
- 6mm se o lado maior for maior do que 2m.

Caso os vidros sejam instalados na fábrica, sua colocação deverá ser verificada através da observação da disposição, dimensões e fixações dos calços de envidraçamento.

Ao final da linha de fabricação devem ser verificados: os ângulos dos cantos, o posicionamento dos drenos, a instalação dos acessórios, seguindo-se o controle geral de aspecto e o controle da marca. Finalmente devem ser efetuados cinco ciclos completos de abertura e fechamento.

#### 4.3.3 Controle do produto final - janelas de PVC rígido

Cada tipo ou modelo de janela deve satisfazer aos requisitos de desempenho descritos a seguir.

Quanto à resistência mecânica, a janela deve atender às exigências da NBR 10821 (120) que se referem tanto à resistência a cargas uniformemente distribuídas, em função da região e altura de utilização para as quais a janela foi projetada, quanto à resistência às operações de manuseio (item 4.1.1.1).

Quanto à estanqueidade, a janela de PVC rígido deve atender às exigências relativas à estanqueidade à água, bem como àquelas relativas à permeabilidade ao ar (itens 4.1.2.1 e 4.1.2.2), também de acordo com a norma NBR 10821 (120).

Quanto ao comportamento acústico, a janela de PVC rígido deve atender às condições da mesma norma quanto à atenuação sonora, em função da classe de transmissão sonora (CTS) para a qual foi projetada.

A verificação do desempenho das janelas, segundo os métodos de ensaio específicos para cada tipo, indicados na NBR 10821 (120), deve ser efetuada pelo fabricante de janelas no mínimo uma vez por semestre. Os resultados devem ser arquivados por dez anos.

#### 4.4 Procedimentos para a instalação de caixilhos e janelas em obra

##### 4.4.1 Transporte para a obra

Para evitar choques nos caixilhos durante o transporte, ainda que embalados, devem-se utilizar calços, espaçadores ou dispositivos similares, espaçados de 0,80 a 1,00 metro. No caso de janelas (caixilho com vidro), tais calços são

necessários janela por janela, a fim de evitar deslocamentos.<sup>(124)</sup>

#### 4.4.2 Transporte em obra e armazenagem

##### 4.4.2.1 Janela/caixilho

O descarregamento e o transporte das janelas/caixilhos em obra devem ocorrer sem ocasionar:

- ruptura;
- deformação permanente que possa prejudicar o desempenho das janelas/caixilhos;
- degradações que afetem a geometria e a estética das janelas/caixilhos.

A armazenagem, transitória ou prolongada, deve ser efetuada de forma que permita a ventilação da caixilharia, evitando o seu contato com o solo e protegendo-a das intempéries e dos respingos de cimento, gesso, pintura, etc.

Para proteger as janelas/caixilhos das intempéries, deve-se evitar a utilização de lonas plásticas de cores escuras, particularmente as pretas, pois a temperatura pode aumentar em demasia.

A armazenagem deverá ser efetuada em pilhas de 10 janelas/caixilhos no máximo, dispostas verticalmente, apoiadas sobre os cantos. Não se permite empilhamento das janelas dispostas na horizontal, onde poderiam sofrer deformações em virtude do peso.

No caso de armazenagem das folhas móveis separadas das fixas, cuidados devem ser tomados na identificação dos pares, a fim de evitar dificuldades no momento da montagem.

Deve-se ter um local fixo de armazenagem das janelas/caixilhos, a fim de diminuir ao máximo a sua movimentação na obra.

#### 4.4.2.2 Vidro

As chapas de vidro devem ser sempre manipuladas de maneira que não entrem em contato com materiais duros que possam produzir defeitos em suas superfícies e bordos.

As chapas de vidro devem ser armazenadas, conforme tabela 4.7, em pilhas apoiadas em material que não lhes danifique os bordos, com uma inclinação em torno de 6% em relação a vertical conforme a figura 4.20.

Tabela 4.7 Armazenagem de chapas de vidro (143)

Vidro recozido (mm)	Máximo de chapas por pilhas
3	65
4	50
Vidro temperado (mm)	Máximo de chapas por pilhas
4	70

Obs.: Para espessuras de vidro maiores que 4mm, consultar a norma NBR 7199. (143)

A armazenagem deve ser ao abrigo da umidade e em condições que evitem condensação na superfície das chapas. As pilhas devem ser cobertas para evitar infiltração de poeira entre as chapas.

#### 4.4.3 Cronograma da obra

As janelas/caixilhos só devem ser encaminhadas à obra quando os vãos já estiverem limpos, nivelados e aprumados.

#### 4.4.4 Condições dos vãos

##### 4.4.4.1 Largura do vão e prumo das faces verticais do vão

As dimensões e tolerâncias indicadas na tabela 4.8 são relativas à alvenaria no estado em que ela se encontra no momento da colocação da caixilharia (com ou sem revestimento, por exemplo).

A diferença de prumo é aquela existente, para cada face do vão, entre o ponto mais saliente e o mais reentrante, como ilustra a figura 4.21. A largura mínima permitida é a distância horizontal entre os pontos de maior saliência das faces verticais do vão. A largura máxima permitida é a distância entre os pontos de maior reentrância das faces verticais do vão. A largura  $L$  em relação à qual são indicadas, na tabela 4.8, as larguras mínimas,  $L_m$ , e máximas,  $L_M$ , é a largura prevista em projeto entre as faces verticais do vão.

Tabela 4.8 Dimensões e tolerâncias dos vãos (em relação à largura) (145)

DIMENSÕES E TOLERÂNCIAS PERMITIDAS	ESTADO DO VÃO	
	BRUTO	ACABADO
Largura mínima permitida (condição mínima para colocação da janela com vedação)	$L_m \geq L - 20\text{mm}$	$L_m \geq L - 10\text{mm}$
Largura máxima permitida	$L_M \leq L + 20\text{mm}$	$L_M \leq L + 10\text{mm}$
Diferença de prumo à direita (dpd) e à esquerda (dpe)	dpd e dpe $\leq 20\text{mm}$	dpd e dpe $\leq 10\text{mm}$

#### 4.4.4.2 Altura do vão e nível das vergas e contravergas

A diferença de nível nas vergas e contravergas é aquela existente entre o ponto mais saliente e o mais reentrante em cada elemento.

Figura 4.21 Tolerâncias nas dimensões de um vão. (145)

As dimensões e tolerâncias indicadas na tabela 4.9 são relativas à alvenaria no estado em que ela se encontra no momento da colocação do caixilho.

A altura mínima é a distância vertical entre os pontos mais salientes da verga e da contraverga. A altura máxima é a distância vertical entre o ponto mais reentrante da verga e o da contraverga.

A altura  $H$  em relação à qual são indicadas, na tabela 4.9, as alturas mínimas,  $H_m$ , e máximas,  $H_M$ , é a altura prevista no projeto entre a verga e a contraverga.

Tabela 4.9 Dimensões e tolerâncias dos vãos (em relação à altura) (145)

DIMENSÕES E TOLERÂNCIAS PERMITIDAS	ESTADO DO VÃO	
	BRUTO	ACABADO
Altura mínima permitida (condição mínima para colocação da janela com vedação)	$H_m \geq H - 15\text{mm}$	$H_m \geq H - 10\text{mm}$
Altura máxima permitida	$H_M \leq H + 15\text{mm}$	$H_M \leq H + 10\text{mm}$
Diferença de nível na verga	$d_{nv} \leq 20\text{mm}$	$d_{nv} \leq 10\text{mm}$
Diferença de nível na contraverga	$d_{nc} \leq 8\text{mm}$	$d_{nc} \leq 8\text{mm}$

#### 4.4.5 Modos de colocação da janela/caixilho

As janelas/caixilhos podem ser colocadas de três modos:

- Por ancoragem direta na alvenaria, através de grapas;
- Por fixação direta nos vãos acabados, com parafusos;
- Com contramarcos instalados (através de grapas ou parafusos) anteriormente aos caixilhos.

