Capa Magda1A4.qxd 01/01/98 00:05 Page 1

Magda Reis

Processo de produção e uso do alumínio na construção civil: contribuição à especificação técnica das esquadrias de alumínio

2006

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

PROCESSO DE PRODUÇÃO E USO DO ALUMÍNIO NA CONSTRUÇÃO CIVIL:

CONTRIBUIÇÃO À ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DAS ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO

MAGDA NETTO DOS REIS
ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO ROBERTO LEME SIMÕES

SÃO PAULO
MARÇO 2006

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

ASSINATURA:

E-MAIL: magda.reis@ibest.com.br

Reis, Magda Netto dos
R375p Processo de produção e uso do alumínio na construção civil: contribuição à especificação técnica das esquadrias de alumínio / Magda Netto dos Reis. -- São Paulo, 2006.
342 p. : il.

Dissertação (Mestrado – Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura) – FAUUSP.
Orientador: João Roberto Leme Simões.

1. Alumínio 2. Materiais de construção 3. Esquadrias I. Título

CDU 691.771

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA

PROCESSO DE PRODUÇÃO E USO DO ALUMÍNIO NA CONSTRUÇÃO CIVIL:

CONTRIBUIÇÃO À ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DAS ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO

MAGDA NETTO DOS REIS

ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO ROBERTO LEME SIMÕES

SÃO PAULO
MARÇO DE 2006

MAGDA NETTO DOS REIS

PROCESSO DE PRODUÇÃO E USO DO ALUMÍNIO NA CONSTRUÇÃO CIVIL:

CONTRIBUIÇÃO À ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DAS ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO

Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, na Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura, sob a orientação do Prof. Dr. João Roberto Leme Simões.

SÃO PAULO

MARÇO DE 2006

AOS MEUS AMADOS PAIS, ANTONIO E IZABEL,

maior e mais precioso prêmio com que a vida poderia me agraciar,
por toda a educação, todo o amor, todo o carinho
e todo o apoio incondicional de sempre.

A eles rendo minhas homenagens e dedico este trabalho, com os meus mais sinceros e profundos agradecimentos e a minha eterna gratidão.

AGRADECIMENTOS

Ao encerrar mais uma etapa da minha vida profissional com a conclusão desta Dissertação de Mestrado, sinto-me no dever de agradecer ao Bom Protetor e a todos aqueles que viabilizaram este trabalho. Ressalto as figuras de meus pais, Antonio e Izabel, que tudo fizeram para que ele pudesse se realizar, de Edivaldo Zanferrari, pela imensa bondade de estar continuamente ao meu lado, compreendendo meus anseios e impulsionando minhas realizações e de meus irmãos Marcos e Eduardo, grandes parceiros de vida e incentivadores desta jornada.

Agradeço muito sinceramente a todos estes que, de forma dignificante, souberam entender minha ausência nos vários momentos em que necessitavam de minha presença como companhia no viver e sentir e no lazer, quando a privação de alguns confortos materiais e espirituais aconteceu em prol da dedicação que a pesquisa nos impôs. Estendo também meus agradecimentos aos membros das famílias Reis e Zanferrari.

À Jane Marques, incentivadora, amiga e irmã de sonhos e ideais, meus sinceros, profundos e afetuosos agradecimentos.

Na FAUUSP agradeço de forma muito especial ao Professor João Roberto Leme Simões, por ter me acolhido como sua aluna e pela competência, dedicação e alegria com que me conduz ao caminho do conhecimento.

Ao Professor Marcelo de Andrade Romero, pelo apoio e pela motivação tão importantes no início deste trabalho.

À Professora Cláudia Terezinha de Andrade Oliveira, pelos ensinamentos preciosos e pelo interesse com que acompanhou todo o desenvolvimento da pesquisa, orientando para que o trabalho pudesse sempre se tornar melhor.

Ao Prof. João Bezerra de Menezes, pelas contribuições ao meu projeto e pela disponibilidade em participar de minha qualificação.

À Magnífica Reitora da Universidade de São Paulo, Professora Suely Vilela, ao Professor Ricardo Toledo Silva, Diretor da FAUUSP, e à Professora Maria Ângela Faggin Pereira Leite, Vice-diretora da FAUUSP, os nossos agradecimentos.

Estendo também meus agradecimentos à equipe de apoio da FAUUSP: aos funcionários da secretaria, especialmente à Lúcia, à Isa e ao Sadi; e às bibliotecárias Estelita, Filomena e Maria José.

À Companhia Brasileira de Alumínio, em especial ao Dr. Antonio Ermírio de Moraes e aos Srs. Luis Carlos Loureiro Filho e José Carlos Garcia Noronha, nossos respeitosos agradecimentos.

Ao amigo e parceiro de trabalho na CBA, Sérgio Ambrasas Genciauskas, mestre na arte de projetar esquadrias, por compartilhar comigo todo o seu saber e pela vasta e rica bibliografia a mim disponibilizada.

Agradecimentos a todos os colegas da CBA, da Alcoa, da Belmetal, da Hydro, da Fermax, da Alumisoft, da Afeal e demais empresas, que contribuíram para a realização desta Dissertação.

Aos amigos da Associação Brasileira do Alumínio: Wiliam Okay, Eng. Jairo Lisbôa, Eng. Nazir Abdo, Vanderlei Atti, Andréa, Berenice, Lenita, Marli, Neusa, Safira e Valéria, meus sinceros agradecimentos.

Ao professor José Afonso Mazzon e aos amigos Thomas Reaoch e Masanori Suzuki, nossos agradecimentos pelo incentivo permanente.

Agradecimentos fraternos aos amigos Edson Bourguignon, Ireno Dias Moreira, Eleonora Paschoal, Lucimar Mantovani, Sílvia Rangel e Marcos Fontes.

Enfim, se porventura houve omissão de nomes, peço que me desculpem e apresento meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO 13

INTRODUÇÃO 15

CAPÍTULO 1: HISTÓRIA DO ALUMÍNIO E USO NA ARQUITETURA 20

1.1 História dos metais 21

1.2 O alumínio: um metal versátil 31

1.3 O uso do alumínio na arquitetura e na construção civil 35

1.4 História das esquadrias 40

1.5 Esquadrias no contexto do processo de produção de edifícios 45

CAPÍTULO 2: O METAL ALUMÍNIO E SUAS LIGAS 54

2.1 Caracterização do alumínio e suas ligas 55

2.2 Obtenção e processamento do alumínio 57

2.3 A energia elétrica no processamento do alumínio 61

2.4 Processos industriais 63

2.5 Propriedades físico-químicas 75

2.6 Corrosão e durabilidade 88

2.7 Atributos e benefícios do alumínio 89

2.8 Reciclagem 91

CAPÍTULO 3: O MERCADO BRASILEIRO DE ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO 92

3.1 A indústria do alumínio e a construção civil no Brasil 93

3.2 Produtos extrudados de alumínio para a construção civil 101

3.3 Cadeia produtiva das esquadrias de alumínio 108

3.4 Esquadrias de alumínio para edifícios – produtos existentes 117

3.5 Materiais para esquadrias: alumínio, madeira, PVC e aço 144

CAPÍTULO 4: NORMATIVAS DE DESEMPENHO PARA A ELABORAÇÃO DE PROJETO DAS ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO 153

4.1 *Norma Série ISO 6241: Desempenho dos Edifícios* 154

4.2 *Norma NBR 10821/EB 1968: Caixilho para Edificação – Janela – Especificação* 185

4.3 Qualidade 187

4.4 Normas ISO 191

4.5 Certificação 198

4.6 Código de Defesa do Consumidor e o exercício da Engenharia Civil 200

4.7 Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat – PBQPH 206

CAPÍTULO 5: ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA PARA ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO 210

5.1 Partes de uma esquadria 211

5.2 Tipologias das esquadrias para edifícios 253

5.3 Especificação técnica das esquadrias de alumínio 270

5.4 Etapas do processo de fabricação das esquadrias de alumínio 292

5.5 Recomendações Técnicas 297

5.6 Garantia de qualidade 303

CAPÍTULO 6: CONSIDERAÇÕES FINAIS 306

BIBLIOGRAFIA 313

ANEXOS 330

Glossário dos Principais Termos Técnicos 331

Glossário das Principais Palavras-Chave 338

Siglas 339

Simbologia 341

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Obras significativas – Escola de Chicago	28
Figura 2:	Obras significativas com esquadrias de alumínio	38
Figura 3:	Mineração da bauxita	57
Figura 4:	Alumina, fornos de redução e alumínio	59
Figura 5:	Fluxograma de obtenção do alumínio	60
Figura 6:	Tarugos, placas e lingotes de alumínio	61
Figura 7:	Usina hidroelétrica Barra	62
Figura 8:	Extrusão indireta ou inversa	66
Figura 9:	Extrusão direta	67
Figura 10:	Os três tipos de perfis de alumínio	68
Figura 11:	Prensa e ferramenta de extrusão	72
Figura 12:	Diagrama do processo de solda *TIG*	74
Figura 13:	Sistema de classificação do alumínio e suas ligas	81
Figura 14:	Configuração do mercado brasileiro de esquadrias 2005	102
Figura 15:	Dimensão "D" (bitola) dos perfis de alumínio	110
Figura 16:	Localização da dimensão "D" (bitola) dos produtos existentes	112
Figura 17:	Etapas da cadeia produtiva das esquadrias de alumínio	117
Figura 18:	Produtos da empresa Alcoa Alumínio S.A.	127
Figura 19:	Produtos da empresa Belmetal Indústria e Comércio	130
Figura 20:	Produtos da Companhia Brasileira de Alumínio	135
Figura 21:	Produtos da empresa Hydro Alumínio Acro S.A.	141
Figura 22:	Obras com esquadrias de alumínio	142
Figura 23:	Câmara de testes de conformidade das esquadrias	166
Figura 24:	Mapa das isopletas das velocidades dos ventos em m/s	167
Figura 25:	Organograma do Ministério das Cidades e o PBQP-H	206
Figura 26:	Partes de uma esquadria	211
Figura 27:	Tipos de perfis de alumínio	214
Figura 28:	Perfis de alumínio para esquadrias	214
Figura 29:	Tipos de contramarcos de alumínio	218
Figura 30:	Instalação da esquadria sem uso de contramarco	219
Figura 31:	Instalação da esquadria com uso de contramarco	220
Figura 32:	Ângulos de corte dos perfis	221
Figura 33:	Perfil de alumínio com olhal para fixação de parafusos	222
Figura 34:	Processo de anodização dos perfis de alumínio	225
Figura 35:	Estrutura da camada anódica	226

Figura 36: Processo de coloração da anodização 227
Figura 37: Processo de pintura eletrostática a pó 231
Figura 38: Exemplos de aplicações dos selantes 243
Figura 39: Acessórios utilizados nas esquadrias de alumínio 244
Figura 40: Crystal Palace 246
Figura 41: Obras com uso do vidro e do alumínio 253
Figura 42: Janela de correr com duas folhas 257
Figura 43: Janela de correr de três folhas com venezianas 257
Figura 44: Janela guilhotina 258
Figura 45: Janela tipo máximo-ar 259
Figura 46: Janela basculante 259
Figura 47: Janela de tombar 260
Figura 48: Janela pivotante horizontal 261
Figura 49: Janela pivotante vertical 261
Figura 50: Janela de abrir com uma e com duas folhas 262
Figura 51: Janela de correr com persiana de enrolar 262
Figura 52: Janela ribalta de abrir e tombar 263
Figura 53: Janela do tipo “camarão” 263
Figura 54: Esquadrias de alumínio – janelas de correr 267
Figura 55: Esquadrias de alumínio – janelas tipo máximo-ar 268
Figura 56: Esquadrias de alumínio – portas de correr e de abrir 270
Figura 57: Detalhe do projeto pré-executivo de arquitetura de uma janela de correr de três folhas, com persiana de enrolar 273
Figura 58: Representações gráficas das tipologias das esquadrias 276
Figura 59: Mapa das isopletas das velocidades características dos ventos nas cinco regiões do Brasil (m/s) 279
Figura 60: Áreas das esquadrias sujeitas à tensão máxima 281
Figura 61: Contramarco tipo cadeirinha 283
Figura 62: Montagem das folhas das esquadrias a 90 e a 45 graus 283
Figura 63: Exemplo de projeto de esquadrias fornecido pelos fabricantes de esquadrias 286
Figura 64: Comportamento estrutural da esquadria 288
Figura 65: Representação gráfica da tipologia em estudo 290
Figura 66: Configuração geométrica do conjunto – projeto 290
Figura 67: Detalhe de instalação da esquadria 295
Figura 68: Exemplos de obras com uso de esquadrias de alumínio 296

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Síntese da cronologia dos metais 14

Quadro 2: Insumos para produção de uma tonelada de alumínio 57

Quadro 3: Características do alumínio 75

Quadro 4: Comparativo dos metais mais utilizados na atualidade 79

Quadro 5: Principais grupos de ligas trabalháveis 82

Quadro 6: Ligas da série galvânica 89

Quadro 7: Atributos e benefícios do alumínio 90

Quadro 8: Capacidade de produção instalada de alumínio primário 95

Quadro 9: Consumo doméstico de produtos transformados de alumínio 97

Quadro 10: Consumo de alumínio por setor de aplicação no Brasil 97

Quadro 11: Consumo de alumínio por setor e produto em 2004 99

Quadro 12: Densidade dos metais 103

Quadro 13: Relação de normas referentes às ligas de alumínio 104

Quadro 14: Preços das esquadrias de acordo com os materiais 150

Quadro 15: Comparativo das características das esquadrias de alumínio, madeira e aço 151

Quadro 16: Velocidades características dos ventos 167

Quadro 17: Pressões de ensaios de cargas uniformemente distribuídas – *Norma NBR 10821/EB 1968: Caixilho para Edificação – Janela – Especificação* 168

Quadro 18: Pressões de ensaios de estanqueidade à água 170

Quadro 19: Exigências de permeabilidade ao ar 171

Quadro 20: Condições de tolerância ao ruído 175

Quadro 21: Matriz para definição do perfil de desempenho de uma esquadria 178

Quadro 22: Exemplo de Matriz para definição do perfil de desempenho de uma esquadria 181

Quadro 23: Normas ABNT relativas ao alumínio 182

Quadro 24: Normas ABNT relativas aos caixilhos 183

Quadro 25: Normas ABNT relativas aos elastômeros 184

Quadro 26: Normas ABNT relativas aos vidros 185

Quadro 27: Normas ABNT diversas 185

Quadro 28: Relação de normas para consulta complementar à *Norma NBR 10821/EB 1968: Caixilho para Edificação – Janela – Especificação* 186

Quadro 29: Propriedades mecânicas das principais ligas utilizadas em perfis para esquadrias 203

Quadro 30: Coeficientes de dilatação dos materiais 217

Quadro 31: Critérios para a escolha do corte a 45 ou a 90 graus 224

Quadro 32: Tipos de coloração da anodização 227
Quadro 33: Tipos de anodização e suas características 228
Quadro 34: Normas Técnicas ABNT para controle da anodização 229
Quadro 35: Especificação da camada anódica segundo o nível de agressividade do ambiente 229
Quadro 36: Tipos de resinas para pintura dos perfis 233
Quadro 37: Relação de normas para controle da qualidade da pintura 233
Quadro 38: Pesos dos perfis de alumínio e dos vidros 240
Quadro 39: Fórmula para cálculo do peso da folha da esquadria 240
Quadro 40: Constituição química dos vidros 247
Quadro 41: Relação dos vãos modulares utilizados em esquadrias 265
Quadro 42: Tipologias de esquadrias de alumínio 265
Quadro 43: Exemplo de relação das esquadrias 274
Quadro 44: Percentual de consumo de alumínio por tipos de usos das edificações e tipologias das esquadrias 276
Quadro 45: Velocidades características dos ventos nas cinco regiões do Brasil, de acordo com a *Norma NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações* 279
Quadro 46: Fator topográfico de correção S_1 280
Quadro 47: Fator de correção S_2, para rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura acima do terreno 280
Quadro 48: Especificação da camada anódica dos perfis 284
Quadro 49: Especificação da pintura dos perfis 284
Quadro 50: Configuração geométrica do conjunto – dados técnicos 290
Quadro 51: Relação de produtos disponíveis no mercado 292

RESUMO

Esta Dissertação de Mestrado trata da pesquisa e do estudo das esquadrias de alumínio para a construção civil de edifícios, nas diversas categorias de uso. Considera os aspectos referentes ao histórico do metal, aos processos de produção do alumínio e dos perfis para fabricação de esquadrias, à especificação técnica das esquadrias com suas diferentes tipologias, multiplicidade de usos e aplicações e desempenho técnico-construtivo do material.

O objetivo deste trabalho é desenvolver literatura didática a respeito do *sistema de vãos – janelas de alumínio*, de modo a orientar os profissionais da construção civil, particularmente os arquitetos, no emprego do material, aliando adequação técnica, estética e demais pormenores, além de promover a otimização de custos numa relação de custo–benefício.

O produto resultante da pesquisa inserida nesta Dissertação poderá contribuir e auxiliar na elaboração do projeto e na especificação técnica das esquadrias de alumínio nos edifícios, sempre de maneira responsável e consciente.

ABSTRACT

This Master's Degree Dissertation is about the research and the study of the aluminum building products for doors and windows, considering the following aspects: the metal's historic; the production process of aluminum and profiles for the windows fabrication; the technical specification of the windows, its typologies, its multiplicity of uses and applications and the performance technical constructive of the material.

The objective of this job is to develop teaching literature about *space systems – aluminum windows*, in order to orientate the professionals of civil construction, particularly the architects, to use material with the best possible way, allying technical adaptation, aesthetics, and others details, and to promote the cost optimization.

The resulting of the research inside this Dissertation could contribute and helps in the technical specification, responsible and conscious, of the aluminum windows and doors for buildings.

APRESENTAÇÃO

O início das atividades profissionais desta pesquisadora ocorreu em 1982, ainda quando estudante do segundo ano do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Mackenzie.

O trabalho se desenvolveu no escritório *Ariel Rubinstein & Masanori Suzuki Arquitetos Associados*, no qual pôde conhecer e desenvolver todas as etapas da elaboração de um projeto de arquitetura, incluindo: *concepção, observância da legislação e dos requisitos necessários para aprovação de projeto junto à prefeitura, desenvolvimento e elaboração de projetos pré-executivo e executivo, detalhando soluções e compatibilizando o projeto arquitetônico aos projetos auxiliares de hidráulica, elétrica, etc., e elaboração do memorial descritivo de especificação dos materiais*.

A filosofia de trabalho tanto do escritório empregador quanto da pesquisadora exigiam um padrão de qualidade que incluía desenho detalhado do projeto executivo, contato permanente com a obra e, particularmente, com a especificação dos materiais, cujo principal objetivo era propor soluções para que a obra chegasse ao melhor resultado final otimizando os custos e o tempo para sua execução. Neste sentido, entendiam ambos que a racionalização do processo de construção é importante para o desenvolvimento do projeto e o sucesso de todo o empreendimento. Assim, a fim de viabilizar os recursos financeiros disponíveis para a execução da obra, a autora constatou a necessidade de ampliar o conhecimento das técnicas de projeto, bem como, e especialmente, das características específicas da cada material.

Após trabalhar com projetos de arquitetura, iniciou as atividades na área de consultoria técnica vinculadas à especificação de materiais, primeiramente em empresa de louças sanitárias, a *Ideal Standard*, e em seguida na *Aluminum Company of América – Alcoa*, multinacional produtora de alumínio. Atualmente realiza este trabalho na Companhia Brasileira de Alumínio – CBA.

O uso das esquadrias de alumínio no Brasil intensificou-se na década de 1950, graças à construção de Brasília. Na década de 90 houve

um avanço significativo do uso deste material no país. Nesta fase ampliaram-se minhas atividades como consultora na área de especificação de materiais, auxiliando profissionais da construção civil na correta escolha dos produtos de alumínio.

A partir desta experiência e da percepção das necessidades destes profissionais em ampliar e aprofundar o conhecimento sobre as características dos materiais para a construção civil, nasce o interesse de elaborar este trabalho a respeito dos produtos de alumínio para esquadrias.

Em paralelo à contribuição que almejo trazer aos profissionais diretamente envolvidos no mercado de produtos para a construção civil, esta Dissertação visa atender às comunidades acadêmicas e científicas, de modo a corroborar para a valorização da educação.

Gostaria de ressaltar que a importância da educação foi um dos inúmeros valores a mim transmitidos por meu pai, Antonio Martins dos Reis. Fonte de inspiração para a elaboração deste trabalho de pesquisa, seus ensinamentos foram fundamentais e serviram de norte para toda a minha vida pessoal e profissional. Acreditar na valorização da educação e do ensino como base para o efetivo desenvolvimento e a real evolução da sociedade foi um dos valores transmitidos por ele e que impulsionaram a realização desta Dissertação, que antes era um sonho e agora se materializa nas páginas seguintes.

INTRODUÇÃO

A origem das atribuições do arquiteto, tais como compreendidas atualmente, remontam à Idade Média, quando o artesão, ao destacar-se por suas obras, era reconhecido como mestre. Na edificação, o mestre-de-obras do passado reúne as prerrogativas do arquiteto, do artista e do construtor: ele concebe e realiza.[1]

Ainda segundo Rosso[2], com a divisão do trabalho e a especialização surgem os ofícios. O início da aplicação de máquinas promove o *princípio da economia de escala*. Os romanos criam a padronização dos tijolos e, com a *padronização dos materiais,* observam-se as *vantagens da normalização*. A produção não pode mais ser sob medida. Restringe-se, agora, a alguns modelos, os quais, por sua vez, devem possuir determinados requisitos.

Já na Renascença[3], os novos arquitetos aplicam o princípio da produção em série. Em 1500 surgem as primeiras máquinas manuais e hidráulicas, configurando o *princípio da transferência de habilidade*. A máquina a vapor permite o desenvolvimento da mecânica aplicada e auxilia a revolução industrial.

A história demonstra que a preocupação com a *normalização* e a *racionalização* das obras é remota. Teoricamente a racionalização[4] é o processo mental que governa a ação contra os desperdícios temporais e materiais dos processos produtivos, aplicando o raciocínio sistemático, lógico e resolutivo, isento de influxo emocional.

Uma das finalidades da racionalização é integrar as duas partes nas quais se divide a indústria da construção: a da edificação propriamente dita e a de *materiais de construção*. A racionalização pode e deve agir sobre a edificação–produto tanto quanto sobre a edificação–processo.

---

1 ROSSO, Teodoro. *Racionalização da construção*.

2 ROSSO, Teodoro. *Racionalização da construção*.

3 Renascença – movimento de renovação cultural e artística dos séculos XV e XVI na Europa, que se caracterizou pela imitação da antigüidade greco-romana.

4 De acordo com Rosso, entende-se por racionalização de um processo de produção o conjunto de ações reformadoras que se propõe substituir as práticas rotineiras convencionais por recursos e métodos baseados em raciocínio sistemático, visando eliminar a casualidade das decisões. ROSSO, Teodoro. *Racionalização da construção.*

Neste sentido, as empresas construtoras, preocupadas com a *racionalização de seus sistemas produtivos* e com a necessidade de estabelecer novas estratégias de produção, tornam-se mais exigentes em relação ao nível de desempenho de todas as etapas da cadeia produtiva que compõem a indústria da construção civil. Os *produtos* destinados a este segmento passam a prescindir de certificações de desempenho, visando garantir a qualidade da edificação como um todo, bem como ampliar a sua própria competitividade dentro da cadeia.

De acordo com estas premissas básicas, as *empresas de materiais* tornam-se responsáveis pela oferta de produtos afinados com as necessidades de seus clientes, buscando continuamente a melhoria e a eficácia nos respectivos processos de produção. E os *profissionais da construção civil*, por sua vez, precisam desenvolver e ampliar o conhecimento dos materiais, para que possam utilizá-los de modo racional.

A observação destas considerações preliminarmente expostas contribui para explicitar os motivos que levaram esta pesquisadora a elaborar a Dissertação ora apresentada, cujo objetivo principal é desenvolver material didático a respeito do *sistema de vãos – janelas de alumínio*, de modo a orientar os profissionais da construção civil, particularmente os arquitetos, a utilizar o material da melhor maneira possível, aliando adequação técnica, estética e demais pormenores, além de promover a otimização de custos e a racionalização do uso.

O *alumínio*[5] como matéria-prima para a fabricação de esquadrias vem tendo utilização cada vez maior na construção civil no Brasil e no mundo. As esquadrias de alumínio dominam praticamente todo o segmento de edifícios residenciais e comerciais no país, e parte dos segmentos de residências e fábricas.

---

[5] Material leve, durável e bonito, o alumínio é um dos metais mais versáteis em termos de aplicação, o que garante sua presença em uma grande diversidade de indústrias e segmentos. Na construção civil, produtos que utilizam alumínio ganham também competitividade, em função dos inúmeros atributos que este metal incorpora, tais como: leveza, impermeabilidade, alta relação resistência–peso, beleza, resistência à corrosão, possibilidade de muitos acabamentos e possibilidade de reciclagem.

No macrossetor da construção civil, verifica-se que a participação das esquadrias de alumínio poderia ser ampliada se os profissionais responsáveis pela especificação destes produtos dispusessem de mais informações sobre o material quanto a suas aplicações, adequação, vantagens e benefícios decorrentes do seu uso.

O aspecto estético deste material confere às obras características de vanguarda, modernidade e alta tecnologia, gerando edificações bastante apreciadas por sua beleza, seu arrojo e seu elevado nível de qualidade. As vantagens da utilização das esquadrias de alumínio, aliadas ao uso inteligente e racional do material, são aspectos que agregam valor ao empreendimento. E este é um fator importante tanto para os profissionais da construção civil como para os empresários do setor, proprietários dos imóveis e usuários de maneira geral.

Complementando as informações a respeito das esquadrias de alumínio, cabe salientar que estas compõem o *sistema de vãos* das edificações. Este, por sua vez, vincula-se ao órgão do edifício, cuja função é a *comunicação entre os ambientes internos e externos*. Para assegurar o desempenho desta função utilizam-se: *esquadrias* (portas e janelas), lanternins, domos e cortinas vazadas.

Ressalta-se ainda que na arquitetura moderna ocorreu o predomínio do sistema de vãos sobre o sistema de vedos. Por essa razão, faz-se necessário o desenvolvimento de esquadrias, cujas características atendam aos critérios de desempenho exigidos pelas normas pertinentes à obra e, conseqüentemente, contribuam para a qualidade da edificação como um todo.

Visando ampliar o conhecimento acerca do alumínio utilizado no sistema de vãos, esta Dissertação apresenta aspectos referentes ao histórico do metal, aos processos de produção do alumínio e dos perfis para fabricação de esquadrias, à especificação técnica destas esquadrias, de acordo com os tipos de usos e de aplicações, e ao desempenho técnico–construtivo do material. Acreditamos que o trabalho ora apresentado poderá auxiliar na *especificação técnica, responsável e consciente, das esquadrias de alumínio*.

Nesta introdução aborda-se, de maneira sucinta, cada um dos capítulos desenvolvidos, com o que se pretende permitir aos leitores interessados situarem-se no tema de cada capítulo

O *Capítulo 1* trata dos aspectos históricos do uso do alumínio na arquitetura. Inclui-se a cronologia do surgimento dos metais, por meio da qual é possível verificar o quão recente é o uso deste metal em comparação com os demais. Complementando o *capítulo 1*, apresenta-se a análise das esquadrias no contexto do processo de produção de edifícios.

O *Capítulo 2* apresenta a descrição das características e dos processos de obtenção e produção do metal alumínio e suas ligas. Conhecer estas características permite apreender as potencialidades de aplicação do material em estudo.

No *Capítulo 3* estão inseridas as informações acerca do mercado brasileiro de esquadrias de alumínio. Relacionam-se os participantes da cadeia produtiva das esquadrias de alumínio, bem como dados comparativos com outros materiais utilizados na fabricação dessas peças.

O *Capítulo 4* destaca as principais normativas de desempenho para elaboração do projeto de esquadrias de alumínio, e que devem ser consideradas na especificação. A observação destas normativas é fator fundamental para que estes produtos possam apresentar bom desempenho e boa qualidade.

As diretrizes básicas para a especificação técnica das esquadrias de alumínio estão inseridas no *Capítulo 5*. Ali estão os principais aspectos a se observar na definição destes produtos, de modo a promover sua correta aplicação, sempre de acordo com as necessidades específicas de cada obra. As partes e as tipologias das esquadrias, os critérios para elaboração da especificação técnica, as etapas do processo de fabricação, as recomendações técnicas e a garantia de qualidade das esquadrias de alumínio são os temas abordados.

E finalmente, no *Capítulo 6,* as considerações finais resumem os temas-chave apresentados na Dissertação.

Com relação à metodologia aplicada na elaboração deste trabalho, primeiramente procedeu-se à *revisão bibliográfica* sobre o tema central do

projeto de pesquisa, o que permitiu traçar o quadro teórico de referência para a análise da parte prática do estudo. A parte prática consistiu no *planejamento e na execução de uma pesquisa de campo exploratória, de natureza qualitativa*, através da realização de entrevistas, em profundidade, junto aos diversos públicos participantes deste setor.

CAPÍTULO 1

HISTÓRIA DO ALUMÍNIO E USO NA ARQUITETURA

CAPÍTULO 1: HISTÓRIA DO ALUMÍNIO E USO NA ARQUITETURA

1.1 História dos metais[6]

As bases técnicas das civilizações constituíram-se durante o chamado *Período Neolítico* ou da *Nova Idade da Pedra*, caracterizado pela considerável extensão das técnicas primitivas.

A transição da *Idade da Pedra* para a *Idade dos Metais* foi gradual. O cobre era utilizado no Oriente Médio já no oitavo milênio antes de Cristo, e talvez também no Egito. O bronze apareceu no Oriente no quarto milênio, e pouco mais tarde no Egeu, sendo que no mediterrâneo ocidental surge antes do terceiro milênio a.C.

Os povos da *Idade da Pedra Polida (Neolítico)* apresentaram resquícios de *metalurgia*[7], sem que houvesse, entretanto, conhecimento das técnicas metalúrgicas. Na realidade ocorreu o uso acidental de metais nativos, especialmente o cobre, e posteriormente outros metais, como o ouro.

A *metalurgia* é uma síntese; pressupõe o uso coerente de um conjunto de processos, e não a prática de um instrumento único. Sua verdadeira origem é desconhecida, mas sabe-se que a forja põe em jogo as percussões (martelo), o fogo (fornalha), a água (têmpera), o ar (fole) e os princípios da alavanca.

Desde o *Período Neolítico*, as civilizações desenvolvem-se por meio de diferentes culturas, caracterizadas por um conjunto de técnicas fundamentais. O uso do cobre, depois do bronze, em seguida do ferro e do aço vão se definindo pouco a pouco na evolução destas culturas, sem, contudo, introduzir uma modificação significativa.

Provavelmente o cobre tenha sido descoberto por acaso, em meio a alguma fogueira feita sobre pedras que continham o minério. É

---

6 BRAGA, Thomaz dos Mares Guia. *Cronologia do uso dos metais*. Disponível em: <http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=167>. Acesso em: 21 ago. 2004.

7 Metalurgia: Conjunto de tratamentos físicos e químicos a que se submetem os minerais para se extraírem os metais, devidamente purificados e beneficiados.

presumível que algum observador neolítico tenha notado o metal, obtido a partir do calor do fogo, reproduzindo mais tarde o processo propositadamente. O cobre foi usado na forma pura, que era dúctil demais para a fabricação de instrumentos e armas úteis. Do 4º ao 3º milênio, as técnicas de fusão e modelagem evoluem, surge a primeira liga e o cobre arsênico, composto tão venenoso que logo foi substituído. A seguir ocorre a descoberta de que, ao adicionar ao cobre pequena proporção de estanho, formava-se uma liga mais dura do que o cobre puro. Era a descoberta do bronze, que possibilitou ao homem modelar novos e melhores utensílios, como: vasos, serras, espadas, escudos, machados, trombetas, sinos e outros. Ao mesmo tempo, o homem aprendeu a fundir ouro, prata e chumbo.

Entre 3500 e 2200 a.C. – época contemporânea dos sumérios[8] e do antigo império egípcio –, a *Idade do Bronze* chegou para os povos neolíticos que ocupavam Creta e as Cíclades[9].

Cerca de 2.000 anos após a descoberta do cobre e do bronze, o ferro também passou a ser usado. Esse novo metal já era conhecido no segundo milênio antes de Cristo, mas por longo tempo permaneceu raro e dispendioso. Seu uso só foi amplamente estabelecido na Europa por volta de 500 a.C.

Com a descoberta do ferro, ultrapassam-se os limites dos tempos pré-históricos e invade-se a era da história escrita. Nessa nova era, a cultura, em diversos lugares, amadurecia em civilização. Após centenas de milhares de anos de lenta preparação pré-histórica, ocorre o princípio da história da civilização.

O vestígio mais remoto deste metal é um conjunto de quatro esferas de ferro, datadas de 4000 a.C., encontradas em El-Gezivat, no Egito. Por volta de 1500 a.C., havia exploração regular de minério no Oriente e na Grécia.

Antes de saber como obter o ferro pela fusão de seus minérios, o homem fazia ferramentas e armas de pedaços de meteoritos de ferro

---

8 Sumério: Da, ou pertencente ou relativo à Suméria, antiga região da Baixa Mesopotâmia (Ásia).

9 Cíclades: Denominação do conjunto de ilhas localizadas na Grécia.

batidos. A fusão começou a existir na Ásia Menor por volta de 1500 a.C. e a arte se tornou amplamente conhecida por volta de 1000 a.C.

A partir da descoberta, difundiu-se lentamente, primeiro até o Egito e em seguida até o Egeu, onde, mesmo nos tempos homéricos, o ferro era considerado metal raro e as armas eram feitas de cobre e bronze. O emprego do ferro alcançou a bacia do Danúbio Superior por volta de 900 a.C., sendo dessa área levado pelos celtas migrantes rumo ao Ocidente até a França e a Península Ibérica. No sentido norte-ocidental, da Alemanha até as Ilhas Britânicas.

Posteriormente surge o aço[10], obtido pela fusão do minério de ferro com carvão vegetal. O aço possui, em sua composição química, até 2% de carbono. Nos casos em que a quantidade de carbono está acima deste percentual o metal é considerado como sendo ferro. Inicialmente, devido às características do processo de produção, dispendioso e incerto, o aço permaneceu escasso e empregado somente em objetos de importância vital, como as lâminas das espadas.

Em todos os domínios, mas principalmente no domínio das técnicas industriais, as civilizações do Egito e da Mesopotâmia foram os professores da Grécia. O milagre grego consistiu em recolher e fecundar, uma pela outra, duas heranças: a herança positiva, das técnicas industriais, e a herança misteriosa dos sonhos, das religiões, dos mitos do Oriente. A partir do encontro e do choque destas tradições, acontece o nascimento de um novo espírito, o da ciência, cujos ideais são o julgamento livre de todas as coisas e o encontro com a verdade.

O alto-forno a carvão mineral surgiu por volta de 1630. O primeiro laminador remonta aproximadamente ao ano 1700. O processo de refinação do ferro, chamado *pudlagem*[11], foi patenteado na Inglaterra em 1781 por Henry Cort, difundindo-se com rapidez. O grande impulso ao desenvolvimento da siderurgia ocorreu com o advento da tração a vapor e o surgimento das ferrovias, a primeira das quais inaugurada em 1827, na Inglaterra.

---

[10] O aço é uma liga metálica de ferro com pequenas quantidades de carbono (0,002 a 2,0%) com propriedades de resistência e ductibilidade.

[11] Pludagem: Consiste em agitar o ferro em fusão dentro dos fornos, eliminando grande parte do carbono. Converte o ferro da primeira fusão em ferro fundido.

Até o fim do século XVIII, a maior parte das máquinas industriais era de madeira. O rápido desenvolvimento dos métodos de refinação e de trabalho do ferro abriu caminho a novas utilizações do metal e à construção de máquinas industriais e, por conseqüência, à produção em quantidade de objetos metálicos de uso geral.

Em meio às guerras napoleônicas desenvolve-se a técnica do aço de cadinho[12], em 1815, cuja patente é reivindicada por Krupp. Mas o aço de cadinho era feito em quantidades pequenas e com custo elevado.

Entre as descobertas científicas que gradativamente contribuíram para a evolução do processo de produção industrial, merece destaque a utilização do carvão mineral para redução do minério de ferro, que resultou na localização dos complexos siderúrgicos e determinou, por privilégios geológicos, o pioneirismo de uma nação na siderurgia. A Grã-Bretanha foi a maior beneficiária desta conquista científica por possuir, em territórios economicamente próximos, jazidas de minério de ferro e de carvão mineral.

Junte-se a isto toda a estrutura comercial voltada para o exterior e tem-se o perfil de um país que, praticamente sozinho, foi capaz de deter o domínio do mercado internacional de ferro, a ponto de ser considerada a "oficina mecânica do mundo". Na Grã-Bretanha, somente a indústria têxtil suplantou a indústria do ferro, no surgimento da Revolução Industrial. Apesar de não ser o único país a produzir ferro, foi o primeiro a produzi-lo em escala considerável, beneficiando-se do monopólio das relações comerciais com o mundo subdesenvolvido. Esse monopólio se estabeleceu entre fins do século XVIII e início do século XIX.

A expansão da Revolução Industrial modificou totalmente a metalurgia e o mundo: o uso de máquinas a vapor, os laminadores, os tornos mecânicos e o aumento de produção transformaram o ferro e o aço no mais importante material de construção. Em 1779, construiu-se a primeira ponte de ferro sobre o Rio Seven, em Coalbrookdale, denominada *Iron Bridge*, projeto do engenheiro Abrahan Darby e do arquiteto Thomas Pritchard.

---

[12] Cadinho: Vaso metálico ou de material refratário, utilizado em operações químicas a temperaturas elevadas.

Em 1801, é construído o primeiro edifício industrial de ferro em Manchester, na Inglaterra. Durante o período compreendido entre os anos de 1837 e 1840, os ingleses e franceses desenvolvem a galvanização e as chapas corrugadas galvanizadas. Com essas duas invenções a Inglaterra quadruplica sua produção e os preços caem, com reflexos na indústria têxtil, de máquinas e ferrovias.

A segunda Revolução Industrial ocorre em 1850, período em que "a máquina produz outras máquinas". Nesta época, o ferro é utilizado em grande escala nas ferrovias, nas locomotivas, nos navios, nos edifícios, na maquinaria, nas instalações sanitárias, etc. Criam-se, então, os mercados interno e externo do ferro. No Brasil, neste período, o uso do ferro se limitava a ferramentas para o cultivo da terra e a equipamentos para as usinas de açúcar.

O uso do ferro na construção civil gerou a realização de muitos edifícios significativos em termos tecnológicos e marcantes pela inovação arquitetônica apresentada. Dentre estes, destacam-se: o *Palácio de Cristal*, em Londres, construído em 1851 com projeto de Joseph Paxton, as *Estações Ferroviárias de Paddington*, construídas em Londres no ano de 1852 e o *Mercado Central do Halles*, construído em Paris no ano de 1853.

Em 1854, ocorre a laminação dos primeiros perfis no formato "I", simultaneamente ao surgimento da primeira *Normalização na Construção Civil*. Em 1855, é erguida a primeira ponte de grande vão com vigas de ferro fundido.

Henry Bessemer, em 1856, descobre que, no processo de produção do ferro, ao injetar ar durante a fusão, eliminava-se carbono, possibilitando a conversão do ferro-gusa em aço.

Um dos primeiros exemplos do uso do aço na arquitetura[13] data de 1862, com a construção das *Estações Ferroviárias do Norte*, em Paris. Outros exemplos do uso do aço são: uma cobertura com 78 metros de vão, construída no ano de 1866, em Londres e a construção da ponte de

---

[13] MARGARIDO, Aluízio Fontana. *O uso do aço na arquitetura*. São Paulo: Fupam. Apostila de Curso. Responsável e coordenador científico: Prof. João Roberto Leme Simões.

aço sobre o Rio Mississipi, em Saint Louis, nos Estados Unidos, no período de 1868 a 1874.

Nos Estados Unidos, dois fatos marcaram este período: a construção de 51 mil milhas de estradas de ferro, no ano de 1870, e o incêndio que devastou a cidade de Chicago, no estado de Ilinois, em 1871.

Com a reconstrução de Chicago, iniciada em 1875, forma-se a "Escola de Chicago", que incrementou a produção dos edifícios altos. Os arquitetos Louis Sullivan, Daniel Burttman, Willian Holabird e Martin Roche são expressivos representantes desta escola.

Entre 1878 e 1879, Pierre E. Martin produz aço líquido (sucata e gusa de ferro). Siemens patenteia novo tipo de alto-forno, que permite a produção de aço de alta qualidade, o que vai possibilitar a construção das estruturas dos edifícios altos.

Durante a década compreendida entre 1880 e 1890, o maior produtor de aço do mundo passa a ser os Estados Unidos, superando a produção da Inglaterra e da Alemanha juntas.

Dentre as obras arquitetônicas significativas deste período, realizadas com o uso do aço, destacam-se: *First Leiter Building*, projeto do arquiteto William Le Baron Jenney, da Escola de Chicago (1879); *Ponte do Brooklin*, tipo pênsil e com 487 metros de vão, construída em Nova York (1883); o *Home Insurance Company Building*, com 11 pavimentos, projeto do arquiteto William Le Baron Jenney, da Escola de Chicago (1884); o *Auditorium Building Chicago*, dos arquitetos Adler e Louis Sullivan (1887); a *Galeria das Máquinas*, com 110 m de vão e projeto do arquiteto Ferdinand Dutert; e a construção da *Torre Eiffell*, em Paris (1889).

Em 1890 obtêm-se aços especiais pela incorporação do cromo, do manganês, do níquel, do valadio e do cobre. Ocorre então a construção da ponte dupla treliçada, em balanço, sobre o rio Firth of Forth, na Escócia. A Alemanha, os Estados Unidos e a Bélgica passam a produzir aço em escala, concorrendo com a Inglaterra.

Dois outros marcos arquitetônicos são: *The Reliance Building*, com projeto dos arquitetos Burnhan & Root, da Escola de Chicago, em 1894,

e a construção, em 1930, do *Empire State Building*, em Nova York, projeto dos arquitetos Shreve, Lamb & Harmon.

Com a primeira grande guerra (1914/1918), a Europa mergulha em recessão econômica e conservadorismo, o que dificulta o uso do aço e facilita o desenvolvimento do concreto armado, que tem em Perret e Garnier seus precursores. Somente Le Corbusier mantém a estrutura metálica viva na Europa.

Dentre os fatores que contribuíram para a inserção do ferro na arquitetura dos edifícios destaca-se fundamentalmente o reflexo causado pela Revolução Industrial na urbanização das cidades, forçando a melhoria do saneamento, das habitações, dos hospitais, da segurança pública, do lazer, do trabalho, do abrigo das novas funções.

Diante destas necessidades, o ferro e posteriormente o aço se apresentam como opção para a construção dos componentes e elementos dos edifícios. O barateamento de ambos permite o uso em substituição aos materiais tradicionais da construção civil. A opção pelo uso desses metais está ligada à necessidade de se produzir em escala industrial.

Razões econômicas determinam a coexistência da "Arquitetura de Estilo" com a "Arquitetura do Ferro". Esta última é tolerada por ser considerada uma maravilha técnica, dadas as suas características de boa resistência mecânica e ao fogo, rapidez de montagem e desmontagem, leveza no transporte dos componentes, impermeabilidade à água e durabilidade frente aos materiais tradicionais, com ênfase para a madeira.

Dentre as principais características da Arquitetura do Ferro destacam-se: reprodução com rapidez de qualquer estilo; mobilidade do material, visto que os pré-moldados podiam ser desmontados e remontados; transitoriedade, já que os pavilhões e outros edifícios eram provisórios; transparência, graças à possibilidade da combinação de uso de perfis de secção reduzida e do vidro; componentes construtivos; as várias tipologias das obras, tais como: fábricas, galerias, pavilhões exposições, estações ferroviárias, mercados públicos, coretos, estufas e equipamentos públicos. A figura 1 relaciona obras significativas nas quais foram utilizadas esquadrias metálicas com o uso do ferro e do aço.

CAPÍTULO 2

O METAL ALUMÍNIO E SUAS LIGAS

CAPÍTULO 2: O METAL ALUMÍNIO E SUAS LIGAS

2.1 Caracterização do alumínio e suas ligas

O alumínio é o terceiro elemento mais abundante encontrado na natureza[41], depois do oxigênio e do silício, conforme visto no capítulo anterior. É o metal não-ferroso mais abundante, o que contribui para sua utilização em larga escala.

Nos diversos segmentos da indústria moderna, o alumínio está entre os metais de maior consumo, juntamente com o ferro e o aço.

Metal durável, que possui grande potencial de reciclagem[42], o alumínio é usado em embalagens para indústria alimentícia e de medicamentos; na produção de utensílios domésticos, na fabricação de peças automobilísticas, fios e cabos elétricos; no segmento de transportes, desde bicicletas a naves espaciais; no *mercado de materiais para a construção civil*, entre outros.

A ampla variedade de utilização do alumínio deve-se, principalmente, à multiplicidade de propriedades[43] do material e à possibilidade de combinar estas propriedades de forma dirigida.

As principais razões para o consumo tão significativo deste metal são as suas excelentes propriedades físico-químicas, entre as quais se destacam: *o baixo peso específico, a alta resistência à corrosão, a alta condutibilidade térmica e elétrica e a possibilidade de reciclagem.*

A *bauxita*, minério que deu origem à obtenção de alumínio, foi identificada pela primeira vez em 1821, por Pierre Berthier, no Sul da França, na localidade de Les Baux, de onde deriva o nome bauxita.

---

41 ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASIL-ALEMANHA. Alumínio na Arquitetura e na Construção Civil. In: *Anais do 1. Simpósio Internacional da VDI sobre Tecnologia do Alumínio*: matéria-prima, transformação, aplicações e reciclagem.

42 Reciclagem: Repetição de uma operação sobre uma substância com o fim de melhorar propriedades ou aumentar o rendimento da operação global.

43 Propriedade: Qualidade de próprio; qualidade especial, particularidade. Característico: que caracteriza ou distingue; distintivo, particularidade, característica.

Matéria-prima extraída por meio de mineração, a bauxita é um minério composto por óxidos de alumínio e outros elementos, Estes últimos considerados impurezas.

A mineração da bauxita, primeira etapa do processo para a obtenção do alumínio, inicia-se com a remoção criteriosa da vegetação e do solo orgânico, de forma ambientalmente planejada. Após a retirada das camadas superficiais, a bauxita exposta apresenta espessura variável, dependendo da sua formação geológica. Seu beneficiamento consiste na britagem, para redução de tamanho, e na lavagem do minério com água, para reduzir o teor de sílica contida na parcela mais fina.

Geograficamente, a maioria das jazidas do mundo está localizada em regiões tropicais e subtropicais. Segundo dados do *International Aluminium Institut – IAI*, a bauxita ocorre em três principais grupos de climas, que são: o mediterrâneo (33%), o tropical (57%) e o subtropical (10%).

A produção mundial de bauxita é da ordem de 125 milhões de toneladas por ano, com o suprimento feito, principalmente, por: Austrália (36%), Guiné (13%), Jamaica (10%) e Brasil (10%)[44].

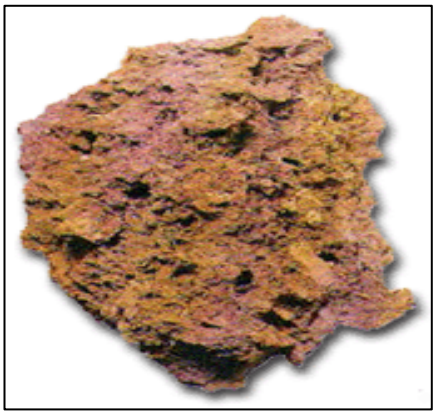
A bauxita possui grande importância econômica para o Brasil, que detém a terceira maior reserva do mundo, com 3,9 bilhões de toneladas. O Estado do Pará conta com uma das mais extensas reservas mundiais, nas regiões próximas aos municípios de Oriximiná e Paragominas, cujo potencial é da ordem de 1,5 bilhão de toneladas deste minério.

Atualmente, cerca de 60% das áreas mineradas no Brasil para extração de bauxita são reabilitadas – a maior parte com vegetação nativa. Assim, a indústria de mineração promove o uso temporário da terra, devolvendo-a recuperada ao meio ambiente. As atuais reservas mundiais de bauxita, de alta qualidade, possuem capacidade para suprir a indústria do alumínio por mais de 300 anos. A vida útil média de uma mina de bauxita é de aproximadamente 64 anos. A figura 3, a seguir, apresenta imagens referentes à mineração da bauxita.

---

[44] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. *Anuário Estatístico da Associação Brasileira do Alumínio*, 2003.

Figura 3: Mineração da bauxita

Mineração da bauxita	Bauxita
	

Fonte: Companhia Brasileira de Alumínio – CBA.

2.2 Obtenção e processamento do alumínio

Os principais insumos para a produção de alumínio durante o processo de redução são alumina e energia elétrica. Os demais parâmetros de consumo de matérias-primas, combustíveis fósseis e outros itens na produção de alumínio são: *criolita, fluoreto de alumínio, coque de petróleo e piche*, conforme demonstra o quadro 2.

Quadro 2: Insumos para produção de uma tonelada de alumínio

Alumina	1.930 kg
Energia elétrica	14 a 16,6 kWh_{cc} (1)
Criolita	12 kg
Fluoreto de alumínio	20 a 30 kg
Coque de petróleo	0,4 a 0,5 kg
Piche	0,1 a 0,15 kg

Fonte: ABAL. *Fundamentos do alumínio e suas aplicações*.

(1) Sigla kWh_{cc}: abreviação da unidade de medida que indica quilowatts-hora por centímetro cúbico.

A alumina, óxido de alumínio de alta pureza, é o resultado do processamento químico da bauxita, conhecido como *Processo Bayer*.

Essa operação se realiza em refinaria, onde o minério é calcinado e transformado em alumina, que será utilizada no processo eletrolítico subseqüente como principal insumo para a produção do alumínio metálico.

O *Processo Bayer* é um método de extração e partição hidrometalúrgico. Inicia-se o processo pela extração do hidróxido de alumínio com uma solução de soda a temperaturas elevadas, seguida da separação dos resíduos sólidos. O hidróxido obtido é transformado termicamente para óxido, isto é, alumina – Al_2O_3.

Redução é o processo de transformação da alumina em alumínio metálico, que se realiza em cubas eletrolíticas a altas temperaturas. Foi patenteado em 1886, como *Processo Hall-Heroult*.

Neste processo, o alumínio se deposita no fundo de uma cuba e é extraído por sucção para cadinhos[45]. Os cadinhos transferem o metal líquido à refusão[46] para a obtenção de alumínio primário[47] na forma de lingotes, vergalhões, placas e tarugos.

Quando o metal líquido obtido na redução é transferido à refusão (para se obter o alumínio primário), sofre a adição de sucatas[48] classificadas, importantes para resfriar este material e adequar a temperatura de vazamento e dos elementos de liga[49], selecionados em função da composição química desejada. Para obtenção de 1 kg de alumínio primário são necessários 4 kg de bauxita e 2 kg de alumina. A figura 4, apresentada a seguir, demonstra imagens da alumina, dos fornos de redução e do alumínio.

---

45 Cadinho: Vaso metálico ou de material refratário, utilizado em operações químicas a temperaturas elevadas.

46 Refusão: Ato ou efeito de refundir. Refundir: fundir ou derreter de novo.

47 Alumínio primário *(primary aluminum)*: Metal extraído por redução ou decomposição de um composto de alumínio, que não tenha sido submetido a nenhuma fabricação outra que a fundição de lingotes.

48 Sucata: Estrutura, objeto ou peça metálica inutilizada pelo uso ou pela oxidação e que pode ser refundida para utilização posterior.

49 Liga *(alloy)*: Material com propriedades específicas, é composto por dois ou mais elementos químicos metálicos. As propriedades das ligas são usualmente distintas das de seus componentes.