#### 4.4.5.1 Ancoragem direta com grapas

As janelas/caixilhos que utilizam grapas, podem ser colocadas quando a obra está ainda na alvenaria bruta, obedecendo às tolerâncias indicadas nas tabelas 4.8 e 4.9.

A instalação de janelas/caixilhos com grapas deve obedecer ao seguinte roteiro:

- a) posicionar os caixilhos, embalados conforme 4.2.11, no vão da alvenaria, com o auxílio de calços e cunhas;
- b) ajustar prumo e nível;
- c) utilizar perfil guia para acabamento da argamassa interna e externamente;
- d) chumbar as grapas e preencher a junta do caixilho/janela conforme determinações do item 4.4.8.

#### 4.4.5.2 Fixação com parafusos nos vãos acabados

Os parafusos, porcas e rebites suscetíveis de serem molhados por água de infiltração ou condensação devem ser de aço inox ou protegidos contra a corrosão conforme 4.1.4.

As janelas/caixilhos fixadas por parafusos devem ser colocadas quando o vão está acabado, obedecendo às tolerâncias indicadas nas tabelas 4.8 e 4.9.

Na instalação devem-se adotar os seguintes procedimentos:

- a) verificar a regularidade do vão acabado (prumo, nível e dimensões, conforme tabelas 4.8 e 4.9);
- b) posicionar o caixilho no vão com o auxílio de calços (as folgas laterais não devem exceder a 3mm);

- c) utilizar número e dimensões de parafusos adequados para cada tipo de caixilho, conforme item 4.1.1;
- d) proceder à vedação externa com silicone, após a instalação, em todo o perímetro do contato caixilho/alvenaria.

#### 4.4.5.3 Contramarcos

Os contramarcos devem ser constituídos por chapas de aço galvanizado, alumínio anodizado ou madeira e devem obedecer às seguintes tolerâncias:

- entre eixos verticais: dimensão nominal  $\pm 10\text{mm}$ ;
- entre eixos horizontais: dimensão nominal  $\pm 10\text{mm}$ ;
- afastamento máximo de 3mm ao longo de toda a altura;
- afastamento máximo do nível ou flechas locais: 3mm para contramarcos de comprimento até 2 metros e 5mm para comprimentos maiores que 2 metros.

Os contramarcos podem ser instalados na alvenaria bruta, caso em que devem obedecer à seguinte seqüência construtiva:

- posicionamento do contramarco no vão, utilizando calços e cunhas;
- ajuste de prumo e nível;
- fixação do contramarco à alvenaria através de grapas ou parafusos apropriados;
- fixação do caixilho ao contramarco com parafusos;
- vedação perimétrica externa do caixilho, após as fixações (não se permite o emprego de gesso, como vedação).

#### 4.4.6 Envidraçamento

Os calços e as guarnições de envidraçamento devem ser fornecidos junto com o caixilho, pelo fabricante de caixilho. Os calços laterais devem estar separados dos demais, para evitar dificuldades na colocação. A colocação e disposição destes elementos é idêntica àquela descrita para a colocação de vidros na fábrica. (item 4.2.10)

#### 4.4.7 Tolerâncias das janelas/caixilhos instalados

(133,146)

##### 4.4.7.1 Desvio de verticalidade

Tanto no plano perpendicular à caixilharia quanto no seu próprio plano permite-se um desvio de prumo de 2mm/m.

##### 4.4.7.2 Desvio de horizontalidade

Permite-se desvios de horizontalidade de até 2mm para as larguras iguais ou inferiores a 1,50m e 3mm para larguras superiores a 1,50m.

##### 4.4.7.3 Eixo da caixilharia em relação ao eixo do vão

O eixo da caixilharia deve ser locado a  $\pm 5$ mm do eixo do vão.

#### 4.4.8 Calafetagem entre caixilho e alvenaria

Deve-se prever uma guarnição de estanqueidade entre o caixilho e a alvenaria, tomando o cuidado para assegurar a perfeita continuidade da mesma e levando em conta os possíveis deslocamentos do caixilho devido às deformações térmicas. A literatura consultada indica diversos métodos de dimensionamento de largura e profundidade dos materiais utilizados para calafetagem. (147,148,149)

#### 4.4.9 Fixação

As fixações do caixilho ou contramarco ao vão são feitas por meio de grapas ou parafusos de ancoragem e são calculadas conforme 4.1.1.1c.

No caso de fixação por grapas, estas são "chumbadas" à alvenaria. No caso de fixação por parafusos, as perfurações na alvenaria devem ser executadas de tal modo que as bordas dos furos se localizem a uma distância mínima de 60mm das arestas da face do vão, conforme figura 4.22.

Devido ao considerável coeficiente de dilatação térmica do PVC, à sua plasticidade e às dimensões das janelas, os seguintes requisitos devem ser respeitados:

- a) Os modos de solidarização das fixações com os caixilhos de PVC devem ter ranhuras, furos ovalados ou qualquer outro dispositivo que permita a livre dilatação e retração dos caixilhos, especialmente para aqueles cujas dimensões ultrapassem 2,50m.

- b) As fixações devem permitir também as regulagens necessárias no que diz respeito às tolerâncias definidas no item 4.4.1 e às dimensões dos alojamentos dos elementos de vedação.

Figura 4.22 Furos para fixação por parafusos

#### 4.4.10 Limpeza final

Quando da entrega da obra, deverá ser efetuada uma limpeza da janela, seguindo o seguinte procedimento:

- a) retirar cuidadosamente poeiras e outras sujeiras depositadas sobre a superfície exposta da janela, com pano, ar comprimido, aspirador, etc;
- b) desobstruir os orifícios de drenagem;
- c) limpar a janela com pano umedecido em água ou álcool;

- d) no caso de se observarem pequenas manchas provocadas por tintas à base de PVA, tais manchas devem ser removidas por uma raspagem cuidadosa;
- e) lubrificar os acessórios com spray de silicone;
- f) efetuar um teste de 5 ciclos completos de abertura, fechamento e travamento.

4. JANELAS DE PVC RÍGIDO - CARACTERIZAÇÃO.....	125
4.1 Requisitos da qualidade de janelas.....	125
4.1.1 Exigências de Segurança.....	126
4.1.1.1 Comportamento mecânico.....	127
4.1.1.2 Comportamento ao fogo.....	140
4.1.2 Exigências de Habitabilidade.....	142
4.1.2.1 Estanqueidade à água.....	142
4.1.2.2 Permeabilidade ao ar.....	145
4.1.2.3 Isolação acústica.....	145
4.1.2.4 Ventilação.....	148
4.1.2.5 Higrotermia.....	152
4.1.2.6 Iluminação.....	154
4.1.2.7 Aspecto e manuseio.....	156
4.1.3 Exigências de Durabilidade.....	156
4.1.4 Qualidade dos dispositivos complementares de estanqueidade e dos acessórios.....	158
4.1.4.1 Guarnições.....	158
4.1.4.2 Acessórios.....	160
4.1.4.3 Elementos de fixação.....	161
4.2 Fabricação de caixilhos e de janelas.....	161
4.2.1 Estocagem e manuseio dos perfis.....	163
4.2.2 Cortes.....	163
4.2.3 Instalação do reforço.....	164
4.2.4 Elementos de fixação.....	164
4.2.5 Soldagem dos perfis.....	164
4.2.6 Acabamento e retoques.....	170
4.2.7 Colocação das guarnições.....	172
4.2.8 Colocação dos acessórios.....	172