Figura 4: Alumina, fornos de redução e alumínio

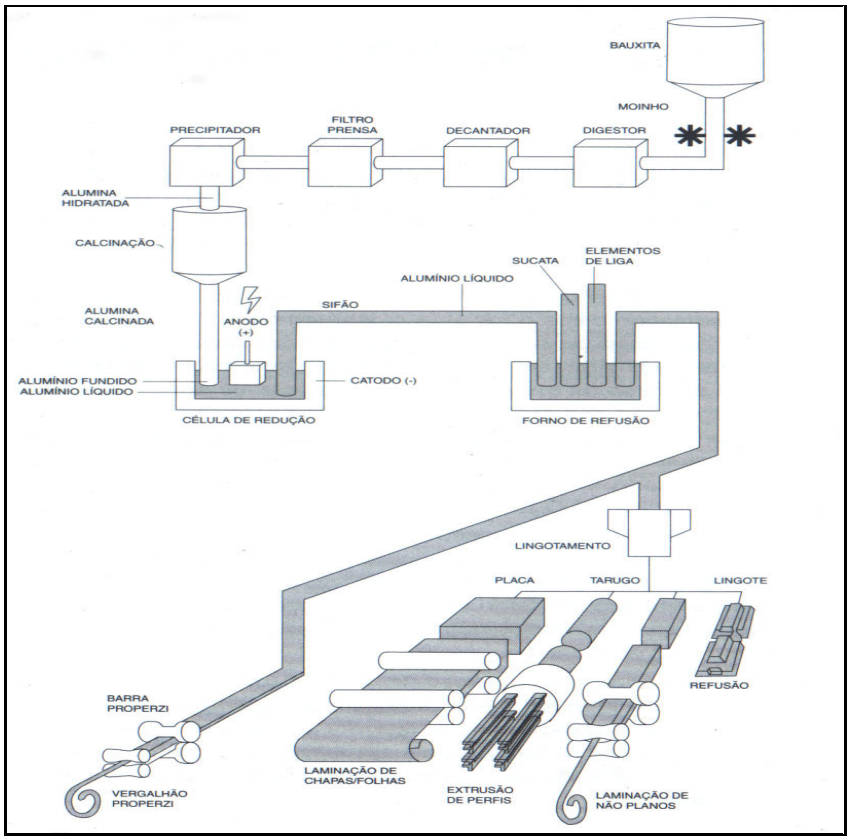
Alumina	Fornos de redução	Alumínio

Fonte: Companhia Brasileira de Alumínio – CBA.

A partir deste ponto, é possível fazer uma distinção entre *ligas fundidas*, cujos produtos finais são obtidos por meio de vazamento e solidificação do metal líquido em um molde com a forma da peça, e *ligas trabalháveis*, nas quais os produtos são obtidos por meio da transformação mecânica de um semi-acabado (placa, tarugo, vergalhão ou barra).

O alumínio primário produzido será transformado nos seguintes produtos semimanufaturados: barra e vergalhão Properzi, placa; tarugo, lingote e rolo *caster*. A seguir, a figura 5 apresenta o fluxograma da obtenção do alumínio e produtos semimanufaturados.

Figura 5: Fluxograma de obtenção do alumínio



Fonte: ABAL: Fundamentos do alumínio e suas aplicações.

A descrição dos tipos de utilização de cada um dos produtos semimanufaturados de alumínio está relacionada a seguir.

O *vergalhão Properzi* é utilizado na fabricação de arames trefilados e fios que se transformam em cabos condutores de energia, isolados ou nus, empregados em redes elétricas de alta tensão, linhas de transmissão e aplicações residenciais ou comerciais.

A *placa* é empregada principalmente no processo de laminação, na produção de chapas e folhas para revestimentos, pisos e telhas (construção civil) e folhas para embalagens.

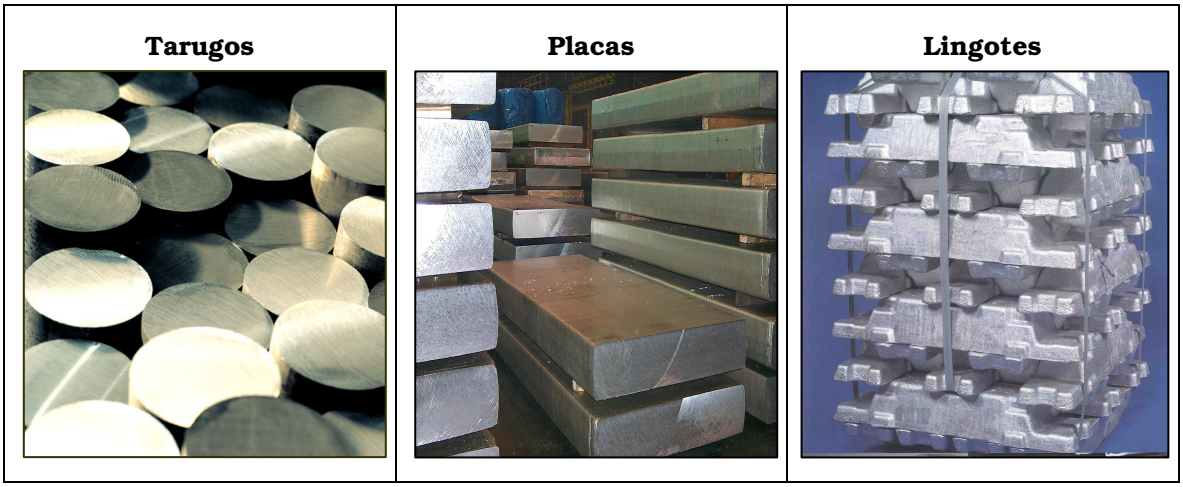
O *tarugo* é utilizado principalmente na extrusão, pois permite maior velocidade desta técnica, maior rendimento metálico, maior vida útil para as matrizes (ferramentas de extrusão) e menor pressão. A partir do tarugo são produzidos os perfis extrudados, utilizados na fabricação de esquadrias, forros, divisórias, acessórios para banheiros, estruturas pré-fabricadas e elementos decorativos de acabamento.

O *lingote* é utilizado nos processos de refusão ou de transformação, para fundição de peças ou outras finalidades. O material tem grande aplicação em indústrias gerais, tais como: automobilística, utensílios domésticos, transportes, etc.

O *rolo caster* é usado na laminação a frio, para a produção de chapas e folhas.

A figura 6, a seguir, apresenta imagens de três diferentes produtos semimanufaturados de alumínio: tarugos, placas e lingotes.

Figura 6: Tarugos, placas e lingotes de alumínio



Fonte: Companhia Brasileira de Alumínio – CBA.

2.3 A energia elétrica no processamento do alumínio

A energia elétrica e a bauxita constituem os principais insumos para a produção de alumínio primário. As indústrias produtoras de alumínio primário são responsáveis por cerca de 6,4% do total da energia elétrica consumida no país, incluindo a proveniente de autogeração.

Em 2004, foram consumidos 22.077 GWh[50] de energia elétrica na produção de alumínio primário no Brasil, configurando um consumo médio específico de 15,1 MWh[51] por tonelada de alumínio primário

[50] GWh: gigawatts-hora.
[51] MWh: megawatts-hora.

produzido, semelhante à média mundial. O esforço do setor para a redução do consumo é permanente.

A matriz energética brasileira é predominantemente hidroelétrica, representando grande potencial renovável de geração de energia. Os impactos ambientais decorrentes da construção de uma usina hidroelétrica – tais como a necessidade de reassentamento da população, fauna, flora da região, por causa principalmente da construção de barragens – podem ser compensados ou minimizados com o desenvolvimento da região, principalmente com o aproveitamento dos recursos hídricos para navegação, irrigação e abastecimento de água.

A figura 7, apresentada a seguir, ilustra a usina hidroelétrica Barra, localizada na cidade de Tapiraí, em São Paulo, e de propriedade da Companhia Brasileira de Alumínio.

Figura 7: Usina hidroelétrica Barra

Fonte: Companhia Brasileira de Alumínio – CBA.

A indústria do alumínio tem investido em autogeração de energia elétrica para manter suas fábricas competitivas. Investimentos da ordem de US$ 1,8 bilhão estão sendo destinados à participação na construção de 14 usinas em todo o país. Quando todas estiverem prontas, haverá 5.110 MW de capacidade instalada adicional – 3.010 MW apenas para a

indústria –, e a autogeração na produção de alumínio primário alcançará mais de 50% do total consumido.

Com a autogeração de energia elétrica, a indústria do alumínio contribui para toda a sociedade, pois libera a mesma quantidade de energia para ser consumida em outros setores. Além disso, a instalação desses empreendimentos atrai oportunidades de desenvolvimento, alternativas econômicas e ações mais efetivas do poder público, por meio de investimentos em programas sociais e de geração de renda.

De acordo com dados do *International Aluminium Institute – IAI*, em todo o mundo, do total de produtores que geram energia própria, 55% utilizam recursos hídricos, 30% carvão e 15% gás.

A média mundial de auto-suficiência energética das empresas produtoras de alumínio é da ordem de 28%. No Brasil há empresas cuja auto-suficiência energética já atinge a 60% do total de energia consumida. No país, 100% da energia elétrica consumida na produção de alumínio primário é proveniente de hidroelétricas, uma fonte energética considerada limpa e renovável.

Esta situação difere muito da de outros países e regiões do mundo, em que a matriz energética é baseada na queima de carvão, como é o caso da Austrália, África do Sul, América do Norte e Ásia, cujo consumo de carvão representa 40% a 70% do total da energia consumida.

2.4 Processos industriais

A facilidade pela qual o alumínio pode ser fabricado em várias formas é uma das suas mais importantes vantagens. Atualmente, depois do ferro e do aço, é o material mais utilizado na fabricação de peças em geral. O alumínio pode ser fundido por qualquer método conhecido, pode ser laminado em qualquer espessura (até folhas mais finas que as de papel), chapas de alumínio podem ser estampadas, cunhadas, repuxadas e corrugadas. Pode ser extrudado numa infinidade de perfis, pode também ser forjado ou impactado.

Além disso, praticamente todos os métodos de união são aplicáveis ao alumínio: rebitagem, soldagem, brasagem e colagem. A grande variedade de junções mecânicas do alumínio simplifica a montagem de muitos produtos. Adesivos para colar peças de alumínio são largamente empregados, particularmente em uniões de componentes aeronáuticos e quadros de bicicletas.

As principais operações que envolvem a transformação mecânica do alumínio, desde o metal virgem até as formas normalmente usadas pela indústria, podem agrupar-se convenientemente sob várias condições.

No *forjamento*, um bloco, tarugo ou perfil é aquecido a aproximadamente 500^{0}C e pressionado contra uma matriz bipartida, na qual foi escavada a forma da peça em negativo. O metal escoa, preenchendo a cavidade formada pelo ferramental, tomando a forma da peça.

Na *trefilação*, arames de alumínio produzidos a partir de vergalhões dão origem aos fios de alumínio que, depois de encordoados, se transformam em cabos condutores, que podem ter uma alma de aço.

A *laminação* permite a fabricação de chapas e folhas para os mais variados usos e aplicações.

A *extrusão* é o processo por meio do qual são fabricados os perfis para esquadrias, a partir dos lingotes. Por tratar-se do objeto principal desta Dissertação, este processo será detalhadamente apresentado a seguir.

Extrusão é o processo de transformação mecânica no qual um tarugo de metal é reduzido em sua secção transversal quando forçado a fluir através do orifício de uma matriz (ferramenta de extrusão), sob o efeito de altas pressões. É similar à pasta de dentes sendo expelida para fora de seu tubo.

Em vista das grandes forças envolvidas, a maior parte dos metais é extrudada a quente, isto é, quando a resistência à deformação é baixa e a temperatura é superior à de recristalização do metal.

O processo de extrusão é utilizado comercialmente desde o final do século XIX. O primeiro grande incremento de utilização de perfis extrudados ocorreu durante a Segunda Guerra Mundial, quando perfis

extrudados de alumínio foram produzidos em grande quantidade para utilização em componentes aeronáuticos. A introdução de ligas de alumínio intermediárias, tratáveis termicamente na própria prensa de extrusão e de muito boa extrudabilidade, permitiu uma rápida expansão dessa indústria no período pós-guerra.

Hoje, sistemas de fachada-cortina, esquadrias, estruturas metálicas para a construção civil, componentes para carrocerias de ônibus e caminhões, estruturas aeroespaciais, além de centenas de outros itens são fabricados a partir de perfis extrudados de alumínio.

Em síntese, o processo de extrusão consiste basicamente nas seguintes etapas: os lingotes de alumínio são transformados em tarugos cilíndricos, com composição química de acordo com a sua aplicação. Em seguida, os tarugos são cortados e introduzidos em prensas de grande tonelagem. Então, são superaquecidos, prensados e introduzidos através de matrizes, obtendo-se os perfis.

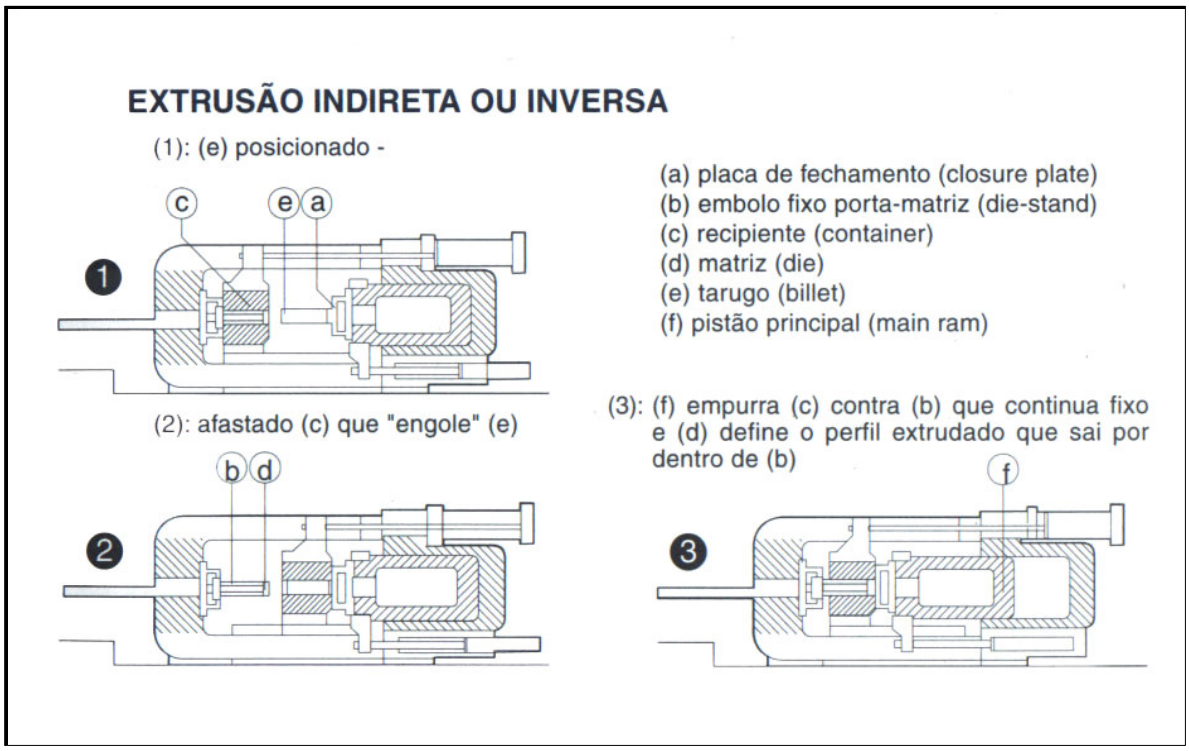
Prensas hidráulicas horizontais com capacidade de força de 1.200 a 2.400 toneladas são usadas para produzir a maior parte dos extrudados de alumínio utilizados no mundo. Prensas com capacidade de até 15.000 toneladas são utilizadas para produzir perfis de grandes dimensões ou complexidade geométrica, bem como perfis produzidos com ligas de alta resistência mecânica. No outro extremo, prensas de 500 toneladas, por exemplo, são utilizadas para pequenas extrusões, podendo produzir, economicamente, perfis bem mais leves.

Os dois tipos de processos de extrusão mais usuais são: *extrusão indireta ou inversa* e *extrusão direta*.

No processo de *extrusão indireta*, o êmbolo é furado e ligado à matriz, enquanto a outra extremidade do recipiente é fechada. Freqüentemente, o êmbolo e a matriz são mantidos estacionários, enquanto o recipiente é movimentado com o tarugo. Na extrusão indireta, por não haver movimento entre o recipiente e o tarugo, as forças de atrito são bem menores e as pressões requeridas para extrusão são bem menores do que na extrusão direta. Existe, contudo, limitação pelo fato de a extrusão indireta utilizar um êmbolo furado que restringe as cargas possíveis de serem aplicadas.

A seguir, as figuras 8 e 9, que explicitam a *extrusão indireta ou inversa e a extrusão direta.*

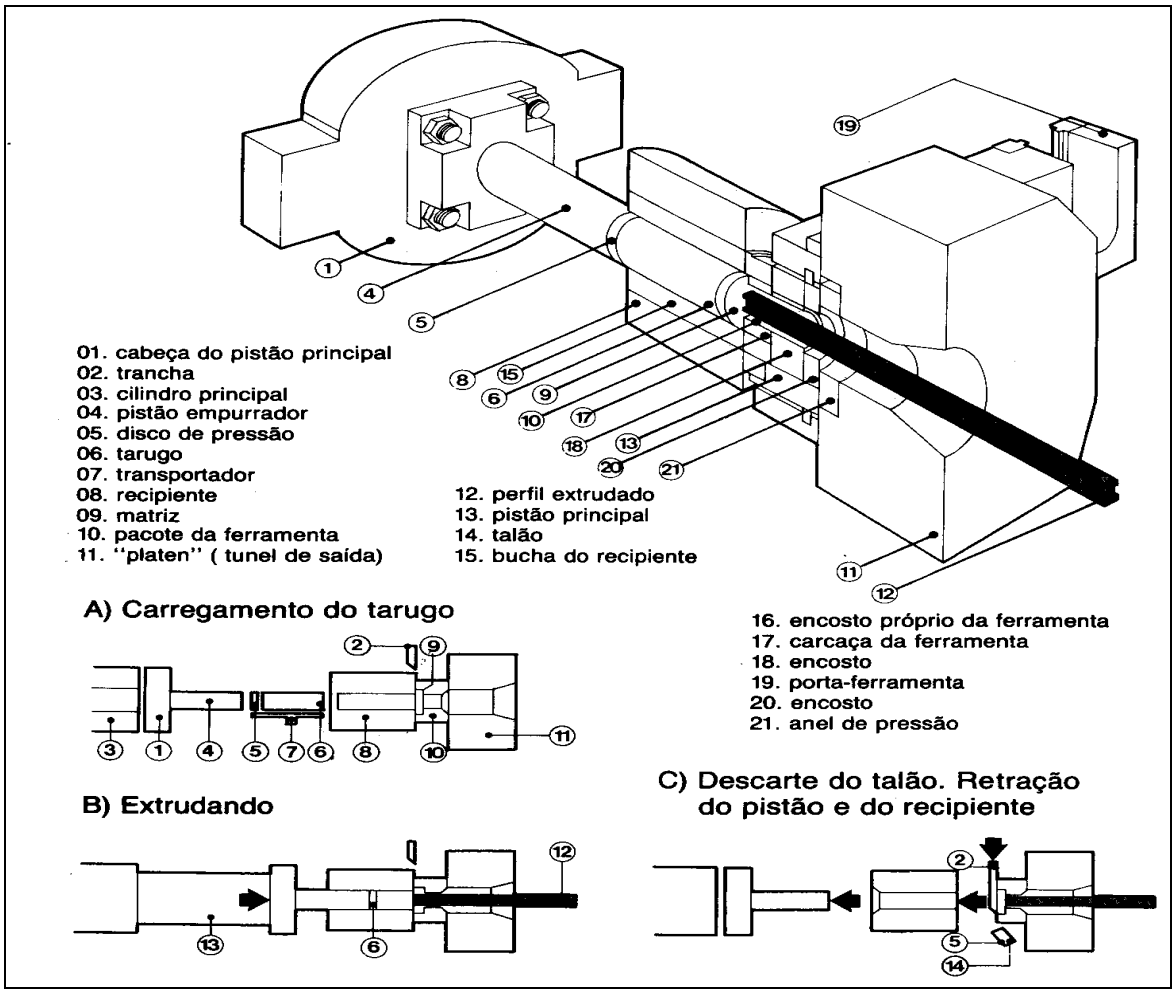
Figura 8: Extrusão indireta ou inversa



Fonte: ABAL. *Fundamentos do alumínio e suas aplicações.*

No processo de *extrusão direta*, o tarugo é colocado em um recipiente e impelido através da matriz por ação de um êmbolo. Um "disco de pressão" é colocado no fim do êmbolo em contato com o tarugo.

Figura 9: Extrusão direta



Fonte: ABAL. *Fundamentos do alumínio e suas aplicações.*

A variedade de perfis que podem ser extrudados em alumínio é praticamente ilimitada. As vantagens dessa qualidade incluem a redução de custos, por meio da eliminação de operações posteriores de usinagem ou junção, bem como a possibilidade de se obter secções mais resistentes, por meio da adequada eliminação de juntas frágeis e de melhor distribuição de metal.

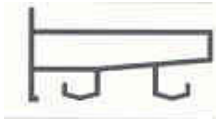
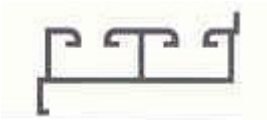
No setor de transportes, os perfis de alumínio são utilizados para estruturar laterais e coberturas de ônibus e caminhões, substituindo com vantagem as antigas carrocerias de madeira e chaparias de aço, com peso bem menor e propiciando economia de combustível e maior capacidade de carga. Tubos de alumínio são utilizados em estruturas espaciais permitindo a cobertura de grandes vãos com o mínimo de apoios.

Os *principais produtos do processo de extrusão* relacionam-se a seguir:

- *Vergalhão*: Apresenta secção circular uniforme, quadrada ou hexagonal, tem diâmetro nominal maior que 12,70 mm, é fornecido em peças retas;
- *Arame*: Apresenta secção circular uniforme, tem diâmetro nominal menor que 12,70 mm, é geralmente fornecido em rolos;
- *Barra*: Apresenta secção transversal uniforme;
- *Barra Chata*: Apresenta secção transversal retangular uniforme;
- *Tubo*: Apresenta vazio totalmente circunscrito por metal, cuja secção transversal é circular, quadrada, retangular ou hexagonal regular;
- *Perfil*: Apresenta secção transversal uniforme e classifica-se em três categorias principais:
    - *Perfis sólidos*: aqueles cuja secção transversal não tem nenhum vazio totalmente circunscrito por metal;
    - *Perfis tubulares*: aqueles cuja secção transversal tem pelo menos um vazio totalmente circunscrito;
    - *Perfis semitubulares*: aqueles cuja secção transversal tem vazios parcialmente circunscritos por metal.

A figura 10, apresentada a seguir, demonstra os três tipos de perfis de alumínio.

Figura 10: Os três tipos de perfis de alumínio

Perfis sólidos	Perfis tubulares	Perfis semitubulares
		

Fonte: ABAL. *Guia Técnico do Alumínio*: extrusão.

Para o alumínio, as *temperaturas ideais de extrusão* recomendadas variam de 340ºC a 530ºC, dependendo da liga (nos extremos da faixa indicada estão respectivamente as ligas 7075 e a 6351). As temperaturas dos tarugos podem ser 40ºC a 130ºC menores. A diferença é compensada pela força de atrito nas paredes do recipiente da prensa e pela força de cisalhamento do alumínio na matriz de extrusão.

Quanto maior for a *velocidade de extrusão*, mais violenta será a deformação do metal ao passar pela matriz e maior o calor desenvolvido. Portanto, maior também será o aumento da temperatura.

Como a força de atrito entre o tarugo e as paredes do recipiente depende da área de contato entre ambos, uma diminuição no *comprimento do tarugo* acarretará redução da força de atrito e, por isso, uma parcela maior da força de extrusão poderá ser aproveitada para vencer o cisalhamento. Quanto mais duras forem as ligas a extrudar, maior será a força de cisalhamento a vencer. Portanto, menor deverá ser o comprimento do tarugo, caso haja problema de sobrecarga de pressão na prensa.

Homogeneização é um tratamento térmico a elevada temperatura que altera a estrutura bruta de fusão, eliminando as segregações químicas por difusão, facilitando futuras deformações a quente e a frio e promovendo um acabamento superficial melhor, bem como propriedades mecânicas mais elevadas. Esse tratamento deve ser efetuado num forno a gás, elétrico ou a óleo, provido de controles adequados para manter a temperatura indicada numa faixa de mais ou menos 5ºC.

Para o *desenvolvimento das ferramentas* necessárias à extrusão, o *desenho do perfil* deve ser elaborado de forma a apresentar todas as informações necessárias, realçando os detalhes do projeto (vistas auxiliares) e indicando, se necessário: as faces expostas, os perfis de encaixe, a liga e a têmpera. Na legenda, deve ser indicada a escala empregada na ampliação, se esta for utilizada no caso de perfis de pequenas dimensões, bem como: área e perímetro da secção transversal do perfil e seu peso linear. No perímetro de perfis tubulares deve ser considerada a soma dos valores externos e internos. Deve-se indicar também o diâmetro do círculo circunscrito (DCC), parâmetro importante

para definir o diâmetro do recipiente da prensa em que o perfil será extrudado. O desenho deve especificar a montagem dos componentes do ferramental.

O peso em kg/m é obtido multiplicando-se a área (mm^2) da secção transversal pela constante 2,71 (g/cm^3).

No p*rocesso tradicional de fabricação do ferramental, c*hama-se desenho "fechado" ou "exclusivo" aquele específico para determinado cliente. Quando o material pode ser produzido para qualquer interessado, chama-se desenho "aberto". Não requerendo aprovação externa, dá-se início ao projeto do seu ferramental, com a definição do número de furos da matriz, seu tipo, a configuração do seu talão e a prensa em que sua produção melhor se adapte.

Para a fabricação do ferramental, o aço normalmente utilizado é o chamado "aço para trabalho a quente". Os mais utilizados são os aços SAE H10, H11, H12 e H13, os três últimos com 5% de cromo em sua composição química.

Na *ferramentaria moderna CAD/CAM*[52], o sistema gráfico substitui o processo manual de desenho, com ganhos em rapidez, qualidade, segurança e versatilidade. Além de produzir desenhos perfeitamente dimensionados, o sistema é capaz de fornecer dados relativos a certas propriedades físicas do produto, bem como ajustes de montagem entre diversos perfis, antes determinados apenas experimentalmente e de forma exaustiva.

O sistema gráfico gera também a programação necessária para a operação de um centro de usinagem (responsável pela usinagem padrão das ferramentas de extrusão através de controle numérico).

O *custo de uma ferramenta de perfil tubular ou semitubular* é aproximadamente o dobro de uma de perfil sólido. Uma ferramenta de perfil "fechado", por ter comercialização e desenvolvimento mais trabalhosos, custa também aproximadamente o dobro de uma de perfil "aberto", em termos de custo por peso produzido.

---

[52] Ferramentaria moderna – CAD/CAM – Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing.

A *vida útil* de uma ferramenta, medida em toneladas de produção aprovada, é diretamente proporcional ao peso médio produzido na prensa de extrusão. Além do efeito na sua vida útil, uma ferramenta que não atinja a produção prevista propiciará menor eficiência e produtividade, pois o tempo perdido na troca da matriz implicará em menos tarugos para ser diluídos, bem como elevará o índice de rejeição devido à baixa eficiência e produtividade que geralmente ocorre no primeiro tarugo de cada produção.

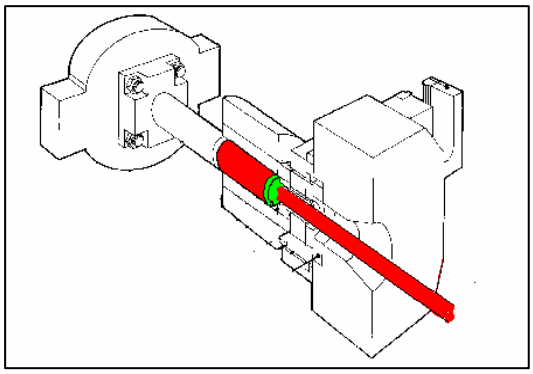
Projetar um produto extrudado em geral é uma atividade do cliente, que deve indicar a geometria, o acabamento e as propriedades mecânicas necessárias. Ao fabricante cabe avaliar a possibilidade de extrusão, simplificando o projeto (se necessário e sempre em parceria com o cliente), projetando o ferramental e indicando a liga adequada às propriedades mecânicas requeridas, se esta já não estiver especificada.

O perfil deve ser projetado para que se tenha o melhor desempenho dentro de suas funções, em que pequenas modificações – que não afetem a aparência e o uso final da peça – possam significar uma grande diminuição no custo da extrusão.

A *mínima espessura possível do perfil* a ser extrudado depende do tamanho do perfil (*Diâmetro do Círculo Circunscrito – DCC*) e do peso linear do perfil, os quais são funções da geometria do perfil. Daí a importância da relação entre o DCC e a espessura.

A figura 11, exposta a seguir, apresenta os detalhes de uma prensa e de uma ferramenta de extrusão.

Figura 11: Prensa e ferramenta de extrusão

Prensa de extrusão	Ferramenta de extrusão
	

Fonte: Companhia Brasileira de Alumínio – CBA.

O desenvolvimento de métodos para a *soldagem do alumínio* e suas ligas contribuiu para o surgimento de novas aplicações do metal, particularmente no segmento de produtos de alumínio para o segmento de transportes.

O alumínio e suas ligas podem ser soldados satisfatoriamente com a escolha adequada da liga de adição, por meio da utilização de técnicas apropriadas, visto que as linhas de solda são bastante resistentes para as várias aplicações. Antes de proceder à soldagem, o filme óxido deve ser removido da superfície, o que pode ser feito quimicamente, por meio de fluxos; mecanicamente, por meio da abrasão e do forjamento; ou eletricamente, pela ação de arco elétrico adequado. Uma vez removido, é preciso prevenir nova formação de óxido pela proteção do metal à ação atmosférica.

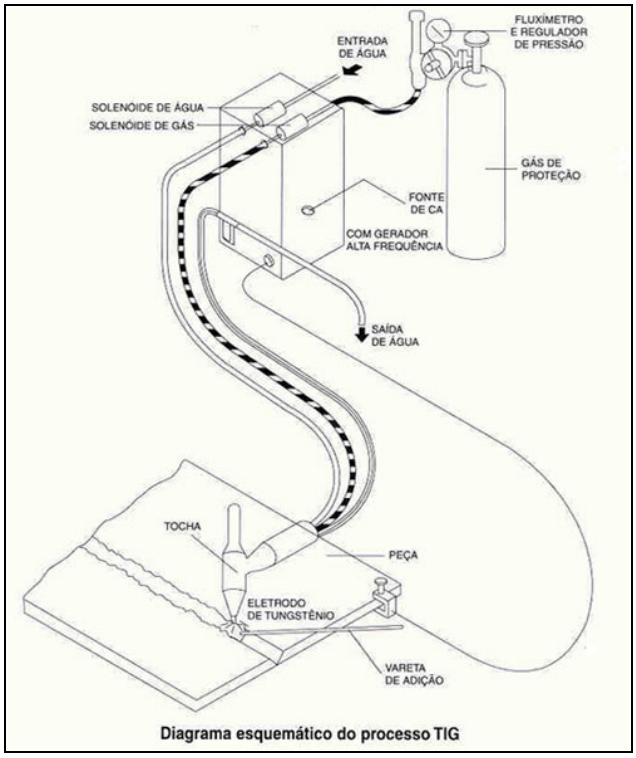
Embora a temperatura de fusão da maioria das ligas de alumínio seja menor do que a metade da temperatura de fusão do aço, quantidades similares de calor são requeridas para levar os dois metais aos seus respectivos pontos de fusão, devido ao maior calor específico e latente de fusão do alumínio. Como o alumínio possui maior condutibilidade térmica, requer também maior rapidez no fornecimento de calor.

A escolha do processo de soldagem é determinada pela espessura do material, tipo do cordão de solda, requisitos de qualidade, aparência e custo.

A soldagem envolve a fusão conjunta das bordas a serem unidas, freqüentemente pela adição de metal líquido para preencher um canal com a forma de "V". O cordão de solda consiste, parcial ou totalmente, de metal-base de ressolidificação com uma estrutura bruta de fusão. Tradicionalmente, a solda de oxiacetileno utiliza fluxo de sal líquido para dissolver o óxido de alumínio e cobrir o metal líquido. A maioria dos métodos modernos protege o alumínio líquido com gás inerte, argônio ou hélio, sendo que os dois processos mais conhecidos e utilizados são: "*TIG*" e "*MIG*".

O Processo de solda "*Tungsten Inert Gás*" ou "*soldagem TIG*" é um processo em que o arco elétrico é estabelecido entre um eletrodo de tungstênio não consumível e a peça, numa atmosfera de gás inerte. Neste processo o arco elétrico pode ser obtido por meio de corrente alternada, corrente contínua e eletrodo positivo, ou corrente contínua e eletrodo negativo. A "*soldagem TIG*" é a mais aplicada nas ligas de alumínio e foi a primeira a ser desenvolvida com a proteção de gás inerte adequado para soldar o alumínio. A figura 12, inserida a seguir, explicita o processo de solda *TIG*.

Figura 12: Diagrama do processo de solda *TIG*



Fonte: ABAL. *Fundamentos do alumínio e suas aplicações.*

O Processo de solda "*Metal Inert Gás*" ou "*soldagem MIG*" é aquele em que o arco elétrico obtido através de uma corrente contínua é estabelecido entre a peça e um arame de alumínio ou liga de alumínio, que combina as funções de eletrodo e metal de adição, numa atmosfera de gás inerte. Na "*soldagem MIG*", o eletrodo é sempre o pólo positivo do arco elétrico. Utilizando-se as versões automática e semi-automática, é possível soldar o alumínio desde espessuras finas (cerca de 1,0 mm) até espessuras sem limite.

Tal como na "*soldagem TIG*", o gás inerte protege a região do arco contra a contaminação atmosférica durante a soldagem. Na "*soldagem MIG*" do alumínio, normalmente são utilizados os gases argônio, hélio ou uma mistura de argônio/hélio.

2.5 Propriedades físico-químicas

Uma excepcional combinação de características e propriedades faz do alumínio um dos mais versáteis materiais utilizados na construção civil e indústrias em geral. O quadro 3, inserido a seguir, apresenta as características principais do alumínio com 99,99% de pureza, na têmpera[53] "O".

Quadro 3: Características do alumínio

Massa atômica relativa	26,981538
Número atômico	13
Densidade (20ºC)	2,702 Kgf/dm³
Temperatura de fusão	660,2ºC
Temperatura de ebulição	2.467ºC
Limite de resistência (recozido)	4,8kgf/mm²
Limite de escoamento (recozido)	1,0kgf/mm²
Alongamento (recozido)	65%
Dureza *Brinnel*	12-15
Contração na ebulição	6,6%
Contração do ponto de fusão (até 20ºC)	5,6%
Calor específico (0ºC a 100 ºC)	0,2297 cal/g/ºC
Condutividade térmica a 25ºC	0,53 cal/cm/ºC
Condutividade elétrica volumétrica (20ºC)	64,94 % IACS [54]
Refletividade	24% – 83%

Fontes: Adaptado de Alumínio na Arquitetura e na Construção Civil. In: *Anais do 1º. Simpósio Internacional da VDI sobre Tecnologia do Alumínio.*
ABAL. *Fundamentos do alumínio e suas aplicações.*

O *ponto de fusão* do alumínio puro (99,80% de pureza) é de 660ºC, valor considerado relativamente baixo se comparado com o ponto de fusão do aço, que é da ordem de 1.570°C.

Ligas de alumínio, devido à presença de outros metais, possuem, em geral, um ponto de fusão mais baixo que o do alumínio puro. A liga 6060, com aproximadamente 2% de elementos de liga e *utilizada na fabricação de perfis*, funde-se à temperatura entre 600ºC e 650ºC.

---

[53] Têmpera *(temper)* – Estado que adquire o material pela ação das deformações plásticas a frio ou a quente, por tratamentos térmicos ou pela combinação de ambos, dando ao produto estrutura e propriedades características (ABNT NBR 6835: 2000 – Alumínio e suas ligas).

[54] Unidade de medida: Porcentagem do *International Annealed Copper Standard – IACS.*

O alumínio tem um elevado *calor de fusão*. Esta é a linguagem técnica que explica porque grandes quantidades de calor são liberadas quando uma unidade de peso de alumínio passa do estado líquido para o sólido. O alumínio contrai cerca de 12% em volume quando passa do estado líquido para o sólido.

A *leveza* é uma das principais características do alumínio. Seu *peso específico* é de cerca de 2,7 kgf/dm^3, aproximadamente 30% do peso do aço e 30% do peso do cobre. Essa característica, aliada ao aumento da resistência mecânica por adição de elementos de liga e tratamentos térmicos, torna o alumínio o material com significativa indicação às indústrias da aeronáutica e de transportes.

Com relação à *resistência mecânica*, o alumínio comercialmente puro apresenta resistência à tração de aproximadamente 90 MPa. Sua utilização como material estrutural nesta condição é limitada. Entretanto, sua resistência mecânica pode ser praticamente dobrada por meio do trabalho a frio. Aumentos maiores na sua resistência podem ser obtidos com pequenas adições de outros metais como elementos de liga, tais como: silício, cobre, manganês, magnésio, cromo, zinco, ferro, etc.

Assim como o alumínio puro, as *ligas não tratáveis* podem também aumentar sua resistência por meio do trabalho a frio. E as *ligas tratáveis* podem ainda apresentar aumento de resistência por meio de tratamento térmico. Algumas ligas chegam a ter resistência à tração de aproximadamente 700 MPa[55].

O alumínio e suas ligas perdem parte de sua resistência a elevadas temperaturas, embora algumas ligas conservem boa resistência em temperaturas entre 200^{0}C e 260^{0}C.

Em temperaturas abaixo de zero, sua resistência aumenta sem perder a ductilibidade e a tenacidade, tanto que o alumínio é um metal particularmente utilizado em aplicações a baixas temperaturas.

O alumínio puro possui *coeficiente de dilatação térmica linear* de 0,00000238 mm/^{0}C, em temperaturas na faixa de 20^{0}C a 100^{0}C. Este coeficiente é aproximadamente duas vezes o do aço. Porém, devido ao

---

[55] MPa: megapascais.

baixo módulo de elasticidade do alumínio, induzem-se menores tensões na estrutura do alumínio (quando este é submetido à variação de temperatura) do que na do aço. A adição de outros metais pouco afeta o coeficiente de dilatação.

Em função de sua elevada *condutividade elétrica* é muito utilizado como condutor de eletricidade. A condutividade elétrica na liga 1350 é cerca de 62% da *International Annealed Copper Standard – IACS*. Observa-se que, não obstante a menor condutividade do alumínio em comparação com o cobre (100% da *IACS*), o condutor de alumínio, com mesma resistência mecânica do cobre, pesa somente a metade. Elementos de liga diminuem a condutividade, do que se conclui que, sempre que possível, a liga 1350 deve ser utilizada em aplicações de condutores elétricos.

A alta *condutividade térmica* do alumínio torna-o um dos metais mais usados na fabricação de utensílios domésticos. Essa característica é importante meio de transferência de energia térmica, tanto no aquecimento quanto no resfriamento. Assim, os trocadores ou dissipadores de calor em alumínio são comuns nas indústrias alimentícias, químicas, petrolíferas, aeronáuticas, etc.

O alumínio novo, não oxidado, tem *refletividade* acima de 80%, o que permite ampla utilização em luminárias e coberturas. Coberturas de alumínio refletem alta porcentagem dos raios incidentes do sol. Assim, edificações cobertas com este material proporcionam melhores condições de conforto térmico interno dos ambientes.

Importante *elemento de barreira à luz*, o alumínio também é impermeável à ação da umidade e do oxigênio, o que torna a folha de alumínio um dos materiais mais versáteis no mercado de embalagens.

A característica nuclear do alumínio representa propriedade de importância na engenharia nuclear por sua baixa absorção de nêutrons. Tal propriedade não impede significativamente a passagem dessas partículas – que mantêm a reação nuclear no combustível de urânio –, tornando o alumínio um material eficiente e de uso intensivo no núcleo dos reatores de baixa temperatura.

Por possuir *características não-tóxicas*, o alumínio é utilizado em utensílios domésticos sem causar qualquer efeito nocivo ao organismo humano. Pelo mesmo motivo, é muito utilizado em embalagens das indústrias alimentícia e farmacêutica.

A *reciclagem* é outra característica importante deste metal. Qualquer produto feito em alumínio pode ser reciclado inúmeras vezes, sem perder suas qualidades no processo de reaproveitamento, ao contrário de outros materiais. Isto lhe confere uma combinação única de vantagens em que se destacam a proteção ambiental e a economia de energia, além do seu papel social ao gerar emprego e renda aos responsáveis pela coleta de sucata.

O alumínio líquido tem *baixa emissividade*[56], funcionando como material isolante em algumas aplicações.

O metal apresenta *baixa viscosidade ou alta fluidez*, o que lhe permite fluir facilmente por meio de pequenas aberturas e fissuras, mesmo com baixa pressão de vazamento. A viscosidade do alumínio, na temperatura normal de fundição, é quase a mesma da viscosidade da água à temperatura ambiente.

Material de *alta reatividade química*, o alumínio líquido tem sua atividade aumentada com a elevação da temperatura, e combina quimicamente com muitas substâncias, liberando grande quantidade de energia e calor.

Todas as características apresentadas conferem ao alumínio extrema *versatilidade*. Na maioria das aplicações, duas ou mais destas características prevalecem, como por exemplo, baixo peso combinado com resistência mecânica em aeronaves, vagões ferroviários, caminhões e outros equipamentos de transporte. A alta resistência à corrosão e a elevada condutibilidade térmica são importantes em equipamentos para a indústria química e petrolífera.

---

[56] Emissividade: Quociente de radiância de um corpo a uma temperatura pela radiância de um radiador perfeito à mesma temperatura. Emissivo: que tem a propriedade de emitir, que pode ser emitido.

Sua aparência atraente, aliada à alta resistência a intempéries e aos baixos requisitos de manutenção, proporciona vasta utilização na construção civil.

A alta refletividade, a excelente resistência a intempéries e seu baixo peso específico são importantes em materiais de cobertura, facilitando o manuseio e reduzindo os custos de transporte.

Muitas aplicações requerem extrema versatilidade (qualidade que somente o alumínio possui) e cada combinação de suas propriedades vem sendo trabalhada diariamente de novas formas.

O quadro 4, inserido a seguir, apresenta a comparação entre as características dos três metais mais utilizados pela sociedade contemporânea.

Quadro 4: Comparativo dos metais mais utilizados na atualidade

Propriedades físicas típicas	**Alumínio**	**Cobre**	**Aço**
Densidade (kg/dm^3) Massa específica	2,70	7,86	8,96
Temperatura de fusão (^0C)	660	1500	1083
Módulo de elasticidade (MPa)	70.000	20.5000	110.000
Coeficiente de dilatação térmica ($L/^0C$) – adimensional	23,8 ~24	$11,7.\ 10^{-6}$	$16,5.\ 10^{-6}$
Condutibilidade térmica a 25^0C ($Cal/cm/^0C$)	0,53	0,12	0,94
Condutibilidade elétrica (%IACS)[57]	61	14,5	100

Fonte: ABAL: Fundamentos do alumínio e suas aplicações.

A *liga de alumínio* é o resultado da mistura do alumínio puro a uma pequena quantidade de outros metais.

O principal objetivo na composição das ligas de alumínio é aumentar a resistência mecânica, sem detrimento para as outras propriedades do metal. Assim, novas ligas têm sido desenvolvidas combinando-se adequadamente suas propriedades a aplicações específicas.

---

[57] *International Annealed Copper Standard – IACS.*

O *princípio das ligas* é dado a partir da fusão do alumínio com outros metais e substâncias metalóides, como o silício. Quando o alumínio se resfria e se solidifica, alguns dos constituintes da liga podem ser retidos em solução sólida, fazendo com que a estrutura atômica do metal se torne mais rígida. O metal quente pode manter uma grande quantidade de elementos de liga em solução sólida, ao contrário do que ocorre quando frio. Conseqüentemente, quando do seu resfriamento, tende a precipitar o excesso dos elementos de liga da solução.

Um dos aspectos que tornam as ligas de alumínio tão atraentes como materiais de construção é o fato de o alumínio poder combinar-se com a maioria dos metais, chamados de *elementos de ligas*. A partir dessas combinações é possível obter características tecnológicas ajustadas de acordo com a aplicação do produto final. Naturalmente, uma única liga pode não combinar todas as propriedades necessárias a cada aplicação, o que requer conhecer as vantagens e limitações de cada uma destas aplicações para que se possa fazer a melhor seleção.

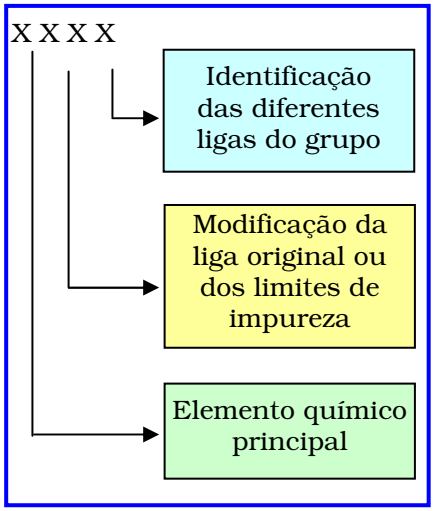
Os diferentes tipos de ligas oferecem às indústrias grande variedade de combinações de resistência mecânica, resistência à corrosão e ao ataque de substâncias químicas, condutibilidade elétrica, usinagem, ductibilidade, formabilidade, etc.

Descrever a função de cada elemento de liga é difícil, uma vez que esta se altera com a quantidade dos elementos nela presentes, bem como por sua interação com outros elementos. Em geral, pode-se dividir os elementos entre aqueles que conferem à liga a sua característica principal (resistência mecânica, resistência à corrosão, fluidez no preenchimento de moldes, etc.); os que têm função acessória, como controle de microestrutura e impurezas; e elementos que prejudicam a fabricação ou aplicação do produto, os quais devem ser controlados quanto ao seu teor máximo. A figura 13, que se segue, apresenta o sistema de classificação do alumínio e suas ligas.

Figura 13: Sistema de classificação do alumínio e suas ligas

Séries e elementos de ligas

1XXX	Alumínio puro (99,7% de pureza)
2XXX	Cobre
3XXX	Manganês
4XXX	Silício
5XXX	Magnésio
6XXX	Magnésio e Silício
7XXX	Zinco
8XXX	Outros Elementos (Fe)



Fonte: ABAL. *Fundamentos do alumínio e suas aplicações.*

As ligas de alumínio puro contêm entre 99,0% e 99,5% de alumínio, sendo o ferro e o silício os demais elementos. Quando se requer alta condutibilidade elétrica ou elevada resistência à corrosão, é possível obter metal com grau de pureza maior de 99,5% até 99,99%, porém com custo muito elevado.

A *composição química das ligas de alumínio* é expressa em porcentagem e atende à Norma ABNT – NBR 6834: Alumínio e suas ligas. Abrange as seguintes categorias: ligas trabalháveis; ligas para fundição (peças e lingotes); ligas tratáveis termicamente (endurecimento por precipitação); e ligas não-tratáveis termicamente (endurecimento por deformação ou encruamento).

Muito utilizada, a liga 3003 contém 1,2% de manganês. Suas propriedades, principalmente a possibilidade de conformação e a resistência à corrosão, são similares às do alumínio comercialmente puro, mas com propriedades mecânicas um pouco maiores, particularmente quando deformadas a frio.

As *ligas mais resistentes* são da série alumínio-magnésio, disponíveis em vários formatos como lâminas, chapas, perfis, tubos, arames, etc. Elas também possuem elevada resistência à corrosão e são facilmente produzidas e soldadas.

As *ligas tratadas termicamente*, de média resistência, contêm magnésio e silício, e possuem elevada resistência à corrosão, porém perdem um pouco da sua trabalhabilidade.

As *ligas tratadas termicamente*, de elevada resistência, contêm cobre ou zinco como principais elementos, e são tão resistentes quanto ao aço estrutural, mas necessitam de proteção superficial.

Estas ligas são utilizadas quando a relação entre a resistência e o peso for a principal consideração a ser observada, como na aviação.

A seguir, o quadro 5, que explicita os "Principais grupos de ligas trabalháveis".

Quadro 5 – Principais grupos de ligas trabalháveis

Liga	Características	Aplicações
1050 1100	Baixa resistência mecânica, alta resistência à corrosão, boa conformabilidade, de soldagem fácil, apropriada para anodização decorativa. Alumínio comercialmente puro.	Equipamento para indústrias alimentícias, químicas, bebidas, trocadores de calor em geral, utensílios domésticos.
1350	Alta condutividade elétrica, boa conformabilidade. Alumínio 99,5% de pureza.	Liga especial para condutores elétricos.
2017 2024 2117 2219	Alta resistência mecânica, alta ductibilidade, média resistência à corrosão e boa conformabilidade. Ligas de AlCu.	Peças usinadas e forjadas, para as indústrias de máquinas e equipamentos, de transportes e aeronáutica.
3003	Média resistência mecânica, alta resistência à corrosão, boa conformabilidade e boa soldabilidade. Ligas de AlMn, de uso geral.	Carrocerias de veículos e equipamentos rodoviários em geral, utensílios domésticos, equipamentos para indústrias química e alimentícia, construção civil.
4043 4047	Utilizadas em varetas de solda. Ligas de AlSi.	Soldagem de ligas das séries 1000, 3000 e 6000.
5005 5052 5056	Alta resistência à corrosão em ambientes marítimos. Em geral, a resistência mecânica aumenta com os teores crescentes de Mg. Ligas de AlMg.	Carrocerias de veículos e equipamentos rodoviários em geral, utensílios domésticos, equipamentos para indústrias química e alimentícia, construção civil.
6060 6063	Média resistência mecânica, alta resistência à corrosão, boa conformabilidade. Ligas de AlMnSi.	Perfis para construção civil, esquadrias em geral, tubos de irrigação, móveis e iluminação.
6053 6061 6351	Média resistência mecânica, alta resistência à corrosão, boa conformabilidade, média usinabilidade. Ligas de AlMnSi.	Carrocerias de veículos e equipamentos rodoviários em geral, utensílios domésticos, equipamentos para indústrias química e alimentícia, construção civil, embarcações.
7075 7178	Alta resistência mecânica, boa resistência à corrosão, boa conformabilidade. Ligas de AlZn	Peças sujeitas aos mais elevados esforços mecânicos em indústrias: aeronáutica, militar, máquinas e equipamentos, moldes para injeção de plástico.

Fonte: ABAL. *Fundamentos do alumínio e suas aplicações.*

Diferentemente dos materiais trabalháveis sujeitos à variação dos processos de aquecimento e de resfriamento, as *ligas de fundição* adquirem suas propriedades na condição de fundidas (em alguns casos com tratamento térmico). Conseqüentemente, um grupo diferente de ligas tem sido formulado para a produção de peças submetidas a processos de fundição.

Na *construção civil*, as ligas mais utilizadas são da *série 6000*, cujos elementos de composição são: *alumínio, magnésio e silício*.

Esta série de ligas apresenta boa capacidade de extrusão, média resistência mecânica e excelente condição para a aplicação de acabamentos superficiais, como a *anodização*[58], por exemplo.

Para a *fabricação de esquadrias*, em geral utiliza-se *liga 6060*. A *liga 606*1, em que é agregado um pouco mais de magnésio e silício, é utilizada na produção de perfis que requerem maior resistência mecânica, como é o caso daqueles usados em ancoragens e outros componentes estruturais.

A liga 6061-T6 possui praticamente o dobro das propriedades mecânicas da liga 6060-T5.

É necessário que todos os elementos que compõem a liga estejam uniformemente distribuídos. Para isto, o tarugo que será utilizado na extrusão passa por processo de aquecimento, por meio do qual ocorre a homogeneização dos compostos intermetálicos. Este procedimento é extremamente importante para que as propriedades mecânicas do perfil não fiquem comprometidas, bem como para garantir que o acabamento superficial aplicado ao perfil e o desempenho técnico do processo de extrusão sejam adequados e satisfatórios.

Depois de extrudado, o material é temperado. *A têmpera utilizada na fabricação de esquadrias é a T5*, que significa que o material, após a extrusão, passa por um tratamento de solubilização (resfriamento acelerado do material, com utilização de ventiladores ou aspersão de

---

[58] A anodização é um processo eletrolítico que promove a formação de uma camada controlada e uniforme de óxido na superfície do alumínio.