4.2.9	Montagem do caixilho.....	173
4.2.10	Envidraçamento.....	173
4.2.10.1	Rebaixos.....	174
4.2.10.2	Folgas de bordos e laterais.....	176
4.2.10.3	Calços de envidraçamento.....	177
4.2.10.4	Disposição dos calços de envidraçamento.....	180
4.2.10.5	Colocação das chapas de vidro.....	183
4.2.11	Embalagem de janelas ou caixilhos.....	184
4.3	Controles durante a fabricação de janelas ou de caixilhos.....	186
4.3.1	Controle de conformidade de insumos (acessórios, guarnições, vidros, etc).....	186
4.3.2	Controle do processo produtivo.....	187
4.3.3	Controle do produto final - janelas de PVC rígido.....	188
4.4	Procedimentos para a instalação de caixilhos e janelas em obra.....	189
4.4.1	Transporte para a obra.....	189
4.4.2	Transporte em obra e armazenagem.....	189
4.4.2.1	Janela/caixilho.....	189
4.4.2.2	Vidro.....	191
4.4.3	Cronograma da obra.....	192
4.4.4	Condições dos vãos.....	192
4.4.4.1	Largura do vão e prumo das faces verticais do vão.....	192
4.4.4.2	Altura do vão e nível das vergas e contravergas.....	193
4.4.5	Modos de colocação da janela/caixilho.....	194
4.4.5.1	Ancoragem direta com grapas.....	194
4.4.5.2	Fixação com parafusos nos vãos acabados.....	196

4.4.5.3	Contramarcos.....	196
4.4.6	Envidraçamento.....	197
4.4.7	Tolerâncias das janelas/caixilhos instalados (133,146).....	198
4.4.7.1	Desvio de verticalidade.....	198
4.4.7.2	Desvio de horizontalidade.....	198
4.4.7.3	Eixo da caixilharia em relação ao eixo do vão.....	198
4.4.8	Calafetagem entre caixilho e alvenaria.....	198
4.4.9	Fixação.....	199
4.4.10	Limpeza final.....	200

Tabela 4.1 Número mínimo de fixações.....	138
Tabela 4.2 Influência da espessura e da utilização de vidro duplo na isolação acústica de janelas.....	146
Tabela 4.3 Coeficiente global de transmissão de calor para alguns tipos de envidraçamento, dado em W/m <sup>2</sup> oC (131).....	153
Tabela 4.4 Principais fatores intervenientes na soldagem dos Perfis de PVC rígido.(141).....	166
Tabela 4.5 Principais características dos equipamentos de soldagem (141).....	168
Tabela 4.5 Principais características dos equipamentos de soldagem (continuação) (141).....	169
Tabela 4.6 Problemas nas costuras de solda observáveis através do controle visual.(141,142).....	170
Tabela 4.7 Armazenagem de chapas de vidro (143).....	191
Tabela 4.8 Dimensões e tolerâncias dos vãos (em relação à largura) (145).....	193
Tabela 4.9 Dimensões e tolerâncias dos vãos (em relação à altura) (145).....	194

Figura 4.1 Diagrama representando a variação do módulo de elasticidade E com a temperatura em um composto comercial. (118).....	128
Figura 4.2 Diagrama representando curvas das deformações de fluência de um composto comercial de PVC rígido não modificado em função da duração das cargas e para diferentes temperaturas. (118).....	128
Figura 4.3 Esquema do ensaio de pressões efetivas atuantes sobre a janela (120,121).....	130
Figura 4.4 Esquema do ensaio de arrancamento das articulações (120,121).....	133
Figura 4.5 Esquema do ensaio de resistência ao esforço vertical no plano da folha (120,121).....	133
Figura 4.6 Esquema do ensaio de resistência ao esforço vertical no plano da folha com um ou dois vértices imobilizados (120,121).....	134
Figura 4.7 Esquema do ensaio de resistência à flexão (120,121).....	135
Figura 4.8 Esquema do ensaio de esforço torsor (120,121).....	135
Figura 4.9 - Disposição das fixações (123).....	139
Figura 4.10 Esquema do ensaio de estanqueidade à água (120,121).....	143
Figura 4.11 Esquema de ensaio de permeabilidade ao ar (120,121).....	144
Figura 4.12 Inter-relações entre a ventilação e a salubridade, durabilidade e conforto (129).....	148
Figura 4.13 Características de ventilação e operação para cada tipologia de janelas (130).....	150
Figura 4.13 Características de ventilação e operação para cada tipologia de janelas (continuação) (130).....	151
Figura 4.14 Posicionamento das guarnições na esquadria.....	159
Figura 4.15 Esquema da fabricação de caixilhos ou de janelas.....	162
Figura 4.16 Diminuição percentual da carga de ruptura do canto em função do aumento de carbonato de cálcio (142).....	167

Figura 4.17 Rebaixo.....	176
Figura 4.18 Calços de envidraçamento (133).....	180
Figura 4.19 Disposição dos calços de envidraçamento (144).....	182
Figura 4.20 Armazenagem de vidros (143).....	191
Figura 4.21 Tolerâncias nas dimensões de um vão. (145)....	195
Figura 4.22 Furos para fixação por parafusos.....	199

## 5. COMENTÁRIOS FINAIS

### 5.1 Qualidade na construção

A implantação da qualidade assegurada nos produtos da construção civil, particularmente no setor de edificações, enfrenta uma série de dificuldades.

A carência do mercado -- o produto que o usuário deseja, com características adequadas de utilização -- ressalta a relevância do tema. A edificação é composta de uma série de produtos de várias indústrias (janelas, portas, vidro, cimento, cerâmica etc.), dos quais o usuário tem uma expectativa de desempenho (comportamento em uso).

A edificação deve atender às exigências de qualidade do usuário e de custo - e normalmente elas não são compatíveis. O edifício é montado "in loco", dificultando a utilização de técnicas convencionais de controle da qualidade. Os componentes utilizados são provenientes de diferentes indústrias e não respeitam padronizações. As indústrias envolvidas são, em sua maioria, tradicionais e desprovidas de uma política de atuação para melhoria da qualidade. A mão de obra é desqualificada e com alta rotatividade, inibindo programas de treinamento.

A fase de utilização da edificação pelo usuário, que deveria realimentar o processo com dados de desempenho, durabilidade, etc., é prejudicada pela especificidade do produto, além do fato de ele tender a ser o único na vida do usuário (sendo relativamente limitados os casos de troca ou

venda). O usuário normalmente não dispõe de meios, nem tempo, nem amparo legal para contestar a aquisição em função de deficiências da qualidade.

Essas são apenas algumas das dificuldades que poderiam ser citadas.

Apesar de ainda não existir experiência na sua aplicação a questões relativas a problemas de edificações, o novo Código de Defesa do Consumidor, lançado em abril de 1991, pode ser uma fonte de amparo legal viável para o usuário.

No contexto da qualidade da edificação, algumas ações podem ser tomadas visando a sua melhoria global. Uma delas é a qualificação dos produtos, que pressupõe normalização (padronização de dimensões, definição de propriedades, etc.), controle da qualidade industrial (garantindo constância das propriedades) e política de atuação voltada para o usuário, conforme pode ser visualizado na figura 5.1.

Numa obra, a qualidade assegurada de produtos tem um papel claro na melhoria da qualidade. Atualmente o engenheiro responsável pela obra é obrigado a responder pelo desempenho de diversos produtos, mas nem sempre dispõe dos instrumentos para exigir o mesmo de seus fornecedores. O resultado é uma ênfase excessiva na responsabilidade do engenheiro de obra e uma diluição da responsabilidade dos fabricantes de materiais e componentes. Há uma tendência de evolução para uma situação em que os produtos chegarão às obras com sua qualidade já certificada, evitando assim que as obras continuem sendo laboratórios de ensaio<sup>(150)</sup>.