água) e envelhecimento artificial. As ligas 6060-T5 e 6061-T6 passam por aquecimento a 185^{0}C durante período de aproximadamente cinco horas.

A *têmpera* é uma condição aplicada ao metal ou liga, por meio de deformação plástica a frio ou de tratamento térmico, que propicia estrutura e propriedades mecânicas próprias.

Ainda que a resistência original possa ser aumentada agregando-se certos elementos, as propriedades mecânicas das ligas, com exceção de algumas ligas para fundição, não dependem apenas da sua composição química. Semelhante a outros metais, o alumínio e suas ligas endurecem e aumentam sua resistência quando trabalhados a frio.

Além disso, algumas ligas de alumínio possuem a valiosa característica de responder ao tratamento térmico, adquirindo resistências maiores do que as que podem ser obtidas apenas por meio do trabalho a frio. As ligas de alumínio são divididas convenientemente em dois grupos: as *ligas tratáveis termicamente*, que propiciam maior resistência, e as *ligas não-tratáveis termicamente*, cuja resistência só pode ser aumentada por meio do trabalho a frio. As ligas tratáveis termicamente podem ser trabalhadas a frio e, posteriormente, sofrer o tratamento térmico para o aumento da resistência mecânica. As ligas não-tratáveis termicamente podem ser submetidas a tratamentos térmicos como de estabilização e recozimentos plenos ou parciais.

A *classificação das têmperas* é estabelecida pela *Norma ABNT – NBR 6835: Alumínio e suas ligas*, de acordo com os processos a que são submetidas, conforme descrito a seguir:

Têmpera "F" – Como Fabricada: aplica-se aos produtos obtidos por meio de processos de conformação, em que não se emprega qualquer controle especial sobre as condições térmicas ou de encruamento. Não se especificam limites para as propriedades mecânicas.

Têmpera "O" – Recozida: aplica-se aos produtos acabados, nos estados em que se apresentarem com menor resistência mecânica.

Têmpera "H" – Encruada: aplica-se aos produtos em que a resistência mecânica foi aumentada por deformação plástica a frio. Esses produtos podem ou não ser submetidos a um recozimento complementar para produzir amolecimento parcial, ou ainda a um processo de

estabilização. Utilizada para as ligas não tratáveis termicamente. A letra "H" deverá sempre ser seguida de dois ou mais dígitos.

Têmpera "W" – Solubilizada: aplica-se somente a algumas ligas que envelhecem naturalmente à temperatura ambiente, após o tratamento de solubilização. Esta classificação é especificada apenas quando o período de envelhecimento natural, após o resfriamento brusco, é indicado. Por exemplo: "W" ½ hora.

Têmpera "T" – Tratada Termicamente: aplica-se a produtos que sofrem tratamento térmico, com ou sem deformação plástica complementar, e que produzem propriedades físicas estáveis e diferentes das obtidas com "F", "O" e "H". A letra "T" deve ser seguida por um ou mais dígitos que indicam a seqüência dos processos básicos realizados: *tratamentos térmicos ou deformações plásticas*.

Os *tratamentos térmicos* têm por objetivo remover ou reduzir as segregações, produzir estruturas estáveis e controlar certas características metalúrgicas, tais como: propriedades mecânicas, tamanho dos grãos, condições para estampagem, etc.

Os principais tipos de tratamento térmico são: homogeneização, solubilização e envelhecimento, recozimento pleno, recozimento parcial e estabilização.

Os efeitos de um tratamento térmico completo incluem não somente um aumento substancial no limite de resistência à tração, mas também na redução da ductibilidade.

As *propriedades mecânicas* são determinadas por meio de ensaios rotineiros de amostras selecionadas como sendo representativas do produto.

Os valores das propriedades mecânicas resultantes dos ensaios podem dividir-se em dois grupos: os de valores garantidos e os de valores típicos. Os valores garantidos são os valores mínimos estabelecidos pelas especificações técnicas. Os ensaios rotineiros garantem que todo o material obedeça às especificações. A seguir relacionam-se as definições dos ensaios do *limite de resistência à tração*, dos *limites de escoamento, alongamento* e *dureza*, comumente aplicados aos materiais de alumínio.

O *limite de resistência à tração* é a máxima tensão a que o material resiste antes de sua ruptura.

O *limite de escoamento* é o ponto de tensão em que o material começa a deformar-se plasticamente. Para o alumínio é de 0,2% do comprimento original. O trabalho a frio e o tratamento térmico aumentam o limite de escoamento mais rapidamente do que a resistência à tração final.

O *alongamento* é expresso em porcentagem e refere-se ao comprimento original, medido em um corpo-de-prova normal. É calculado pela diferença de comprimentos medidos entre os pontos de referência, antes e depois do ensaio de tração. O alongamento é a indicação da ductibilidade.

A *dureza* de um metal é definida como a medida da sua resistência à penetração. Dentre as várias maneiras de se determinar dureza, as mais comuns são os ensaios *Brinell*, *Vickers* e *Rockwell,* cujas definições são apresentadas a seguir.

Todos os ensaios de dureza são empíricos. Ainda que existam tabelas indicativas da relação entre as várias escalas de dureza, a "equivalência" de valores deve ser usada com reserva. Mais importante ainda é o fato de que não existe relação direta entre o valor de dureza e as propriedades mecânicas das várias ligas de alumínio.

O *ensaio de dureza Brinell*, dos metais não-ferrosos, consiste em pressionar uma esfera de aço endurecido de 10 mm de diâmetro sobre a superfície do corpo-de-prova, com uma carga de 500 kgf, por 30 segundos, medindo-se, em seguida, o diâmetro da impressão. O número, ou índice de dureza *Brinell* (Bhn) é a relação entre a carga aplicada e a área da penetração que se obtém medindo-se o diâmetro da impressão e comparando-o às tabelas-padrão da máquina.

O *ensaio de dureza Vickers* usa um penetrador de diamante em forma de pirâmide, aplicado sobre o corpo-de-prova com carga conhecida, porém variável. Mede-se o comprimento da diagonal da impressão e, com base nas tabelas-padrão de máquina para a carga aplicada, obtém-se o número de dureza do diamante da pirâmide (DPH). Nas ligas de alumínio, os números Bhn e DPH são muito similares.

O *ensaio de dureza Rockwell* usa vários penetradores e cargas. As escalas *Rockwell*, cada uma associada a uma combinação de carga e penetrador, são necessárias para abranger o alcance de dureza de todos os metais. Entre os penetradores utilizados incluem-se esferas de aço com diâmetros de 1,58 mm a 12,7 mm, um diamante esfero-cônico e cargas de 15 kgf a 150 kgf. O número ou índice de dureza *Rockwell* é obtido diretamente da leitura da escala da máquina, que mede a profundidade da impressão.

O *módulo de elasticidade* do alumínio é de 7030 kg/mm^2. A adição de outros metais não altera consideravelmente este valor, que pode atingir cerca de 7.500 kg/mm^2. Desta forma, o módulo de elasticidade para o alumínio e suas ligas é aproximadamente a terça parte daquele do aço, o que é muito importante no que concerne à rigidez. O baixo módulo de elasticidade possui a vantagem de dar às estruturas de alumínio capacidade elevada de amortecer os golpes, assim como condição de reduzir as tensões produzidas pela variação de temperatura.

A *tensão de fadiga* ocorre quando uma tensão oscilante é aplicada por um determinado número de vezes, através de uma carga elástica. Embora possa ser bem inferior ao limite de resistência à tração do material, o metal poderá estar sujeito à fadiga.

Com relação às *propriedades em temperaturas elevadas,* o alumínio puro funde a 660^{0}C. Várias ligas possuem ponto de fusão abaixo deste valor. O metal puro e muitas de suas ligas perdem um pouco de sua resistência e ficam sujeitos a uma lenta deformação plástica, conhecida como fluência, caso permaneçam sob tensão por longos períodos e em temperaturas acima de 200^{0}C.

Quanto às *propriedades em temperaturas baixas*, ao contrário do aço doce, o alumínio não se torna frágil em temperaturas abaixo de zero. Na realidade sua resistência aumenta sem perda da ductibilidade e é esta característica que leva uma liga de AlMg a ser escolhida na construção de tanques soldados para armazenar gás metano liquefeito, em temperaturas negativas de -160^{0}C.

2.6 Corrosão e durabilidade

O alumínio apresenta elevada *resistência à corrosão.* Quando exposto à atmosfera, forma-se imediatamente uma fina e invisível camada de óxido, a qual protege o metal de oxidações posteriores. O metal somente ficará desprotegido contra corrosão caso seja exposto à substância ou condição que destrua essa película de óxido protetor.

O alumínio é altamente *resistente a intempéries* que freqüentemente corroem outros metais, mesmo em atmosferas industriais. É também *resistente a vários ácidos*. Os álcalis estão entre as poucas substâncias que atacam a camada de óxido e, conseqüentemente, podem corroer o alumínio. Embora o metal possa seguramente ser usado na presença de álcalis moderados com a ajuda de inibidores, em geral o contato direto com substância alcalina deve ser evitado.

Convém também evitar contato direto do alumínio com alguns metais, pois poderá surgir, na região da área de contato, a *corrosão galvânica*[59], face à diferença de valência dos metais. Havendo necessidade de unir o alumínio a esses metais, recomenda-se isolar a área com pinturas betuminosas ou materiais isolantes.

Nas ligas da série galvânica, qualquer material tende a ser corroído, por meio do contato com outro metal inferior a ele. Apesar da baixa posição na série, o aço inoxidável pode ser acoplado ao alumínio em vários ambientes, por ser altamente polarizado. Em ambientes com elevado teor de cloretos, o aço inoxidável pode causar substancial *corrosão de contato* ao alumínio. O quadro 6 apresenta as ligas da série galvânica, em ordem decrescente de valência, conforme descrito a seguir.

---

[59] Corrosão galvânica (*galvanic corrosion*): Acontece quando metais diferentes estão juntos na presença de um agente químico que age como eletrólito. A severidade da corrosão vai depender da condutividade deste eletrólito e da posição relativa dos metais na série galvânica.

Quadro 6: Ligas da série galvânica[60]

Ligas de Magnésio (Mg)
Zinco
Ligas de Alumínio e Zinco (AlZn)
Ligas de Alumínio e Magnésio (AlMg)
Ligas da Série 1100, 3003, de Alumínio, Magnésio e Silício (AlMgSi)
Cádmio
Ligas de Alumínio e Cobre (AlCu)
Aço doce, ferro maleável e ferro fundido
Cromo
Soldas de chumbo-estanho
Chumbo
Estanho
Latão
Cobre
Bronze
Liga *monel*
Níquel
Aço inoxidável

Fonte: ABAL: Fundamentos do alumínio e suas aplicações.

2.7 Atributos e benefícios do alumínio

Material leve e durável, o alumínio é um dos metais mais versáteis em termos de aplicação, o que garante sua presença em uma grande diversidade de indústrias e segmentos. Produtos que utilizam o alumínio ganham também competitividade, em função dos inúmeros atributos e benefícios que este metal a eles incorpora, conforme descrito no quadro 7, inserido na página seguinte.

[60] Série galvânica: indica as diferenças de potenciais eletro-químicos entre as várias ligas, em ordem decrescente de valor. A corrosão ocorre quando estes elementos são acoplados um ao outro e entre eles houver um eletrólito (meio ambiente ácido).

Quadro 7: Atributos e benefícios do alumínio

Atributos	Benefícios
1. Leveza	Nos transportes representa: menor consumo de combustível, menor desgaste, mais eficiência e maior capacidade de carga. Nas embalagens: praticidade e portabilidade, por seu peso reduzido em relação a outros materiais.
2. Condutibilidade	Na transmissão de energia em fios e cabos: a leveza e a condutividade elétrica do alumínio são fundamentais a este uso. Nas embalagens: nenhum outro material é tão bom condutor térmico quanto o alumínio.
3. Impermeabilidade e opacidade	Especialmente importante no uso em embalagens: por não permitir a passagem de umidade, oxigênio e luz, evita-se a deterioração dos produtos.
4. Excelente relação resistência/peso	Nos transportes: confere desempenho excepcional a qualquer parte de equipamento de transporte que consuma energia para se movimentar. Aos utensílios em geral: confere durabilidade e manuseio seguro, com facilidade de conservação.
5. Estética	Aparência moderna em qualquer aplicação, por ser um material nobre, limpo e que não se deteriora. Mantém sempre o aspecto original e permite soluções criativas de *design*.
6. Resistência à corrosão	Facilita a conservação e a manutenção das obras em produtos como portas, janelas, forros, telhas e revestimentos usados na construção civil, bem como em equipamentos e partes ou estruturas de veículos de qualquer porte. Nas embalagens: é fator decisivo por sua característica higiênica e pela capacidade de barreira à contaminação.
7. Moldabilidade e soldabilidade	Facilidade de conformação, devido à alta maleabilidade e ductilidade, possibilitando formas adequadas aos mais variados usos e projetos.
8. Resistência e dureza	A robustez do alumínio se traduz em qualidades estruturais, com excelente comportamento mecânico, aprovado em aplicações como aviões e trens.
9. Possibilidade de muitos acabamentos	Anodização e pintura assumem a aparência adequada para aplicações em construção civil. A aplicação destes acabamentos reforça ainda mais a resistência natural do material à corrosão.
10. Reciclabilidade	Depois de muitos anos de vida útil, segura e eficiente, o alumínio pode ser reciclado, com recuperação de parte significativa do investimento e poupança de energia, como já acontece largamente no caso da lata de alumínio. Além disso, o meio ambiente é beneficiado pela redução de resíduos e economia de matérias-primas propiciadas pela reciclagem.

Fonte: Adaptação de: ABAL. *Fundamentos do alumínio e suas aplicações*.

2.8 Reciclagem

A capacidade de reciclagem é um diferencial marcante para o setor de alumínio nos aspectos ambiental, econômico e social. O reaproveitamento é realizado tanto a partir de sobras do processo de produção, como de sucata gerada por produtos descartados.

Os ganhos começam na matéria-prima. Para produzir *uma tonelada de alumínio* são necessárias *cinco toneladas de bauxita*. Em 2004, a reciclagem de 270 mil toneladas de alumínio gerou economia de 1,3 milhão de toneladas de bauxita, segundo dados da Associação Brasileira do Alumínio.

A reciclagem representa proteção ambiental e economia de recursos naturais, com menor emissão de poluentes na natureza. Quando o alumínio reciclado substitui o alumínio primário no processo produtivo, reduz-se a formação de resíduos sólidos.

Em um exemplo de eficiência ecológica, o Brasil é líder mundial de reciclagem de latas de alumínio para bebidas por quatro anos consecutivos. Em 2004 estabeleceu-se um novo recorde, com 95,7% das latas retornando à cadeia de produção. Essa porcentagem corresponde a 121,3 mil toneladas, ou cerca de 9 bilhões de unidades. Atualmente, somente a etapa da coleta (compra das latas usadas) injeta, anualmente, R$ 450 milhões na economia nacional.

A reciclagem de latas também gera emprego e renda para mais de 160 mil pessoas no Brasil, em atividades que vão desde a coleta das latas usadas até a transformação final da sucata em novos produtos.

Em termos gerais, em 2003 a média mundial que traduz a relação entre sucata recuperada e consumo doméstico de produtos transformados de alumino chegou a 32%. O Brasil demonstrou melhor desempenho neste indicador, alcançando 37%.

Outro destaque é a significativa economia de energia elétrica. A reciclagem de 270 mil toneladas de alumínio no Brasil, em 2004, implicou economia de cerca de 3.900 GWh/ano, ou seja, 1% de toda energia elétrica gerada no país, suficiente para atender à demanda anual de todo o setor industrial da cidade de São Paulo.

CAPÍTULO 3

O MERCADO BRASILEIRO DE ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO

CAPÍTULO 3: O MERCADO BRASILEIRO DE ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO

3.1 A indústria do alumínio e a construção civil no Brasil

A indústria do alumínio registrou em 2004 uma participação de 3,3%[61] no Produto Interno Bruto Industrial, representando uma importante contribuição à balança comercial do país.

A versatilidade do alumínio permite sua utilização em diferentes segmentos de mercado, tais como: *construção civil*, *transportes*, *eletricidade, bens de consumo, embalagens, máquinas e equipamentos*, entre outros.

A construção civil, por sua vez, participa com 18,4%[62] do Produto Interno Bruto brasileiro, sendo o setor que mais consome matéria-prima em qualquer país.

Estudiosos do setor apontam, dentre os grandes desafios da indústria da construção civil, os seguintes destaques: *aumentar a eficiência produtiva; promover o controle de qualidade em todos os níveis; avaliação de desempenho das técnicas e dos materiais; atender às exigências dos usuários; promover a gestão da qualidade de todos os processos e sistemas construtivos industrializados; e garantir a sustentabilidade, com iniciativas que promovam a interação com o meio ambiente, por meio de ações pró-ativas, redução de perdas, redução do consumo de energia e de água, e reciclagem.*

No macrocenário da economia brasileira, encontram-se alinhados os desafios da indústria do alumínio e da indústria da construção civil, que representam dois importantes setores produtivos, geradores de divisas e de postos de trabalho.

Neste sentido o alumínio, como matéria-prima para a fabricação de esquadrias, vem tendo utilização cada vez maior no ramo da construção

---

61 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO – ABAL. *Anuário Estatístico 2004*.

62 INSTITUTO UNIEMP. O Macro Setor da Construção. In: Anais do 1. Seminário de Inovação na Construção Civil.

civil no Brasil e no mundo; representando uma grande oportunidade de crescimento para ambos os setores da economia.

A construção civil é responsável pela demanda de uma grande diversidade de produtos de alumínio. Dentre estes, destacam-se, pelo volume consumido no setor, aqueles obtidos pelo processo de extrusão[63], fabricados nas mais diversas e complexas formas e geometrias, tais como: barras, tubos, perfis para a fabricação de *esquadrias*[64].

Dependendo da liga escolhida, um produto de alumínio extrudado pode apresentar a resistência mecânica e à corrosão superiores às de outros metais. Conjugada a essa combinação de propriedades mecânicas e físicas está também a possibilidade de reciclagem.

Tal conjugação de características torna o alumínio e suas ligas um dos materiais de maior perspectiva de expansão de produção e utilização dentre outros materiais metálicos e, possivelmente, dentre os materiais cerâmicos e poliméricos também.

Como exposto no Capítulo 1 desta Dissertação, o alumínio foi descoberto e disponibilizado para aplicações práticas somente no século XIX. O processo *Hall-Heroult*, desenvolvido em 1886, continua sendo utilizado até hoje para a produção do alumínio primário.

No Brasil, começou a ser produzido na década de 1950 na cidade de Ouro Preto, Minas Gerais. Dispondo de grande potencial hidráulico para produção de energia elétrica e ainda de apreciáveis reservas de bauxita – principais insumos desta indústria –, o país recebeu grandes investimentos para a produção de alumínio primário. Por volta de 1982 a produção nacional passou a superar o consumo interno e o país tornou-se exportador.

Segundo os dados da Associação Brasileira do Alumínio – ABAL[65], a indústria brasileira do alumínio ocupa, desde 1998, o sexto lugar no

---

63 Extrusão *(extrusion)*: Processo metalúrgico que consiste na deformação plástica a quente do material, fazendo-o passar, pela ação de um pistão, através de um orifício e uma matriz que apresenta o contorno da secção do produto a ser obtido (ABNT NBR 6599:2000).

64 Esquadria: Designação genérica de portas, caixilhos, venezianas, etc. Caixilharia: conjunto de caixilhos. Caixilho (*diminutivo de caixa*): parte de uma esquadria onde se fixam os vidros; moldura.

65 ABAL. *Anuário Estatístico 2004*.

ranking dos produtores mundiais de alumínio primário, antecedida por: China, Rússia, Canadá, Estados Unidos da América e Austrália.

Ainda segundo a ABAL, em 2004 a indústria brasileira do alumínio acompanhou os resultados apresentados pela economia, com a reação do consumo doméstico de produtos transformados, que voltou a crescer 11,3%, e o crescimento de 4,9% no volume de suas exportações. A produção de alumínio primário também cresceu em 2004, registrando um total de 1.457.400 toneladas produzidas, conforme demonstra o quadro 8, inserido a seguir.

Quadro 8: Capacidade de produção instalada de alumínio primário

Produtores	2003 Unidade: 1000 t	2004 Unidade: 1000 t
Albras Alumínio Brasileiro S/A	436	440,5
Alcoa Alumínio S/A	296	296
Vale do Rio Doce Alumínio – Aluvale	52	-
BHP Billiton Metais S/A	216	174
Companhia Brasileira de Alumínio	314	345
Novelis do Brasil Ltda.	109	109
Valesul Alumínio S/A	-	92,9
Total	1.423,0	1.457,4

Fonte: ABAL. *Anuário Estatístico 2004*.

(1) Capacidade de produção instalada: é definida em 31 de dezembro de cada ano e informada à Associação Brasileira do Alumínio pelos próprios produtores primários, para a elaboração da análise estatística anual.

(2) Em janeiro de 2005, entrou em operação a empresa Novelis do Brasil Ltda., subsidiária da *Novelis Incorporated*, resultado da cisão de ativos de produtos laminados da canadense *Alcan Incorporated*.

A oferta nacional – composta de produção primária, sucata recuperada e importações – foi de 1.806.100 toneladas em 2004, apresentando crescimento de 5,5% em relação ao volume de 2003.

As exportações de alumínio e seus produtos chegaram a 1.038.700 toneladas (peso alumínio) em 2004, com crescimento de 4,9% sobre o volume exportado no ano anterior. O destaque ficou para o aumento significativo de 14,6% dos embarques de produtos transformados, que confirma os esforços empreendidos pela indústria para aumentar as exportações de produtos com maior valor agregado.

Com esses esforços, a indústria alcançou um desempenho que lhe permitiu atingir faturamento de US$ 7,8 bilhões e registrar participação de 3,3% no PIB Industrial, com contribuição de US$ 2,7 bilhões FOB[66] na balança comercial brasileira – 2,8% do total exportado pelo país.

Os investimentos da indústria brasileira do alumínio atingiram US$ 600 milhões e o recolhimento de impostos elevou-se para US$ 1,2 bilhão. Estes resultados permitiram o aumento de postos de trabalho da indústria de 50 mil para 53 mil ao final de 2004.

Por outro lado, apesar de as importações totais terem apresentado crescimento de 7,8%, com total de 98.100 toneladas em 2004 contra 91.000 toneladas em 2003, basicamente em função do aumento das importações de alumínio primário, ligas e sucata de alumínio, houve queda significativa nas importações de produtos transformados, que passaram de 76.700 toneladas para 66.700 toneladas em 2004.

Embora estes números demonstrem a grande importância relativa do Brasil no mercado internacional do alumínio primário, o consumo *per capita* registrado no ano de 2004 é relativamente pequeno: de 4,1 kg/habitante/ano, quando comparado com valores entre 15 e 30 kg/habitante/ano dos países industrializados como Estados Unidos, Alemanha e Japão.

Após dois anos de queda, o mercado interno brasileiro consumiu um volume recorde de 741.200 toneladas de produtos transformados de alumínio em 2004, com um acréscimo de 11,3% sobre o ano anterior.

Em relação ao consumo doméstico brasileiro de produtos transformados, todos os setores registraram crescimento em 2004, conforme dados apresentados no quadro 9, exposto a seguir.

---

66 FOB: Sigla da abreviação em inglês do termo *free on board*, cujo significado é "livre a bordo", ou seja, o fornecedor assume as despesas sobre a mercadoria comercializada até sua colocação no transporte.

Quadro 9: Consumo doméstico de produtos transformados de alumínio

Setor	2003 Unidade: 1000 t	2004 Unidade: 1000 t	2004 /2003 % Unidade: 1000 t
Chapas	266,0	287,7	8,2
Folhas	60,6	66,3	9,4
Extrudados	119,3	129,3	8,4
Fios e Cabos	51,2	54,4	6,3
Fundidos	107,9	135,9	25,9
Pó	15,4	16,6	7,8
Destrutivos	37,2	39,2	5,4
Outros	8,4	11,8	40,5
Total	**666,0**	**741,2**	**11,3**

Fonte: ABAL. *Anuário Estatístico 2004*.

A breve análise estatística setorial revela que, embora o Brasil já apresente um destacado papel no cenário internacional da indústria de alumínio, ainda existe um mercado potencial muito grande a ser explorado pelas indústrias nacionais do setor.

Outra avaliação importante refere-se ao consumo brasileiro de alumínio por setor de aplicação. Conforme demonstra o quadro 10, exposto a seguir, o segmento de mercado destinado aos produtos de alumínio para a construção civil representa parcela significativa, em termos de volume consumido deste material.

Quadro 10: Consumo de alumínio por setor de aplicação no Brasil

Setor	2003 Unidade: 1000 t	2004 Unidade: 1000 t	2004 /2003 % Unidade: 1000 t
Construção Civil	87,8	94,7	7,9
Transportes	148,6	187,5	26,2
Eletricidade	65,9	68,1	3,3
Bens de Consumo	57,6	69,2	20,1
Embalagens	207,6	213,5	2,8
Máquinas e Equipamentos	27,1	31,1	14,8
Outros	71,4	77,1	8,0
Total	**666,0**	**741,2**	**11,3**

Fonte: ABAL. *Anuário Estatístico 2004*.

A construção civil é um dos mercados mais dinâmicos da economia nacional e representa o setor que mais consome matéria-prima em qualquer país. Para atender cada vez melhor a este segmento, a indústria do alumínio oferece mais e mais soluções para a construção civil. São perfis, acessórios, chapas, telhas, produtos químicos, etc., que valorizam projetos, garantindo qualidade, beleza, modernidade e segurança às mais arrojadas obras.

Até a década de 1950, o uso do alumínio na construção civil no Brasil era praticamente inexistente. Na época utilizavam-se apenas materiais mais econômicos, como o aço e a madeira, encontrados em grandes quantidades no país, não havendo necessidade de importação.

O alumínio começou a ser introduzido no país como componente de esquadrias de aço. Algumas peças, como baguetes[67] e trilhos, feitas de chapas dobradas de alumínio complementavam essas esquadrias.

Tempos depois, com o domínio da tecnologia de *extrusão*, processo de transformação do alumínio em perfis, o material passou a participar efetivamente do mercado brasileiro. A construção de Brasília foi o grande marco inicial para a utilização do alumínio na arquitetura e na construção civil. Até hoje a cidade exibe os perfis de alumínio utilizados para a fixação de vidros. Somente na década de 60 as empresas que fabricavam alumínio aperfeiçoaram a tecnologia de extrusão, começando a desenvolver projetos mais arrojados em esquadrias de alumínio.

A maior leveza aliada à maior durabilidade e ao preço acessível contribuíram para que essas esquadrias alcançassem lugar de destaque nos projetos de arquitetura.

O grande mercado consumidor do setor de extrusão é a construção civil. No Brasil, cerca de 62% do total de produtos extrudados de alumínio produzidos no país são destinados a este segmento de mercado, transformando-se em esquadrias (portas e janelas), forros, perfis para divisórias, acessórios para banheiros, estruturas pré-fabricadas e elementos decorativos de acabamento. O quadro 11, inserido a seguir,

---

[67] Baguetes: perfil metálico removível, estrategicamente instalado na folha da esquadria por meio de encaixe (*clipagem*), cuja função principal é facilitar a troca dos vidros.

apresenta o consumo de alumínio por setor e por tipo de produto em 2004.

Quadro 11: Consumo de alumínio por setor e produto em 2004

Setor	Construção civil	Trans-portes	Indústria elétrica	Bens de consumo	Emba-lagens	Máquinas e equipa-mentos	Outros	Total
Chapas	**26,7**	30,9	6,5	44,0	161,6	12,8	5,2	287,7
Folhas	**1,3**	4,1	1,0	6,0	51,5	1,9	0,5	66,6
Extrudados	**66,6**	27,3	5,3	15,0	-	11,7	3,4	129,3
Fios e Cabos	**-**	-	54,4	-	-	-	-	54,4
Fundidos	**0,1**	125,2	0,9	4,2	-	4,7	0,8	135,9
Pó	**-**	-	-	-	-	-	16,6	16,6
Destrutivos	**-**	-	-	-	-	-	39,2	39,2
Outros	**-**	-	-	-	0,4	-	11,4	11,8
Total	**94,7**	**187,5**	**68,1**	**69,2**	**213,5**	**31,1**	**77,1**	**741,2**
Consumo por Setor	12,8%	25,3	9,2	9,3	28,8	4,2	10,4	100 %

Fonte: ABAL. *Anuário Estatístico 2004*.

O setor de extrusão no Brasil apresenta-se no mesmo nível dos principais produtores do mundo, com um volume anual médio de aproximadamente 65.000 toneladas de alumínio consumido pela indústria de esquadrias. É possível observar pequena recuperação na produção de extrudados para o setor que, depois de registrar queda entre 2002 e 2003 – de 67.800 para 62.500 toneladas –, voltou a crescer em 2004, fechando o ano com 66.600 toneladas.

Segundo a ABAL, os bons resultados refletem melhorias técnicas das unidades produtivas. Inovações tecnológicas estão presentes na produção nacional, como: anodização com aspecto de aço inoxidável; janelas com diferentes tipos de ventilação, que mudam de posição ao se movimentar o fecho; selantes de silicone; persianas internas automatizadas, com acionamento programado em função da intensidade da luz; automação dos caixilhos por controle remoto; isolamento térmico e acústico; utilização de vidros laminados, de segurança e duplos.

A participação das esquadrias de alumínio no mercado de obras, ênfase para os edifícios comerciais e residenciais, vem crescendo, mesmo com os períodos de retração da construção civil. Entre os fatores considerados responsáveis por este crescimento do mercado estão as normas técnicas e o desenvolvimento tecnológico do setor.

A aplicação das normas técnicas permite aferir os níveis de desempenho dos produtos, tanto dos padronizados, como dos sistemas de fachadas e esquadrias especiais.

As normas resultam de estudos desenvolvidos por grupos de trabalho compostos por fabricantes de esquadrias, fornecedores de matérias-primas, laboratórios de pesquisa e entidades do setor, como a Associação Nacional dos Fabricantes de Esquadrias de Alumínio e a Associação Brasileira do Alumínio. Dispondo sobre a realização de ensaios de resistência às cargas de vento, estanqueidade à água, permeabilidade ao ar e operações de manuseio, as normas consideram as diferentes condições climáticas do local onde o edifício será construído. Esquadrias fabricadas com perfis, componentes e acessórios adequados, e de acordo com as normas técnicas, ganham em qualidade e agregam valor aos imóveis, tanto de uso comercial quanto residencial.

Normas técnicas constituem ferramenta imprescindível para elevar o nível de desempenho e evolução tecnológica dos produtos. Entretanto, ainda é necessário maior conscientização do empreendedor e do construtor, para que o cumprimento daquelas determinações garanta a execução tal como prevista em projeto pelo arquiteto. É importante a estes profissionais perceber que, com pequeno custo adicional no produto, é possível cumprir as normas, eliminando imprevistos e gastos com re-trabalho. Entretanto, a construtora, regra geral, considera mais importante o custo final da obra e costuma arrochar o fabricante de esquadrias, que acaba cedendo. Mas há progressos significativos, como é o caso de grandes obras de organizações com disponibilidade financeira, que obrigam o cumprimento da normalização, melhorando o desempenho e a qualidade das edificações.

3.2 Produtos extrudados de alumínio para a construção civil

De modo geral, os produtos extrudados de alumínio, cujas aplicações destinam-se ao mercado de construção civil, podem ser resumidamente relacionados conforme os grupos de produtos descritos a seguir:

Produtos para a indústria de móveis: cadeiras, bancos, mesas, etc; *mobiliário urbano*: totem de sinalização, postes de uso múltiplo, abrigos de ônibus, relógios, termômetros, cabines, cestos de lixo, bancos de jardim, etc.

Produtos para a indústria da construção civil em geral: estruturas planas e espaciais; equipamentos: andaimes, escadas, etc.; forros, divisórias, cantoneiras e arremates; peças e utensílios para decoração; pó para a indústria cerâmica.

Produtos para a indústria de esquadrias: esquadrias convencionais: janelas de correr, janelas tipo máximo-ar[68]; portas de correr e de abrir, portões; fachadas: esquadrias especiais, tipo "*pele de vidro*", com vidro encaixilhado ou vidro colado (*silicone glazing*); sistemas de esquadrias e fachadas: conjuntos de produtos desenvolvidos por produtores de alumínio primário e por indústrias de esquadrias, e compõem-se pelos perfis de alumínio e todos os demais componentes; gradil, guarda-corpo, portão, corrimão, etc.

O maior mercado dos produtos extrudados em todo o mundo é o da fabricação de esquadrias para a construção civil.

No continente europeu, o mercado de esquadrias está dividido em três partes praticamente iguais: alumínio, madeira e *PVC*[69]; não havendo quase nenhuma participação do ferro e do aço.

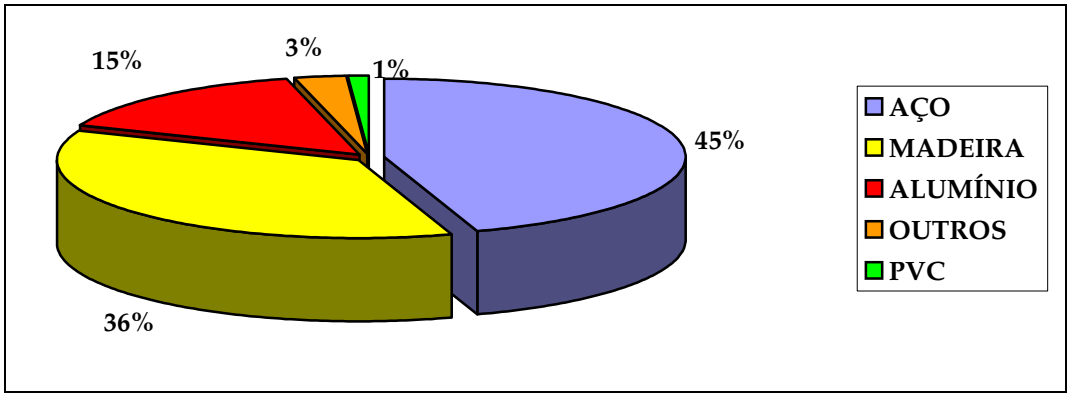
---

68 Máximo-ar: esquadria cujo sistema de abertura permite a liberação total do vão e a entrada máxima de ar, donde se origina o nome máximo-ar. *Maximar* é o jargão utilizado para designar este tipo de produto no segmento das indústrias de esquadrias de alumínio.

69 Policloreto de vinila – PVC: material plástico que contém, em peso, 57% de cloro (derivado do cloreto de sódio – sal de cozinha) e 43% de eteno (derivado do petróleo). O policloreto de vinila é um pó muito fino, de cor branca, totalmente inerte.

No Brasil, os principais materiais utilizados para a fabricação de esquadrias são *o aço, a madeira e o alumínio*. A figura 14, inserida a seguir, demonstra a configuração do mercado brasileiro de esquadrias no ano de 2005, segundo dados da Associação Brasileira de Alumínio.

Figura 14: Configuração do mercado brasileiro de esquadrias 2005



Fonte: ABAL. *Comitê Setorial da Construção Civil*.

O alumínio na construção civil tem aplicações bastante diferenciadas, conferindo qualidade e nobreza ao ambiente onde é aplicado. Apresenta características funcionais que se enquadram às exigências da atualidade.

Dentre as características do alumínio que justificam seu uso na fabricação de esquadrias e diferenciam os produtos para a construção civil, produtos estes elaborados a partir desta matéria-prima, destacam-se: *leveza, durabilidade, comportamento estrutural, resistência à corrosão, possibilidades de transformação do material, estética apreciada, variedade dos acabamentos de superfície, disponibilidade do metal, tecnologia moderna, material reciclável, competitividade da indústria do alumínio, menor consumo de energia, isolamento acústico, isolamento térmico, vedação à água e ao ar, manutenção (fator de competitividade e economia) ventilação e controle de exaustão, possibilidade de automação.* São tendências internacionais de aplicações, atributos que valorizam os imóveis.

A *leveza* é uma das propriedades mais interessantes do alumínio devido a sua baixa densidade, aproximadamente 1/3 da densidade do

aço e de outros metais utilizados normalmente pela indústria. O quadro 12, exposto a seguir, apresenta as densidades entre os metais mais utilizados na atualidade.

Quadro 12: Densidade dos metais

Metal	Densidade (kg/dm^3)
Alumínio	2,70
Aço	7,85
Cobre	8,90
Latão	8,55

Fonte: ABAL. *Fundamentos do alumínio e suas aplicações.*

Essa propriedade torna esquadrias, fachadas e estruturas de alumínio muito mais leves do que as correspondentes em aço.

Componentes mais leves propiciam infra-estruturas mais leves, mais econômicas, mais fáceis de projetar e executar. Esquadrias mais leves tornam a fabricação, o manuseio, o armazenamento, o transporte, a instalação e até a utilização mais fáceis e econômicas.

As esquadrias de alumínio possuem grande *durabilidade* devido a sua resistência à corrosão, atributo do alumínio que se complementa com os tratamentos de superfície, como anodização, jateamento ou pintura.

A *durabilidade* é fator determinante para sua recomendação em prédios e residências, uma vez que a manutenção das edificações é cada vez mais normalizada e os produtos concorrentes não tem a vida útil do material como ponto forte.

As ligas de alumínio utilizadas na fabricação de esquadrias e fachadas apresentam propriedades mecânicas adequadas a essa aplicação, mesmo nas condições mais rigorosas, conferindo aos produtos excelente desempenho técnico quanto ao *comportamento estrutural.*

Esquadrias e fachadas de alumínio têm sido utilizadas há anos em regiões do mundo sujeitas a terremotos, furacões e outros fenômenos naturais de grande impacto sobre as edificações. Os edifícios mais altos do mundo também utilizam esquadrias e fachadas de alumínio sem quaisquer problemas estruturais.

As ligas de média resistência (Normas ABNT 6061 e ABNT 6351) utilizadas em estruturas de alumínio apresentam propriedades mecânicas equivalentes àquelas dos aços utilizados normalmente pela indústria. Na fabricação de esquadrias, são utilizadas, principalmente, ligas da série 6060-T5. O quadro 13, a seguir, apresenta a relação das normas referentes às ligas de alumínio.

Quadro 13: Relação de normas referentes às ligas de alumínio

Liga de Alumínio	Tensão mínima de ruptura à tração (Mpa)	Tensão mínima de escoamento (Mpa)
ABNT 6060-T5	150	110
ABNT 6063-T5	190	148
ABNT 6351-T6	317	289
ABNT 6061-T6	317	281

Fonte: ABAL. *Guia Técnico do Alumínio*: extrusão.

O comportamento estrutural adequado pode ser garantido por análises e ensaios executados antes da especificação técnica definitiva das esquadrias. A *Norma NBR 10821/EB 1968 – Caixilho para Edificação – Janela – Especificação* estabelece as condições para as análises e ensaios.

Graças a um fenômeno natural simples, o alumínio apresenta forte *resistência à corrosão*. Quando uma nova superfície de alumínio é exposta ao oxigênio do ar, ocorre rapidamente uma reação de oxidação, com a formação de uma fina camada superficial de óxido de alumínio. Essa camada isola o metal do contato com o oxigênio e interrompe o processo. Quando a camada é retirada por qualquer processo, ela se forma novamente.

Essa resistência natural à corrosão pode ser melhorada por meio de acabamentos de superfície como anodização e pintura eletrostática a pó.

O metal apresenta muitas *possibilidades de transformação.* O alumínio pode ser transformado por praticamente todos os processos desenvolvidos pelo homem para trabalhar os metais.

Por meio da *extrusão*, por exemplo, são obtidos perfis de alumínio com seções transversais muito complexas, permitindo o desenvolvimento

de esquadrias, fachadas, estruturas e outros produtos. A extrusão possibilita a otimização de perfis e conjuntos de perfis sob os mais diversos aspectos, como: comportamento estrutural, facilidade de fabricação e montagem, vedação, aparência, funcionamento.

O alumínio é reconhecido como um *material nobre e de estética apreciada*. Essa característica é transferida a todos os produtos fabricados com este metal, especialmente às esquadrias, às fachadas e aos revestimentos, utilizados largamente em edifícios nos quais se pretende estabelecer aspecto de modernidade, desempenho e qualidade.

A variedade de apresentação do alumínio permite ao arquiteto explorar de forma criativa sua combinação com outros elementos das edificações, promovendo a personalização dos projetos, que se destacam por sua estética, harmonia de tons e volumes.

Para garantia de sua qualidade estética, o alumínio pode receber grande *variedade dos acabamentos de superfície* como: *anodização, jateamento com anodização* e *pintura eletrostática a pó*.

A *anodização* pode ser natural ou com uso de cores. O *jateamento* com anodização confere ao perfil uma superfície homogênea. A *pintura eletrostática a pó* possibilita o uso de cores variadas ou a simulação de outros materiais, como mármore e madeira.

Todos estes tipos apresentam garantia de inalterabilidade, mesmo nos ambientes mais agressivos; e dispõem de fornecedores com experiência para assegurar qualidade de nível internacional.

O volume de alumínio produzido no mundo está estimado em aproximadamente 30.000.000 de toneladas por ano. No Brasil há *grande disponibilidade do metal*, sendo produzidas anualmente cerca de 1.300.000 toneladas. O consumo anual do país situa-se em torno de 800.000 toneladas.

A *tecnologia moderna* utilizada na fabricação de produtos para a construção civil no Brasil equipara-se às mais modernas do mundo. Profissionais altamente especializados e modernos recursos eletrônicos (*softwares*) possibilitam o desenvolvimento dos mais variados projetos.

O alumínio pode ser *reciclado* sem perder quaisquer de suas propriedades originais. O processo de reciclagem utiliza apenas 5% da

energia necessária para a produção primária do metal. Esta característica corrobora para a preservação ambiental.

A *competitividade da indústria do alumínio* é bastante intensa. O metal alumínio é uma *commodity*[70] *e s*eu preço é definido internacionalmente pela Bolsa de Metais de Londres[71], que determina o preço do metal diariamente, considerando o equilíbrio entre a oferta e a demanda.

No Brasil, os preços domésticos do metal primário e dos produtos transformados – como extrudados e laminados – são derivados diretamente do preço definido pela Bolsa de Metais de Londres. Esse mecanismo garante alinhamento permanente com os preços internacionais e máxima competitividade. Além disso, a importação de alumínio é fácil. Há várias empresas compradoras no mercado que utilizam o artifício da importação esporádica para assegurar preços competitivos.

A *economia no consumo de energia* pode ser enfatizada nos projetos com melhorias de isolamento térmico, utilizando detalhes que combinam perfis de alumínio com perfis de poliamida para criar a ponte de ruptura térmica, bem como vidros duplos com câmara de ar seco para melhor controle térmico.

A indústria brasileira de esquadrias de alumínio está apta a oferecer soluções para qualquer nível de solicitação de isolamento acústico. Há sistemas no mercado que podem acomodar vidros com até 40 mm de espessura. A Norma ABNT *NBR 10829 / MB 3071 – Caixilho para Edificação – Janela – Medição de atenuação acústica* estabelece os níveis máximos de ruído admissíveis para os diversos tipos de ambientes, os quais são contemplados pelas linhas de esquadrias de alumínio.

---

70 *Commodity*: denomina um artigo que é comprado ou vendido, mercadoria. *Commodities* são produtos *in natura*, cultivados ou de extração mineral, que podem ser estocados por certo tempo sem perda sensível de suas qualidades, como suco de laranja congelado, soja, trigo, *bauxita*, prata ou ouro. Atualmente, produtos de uso comum em todo o mundo, como lotes de camisetas brancas básicas ou lotes de calças jeans, são considerados *commodities*.

71 Bolsa de Metais de Londres: *London Metal Exchange* – LME, na sigla em inglês.

Soluções de *isolamento térmico* para qualquer nível de solicitação, inclusive com o recurso de perfis com "*thermal break*[72]", também são alternativas possíveis para a fabricação das esquadrias de alumínio.

As esquadrias de alumínio oferecem soluções de bom desempenho nos quesitos *vedação à água e ao ar*. A *Norma NBR 10821/EB 1968 – Caixilho para Edificação – Janela – Especificação* estabelece o desempenho mínimo exigível. Existem no país câmaras de ensaios para avaliar o produto antes de sua aplicação.

A *baixa manutenção* exigida pelos caixilhos de alumínio é um *fator de competitividade e economia* que deve ser considerado no investimento inicial da edificação. A manutenção é simples e se resume ao uso de água e sabão neutro.

A precisa regulagem da *ventilação e exaustão* do ambiente é outra característica comum aos vários tipos de esquadrias existentes, permitindo projetos adequados às diferentes condições.

De maneira geral, há no mercado *recursos para automação* de praticamente quaisquer tipos de esquadrias de alumínio, desde a simples manobra de uma porta de garagem até a utilização de sensores para movimentar uma esquadria na ocorrência de chuva ou quando as condições de iluminação natural forem alteradas.

Tendências internacionais de aplicação indicam que nos Estados Unidos da América e países europeus difunde-se o uso de esquadrias isoladas térmica e acusticamente, com vistas ao conforto ambiental e à conservação de energia (calefação ou ar condicionado). Estes tipos de esquadrias utilizam vidros duplos, com câmara de ar seco, nos quais os perfis bipartidos e ligados por perfis isolantes de poliamida interrompem a ponte térmica entre as faces interna e externa do ambiente.

Pesquisas feitas na Europa indicam que, na Espanha, 95% das esquadrias são feitas em alumínio. Na Itália, cujo mercado é maior, o

---

[72] *Thermal break*: conjunto solidário de dois perfis extrudados de alumínio, ligados longitudinalmente por um terceiro perfil, feito de material com baixíssima condutividade térmica. Permite que a face do perfil exposta à temperatura externa seja isolada da face interna, impedindo a troca de calor através do conjunto, melhorando as condições de conforto e economizando energia, necessária para aquecer ou resfriar o ambiente. Utiliza ligação de poliamida reforçada.

alumínio participa com 70%, sendo que 30% dessas esquadrias utilizam perfis com ponte de ruptura térmica.

Pelo *conjunto de atributos* como: *durabilidade, baixo custo de manutenção, desempenho, funcionalidade e estética*, as esquadrias de alumínio *valorizam os imóveis* onde são empregadas, em confronto com outros materiais menos eficientes. As características técnicas dos perfis de alumínio garantem o excelente desempenho e a qualidade necessária e exigida das esquadrias.

3.3 Cadeia produtiva das esquadrias de alumínio

De maneira genérica, fazem parte da cadeia produtiva das esquadrias de alumínio: *empresas produtoras de alumínio primário; extrusoras; redes de distribuição como: filiais, representantes e revendedores; indústrias de esquadrias (fabricantes de esquadrias ou serralherias); empresas responsáveis pelos tratamentos de superfície dos perfis; fornecedores de insumos (componentes, acessórios, etc.); empresas e profissionais da construção civil; consultores independentes para especificação de esquadrias; lojas de material de construção; consumidores finais* e *usuários*.

Os perfis para a fabricação de esquadrias de alumínio são obtidos por meio do processo de extrusão dos tarugos. Na produção dos perfis de alumínio, existem produtores *verticalizados*, ou seja, aqueles que participam das etapas de produção do alumínio primário e de extrusão, e produtores *não-verticalizados* ou *independentes*, que atuam apenas na etapa de extrusão.

Os produtores *verticalizados* fornecem perfis tanto para as indústrias de esquadrias quanto para os revendedores. Também são responsáveis pelo desenvolvimento de projetos próprios de esquadrias, que são fornecidos por meio de rede de distribuição também própria, ou por representantes e distribuidores exclusivos.

Os produtores *não-verticalizados* geralmente relacionam-se com os revendedores que, por sua vez, compram os perfis das extrusoras,

mantêm estoques e repassam estes materiais para os pequenos fabricantes de esquadrias. No país, existem cerca de 3.000 pequenas indústrias de esquadrias atualmente.

Dentre os produtores *não-verticalizados* existem empresas que trabalham com prensas de maior tonelagem de força (acima de 2.000 tf), até empresas cujas prensas apresentam a capacidade de 200 tf. Estas últimas trabalham na produção de perfis de menor complexidade e com um mercado de menor poder aquisitivo.

As indústrias de esquadrias adquirem os perfis dos produtores primários, das extrusoras ou dos revendedores. Ao receberem o material, imediatamente iniciam a produção das esquadrias. Existem basicamente *dois tipos de indústrias de esquadrias no mercado*: *fabricantes de produtos padronizados*[73] e *de produtos não padronizados*, também denominados de *produtos especiais*.

As indústrias de esquadrias do setor de *produtos padronizados* vendem, em geral, para lojas de material de construção. Alguns projetos de construção civil podem ser elaborados já considerando as dimensões das linhas existentes e disponíveis no setor de produtos padronizados.

Entretanto, determinados projetos arquitetônicos demandam esquadrias sob medida, não disponíveis no mercado de produtos padronizados nas dimensões adequadas e necessárias ao projeto. Para estes casos são indicadas as indústrias de produtos não padronizados ou, como também são conhecidas, indústrias de esquadrias especiais. Este segmento é responsável pelo fornecimento da maior parte das esquadrias de alumínio do mercado brasileiro.

As indústrias fabricantes de *esquadrias especiais* estão aptas a fornecer uma gama bastante variada de produtos, abrangendo todas as tipologias existentes, tais como: janelas, portas, fachadas e gradis.

Estas indústrias especializadas fabricam seus produtos utilizando *sistemas construtivos próprios*, ou *desenvolvidos pelos produtores de alumínio primário e extrusoras*. Estes produtos especiais podem receber

---

[73] A padronização refere-se a um conjunto pré-determinado de portas e janelas fabricadas a partir de perfis específicos, e cujas dimensões são estabelecidas pelas indústrias de esquadrias, de acordo com as tipologias mais comumente utilizadas.

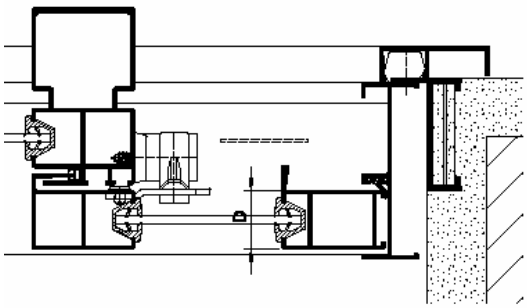
duas denominações distintas: *Linhas Convencionais de Produtos* ou *Sistemas de Esquadrias*.

As *Linhas Convencionais* referem-se aos produtos cujos perfis de alumínio são de uso comum no mercado de esquadrias e, devido ao tempo e à intensidade de sua aplicação, tornaram-se de domínio público. Desenvolvidos geralmente com perfis de alumínio extrudado das séries 20, 25, 28, 30 ou 42 estes produtos apresentam soluções variadas para as diversas tipologias utilizadas nos edifícios. Para cada conjunto de produtos em que predomina o uso de uma determinada *dimensão de perfil, o mercado de esquadrias de alumínio convencionou denominar de* "linha". Esta dimensão é conhecida como "bitola" do perfil.

Assim, uma linha de produtos da série 20, por exemplo, refere-se ao conjunto de produtos cujas dimensões básicas dos perfis utilizados apresentam a dimensão "D" com 20 mm de espessura. Esta é maneira utilizada entre os fabricantes de esquadrias para denominar os diferentes padrões de produtos. A figura 15, apresentada a seguir, demonstra a localização da dimensão "D" do perfil (bitola), que determina o padrão de produto nas linhas convencionais de esquadrias.

Figura 15: Dimensão "D" (bitola) dos perfis de alumínio

Localização da dimensão "D" na *Linha Convencional*



Os *sistemas de esquadrias* são conjuntos de produtos desenvolvidos pelos produtores de alumínio primário, pelas extrusoras ou pelas indústrias de esquadrias. A utilização e a comercialização destes sistemas é de responsabilidade exclusiva de cada um destes fabricantes.