Figura 5.1 Etapas para a implantação de um programa de garantia da qualidade

## 5.2 Implantação de programas de garantia da qualidade

Programas de garantia da qualidade em produtos da construção civil não são comuns no Brasil. Nos países mais avançados, ter produtos qualificados ou certificados por entidades públicas ou privadas já é uma realidade. Quem mais ganha com isso é o usuário final, que normalmente tem pouco poder de decisão sobre a qualidade de sua própria casa, escritório, escola, etc..

O Programa de Garantia da Qualidade de Esquadrias de PVC Rígido que se vem desenvolvendo há quase dois anos, mostra que é possível congrega diversos fabricantes e fornecedores de matéria prima em torno de um objetivo comum, que é a garantia da qualidade de seu produto.

A eficiência de programas deste tipo depende de uma série de fatores, nem todos técnicos. Dentre os não técnicos pode ser citada a iniciativa de união das empresas em torno de uma instituição, a seriedade dos envolvidos, a contribuição voluntária de dados, a confiança mútua depositada nos propósitos de todos os participantes.

Os requisitos técnicos foram exatamente os discutidos neste trabalho. Verificou-se que a escolha de um modelo de sistema de qualidade assegurada adequado às empresas envolvidas talvez seja o fator mais importante para a exeqüibilidade de qualquer programa. A ISO 9004 é um paradigma a ser seguido, mas necessita de adaptações caso a caso. Essas adaptações devem ser efetuadas utilizando a experiência dos profissionais ligados às empresas

participantes e à empresa independente, pública ou privada, responsável pela elaboração do programa. Essa colaboração é fundamental para não se criar um modelo inaplicável. O presente trabalho constituiu-se em uma experiência piloto para esse tipo de adaptação de requisitos genéricos de garantia da qualidade às especificidades de uma indústria de produtos para a construção civil.

As maiores preocupações mostraram ser:

- selecionar os requisitos da qualidade a que o produto deve atender e quantificá-los (resistência ao impacto ou resiliência na tração; especificar compostos não modificados ou só os modificados ou ambos; maneiras de fixação de janelas na alvenaria; etc.);
- investigar os requisitos internacionais de desempenho e sua adaptação às nossas condições climáticas e de fabricação (por exemplo, resistência ao choque a frio);
- investigar os requisitos internacionais de durabilidade e sua adaptação às nossas condições climáticas (quais propriedades, quais agentes agressivos, qual o tempo de exposição, quais valores especificar, etc.);
- definir os parâmetros que devem ser controlados durante a produção (quais são significativos, quais podem ser obtidos de forma expedita, etc.);
- definir os requisitos da qualidade dos demais componentes do produto e os controles que devem ser efetuados quando de sua entrega (vidros, guarnições, acessórios, aditivos, etc.);

- estabelecer os cuidados diversificados na fabricação, levando em conta que as indústrias têm equipamentos muito diferentes umas das outras;
- uniformizar os procedimentos de controle das diversas indústrias;
- relacionar e uniformizar os procedimentos de instalação do produto (levar em conta a mão de obra menos qualificada, definir com realismo tolerâncias que podem ser obtidas, etc.).

A supervisão de todas as ações relevantes à execução do programa instituído é uma calibração fundamental para o sucesso do empreendimento. Todos os participantes têm necessidade de saber se o Programa de Garantia da Qualidade adotado é eficiente e adequado; essa verificação não pode ser confundida com uma fiscalização, pois todos os participantes compartilham o mesmo objetivo.

### 5.3 Conclusões e sugestões para continuidade dos trabalhos

Com o início das auditorias do sistema, ficou clara a necessidade de pequenos ajustes no Programa e nas indústrias, embora os resultados disponíveis até o presente momento (julho de 1991) indiquem que alguns progressos já foram alcançados: a melhoria dos projetos de janelas, o aprimoramento do auto-controle do processo produtivo das indústrias, o diagnóstico mais eficiente dos problemas surgidos no processo e no produto, com indicação de ações corretivas mais eficazes, e a realização de ações institucionais visando a promoção e divulgação do Programa e do produto.

As normas desenvolvidas no âmbito do Programa serão submetidas à ABNT, para futura homologação e reconhecimento no nível nacional. Uma outra ação institucional em curso é a implantação de um programa de treinamento de mão-de-obra para a instalação de janelas, pois a pesquisa mostrou que esse é um dos pontos mais vulneráveis do Programa.

O aspecto mais notável e desafiante do Programa é a união de empresas de tecnologias de várias gerações (petróleo, resinas plásticas, transformadores, fabricantes de caixilhos e construtoras) em torno de um objetivo comum: o de garantir a qualidade de um produto desde o nascedouro até a utilização.

Essa união vem servindo de exemplo e catalizador para uma série de ações similares em indústrias afins de produtos de

construção civil: tubos de água fria e quente, conexões, forros, perfis para revestimento exterior, telhas e pisos.

Essa interação tem gerado também diversas idéias, algumas já em fase de materialização, para o desenvolvimento de novos produtos em plástico: acessórios de janelas, gaxetas em PVC, tubos para gás e caixas de inspeção em plástico injetado. Já se pensa, inclusive, na construção de um centro laboratorial do plástico, reunindo recursos humanos e financeiros das indústrias ligadas ao setor.

Uma das possíveis vias de prosseguimento do presente trabalho poderá ser uma pesquisa envolvendo construtoras e usuários finais, para identificação das dificuldades que persistem na instalação e utilização das janelas (de PVC e também de outros materiais), levando ao aprimoramento deste e de outros programas semelhantes, bem como dos próprios projetos dos componentes.

Especificamente, justificam-se pesquisas que levem à melhoria da qualidade de um dos elos fracos da corrente: a questão da instalação. Nesse sentido, o desenvolvimento de "vãos" pré-fabricados (de concreto polímero, por exemplo), que eliminem a necessidade de contramarcos metálicos, parece promissor.

## 6. BIBLIOGRAFIA

### 6.1 Referências bibliográficas

- 1 TECNOLOGIA LABORATORIAL. **Boletim Interno**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 1988.
- 2 JURAN, J.M. ; GRZYNA Jr, F.M. **Planificación y análisis de la calidad**. Madrid, Reverté, 1981. 736p.
- 3 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Objetivos e princípios da normalização**. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. 150p.
- 4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONTROLE DA QUALIDADE. **Curso de preparação para os exames de certificação "Quality Engineer" da American Society for Quality Control - Apostilas do Curso**. ABCQ, São Paulo, 1988.
- 5 ROUSSEAU, M.Z. Windows: Overview of Issues. In: **Proceedings of Building Science Insight'88**. Ottawa, National Research Council of Canada, 1988. 69p.
- 6 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Plásticos; terminologia; NBR 9633**. Rio de Janeiro, 1985.
- 7 VAIDERGORIN, E.Y.L. Polímeros como materiais de construção. **A Construção São Paulo**, (2065): 29:32, 7/09/87 (Encarte Tecnologia de Edificações 114)
- 8 SCHIMITT, Bernhard. O mercado de janelas na Alemanha, Europa e no mundo, considerando-se janelas de PVC em comparação a outros materiais. In: **1ª CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS DE PVC NA CONSTRUÇÃO CIVIL**, São Paulo, 1988. **Anais**. São Paulo, Companhia Petroquímica de Camaçari, 1988. 39 p.
- 9 PEREZ, A.R. A situação atual de esquadrias sintéticas no Brasil. In: **1ª CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS DE PVC NA CONSTRUÇÃO CIVIL**, São Paulo, 1988. **Anais**. São Paulo, Companhia Petroquímica de Camaçari, 1988. 39 p.