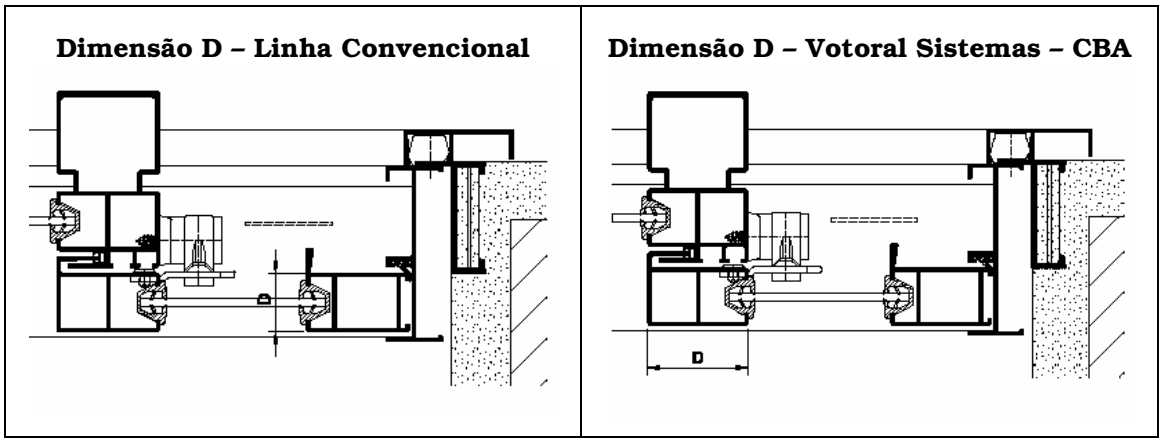
A principal característica que difere os *sistemas de esquadrias* das *linhas convencionais* refere-se à qualidade da solução adotada. No caso dos sistemas, as soluções apresentadas são mais completas e abrangentes em termos de tipologias e detalhamento técnico. Outro diferencial dos sistemas é que as empresas que os desenvolvem se responsabilizam pelos testes de laboratórios, possibilitando que as esquadrias apresentem certificados de adequação às exigências das normas.

Dentre os fabricantes de sistemas de esquadrias, há empresas que preferem denominar seus produtos de "linhas", para evidenciar as diferenças entre os vários sistemas desenvolvidos. Entretanto, a tendência dos fabricantes de esquadrias é buscar a denominação de "sistemas", visto que esta nomenclatura engloba a idéia de conjuntos mais abrangentes de produtos, previamente testados e com certificação de qualidade.

O mercado brasileiro de esquadrias apresenta uma inovação com relação à dimensão dos perfis das esquadrias. A Companhia Brasileira de Alumínio desenvolveu um sistema de produtos denominado de *Votoral Sistemas*, em que foram consideradas as dimensões dos perfis da área de tensão máxima das esquadrias, no caso, os vãos centrais.

A figura 16, a seguir, apresenta as representações gráficas os produtos existentes, por meio das quais é possível visualizar as diferenças entre as localizações da dimensão "D", utilizadas para definir os perfis de alumínio das linhas convencionais e dos sistemas desenvolvidos pela Companhia Brasileira de Alumínio para o *Votoral Sistemas*.

Figura 16: Localização da dimensão "D" (bitola) nos produtos existentes



Fonte: CBA. *Catálogos de produtos.*

A descrição detalhada dos participantes da cadeia produtiva das esquadrias de alumínio no Brasil será apresentada a seguir.

Produtores de alumínio primário

A Associação Brasileira do Alumínio reúne, dentre outros associados, as seis empresas fabricantes de alumínio primário do Brasil, que são: *Albras Alumínio do Brasil S. A., Alcoa Alumínio S. A., Billiton Metais S. A. (Alumar – Consórcio Alumínio do Maranhão), Companhia Brasileira de Alumínio – CBA (Grupo Votorantim), Companhia Vale do Rio Doce Alumínio S. A. – Aluvale* e *Novelis do Brasil Ltda.*

Dentre os produtores de alumínio primário, destacam-se como importantes fornecedores de matéria-prima para a fabricação de esquadrias as empresas: *Alcoa Alumínio S.A.* e *Companhia Brasileira de Alumínio – CBA.*

Empresas extrusoras

Sub-divididas em v*erticalizadas* e *não-verticalizadas.*

As empresas *verticalizadas* são responsáveis pela produção de alumínio primário (lingotes) e extrusão. São elas: *Alcoa Alumínio S. A.* e *Companhia Brasileira de Alumínio – CBA (Grupo Votorantim).*

As empresas *não-verticalizadas* são responsáveis somente pela extrusão, como é o caso das empresas *Asa Alumínio S. A.* e *Hydro Alumínio Acro S. A.*

Redes de distribuição

Os produtores de alumínio primário e as extrusoras distribuem seus produtos por meio de filiais ou representantes. Estão inclusas neste caso as empresas *Alcoa Alumínio S. A.*, *Asa Alumínio S.A.*, *Companhia Brasileira de Alumínio* e *Hydro Alumínio Acro S. A.*

Os revendedores, por sua vez, compram os perfis dos produtores *verticalizados* e *não-verticalizados*.

Dentre os principais revendedores destacam-se: *All Metal Comércio de Importação e Exportação, Alumifix Comércio de Ferragens Ltda., Alumigon Brasileira Indústria e Comércio Ltda., Alumínios Petillo Ltda., Belmetal Indústria e Comércio Ltda., Empol Aluminium Indústria e Comércio Ltda., Pereira Brito Comércio de Alumínio Ltda., Selta Comércio de Metais Ltda.*

Indústrias de esquadrias

Indústrias de esquadrias são as empresas responsáveis pela montagem e instalação das esquadrias (fabricantes de esquadrias ou serralherias).

A Associação Nacional de Fabricantes de Esquadrias de Alumínio – Afeal reúne as principais indústrias de esquadrias, especiais ou padronizadas, em todo o território nacional, incentivando o desenvolvimento de produtos de acordo com as normas brasileiras de qualidade.[74]

Em São Paulo, as indústrias de esquadrias perfazem um número de aproximadamente 50 empresas, destacando-se: *Adalume Esquadrias Metálicas, Alquali Esquadrias de Alumínio, Aluforte Indústria e Comércio de Esquadrias, Alu-service Indústria e Comércio, Artalum Artes em Alumínio, Atlântica Divisão de Esquadrias de Alumínio Padronizadas,*

---

[74] A relação atualizada destas indústrias pode ser consultada em AFEAL. Disponível em: <http:// www.afeal.com.br>.

Axiwill Esquadrias Metálicas, Bimetal Engenharia de Esquadrias e Vidros, Cerri Indústria e Comércio de Esquadrias, Ebel Empresa Brasileira de Esquadrias, ERGS Esquadrias de Alumínio, Esquadralum Indústria e Comércio de Esquadrias, Esquadrimax Indústria e Comércio, Estrudena Esquadrias de Alumínio, Exata Esquadrias de Alumínio, Igê Esquadrias Metálicas, Integral Indústria e Comércio, Itefal Indústria de Esquadrias, JAP Janelas de Alumínio Padronizadas, Kaplax Esquadrias, Luxalum Esquadrias de Alumínio, Phenestral Esquadrias, Sasazaki Indústria e Comércio de Esquadrias de Alumínio Padronizadas, Tecnofeal Indústria e Comércio, Tecnosystem Tecnologia em Sistemas Construtivos, YKK do Brasil, Zeloart, etc.

Empresas de tratamentos de superfície dos perfis

As principais empresas responsáveis pelos tratamentos de superfície dos perfis são: *Companhia Brasileira de Alumínio*[75], *Olga Color Proteção e Decoração de Alumínio Ltda., Prodec Proteção e Decoração de Alumínio Ltda., Zincromo Galvanoplastia Ltda.*

Fornecedores de insumos complementares

Os fornecedores de insumos complementares para a fabricação de esquadrias são os responsáveis pela produção dos componentes ou acessórios. Estes elementos são classificados em *famílias de acessórios*, dentre as quais se destacam: *fechos, roldanas, articulações, dobradiças e puxadores, sistemas perimétricos de vedação, sistemas de automatização* e *outros elementos complementares*.

Dentre os principais fabricantes de componentes (acessórios) destacam-se: *Alumiconte Componentes de Alumínio Ltda., FISE Indústria de Sistemas para Esquadrias Ltda. (empresa resultante da fusão da Fechoplast e da Udinese Metais Ltda.), Fermax Indústrias de Acessórios para Esquadrias Ltda., Nakram Indústria e Comércio Ltda., Promel*

---

[75] A Companhia Brasileira de Alumínio, além da produção de matéria-prima, dispõe dos sistemas de anodização e jateamento com anodização, possibilitando que o fornecimento dos perfis fabricados pela empresa inclua o tratamento de superfície.

Produtos Metalúrgicos Ltda., Somfy Brasil Ltda. (automação de persianas), Sprilux Importação e Exportação Ltda.

Os principais fabricantes de elastômeros e vedantes são: *Indiana Artefatos de Borrachas Ltda., Beta Indústria e Comércio de Artefatos de Borrachas Ltda., Dinaflex Indústria e Comércio de Artefatos de Borrachas Ltda., Stamp Spumas Fitas e Peças Técnicas de Espumas Ltda., Tec Bor Borracha Técnica Ltda., Vbrasil – Vedasil Vedação, Esquadrias e Anodização, Trebor Indústria e Comércio de Artefatos de Borrachas Ltda.*

Silicones e fitas adesivas são fabricados por: *3M do Brasil Ltda, Dow Corning do Brasil Ltda.* e *Olivé Química do Brasil Ltda.*

Máquinas e equipamentos são fabricados pelas empresas: *Alu-Service Indústria e Comércio Ltda., Alumicentro Importação e Comércio Ltda., Metalúrgica Cortesa Ltda.* e *Topmax Importação e Exportação.*

Parafusos e fixadores têm como principal fornecedor do setor a empresa *Inox Par Indústria e Comércio Ltda.*

Vidros são fornecidos pelas empresas: *Cebrace Cristal Plano Ltda., Glassec Vidros de Segurança Ltda., Guardian do Brasil Vidros Planos Ltda., Pilkington Brasil Ltda., Saint Gobain Glass (Santa Marina).*

Outros fornecedores de serviços especializados para o setor de esquadrias de alumínio: *Alumisoft Instalação e Manutenção S/C Ltda. – Sistemas Informatizados, KIIR Manutenção de Esquadrias de Alumínio Ltda., Empresas e profissionais da construção civil*

As *construtoras* são responsáveis pelo desenvolvimento dos projetos e das obras; definem também a contratação dos fornecedores de mão-de-obra e de materiais, como o alumínio. Também contratam as indústrias de esquadrias, responsáveis por sua fabricação e montagem.

Arquitetos são os profissionais responsáveis pela definição dos *vãos* no projeto de arquitetura e pela especificação das esquadrias. Para a escolha adequada das esquadrias, recomenda-se conjugar, simultânea e principalmente, os seguintes aspectos:

- *Tipologias das esquadrias*: portas, janelas, fachadas;
- *Padrão das obras*: econômico, médio e alto;
- *Tipos de usos das edificações*: residenciais, comerciais, industriais, institucionais, etc.;

- *Resistência mecânica dos perfis* que compõem as esquadrias, perfis estes que deverão suportar as cargas de ventos características de cada região do país;
- *Aplicação adequada* ao uso e estética dos produtos;
- *Novos produtos e tendências.*

Consultores independentes de esquadrias

Os consultores independentes de esquadrias auxiliam os profissionais da construção civil na especificação adequada do alumínio, por meio de estudos de viabilidade técnica e econômica dos diferentes sistemas construtivos de esquadrias e fachadas. Também desenvolvem perfis especiais, com o objetivo de atender ao aspecto arquitetônico, reduzir custos, melhorar o desempenho e qualidade, aumentar a produtividade da fabricação e da instalação.

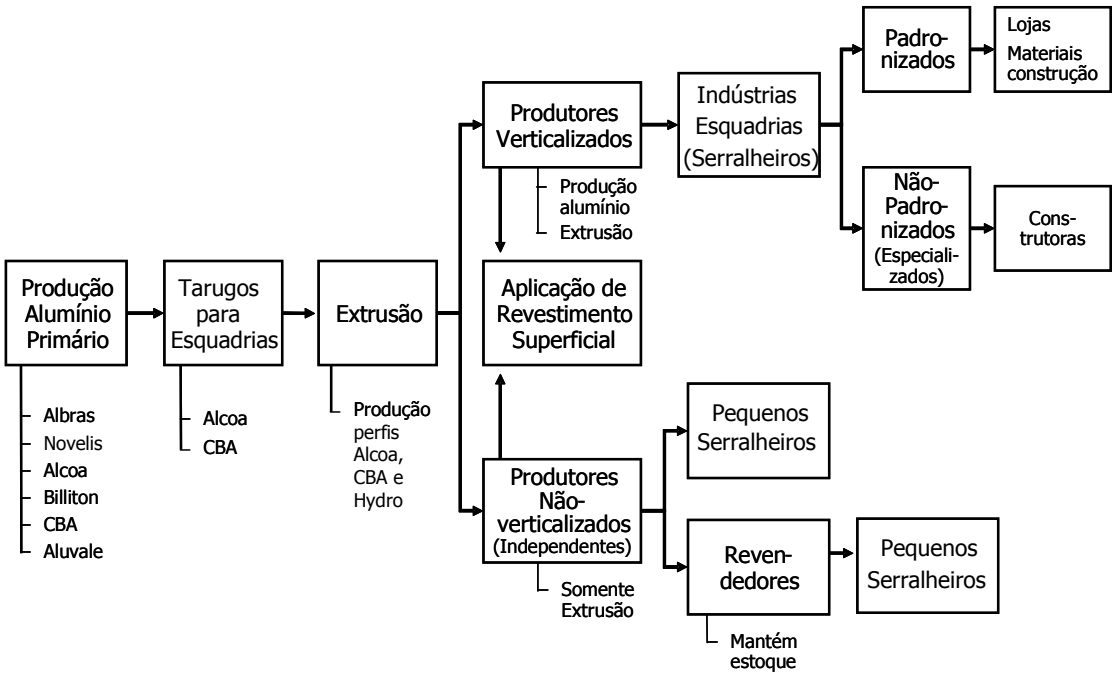
As *lojas de material de construção* são responsáveis pela distribuição das esquadrias padronizadas, ou seja, pré-fabricadas pelas indústrias de esquadrias, especializadas nestes tipos de produtos.

O *consumidor final* é o empreendedor, o comprador ou toda pessoa física ou jurídica responsável pela aquisição e contratação dos projetos, produtos e serviços, nos quais se inserem as esquadrias de alumínio.

O *usuário* é todo aquele que, de algum modo, habita ou utiliza o espaço construído no qual se encontra instalada a esquadria de alumínio.

A figura 17, apresentada a seguir, demonstra esquematicamente as etapas da cadeia produtiva das esquadrias de alumínio.

Figura 17: Etapas da cadeia produtiva das esquadrias de alumínio



3.4 Esquadrias de alumínio para edifícios – produtos existentes

Conforme visto anteriormente neste capítulo, os produtos existentes no mercado brasileiro de esquadrias podem ser: *linhas convencionais, sistemas de esquadrias desenvolvidos pelas empresas produtoras de alumínio primário* ou *sistemas de esquadrias desenvolvidos pelas empresas extrusoras*, além de *sistemas desenvolvidos pelas indústrias de esquadrias*.

As principais empresas fabricantes de sistemas próprios para a fabricação de esquadrias de alumínio são: *Alcoa Alumínio S.A., Belmetal Indústria e Comércio, Companhia Brasileira de Alumínio e Hydro Alumínio Acro S.A.* Estas empresas respondem pelo fornecimento do maior volume de alumínio para fabricação de esquadrias e apresentam produtos cuja qualidade pode ser comprovada por testes realizados em conceituados institutos de análise do país.

A Alcoa Alumínio S. A. é subsidiária da *Alcoa*[76] *Incorporated*, empresa fundada nos Estados Unidos em 1888. Líder mundial na produção e na

---

76 *Alcoa:* sigla em inglês da abreviação de *"Aluminum Company of America"*.

tecnologia de alumínio, a Alcoa emprega 120 mil pessoas distribuídas em 300 unidades operacionais e escritórios comerciais em 40 países. Em 2003, seu faturamento mundial somou US$ 21,5 bilhões.

A empresa atua nos mercados aeroespacial, automotivo, de embalagens, construção civil, transportes e no mercado industrial. Fabrica alumínio primário, alumina, extrudados, chapas e folhas, pó de alumínio, produtos químicos industriais, tampas plásticas, entre outros.

A relação dos produtos fabricados pela Alcoa destinados à fabricação de esquadrias para a construção civil inclui linhas residenciais e comerciais, dentre outros produtos.

Linhas residenciais: *Linha Fórmula, Linha III Gold, Linha Suprema, Linha Máster* e *Linha Integrada*.

Linhas comerciais: *Linha Unit, Linha Grid* e *Linha Cittá.*

Outros produtos: *Gradil Universal, Portão Búzios, Perfis Standard* e *Perfis Extrudados*.

Destinada aos edifícios residenciais de padrão econômico, a *Linha Máster* foi desenvolvida visando proporcionar conforto ao usuário e produtividade ao fabricante. Apresenta como características: *design* moderno e visual robusto: baguetes e montantes com formas arredondadas geram conforto e facilidade no manuseio; fabricação através de módulos; vidros: comporta vidros de até 4 mm de espessura; dimensões máximas: 1800 mm de largura e 1400 mm de altura; dimensão predominante da bitola do perfil = 20 mm.

Os principais componentes da *Linha Máster* são: roldanas com regulagem de altura; fechos, travas e puxadores facilitam o manuseio da janela; recolhedor da persiana permite acionamento suave, por gravidade, possibilitando praticamente 100% de luminosidade; caixa de dreno com maior vazão; guias de *nylon*[77] nas extremidades das folhas eliminam o atrito e a vibração.

As tipologias da *Linha Máster* são: janelas de correr com 2 ou 4 folhas, com ou sem bandeiras superiores ou inferiores (bandeiras fixas ou

---

[77] *Nylon*: termo aplicado para um produto de origem sintética largamente utilizado em fibras têxteis, que se caracteriza pela sua grande resistência, tenacidade, brilho e elasticidade. Desenvolvido nos anos 30, nos dias de hoje *nylon* é o nome dado a toda uma família de fios e fibras sintéticas chamadas de poliamidas.

móveis); janelas de correr com 3 folhas; janela de correr integrada: com folhas de vidro e persiana de enrolar; janela de correr com venezianas, com 2 ou 4 folhas; portas de correr com 2 ou 4 folhas, com ou sem bandeiras superiores (bandeiras fixas ou móveis); portas de correr com 3 folhas; portas de correr com veneziana, com 2 ou 4 folhas; porta de correr integrada, com 2 folhas de vidro e persiana de enrolar.

Destinada aos edifícios residenciais de padrão médio e alto, a *Linha Suprema*, cujo conceito está baseado na versatilidade e na flexibilidade, apresenta como principais características: *design* limpo e robusto, com soluções para diversos projetos; linha versátil: componentes exclusivos variam conforme cada projeto, proporcionando estabilidade e resistência ao sistema; tecnologia de fabricação proporciona maior produtividade; desempenho superior ao estabelecido pelas normas brasileiras; montagem do sistema em ângulos de 90 graus; variedade de tipologias; persianas para as janelas fixas ou de projetar; comporta vidros de 4 até 6 mm de espessura.

Os componentes foram desenvolvidos para facilitar o manuseio da esquadria, impedir vazamentos e conferir beleza e harmonia estética ao conjunto. Destacam-se: maçanetas com fechaduras para portas de giro; roldanas em *delrin*[78], com ou sem regulagem; fechos e travas de segurança; dobradiças para portas tipo camarão e portas de giro; caixa de dreno no trilho inferior e de vedação no trilho superior; guias de *nylon* das folhas de correr: eliminam vibrações causadas pelo vento e pelo manuseio, garantindo funcionamento suave; fechaduras para portas de correr.

As tipologias são: janelas de correr com 2 ou 4 folhas, com ou sem bandeiras superiores ou inferiores (bandeiras fixas ou móveis); janelas de correr com 3 folhas; janela de correr integrada: com folhas de vidro e persiana de enrolar; janela de correr com venezianas, com 2 ou 4 folhas; janelas basculantes com um ou mais módulos, com ou sem bandeiras

---

[78] *Delrin*: a resina de acetal *Delrin*, fabricada pela *DuPont*, é um polímero de engenharia altamente versátil, com propriedades similares às dos metais. Oferece excepcional resistência mecânica, rigidez, dureza, estabilidade dimensional; resistência à fadiga, à abrasão e aos solventes; auto-lubrificação. Sua moldagem é simples, permitindo a fabricação de peças complexas fácil e rapidamente.

superiores ou inferiores (bandeiras fixas ou móveis); janelas do tipo máximo-ar com um ou mais módulos, com ou sem bandeiras superiores ou inferiores (bandeiras fixas ou móveis); portas de correr com 2, 3 ou 4 folhas, com ou sem bandeiras superiores (bandeiras fixas ou móveis); portas de correr com veneziana, com 2 ou 4 folhas; porta de correr integrada com 2 folhas de vidro e persiana de enrolar; portas do tipo camarão com duas folhas; portas de giro com 1 ou 2 folhas, com ou sem bandeiras superiores (bandeiras fixas ou móveis); portas de giro com venezianas, com 1 ou 2 folhas. Observação: as tipologias das portas de correr podem ser com ou sem travessas. Portas de giro, somente com travessas.

Destinada aos edifícios residenciais de padrão médio e alto, a *Linha III Gold*, perfeita para grandes vãos, tem como principais características: características geométricas e componentes exclusivos asseguram suavidade e praticidade ao conjunto; perfis com cantos arredondados propiciam aspecto agradável, harmonioso e moderno ao conjunto; conexões em 90 graus, proporcionando encaixes perfeitos entre os elementos verticais e horizontais; possibilidade de utilização de vidros duplos que reduzem a transmissão de calor e de ruído; indicada para grandes vãos; comporta vidros de até 20 mm de espessura.

Os componentes foram especialmente desenvolvidos para a linha, sendo importante diferencial do produto. Destacam-se: roldanas duplas com rolamentos blindados; opções de fecho: tipo concha, com ou sem chave; guias de *nylon* para deslizamento suave e preciso; folhas com travas externas de segurança; fitas de vedação com barreira de proteção, caixa de dreno no trilho inferior e de vedação no trilho superior.

As tipologias da *Linha III Gold* são: janelas de correr com 2 ou 4 folhas, com ou sem bandeiras superiores ou inferiores (bandeiras fixas ou móveis); janelas de correr com 3 folhas; janela de correr integrada: com folhas de vidro e persiana de enrolar; janela de correr com venezianas, com 2 ou 4 folhas; janelas basculantes, com um ou mais módulos, com ou sem bandeiras superiores ou inferiores (bandeiras fixas ou móveis); janelas do tipo máximo-ar com um ou mais módulos, com ou sem bandeiras superiores ou inferiores (bandeiras fixas ou móveis); portas de

correr com 2, 3 ou 4 folhas, com ou sem bandeiras superiores (bandeiras fixas ou móveis); portas de correr com veneziana, com 2 ou 4 folhas; porta de correr integrada, com 2 folhas de vidro e persiana de enrolar; portas de giro com 1 ou 2 folhas, com ou sem bandeiras superiores (bandeiras fixas ou móveis); portas de giro com venezianas, com 1 ou 2 folhas; portas de giro com 1 ou 2 folhas, com ou sem bandeiras superiores; portas de giro com venezianas, com 1 ou 2 folhas. Observação: as tipologias das portas de correr e de giro podem ser com ou sem travessas.

Destinada aos edifícios residenciais de padrão altíssimo, a *Linha Fórmula* é polivalente em termos tecnológicos e de versatilidade estética. Dentre suas principais características estão*:* tecnologia italiana; grande variedade de modelos e extrema flexibilidade estética; componentes são os mesmos para as várias dimensões; não exigem adaptações ou improvisações; com poucos perfis pode-se obter as mais diversas tipologias; sistema *thermal break*, que impede a troca térmica entre os ambientes interno e externo e ao mesmo tempo permite diferentes acabamentos interno e externo; grande vedação acústica; possibilidade de utilização de pinázios[79]; comporta vidros de 4 até 41 mm de espessura.

Os componentes, especialmente desenvolvidos para a linha, formam importante diferencial do produto. Destacam-se: dimensionamento criterioso das câmaras de descompressão para obtenção de perfeita estanqueidade; roldanas duplas com rolamentos blindados; com apenas um sistema atende a todas as exigências dimensionais, estéticas e tecnológicas; materiais complementares selecionados, como as guarnições de EPDM[80] e a poliamida reforçada do sistema *thermal break*[81]; permite utilização de persianas internas (entre vidros) e

---

79 Pinázios: denominação dada às barras esbeltas colocadas sobre os vidros, ou mesmo dentro dos vidros duplos, para criar a impressão de que foram utilizados vidros menores. Esse efeito pode ser desejável quando se especificam esquadrias para ambientes decorados de forma clássica. Os *pinázios* são elementos para divisão dos vidros em pequenos panos, criando conjuntos elegantes e personalizados.

80 EPDM: polímero sintético constituído por Etileno Propileno Dieno Monomero, material que apresenta como característica principal uma excelente resistência à ação das intempéries, ao ozônio, a altas e a baixas temperaturas.

81 *Thermal break*: conjunto solidário de dois perfis extrudados de alumínio, ligados longitudinalmente por um terceiro perfil feito de material com baixíssima condutividade

persianas externas de enrolar nas portas e janelas, que podem ser acionadas manual ou automaticamente.

As tipologias da *Linha Fórmula* são: janelas de correr com 2 ou 4 folhas, com ou sem bandeiras superiores ou inferiores (bandeiras fixas ou móveis); janelas de correr com 3 folhas; janela de correr integrada: com folhas de vidro e persiana de enrolar; janela de correr com venezianas, com 2 ou 4 folhas; janelas basculantes com um ou mais módulos, com ou sem bandeiras superiores ou inferiores (bandeiras fixas ou móveis); janelas do tipo máximo-ar com um ou mais módulos, com ou sem bandeiras superiores ou inferiores (bandeiras fixas ou móveis); janelas de projetar, reversíveis, de abrir, tombar, de abrir e tombar; portas de correr com 2, 3 ou 4 folhas, com ou sem bandeiras superiores (bandeiras fixas ou móveis); portas de correr com veneziana, com 2 ou 4 folhas; porta de correr integrada com 2 folhas de vidro e persiana de enrolar; portas de giro com 1 ou 2 folhas, com ou sem bandeiras superiores (bandeiras fixas ou móveis); portas de giro com venezianas, com 1 ou 2 folhas; portas de giro com 1 ou 2 folhas, com ou sem bandeiras superiores; portas de giro com venezianas, com 1 ou 2 folhas; portas de correr e tombar paralela. Observação: as tipologias das portas de correr e de giro podem ser com ou sem travessas. Janelas e portas podem ser executadas em arco, sob consulta.