- 10 PROJETO EDITORES ASSOCIADOS LTDA. PVC quer 18% do mercado de esquadrias. **Caderno de especificação/ Esquadrias**, São Paulo, n<sup>o</sup>1: 37, março, 1990.
- 11 INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Guia para implantação da confiabilidade metrológica**. Rio de Janeiro, 1986.
- 12 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Quality; vocabulary; ISO 8402**. Suíça, 1986.
- 13 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Qualidade; terminologia; NBR 8541**. Rio de Janeiro, 1984.
- 14 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Quality management and quality system elements -Guidelines; procedure; ISO 9004**. Suíça, 1987.
- 15 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão da qualidade e elementos do sistema da qualidade; Diretrizes; procedimento; NB 9004**. Rio de Janeiro, 1990
- 16 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. - **General terms and their definitions concerning standardization, certification and testing laboratory accreditation; ISO Guide 2**. Suíça, 1983.
- 17 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Normalização e certificação; terminologia; Projeto 3:08.517.1001**. Rio de Janeiro, 1985.
- 18 INFORMAÇÕES INTERNAS. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, n.151, out/nov, 1988.
- 19 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Certification - principles and practice**. Genève, 1980.
- 20 MILITARY SPECIFICATIONS AND STANDARDS SERVICE. **Quality program requirements; MIL Q 9858**. United States, 1958.
- 21 COMISSÃO DE REGULAMENTAÇÃO NUCLEAR DOS ESTADOS UNIDOS. **Quality assurance criteria for nuclear power plants and fuel processing plants**. Edição do apêndice B da parte

- 50 do título 10, Código Federal de Regulamentações (USAEC-10-CFR-50 B). In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONTROLE DA QUALIDADE. **Auditoria da Qualidade - notas de aula - módulo 2.** São Paulo, ABCQ, 1990.
- 22 INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Safety code of practices on quality assurance for nuclear plants. (IAEA (1976)). In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONTROLE DA QUALIDADE. **Auditoria da Qualidade - notas de aula - módulo 2.** São Paulo, ABCQ, 1990.
- 23 CANADIAN STANDARD ASSOCIATION.CSA SERIE Z299 (1978) In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONTROLE DA QUALIDADE. **Auditoria da Qualidade - notas de aula - módulo 2.** São Paulo, ABCQ, 1990.
- 24 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Requisitos gerais para um programa de garantia da qualidade; procedimento, NBR 8539.** Rio de Janeiro, 1984.
- 25 \_\_\_\_\_. **Preparação de programas da qualidade - classe 1 (Garantia);** procedimento, NBR 8593. Rio de Janeiro, 1984.
- 26 \_\_\_\_\_. **Preparação de programas da qualidade - classe 2 (Controle);** procedimento, NBR 8594. Rio de Janeiro, 1984.
- 27 \_\_\_\_\_. **Preparação de programas da qualidade - classe 3 (Verificação);** procedimento, NBR 8595. Rio de Janeiro, 1984.
- 28 \_\_\_\_\_. **Preparação de programas da qualidade - classe 4 (Inspeção);** procedimento, NBR 8596. Rio de Janeiro, 1984.
- 29 \_\_\_\_\_. **Seleção e implementação de normas de preparação de programas da qualidade;** NBR 8597. Rio de Janeiro, 1984.
- 30 \_\_\_\_\_. **Sistemas da qualidade - Modelo para garantia da qualidade em projeto/desenvolvimento, produção, instalação e assistência técnica;** Procedimento; NB 9001. Rio de Janeiro, 1990.

- 31 \_\_\_\_\_. **Sistemas da qualidade - Modelo para garantia da qualidade em produção e instalação**; Procedimento; NB 9002. Rio de Janeiro, 1990.
- 32 \_\_\_\_\_. **Sistemas da qualidade - Modelo para garantia da qualidade em inspeção e ensaios finais**; Procedimento; NB 9003. Rio de Janeiro, 1990.
- 33 \_\_\_\_\_. **Normas de gestão da qualidade e garantia da qualidade - Diretrizes para seleção e uso**; Procedimento; NB 9000. Rio de Janeiro, 1990.
- 34 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Quality management and quality assurance standards - Guidelines for selection and use**; procedure; ISO 9000. Suíça, 1987.
- 35 \_\_\_\_\_. **Quality system - Model for quality assurance in design/development, production, installation and servicing**; procedure; ISO 9001. Suíça, 1987.
- 36 \_\_\_\_\_. **Quality systems - Model for quality assurance in production and installation**; procedure; ISO 9002. Suíça, 1987.
- 37 \_\_\_\_\_. **Quality systems - Model for quality assurance in final inspection and test**; procedure; ISO 9003. Suíça, 1987.
- 38 \_\_\_\_\_. **Information on manufacturer's declaration of conformity with standards or other technical specifications**; ISO/IEC Guide 22. Suíça, 1982.
- 39 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION / CERTIFICATION COMMITTEE. **Draft - Acceptance of certification bodies**; ISO/CERTICO WG 5/11. Suíça, 1982.
- 40 \_\_\_\_\_. **Code of principles on third-party certification systems and related standards**; ISO/IEC Guide 16. Suíça, 1978.
- 41 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION / INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **General requirements for the technical competence of testing laboratories**; ISO/IEC Guide 25. Suíça, 1982.

- 42 \_\_\_\_\_. **Guidelines for the acceptance of testing and inspection agencies for certification bodies;** ISO/IEC Guide 24. Suíça, 1978.
- 43 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Guidelines for corrective action to be taken by certification body in the event of misuse of its mark of conformity;** ISO Guide 27. Suíça, 1983.
- 44 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION / CERTIFICATION COMMITTEE. **Draft guidelines for corrective action to be taken by a certification body in the event of either misapplication of its marks of conformity to a product, or products which bear the mark of the certification body being found to subject persons or property to risk;** ISO/CERTICO 175. Suíça, 1981.
- 45 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE PERFIS DE PVC RÍGIDO PARA ESQUADRIAS/ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE CLORETO DE POLIVINILA. **Perfil de PVC rígido para janelas;** especificação; AFAP-PVC E1. São Paulo, 1990.
- 46 \_\_\_\_\_. **Janela de PVC rígido;** especificação; AFAP-PVC E2. São Paulo, 1990.
- 47 \_\_\_\_\_. **Janela de PVC rígido - Tipos e dimensões básicas;** padronização; AFAP-PVC P1. São Paulo, 1990.
- 48 \_\_\_\_\_. **Janela de PVC rígido - Instalação em obra;** procedimento; NB-INS. JANELA. São Paulo, 1990.
- 49 \_\_\_\_\_. **Perfil de PVC rígido para janelas - Determinação da estabilidade de aspecto ao calor;** método de ensaio; MB-EST.CALOR. São Paulo, 1990.
- 50 \_\_\_\_\_. **Perfil de PVC rígido para janelas - Determinação da estabilidade dimensional;** método de ensaio; MB-EST.DIM. São Paulo, 1990.
- 51 \_\_\_\_\_. **Perfil de PVC rígido para janelas - Determinação da resistência a choques;** método de ensaio; MB-RES.CHOQUE. São Paulo, 1990.

- 52 \_\_\_\_\_. **Perfil de PVC rígido para janelas - Determinação da resiliência na tração**; método de ensaio; MB-RES.TRAÇÃO. São Paulo, 1990.
- 53 \_\_\_\_\_. **Perfil de PVC rígido para janelas - Determinação da soldabilidade: ensaio de união por solda e avaliação da qualidade da solda**; método de ensaio; MB-SOL / MB-TR. São Paulo, 1990.
- 54 \_\_\_\_\_. **Perfil de PVC rígido para janelas - Determinação da estabilidade às intempéries provocada artificialmente**; método de ensaio; MB-EST.INT-A. São Paulo, 1990.
- 55 \_\_\_\_\_. **Perfil de PVC rígido para janelas - Determinação da estabilidade à intempérie após exposição natural**; método de ensaio; MB-EST.INT-N. São Paulo, 1990.
- 56 \_\_\_\_\_. **Perfil de PVC rígido para janelas - Determinação da estabilidade à intempérie após exposição natural acelerada**; método de ensaio; MB-INT.ACE. São Paulo, 1990.
- 57 \_\_\_\_\_. **Perfil de PVC rígido para janelas - Determinação da estabilidade de aspecto após simulação de instalação e limpeza**; método de ensaio; MB-EST.ASP. São Paulo, 1990.
- 58 \_\_\_\_\_. **Plásticos - Determinação da densidade**; método de ensaio; MB-DENS. São Paulo, 1990.
- 59 \_\_\_\_\_. **Plásticos - Determinação do teor de cinzas em termoplásticos**; método de ensaio; MB-TEOR. São Paulo, 1990.
- 60 Comissão de Regulamentação Nuclear dos Estados Unidos (NRC). **Quality Program Requirements**. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONTROLE DA QUALIDADE. **Auditoria da Qualidade - notas de aula - módulo 5**. São Paulo, ABCQ, 1990.
- 61 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONTROLE DA QUALIDADE. **Curso de preparação para os exames de certificação "Quality auditor" da American Society for Quality Control - Apostilas do Curso**. ABCQ, São Paulo, 1990.

- 62 WAENY, J.C.C. **Confiabilidade e credenciamento de laboratórios II**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1982. (Série ACM-38)
- 63 \_\_\_\_\_. **Garantia da qualidade e metrologia (Avaliação de interações)**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1980. (Série ACM-19)
- 64 \_\_\_\_\_. **Confiabilidade metrológica e credenciamento dos laboratórios**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1981. (Série ACM-37)
- 65 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION / INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **Guidelines for the presentation of results**; ISO/IEC Guide 45. Suíça, 1985.
- 66 \_\_\_\_\_. **Requirements for standards suitable for product certification**; ISO/IEC Guide 7. Suíça, 1982.
- 67 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Guia e regras gerais para normas aplicáveis a certificação de produtos**; procedimento; Projeto 3:08.517.1003. Rio de Janeiro, 1985.
- 68 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION / INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **Methods of indicating conformity with standards for third-party certification systems**; ISO/IEC Guide 23. Suíça, 1982.
- 69 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Caixilho para edificação - janela**; terminologia, NBR 10820. Rio de Janeiro, 1989.
- 70 BOST, J. **Matières Plastiques - Chimie Applications**. Technique et Documentation, Paris, 1980
- 71 ASSOCIATION POUR L'ETUDE DE LA PATHOLOGIE ET DE L'ENTRETIEN DU BÂTIMENT. **Appréciation de la durabilité des ouvrages en chlorure de polyvinyle (PVC) - Pathologie générale**, E.P.E.Bat., Grenoble, 1978.

- 72 ENCYCLOPEDIA OF POLYMER SCIENCE AND TECHNOLOGY:  
**PLASTICS, RESINS, RUBBERS AND FIBERS.** C.A. Bringhton,  
v.14, 1971. p.305-460.
- 73 VAIDERGORIN, E.Y.L. **Comunicação pessoal.** (não publicado)
- 74 INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Programa de apoio técnico e laboratorial à normalização de janelas de aço, alumínio, de plástico e de madeira.** São Paulo, 1987 (Relatório nº 25.068).
- 75 BLOYAERT, C. **Perfis de PVC rígido para janelas.** São Paulo, Solvay do Brasil S.A., 1989.
- 76 SBAMPATO, M.E. **Degradação do poli (cloreto de vinila) por raios X.** São Paulo, 1984. Dissertação (Mestrado) Instituto de Química, Universidade de São Paulo.
- 77 MARÉCHAL, J. Viellissement du PVC rigide. I. Etude par déshydrochloruration (DHC) - Cahiers du **Centre Scientifique et Technique du Batiment** 202 (1589), set. 1979.
- 78 UNION EUROPÉENNE POUR L'AGRÉMENT TECHNIQUE DANS LA CONSTRUCTION. Directives Communes pour l'évaluation des produits en PVC rigide utilisés, a l'extérieur, dans le bâtiment. **Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Batiment** 136 (1163), jan/fév 1973.
- 79 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.  
**Plastics - Determination of viscosity number of PVC resins in dilute solution,** ISO R 174. Suíça, 1974.
- 80 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for dilute solution viscosity of vinyl chloride polymers,** ASTM D1243, Philadelphia, 1984.
- 81 MATTHAN, J.; WIECHERS, M.; SCOTT, K.A. **A review of the literature on the ageing and weathering of plastics - 6. Poly(vinylchloride).**
- 82 ISTITUTO ITALIANO DE I PLASTICI. **Prescrizione di conformita qualitativa e raccomandazioni per l'installazione,** 1980. (Pubblicazione n.5)

- 83 DEANIN, R.D. **Stabilization of plastics.** SPE J., 1966 (Sept.), p.12.
- 84 DOW QUÍMICA. **Tyrin - manual técnico.** São Paulo, 1988.
- 85 MINSKER, K.S., ABDULLIN, M.I., KOLESOV, S.V., ZAIKOV, G.E. New developments in the degradation and stabilisation of polyvinyl chloride. In: SCOTT, G. **Developments in polymer stabilization - 6 - Developments Series.** London, Applied Science Publishers, 1983. Chapter 5, p 181.
- 86 MITCHELL, R.G.B. **PVC window manufacture.** London, UK, Glass & glazing federation, 1982. p.155 a 194.
- 87 NEUMANN, Hermann. A aplicação de PVC rígido em exteriores (Perfis para janelas) - Preparação da matéria prima. In: **1ª CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS DE PVC NA CONSTRUÇÃO CIVIL**, São Paulo, 1988. **Anais.** São Paulo, Companhia Petroquímica de Camaçari, 1988. 39p.
- 88 BONETTI, S. **Utilização de esquadrias de PVC na Europa.** FERSINA/PROFILIA, São Paulo, 1989.
- 89 DeCOSTE, J.B., HANSEN, R.H. **Coloured PVC plastics for outdoor application.** SPE J., 18, nº 4, 1962, (April), p.431.
- 90 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **White rigid Poly(Vinyl Chloride) (PVC) exterior-profile extrusions used for assembled windows and doors;** ASTM D4726. Philadelphia, 1987.
- 91 UNION EUROPÉENNE POUR L'AGRÉMENT TECHNIQUE DANS LA CONSTRUCTION. Guide technique UEAtc pour l'agrément des fenêtres en PVC rigide. **Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Batiment 314** (2455), juillet, 1990.
- 92 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Plásticos - determinação do peso específico com o uso do picnômetro;** método de ensaio; MB 1160. Rio de Janeiro, 1977.
- 93 \_\_\_\_\_. **Termoplásticos - determinação de temperatura de amolecimento Vicat;** método de ensaio, NBR 7139. Rio de Janeiro, 1980.

- 94 \_\_\_\_\_. **Polímeros e copolímeros baseados no cloreto de vinila - determinação da estabilidade térmica por despreendimento de cloreto de hidrogênio; método de ensaio; NBR 7977.** Rio de Janeiro, 1981.
- 95 DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **Perfis de PVC rígido com alta resistência a radiação ultravioleta para janelas; DIN 16830, partes 1 e 2.** Tradução da Companhia Petroquímica de Camaçari, São Paulo, 1989.
- 96 WAENY, J.C.C. **Repetitividade e reprodutividade.** São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1980. (série ACM-18)
- 97 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Plastics - determination of tensile properties; ISO R 527.** Suíça, 1980.
- 98 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Test method for tensile properties of plastics; ASTM D638.** Philadelphia, 1987.
- 99 BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **Plastics - determination of flexural properties of rigid plastics; BS 2782.** London, 1982. Method 335 A, part 3.
- 100 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Plastics - Determination of flexural properties of rigid plastics; ISO 178.** Suíça, 1975
- 101 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Test method for impact resistance of rigid Poly(Vinyl Chloride) (PVC) building products; ASTM D4226.** Philadelphia, 1987.
- 102 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Plastics - determination of tensile impact strength; ISO 8256.** Suíça, 1990.
- 103 MARÉCHAL, J.& COPÉ, R. La durabilité du PVC. **Centre Scientifique et Technique du Bâtiment Magazine 30.** decembre, 1989.
- 104 ROUX, G. et alii. Vieillessement du PVC rigide. **2. Etude de la dégradation des propriétés mécaniques.**

Cahiers du **Centre Scientifique et Technique du Batiment** 214 (1677), nov., 1980.

- 105 FOUGEA, D. et alii. Méthode d'appréciation de la tenue au vieillissement naturel du polychlorure de vinyle rigide. Cahiers du **Centre Scientifique et Technique du Batiment** 124 (1070), nov., 1971.
- 106 FOUGEA, D. Essai de caractérisation du vieillissement naturel du polychlorure de vinyle. Cahiers du **Centre Scientifique et Technique du Batiment** 106 (925), jan/fév., 1970.
- 107 AKUTSU, M. Avaliação de desempenho térmico de edificações: a necessidade de revisão normativa. **A Construção São Paulo** (1989): 21:24, 24/03/86 ( Encarte Tecnologia de Edificações 076)
- 108 PEDROSO, N.G. **Dados climáticos: guia do usuário.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A. São Paulo, 1991. (não publicado)
- 109 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard practice for outdoor weathering of plastics;** ASTM D1435. Philadelphia, 1985.
- 110 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard practice for sampling of plastics;** ASTM D1898. Philadelphia, 1985.
- 111 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard method for calculation of color differences from instrumentally measured color coordinates;** ASTM D2244. Philadelphia, 1985.
- 112 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Plastics - Methods of exposure to laboratory light sources;** ISO 4892. Suíça, 1981.
- 113 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Textiles - Tests for colour fastness: Grey scale for assessing change in colour;** ISO 105. Suíça, 1987. Part A02.

- 114 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Plásticos - Determinação das propriedades mecânicas à tração**; método de ensaio; NBR 9622. Rio de Janeiro, 1985.
- 115 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Placa vinílica para revestimento de piso e parede - verificação da resistência a agentes químicos**; método de ensaio; NBR 7385. Rio de Janeiro, 1990.
- 116 ISO, H.E.B. & ARIBA J.A.G. **Windows - Performance, design and installation**. London, Riba Publications ltd., 1974, 117-141p.
- 117 UNION EUROPÉENNE POUR L'AGRÉMENT TECHNIQUE DANS LA CONSTRUCTION. Directives communes pour l'agrément des fenêtres. **Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Batiment 146** (1227), juillet, 1974.
- 118 SOLVAY & Cie S.A. **Benvie - PVC rigide pour le bâtiment**. Solvay, Belgique, 1990.
- 119 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Forças devidas ao vento em edificações**; procedimento; NBR 6123. Rio de Janeiro, 1987.
- 120 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Caixilho para edificação - janela**; especificação; NBR 10821. Rio de Janeiro, 1989.
- 121 LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL. **Ensaio de janelas, execução e cuidados**. Lisboa, 1977. (Relatório integrado no planeamento de estudos no domínio dos edifícios).
- 122 SOUZA, Roberto de. **A contribuição do conceito de desempenho para a avaliação do edifício e suas partes: aplicação às janelas de uso habitacional**. São Paulo, 1983. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- 123 SCHMID, Josef. Normas e diretrizes para a construção de janelas. Garantia de qualidade de janelas. Conexão de janelas à alvenaria. In: **1ª CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS DE PVC NA CONSTRUÇÃO CIVIL**, São Paulo, 1988. **Anais**. São Paulo, Companhia Petroquímica de Camaçari, 1988. 39 p.

- 124 TEXTES GÉNÉRAUX. Conditions générales de mise en oeuvre des fenêtres en PVC faisant l'objet d'un avis technique. **Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Batiment 273.3** (Bulletin des avis techniques), oct 1986.
- 125 SEITO, A.I. Fumaça de incêndio. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Tecnologia de Edificações**. 1ª Ed. São Paulo, Editora Pini, 1988. 377 - 380p.
- 126 GROUPEMENT DE PROMOTION POUR LA CONNAISSANCE DES PLASTIQUES. **Les plastiques et le feu**. Compagnie Française d'Éditions. Paris, 1976.
- 127 ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO. **Manual de orientação técnica de esquadrias de alumínio**. São Paulo, 1985.
- 128 AKUTSU, M.& VITTORINO, F. Ventilação. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Janelas**. São Paulo, 1990 (não publicado)
- 129 ALUCCI, M.P. Critérios relativos ao atendimento das exigências de ventilação na habitação. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Tecnologia de Edificações**. 1ª Ed. São Paulo, Editora Pini, 1988.
- 130 HEHL, W.C. Normalização de janelas (1ª parte). In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Tecnologia de Edificações**. 1ª Ed. São Paulo, Editora Pini, 1988. 130p.
- 131 AKUTSU, M.& VITTORINO, F. Isolamento térmico/transmissão de radiação solar. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Janelas**. São Paulo, 1990 (não publicado)
- 132 AKUTSU, M.& VITTORINO, F. Iluminação. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Janelas**. São Paulo, 1990 (não publicado)
- 133 TEXTES GÉNÉRAUX. Conditions générales de fabrication et d'autocontrôle en usine des fenêtres en PVC faisant l'objet d'un avis technique. **Cahiers du Centre**

**Scientifique et Technique du Batiment 273.2** (Bulletin des avis techniques), oct 1986.

- 134 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Trincos e fechos**; especificação; NBR 7177. Rio de Janeiro, 1979.
- 135 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cremonas e seus acessórios - padrão superior**; especificação; NBR 7805. Rio de Janeiro, 1982.
- 136 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Dobradiças de abas**; especificação; NBR 7178. Rio de Janeiro, 1979.
- 137 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Dobradiça invisível**; especificação; NBR 7782. Rio de Janeiro, 1982.
- 138 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de aço-carbono zincadas pelo processo contínuo de imersão a quente**; especificação; NBR 7008. Rio de Janeiro, 1981.
- 139 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cadmiagem por eletrodeposição em peças de uso aeronáutico**; procedimento; NBR 8350. Rio de Janeiro, 1983.
- 140 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Produtos de aço ou ferro fundido - revestimento de zinco por imersão a quente**; especificação; NBR 6323. Rio de Janeiro, 1990.
- 141 CUKIERMAN, J. & FERNANDES, V.C. **Resistência dos cantos soldados**. TESIS-Tecnologia de Sistemas em Engenharia S/C Ltda. São Paulo, 1991.
- 142 DATENÉ, H. Cálculo e análise da resistência dos cantos soldados de perfis de janelas de PVC rígido. **Fenster und fassade**. 44p. Jan/fev, 1989. Tradução da Companhia Petroquímica de Camaçari, São Paulo, 1989.
- 143 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto, execução e aplicações - vidros na construção civil**; procedimento; NBR 7199. Rio de Janeiro, 1988.

- 144 DOCUMENT TECHNIQUE UNIFIÉ. Travaux de vitrerie. **Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Batiment 206** (1628), jan/fev 1980. (DTU n°39.1)
- 145 DOCUMENT TECHNIQUE UNIFIÉ. Menuiserie en bois/ menuiserie métalliques - annexe commune: caractéristiques dimensionnelles des baies dans le gros oeuvre destinées à recevoir des menuiseries. **Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Batiment 256** (1974), fev 1985.
- 146 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard specification for Poly(Vinyl Chloride) (PVC) prime windows**; ASTM D4099. Philadelphia, 1987.
- 147 PATENAUDE, A., SCOTT, D., LUX, M. Integrating the window with the building envelope. In: **Proceedings of Building Science Insight'88**. Ottawa, National Research Council of Canada, 1988. 47 - 58p.
- 148 DOCUMENT TECHNIQUE UNIFIÉ. Travaux de miroiterie et vitrerie en verre épais - Cahiers des charges. **Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Batiment 177** (1432), mars 1977. (DTU n°39.4 / memento DTU n°39.1/39.4)
- 149 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Practice for installation of storm windows, replacement windows, multi-glazing, storm doors and replacement doors**; ASTM E737. Philadelphia, 1987.
- 150 MESEGUER, A.G. Actuaciones para mejorar la seguridad y calidad de los edificios. **Informes de la Construcción** (317):25-38, jan., 1980.

## 6.2 Bibliografia consultada

- 1 BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT DIGEST. **Selection of windows by performance.** London, v.31.4, D262, june, 1982.
- 2 BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **Performance of windows;** BS 6375. London, 1989. Part 1
- 3 BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **Performance of windows;** BS 6375. London, 1987. Part 2
- 4 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION / INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **General requirements for the acceptance of testing laboratories,** 1983. (ISO/IEC Guide 38)
- 5 \_\_\_\_\_. **General requirements for the acceptance of inspection bodies,** 1983. (ISO/IEC Guide 39)
- 6 \_\_\_\_\_. **Development and operation of laboratory proficiency testing,** 1984. (ISO/IEC Guide 43)
- 7 \_\_\_\_\_. **General rules for ISO or IEC international third-party certification schemes for products,** 1985. (ISO/IEC Guide 44)
- 8 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION / CERTIFICATION COMMITTEE 107 (Rev.3) - **Questions of reciprocity,** 1985. (ISO/CERTICO 107 - Rev 3)
- 9 \_\_\_\_\_. **Comparison of third-party product certification systems and laboratory accreditation systems in providing assurance of product conformity with standard(s) or other technical specification(s),** 1982. (ISO/CERTICO 234 - Rev)
- 10 \_\_\_\_\_. **Practical functioning of certification systems,** 1982. (ISO/CERTICO 237)
- 11 \_\_\_\_\_. **Government views on certification,** Dec., 1982. (ISO/CERTICO 244)

- 12 WAENY, J.C.C. **Controle de processos e metrologia (Interações e prioridades)**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1980. (Série ACM-21)
- 13 \_\_\_\_\_. **Nacionalização de equipamentos, transferência de tecnologia e controle da qualidade**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1981. (Série ACM-34)
- 14 LA CALIDAD de la construcción en España. **Informes de la Construcción** (348), mar., 1983. (Cuadernos de Informes da UETcc)
- 15 HELENE, P.R.L. ; SOUZA, R. Controle de qualidade na indústria da construção civil. In: **Tecnologia de edificações**, São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Pini, 1988, p.537-542. (encarte IPT/Ded n.72)
- 16 TRIGO, J.T. ; BACALHAU, J.E.G. **O desafio da qualidade na construção de edifícios**. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1980.
- 17 ALABART, L.D. ; PEREZ, M.M. Guia práctica de controles de calidad en una edificación. **Informes de la construcción** (274): 65-75, Oct., 1975.
- 18 VIGNE, M.J. La politique de la qualité dans l'industrie des tuiles et briques. **L'Industrie Céramique** (590): 924-927, nov., 1966.
- 19 RAMBACH, R. La politique de la qualité dans l'entreprise. **L'Industrie Céramique** (585): 420-424, mai., 1966.
- 20 ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **As vantagens econômicas da normalização**. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1976. p.114.
- 21 **JIS HANDBOOK 1987: quality control**. Tokyo, Japanese Standards Association, 1987. p.1119.
- 22 KUME, H. **Statistical methods for quality improvement**. Tokyo, AOTS Chosakai, 1985. p.231.

- 23 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION /  
CERTIFICATION COMMITTEE. **Draft - General rules for a  
model third party certification system for products.**  
1981. (ISO/CERTICO 219)
  
- 24 \_\_\_\_\_. **Draft - General rules for model ISO and IEC  
certification schemes for products.** 1983. (ISO/CERTICO  
WG 4/46)
  
- 25 \_\_\_\_\_. **Draft - Guidelines for a step-by-step approach to  
an international certification system.** 1983.  
(ISO/CERTICO 273)
  
- 26 WAENY, J.C.C. **Lógica informal.** São Paulo, 1989. Não  
publicado.
  
- 27 RECOMENDACIONES TECNICAS de controle - 1ª parte.  
**Informes de la Construcción** (341): 69-84, jun., 1982.  
(Cuadernos de Informes da UETcc)
  
- 28 BONSHOR, R.B. ; HARRISON, H.W. Traditional housing: a  
BRE study of quality. Garston, **Building Research  
Establishment**, 1982. (Information Paper 18)
  
- 29 MESEGUER, A.G. Para una teoria de la calidad en  
construccion. **Informes de la Construcción** (348): 5-22,  
mar., 1983.
  
- 30 VILA, M. Responsabilidad y marcas de calidad. **Informes  
de la Construcción** (269): 113-117 ,abr., 1975.
  
- 31 JURAN, J.M. ; GRYNA, F.M. Jr. **Quality Control Handbook**,  
New York, McGraw Hill, 1979.
  
- 32 WAENY, J.C.C. **Marca de conformidade, certificação /  
garantia da qualidade e confiabilidade metrológica  
(processos e símbolos).** São Paulo, Instituto de  
Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1982.  
(Série ACM-41)
  
- 33 MONTENEGRO, M.H. ; SOUZA, R. A certificação de  
conformidade na construção civil. In: **Tecnologia de  
Edificações**, São Paulo, Instituto de Pesquisas  
Tecnológicas do Estado de São Paulo, Pini, 1988,  
p.533-536. (encarte IPT/DEd n.10 )

- 34 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION /  
INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. - **General  
rules for a model third-party certification systems for  
products**, 1982. (ISO/IEC Guide 28)
- 35 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION /  
INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **General  
requirements for the acceptance of certification bodies**,  
1983. (ISO/IEC Guide 40)
- 36 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION /  
INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **Guidelines  
for a step-by-step approach to an international  
certification system**, 1984. (ISO/IEC Guide 42)
- 37 \_\_\_\_\_. **An approach for a certification body to review  
its own internal quality system**. 1988. (ISO/IEC GUIDE  
56)
- 38 EMPRESAS JÁ USAM AVAL DO IPT EM SEUS PRODUTOS. **Papel e  
Embalagem**, São Paulo, fev, 1989.
- 39 IOSHIMOTO, E. ; MITIDIERI, C. Controle de qualidade de  
telhas e blocos cerâmicos. In: **Tecnologia de  
edificações**, São Paulo, Instituto de Pesquisas  
Tecnológicas do Estado de São Paulo, Pini, 1988,  
p.117-122. (encarte IPT/DEd n° 79)