Destinada aos edifícios comerciais, a *Linha Cittá*, cujo conceito está baseado na versatilidade, tem como principais características: sistema de fixação: todas as folhas fixadas frontalmente pelo lado externo, facilitando a montagem e a manutenção; projetos para pavimentos com pés-direitos altos, com altura de 4, 5, 6 metros ou mais, comuns no térreo, na cobertura ou no pavimento dúplex; inspirada no conceito europeu de construção de empreendimentos comerciais, a *Linha Cittá* pode ser utilizada em fachadas entre vãos, nos pavimentos térreos ou com pés direitos altos; diferentes tipologias que se traduzem em diversas possibilidades para o arquiteto projetar seus empreendimentos, como

---

térmica. Permite que a face do perfil exposta à temperatura externa seja isolada da face interna, impedindo a troca de calor através do conjunto, melhorando as condições de conforto e economizando energia. Utiliza ligação de poliamida reforçada.

fachada cortina, segmentos de fachada, ornatos, curvas, etc.; facilidade de montagem e manutenção: o sistema é composto por uma estrutura prevista para receber vidros colados com silicone estrutural ou vidros encaixilhados; folhas fixadas frontalmente garantem substituição apenas da folha danificada; permite instalação de folhas móveis sem alterar as linhas predominantes do projeto.

Os componentes foram especialmente desenvolvidos para a *Linha Cittá*. Entre eles, destacam-se: ancoragem; luvas de continuidade e dilatação da coluna; fechos duplos com trava nos cantos; braços de articulação que resistem a até 100 kg; guarnições: cantos vulcanizados ajudam no equilíbrio da pressão interna e externa, enquanto encaixes frontais facilitam a troca ou manutenção; tripla vedação, que garante total estanqueidade ao conjunto.

Os vidros podem apresentar espessuras a partir de 6 mm para folhas encaixilhadas; podem ser laminados, encaixilhados ou colados com silicone estrutural a partir de 8mm de espessura; ou duplos, colados com silicone estrutural.

As tipologias da *Linha Cittá* são: fachada cortina plana; fachada cortina segmentada; fachada cortina entre vãos; fachada cortina curva.

Destinada aos edifícios comerciais, a *Linha Grid*, cujo conceito está baseado na fachada personalizada, tem como principais características: versatilidade no *design*; competitividade na utilização de quadros fixos; fachada marcada em grade, com perfis de alumínio horizontais e verticais aparentes; fixação pelo lado externo: montagem simples e instalação fácil; instalação dos vidros e vedação com contra-tampas; aplicação de tampas decorativas com várias opções de formas: redondas, retangulares, etc.; comporta vidros a partir de 6 mm de espessura.

Os componentes foram especialmente desenvolvidos para a *Linha Grid*. A linha é composta por número reduzido de componentes. Para o uso de folhas móveis a linha apresenta: braços articulados; fecho simples, duplo ou perimétrico, que possui trava nos cantos, o lugar mais crítico de vedação.

As tipologias da *Linha Grid* são: fachadas planas; fachadas entre vãos; fachadas curvas, sendo que todas as folhas podem ser móveis.

Destinada aos edifícios comerciais, a *Linha Unit,* cujo conceito está baseado na agilidade e na rapidez de montagem, tem como principais características: a instalação é feita pelo lado interno da obra, com rapidez e facilidade de montagem, de fixação por encaixes; excelente competitividade e alta produtividade; a linha é composta por poucos perfis, otimizando os custos; projeto permite que os módulos tenham folhas fixas ou móveis; ganho significativo no cumprimento de prazos; excelente desempenho dos sistemas de vedação em EPDM, de ampla dureza, utilizado nas uniões entre as colunas e o reservatório do marco inferior; possibilita utilização de vidros duplos com silicone estrutural; sistema de encaixe exclusivo e inédito que dispensa fixações.

Os componentes foram especialmente desenvolvidos para a *Linha Unit*. A linha é composta por número reduzido de componentes. Para o uso de folhas móveis a linha apresenta: braços articulados para folhas de até 120 kg; fecho simples, duplo ou perimétrico, que possui trava nos cantos, local mais crítico de vedação.

As tipologias da *Linha Unit* são fachadas entre vãos planas e curvas, sendo que as folhas podem ser todas móveis.

A *Linha Unit* foi criada com base no conceito americano de fabricação de fachadas para construções comerciais. O sistema *unitzed* consiste em dividir a coluna em duas partes, dividindo a fachada em módulos que são produzidos individualmente e instalados separadamente no vão, onde são fixados praticamente por encaixes. A instalação é feita pelo lado interno da obra, com extrema rapidez.

Esse moderno conceito de instalação de esquadrias é denominado *simples inteligente*, pois garante velocidade na produção e na instalação, além de excelente relação custo x benefício, diferenciais que representam ganho significativo no cumprimento de prazos.

O *Gradil Universal* é um sistema composto por perfis e acessórios de alumínio com diversas tipologias disponíveis, que possibilita a execução do gradil em formas retas, curvas ou em ângulos de 90 graus, de acordo com as características de cada projeto.

A segurança é uma das principais preocupações na sua especificação e fabricação. A *Norma NBR 14.718: 2001 – Guarda-corpos*

para Edificação estabelece as condições exigíveis de guarda-corpos para edificações de uso residencial e comercial.

Entre os pontos principais da *Norma NBR 14.718: 2001 – Guarda-corpos para Edificação* destacam-se: o esforço do peitoril deve suportar carga pontual de até 100 kg; o painel de proteção deve resistir a altos impactos; altura mínima do parapeito: 1.100 mm a partir do piso; o perfil do parapeito deve ter forma arredondada a fim de se evitar o apoio de objetos e a ocorrência de acidentes; o pontalete, quando de aço comum, pode apresentar problemas de corrosão, comprometendo a resistência do conjunto.

Os perfis do *Gradil Universal* são montados a 90 graus, têm o encaixe simples e fácil, podendo receber anodização ou pintura eletrostática a pó. Componentes: tampas para acabamento dos perfis superiores com *design* diferenciado; peças fundidas para fixação dos barrotes e ornatos; fixação do gradil no piso através de pontalete de alumínio de alta resistência estrutural, que penetra no concreto.

O gradil pode ser utilizado em frente de lajes. A fixação dos montantes na laje é feita através de ancoragem, semelhante ao sistema usado em fachadas, em vez do pontalete. O sistema permite instalação rápida e eficiente, qualquer que seja a tipologia ou *design* escolhidos. Geralmente são usados painéis com vidros de segurança.

O *Portão Búzios* valoriza o imóvel graças a características como: durabilidade, segurança e beleza, aliadas ao funcionamento suave, ao fechamento seguro e ao *design* moderno. Disponíveis nas versões basculante, de correr ou de giro, o *Portão Búzios* pode ser facilmente automatizado. Os perfis que o compõem podem ser utilizados nas posições diagonal, vertical e horizontal.

As características gerais dos perfis extrudados de alumínio da Alcoa, de acordo com cada linha de produto, são descritas a seguir. Os perfis das *Linhas Máster, Suprema, Linha III Gold, Fórmula* e *Grid* são produzidos na liga 6060-T5. Os perfis da *Linha Cittá* são produzidos nas ligas 6060-T5 ou 6005A-T5, conforme solicitação de esforços de cada região e as dimensões do vão (altura e largura). Os perfis da *Linha Unit* são produzidos nas ligas 6060-T5 e 6061-T6 (para as ancoragens). Os

CAPÍTULO 4

NORMATIVAS DE DESEMPENHO PARA A ELABORAÇÃO DE METODOLOGIA DE PROJETO DAS ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO

CAPÍTULO 4: NORMATIVAS DE DESEMPENHO PARA A ELABORAÇÃO DE METODOLOGIA DE PROJETO DAS ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO

4.1 Norma Série ISO 6241 – Desempenho dos Edifícios

4.1.1 Normas técnicas para avaliação de desempenho dos sistemas construtivos[85]

A partir da década de 1970, com a necessidade de suprir o déficit habitacional brasileiro, observou-se o surgimento de novos sistemas construtivos como alternativas aos produtos e processos tradicionais até então utilizados, visando principalmente à racionalização e industrialização da construção.

Ao mesmo tempo em que surgiam as propostas de soluções inovadoras, revelou-se a necessidade de avaliá-las tecnicamente, com base em critérios que permitissem prever o comportamento do edifício durante sua vida útil esperada. A escassez de referências técnicas para esse tipo de avaliação restringiu a utilização de novos sistemas na escala prevista. Por outro lado, a implementação de tecnologias ainda não suficientemente desenvolvidas ou adaptadas às necessidades nacionais levou, na maioria dos casos, a experiências desastrosas, com graves prejuízos para todos os agentes intervenientes no processo de construção, sendo transferidos aos usuários os problemas de patologias e altos custos de manutenção e reposição advindos do uso de novos produtos, sem avaliação prévia de desempenho.

Um grande prejuízo recaiu também sobre o setor da construção civil em seu conjunto, uma vez que, a partir de cada uma das experiências negativas, tornou-se menos receptivo a inovações tecnológicas, com progressiva defasagem tecnológica em relação aos demais setores produtivos.

---

85 GONÇALVES, Orestes M.; JOHN, Vanderley M.; PICCHI, Flávio Augusto. *Normalização e Certificação na Construção Habitacional*.

Na tentativa de equacionar o problema da falta de normalização técnica brasileira e reconhecendo-se a necessidade de novas soluções tecnológicas que permitissem a construção de edifícios em larga escala, o Banco Nacional da Habitação – BNH, no final de sua existência, investiu em pesquisas visando à elaboração de critérios para avaliar sistemas construtivos inovadores, conforme estudos desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, em 1981.

Naquela época, as normas técnicas disponíveis no Brasil e os Códigos de Obra eram prescritivos na sua quase totalidade, voltados para a especificação de componentes cujo comportamento era bem conhecido ou para a especificação de detalhes construtivos com a utilização desses produtos, não contendo especificações relacionadas aos limites mínimos de qualidade que pudessem servir de referência na avaliação de desempenho de novos produtos.

O documento elaborado pelo IPT para o BNH foi um dos primeiros no Brasil que considerou como base o conceito de desempenho, para avaliação de sistemas construtivos inovadores para habitação.

Internacionalmente, este conceito, já utilizado há mais tempo, apresentou uso de forma mais sistematizada somente nos anos 60 e 70, conforme descrição detalhada das instituições que atuam na área e de trabalhos publicados.

Segundo Mitidieri[86] em sua tese de doutorado, dentre as instituições citadas pode-se destacar a *Réunion Internationale de Laboratories d´Essais et de Recherches sur les Materiaux et Construtions* (RILEM), a *American Society for Testing and Materials* (ASTM) e o *International Council for Research and Innovation in Building and Construction* (CIB), que promoveram eventos técnicos para apresentações e discussão sobre a aplicação do conceito de desempenho em edifícios (RILEM, ASTM, CIB, 1972; 1982) e *International Organization for Standardization* (ISO), que se integrou ao grupo anterior para a organização do 3º simpósio sobre o mesmo assunto (CIB, ASTM, ISO, RILEM, 1996). Deve-se destacar ainda a importância da ISO na publicação de normas que consolidam o

---

86 MITIDIERI, C.V. *Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações:* proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural.

conceito de desempenho (ISO 6240:1980, ISO 6241:1984, ISO 7162:1992), as quais se constituem em referências importantes no assunto. As quatro instituições mencionadas mantêm grupos permanentes preocupados com a questão do desempenho de edifícios, valendo ressaltar que o CIB definiu como uma de suas prioridades para o triênio 1998-2000 o desenvolvimento de um amplo programa de trabalho voltado ao tema "Desempenho de Edifícios" (CIB, 1998).

4.1.2 Norma ISO 6241 – Desempenho dos Edifícios

A palavra *desempenho*[87] é definida como o comportamento do produto quando em uso, caracterizando-se o fato de que este deve apresentar certas propriedades para cumprir a função proposta, quando sujeito a determinadas influências ou ações durante a sua vida útil. Essas ações que atuam sobre o edifício são chamadas condições de exposição.

Assim, avaliar o desempenho de um produto implica definir qualitativa e/ou quantitativamente quais as condições normais de uso e quais os métodos para avaliar se as condições estabelecidas foram atendidas.

Os requisitos, critérios e métodos de avaliação de desempenho inicialmente formulados pelo IPT (IPT, 1997) e outros trabalhos (ITQC *et al.*, 1999; CAIXA, 2000) também foram desenvolvidos para fornecer meios objetivos para que os agentes promotores da habitação e, principalmente, a Caixa Econômica Federal, sucessora do BNH na gestão dos investimentos sociais em habitação, pudessem avaliar as inovações tecnológicas, aprovando ou não os sistemas construtivos para financiamento. Dada a existência dessas diversas referências desenvolvidas, a CAIXA e o meio técnico identificaram a necessidade de harmonizá-las, transformando-as em normas técnicas que fortaleceriam ainda mais o processo de avaliação. Para elaborar essas normas a CAIXA,

---

[87] GONÇALVES, Orestes M.; JOHN, Vanderley M.; PICCHI, Flávio Augusto. *Normalização e Certificação na Construção Habitacional*.

com apoio da FINEP, responsabilizou-se pelo financiamento do projeto de pesquisa das Normas Técnicas para Avaliação de Sistemas Construtivos Inovadores para Habitações.

A coordenação do projeto, a cargo do Comitê Brasileiro de Construção Civil da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, contou com a participação de especialistas de diversas áreas de conhecimentos, contratados para elaborar os textos-base e coordenar e apoiar a comissão de estudos durante o processo de discussão pública e análise de votos.

A metodologia para o desenvolvimento do projeto compôs-se das seguintes etapas: revisão bibliográfica, estruturação do conjunto de normas brasileiras para avaliação de desempenho, proposta de textos-base de norma, constituição de comissão de estudos na ABNT e divulgação.

Na revisão bibliográfica houve consultas às normas: ISO 6240:1980, ISO 6241:1984, ISO 7162:1992, ABCB-1996, ASTM e 1557-97 e aos documentos técnicos relativos à avaliação do desempenho de edificações (RILEM, ASTM, CIB:1972;1982; CIB, ASTM, ISO, RILEM, 1996; IPT,1981; IPT,1997; ITQC *et al.*,1999; CAIXA,2000).

A estruturação do conjunto de normas brasileiras para avaliação de desempenho de edifícios foi elaborada abrangendo não somente edificações habitacionais, mas também a elaboração futura de normas para outras classes de edifícios, como as escolares, industriais, etc.

A proposta de textos-base de norma foi elaborada por consultores de reconhecido domínio sobre este tema, contendo o conjunto de requisitos de desempenho aplicáveis à habitação, apresentação dos textos-base como referência inicial para discussão pública e estabelecimento de norma técnica votada e aprovada pela comunidade técnica nacional.

A constituição de comissão de estudos na ABNT, bem como de grupos e trabalhos específicos a cada texto-base, ocorreram visando coordenar a discussão da comunidade técnica nacional e obter consenso passível de publicação e registro no INMETRO como norma técnica nacional.

A divulgação para a comunidade técnica nacional contribuiu para motivá-la a participar de discussões e do processo de votação da norma.

A estruturação do conjunto de normas brasileiras para avaliação de desempenho foi um dos principais resultados da pesquisa.

A partir da revisão bibliográfica foi proposta a estrutura de normas, levando-se em conta as seguintes questões: a existência de distintas classes de edifícios, com diferentes solicitações como, por exemplo, os edifícios residenciais, industriais, etc; as exigências dos usuários a serem consideradas nas normas; a possibilidade de se avaliar o sistema construtivo completo e também de se poder identificar facilmente o conjunto de requisitos para os seus subsistemas; a compatibilidade com normas já existentes e a desenvolver, para avaliação do desempenho de componentes; a compatibilidade com todo o sistema normativo existente (métodos de cálculo, métodos de ensaio, etc.).

Tomando-se como referência classes adotadas em Códigos de Obras municipais e documentos técnicos (IS0 6241:1984, ABCB-1996), propôs-se uma *classificação dos edifícios* de acordo com sua utilização e a *divisão do edifício* em elementos ou subsistemas da edificação.

Deste modo, a *classificação dos edifícios* de acordo com a utilização a que se destinam é a seguinte:

Classe 1 – Edifícios habitacionais.

1a: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos

1b: Edifícios habitacionais com mais de cinco pavimentos

Classe 2 – Edifícios de escritórios.

Classe 3 – Edifícios institucionais. Exemplos: hospitais, escolas, teatros, cinemas, salas de conferências, bibliotecas, igrejas, museus, etc.

Classe 4 – Edifícios industriais e outros.

A partir da lista de *exigências dos usuários* apresentada na norma ISO 6241:1984 e em publicação mais recente (CIB,1998), definiram-se as *catorze exigências dos usuários* a considerar nos textos normativos:

a) Exigências de *Segurança:*

1. Desempenho estrutural
2. Segurança contra incêndio
3. Segurança no uso e operação

b) Exigências de *Habitabilidade:*

4. Estanqueidade
5. Conforto térmico
6. Conforto acústico
7. Conforto lumínico
8. Saúde e higiene
9. Funcionalidade e acessibilidade
10. Conforto tátil
11. Qualidade do ar

c) Exigências de *Sustentabilidade:*

12. Durabilidade
13. Manutenabilidade
14. Adequação ambiental

A divisão do edifício é composta pelos seguintes elementos ou subsistemas da edificação:

1. Fundação
2. Estrutura
3. Pisos internos
4. Fachada e paredes internas
5. Cobertura
6. Sistemas hidráulicos e sanitários
7. Sistemas de condicionamento ambiental
8. Sistemas de gás combustível
9. Sistemas de telecomunicação
10. Sistemas elétricos
11. Sistemas de elevação e transporte
12. Sistemas de proteção contra incêndios
13. Sistemas de segurança e automação predial

O conjunto normativo proposto para avaliação de desempenho de edifícios é composto de normas específicas para cada uma das classes de edifícios. A norma para avaliação de desempenho de uma classe de edifício, por sua vez, é constituída de diversas partes, cada uma representando um elemento da edificação. Para cada elemento ou subsistema são identificadas as exigências (aplicáveis) dos usuários e estabelecidos os requisitos, critérios e métodos de avaliação específicos para o atendimento dessas exigências. Além disso, há uma parte que traz requisitos gerais, ou seja, que congrega exigências comuns a diferentes elementos da construção e que trata das diversas interações e interferências entre esses elementos.

Salienta-se que a estrutura da norma para avaliação do desempenho de uma classe de edifício prevê, ainda, a adoção imediata de normas brasileiras já existentes para avaliação de componentes dos subsistemas como, por exemplo, *portas, janelas*, etc., bem como de métodos de ensaio e de cálculo.

4.1.3 Descrições e funções dos requisitos de desempenho das edificações

Apresentamos a seguir as descrições e os exemplos de funções dos catorze requisitos de desempenho das edificações, a partir da Norma ISO 6241 – Desempenho de Edifícios.

Requisitos de segurança

1. *Estabilidade estrutural e resistência a cargas estáticas, dinâmicas e cíclicas*: os componentes e sistemas da edificação devem possuir resistência mecânica a cargas mecânicas estáticas, dinâmicas e cíclicas, individualmente e combinadas; resistência a impactos e ações acidentais; efeitos cíclicos (fadiga), para garantir que esses elementos não atinjam o estado limite último, que corresponde à ruína do elemento ou parte dele.

Exemplos de funções: resistência mecânica às ações estáticas e dinâmicas, individual ou combinadamente; resistência aos impactos de causa intencional ou acidental; efeitos cíclicos: fadiga e ou manuseio, etc.; manutenção do seu estado de equilíbrio natural físico-químico, após ações perturbadoras.

2. *Resistência ao fogo*: os componentes e subsistemas da edificação devem apresentar limitações na influência ao risco de início de propagação do fogo. A edificação deve possuir elementos de segurança para casos de incêndios, tais como sistemas de alarme e extinção de focos de fogo, bem como possibilitar evacuações em tempos eficientes e redução de efeitos fisiológicos causados pela fumaça e pelo calor.

   Exemplos de funções: risco de eclosão de fogo e propagação de chamas; efeitos fisiológicos da fumaça e do calor: controle da fumaça e ventilação; tempo de alarme: detecção e sistemas de alarme; tempo de evacuação: rotas de fuga; tempo de sobrevivência: formas de compartimentar a ação do fogo.

3. *Resistência à utilização*: a edificação deve apresentar segurança no uso e operação dos equipamentos, bem como segurança contra intrusões (pessoas e animais) nas áreas comuns e de movimentação e circulação.

   Exemplos de funções: segurança aos agentes agressivos: proteção contra explosões, combustão, pontas agudas e gumes, mecanismos móveis, eletrocussão, radioatividade, inalação ou contato com substâncias tóxicas, infecção; segurança durante movimentos e circulações: limitação de pisos escorregadios, passagens obstruídas, protetores, guarda-corpo, etc.; segurança contra intrusões: pessoas e animais nas áreas comuns, especiais, de movimentação e de circulação.

4. *Estanqueidade*: cuidados com a estanqueidade dos ambientes, subsistemas e componentes da edificação em relação a elementos líquidos, sólidos e gasosos, tais como água de chuva, solo, potável, fumaça e poeira.

   Exemplos de funções: estanqueidade à água de: chuva, lavagem, beber, suja, esgoto, solo (lençol freático); estanqueidade ao ar, gás, poeira, neve, fumaça, som, etc.

5. *Higiene*: cuidados com a higiene pessoal e dos ambientes, abastecimento de água e remoção de resíduos, limitações na emissão de contaminantes.

   Exemplos de funções: facilidade, cuidado com a limpeza do ambiente; cuidado com a higiene pessoal; abastecimento de água compatível; purificação da água, do ar (poluição); limitação de materiais e substâncias contaminantes.

6. *Qualidade do ar*: os ambientes devem possuir ventilação adequada e controle de odores, além de cuidados com a pureza do ar.

   Exemplos de funções: possuir ventilação adequada do ar; controle de odores; cuidados com a pureza do ar.

7. *Conforto higrotérmico*[88]: limitações das propriedades térmicas do edifício, seus componentes e subsistemas, possibilitando o controle da temperatura e da umidade relativa do ar e das superfícies; controle da velocidade do ar, da radiação térmica e de condensações.

   Exemplos de funções: controle da temperatura do ar, radiação térmica, velocidade do ar e umidade relativa (limitação da variação

---

[88] Higrotermia: em conforto ambiental, usa-se o termo *higrotermia* para caracterizar a relação entre o valor da temperatura e da umidade do ar, em vez de considerar separadamente o aspecto térmico ou a higrometria, devido à relação indissociável entre estas duas grandezas físicas.

no tempo e no espaço por meio de controladores); controle das condensações.

8. *Conforto visual*: refere-se à iluminação natural e artificial, insolação, possibilidade de escurecimento, aspecto dos espaços e das superfícies, acabamentos e contato visual interna e externamente, vista para o exterior.

   Exemplos de funções: provisão ou controle da luz natural e artificial; possibilidade de escurecimento; insolação (luz solar); iluminação requisitada, claridade, contraste de iluminação e estabilidade da luz; aspectos dos espaços e superfícies quanto à cor: textura, regularidade, homogeneidade; contato visual com os ambientes externo e interno: barreiras para a privacidade, liberdade pela distorção ótica.

9. *Conforto acústico*: cuidados relativos ao isolamento acústico e níveis de ruídos dos ambientes; isolamento de componentes e subsistemas geradores de ruídos; tempo de reverberação de ruídos; controle de ruídos provenientes do exterior da edificação e de ambientes adjacentes.

   Exemplos de funções: controle de ruídos externos e internos, contínuos e intermitentes; isolamento acústico dentro de níveis exigidos e necessários; inteligibilidade do som; tempo de reverberação admissível.

10. *Conforto tátil*: as superfícies devem ser cuidadas para apresentar propriedades adequadas quanto à rugosidade, umidade, temperatura, eliminação ou redução de cargas de eletricidade estática.

    Exemplos de funções: propriedades das superfícies: aspereza, aspecto liso ou rugoso, maciez, flexibilidade, umidade, temperatura; possibilidade de dissipação da descarga de eletricidade estática.

11. *Conforto antropodinâmico*: refere-se a cuidados quanto à ergonomia, limitações de vibrações e acelerações, esforços de manobra e movimentações de todo tipo, além do conforto para transeuntes em áreas de vento.

    Exemplos de funções: limitação e aceleração ou vibração de objetos: transitório e contínuo; conforto de uso do espaço em áreas com vento intenso; aspectos do desenho relativo à resistência humana, agilidade, maneabilidade, ergonomia; facilidade de movimentos: inclinação de rampas, escadas; habilidade manual na operação de portas, janelas, controle de equipamentos visando inclusive o deficiente físico.

12. *Conforto antropométrico*: tamanho, quantidade, geometria e relação entre espaços e equipamentos, previsão de serviços e de condições específicas de utilização (deficientes, por exemplo), flexibilidade.

    Exemplos de funções:
    - Refere-se à convivência de espaços para usos específicos, envolvendo: tamanho, quantidade, dimensões, geometria, subdivisão e inter-relação dos espaços e equipamentos;
    - Facilidade de mobiliar, flexibilizar o espaço;
    - Previsão de serviços e de condições específicas de utilização.

Requisitos de sustentabilidade

13. *Durabilidade*: conservação das características da edificação ao longo de sua vida útil; limitações relativas ao desgaste e deterioração de materiais, equipamentos e subsistemas.

    Exemplos de funções: conservação do desempenho do edifício para preservação de suas características ao longo de sua vida útil sob uma manutenção regular, periódica; limitações relativas ao desgaste e degradação dos materiais, equipamentos, sistemas e subsistemas construtivos.

14. *Custos*: preocupações com os custos iniciais, de operação, custos de manutenção e reposição durante o uso, custos de demolição.

    Exemplos de funções: preocupações com os custos iniciais, de operação e manutenção; capital investido, retorno e evolução dos custos para manter a operação; custo de demolição, reparos, reformas parciais e totais e relação custo X benefício.

4.1.4 Relação da Norma ISO 6241 e o desempenho das esquadrias

A partir da descrição dos requisitos de desempenho das edificações constantes da *Norma ISO 6241 – Desempenho dos Edifícios*, pode-se destacar os aspectos diretamente relacionados às esquadrias, cujas exigências devem ser atendidas para que estas sejam consideradas elementos arquitetônicos de qualidade.

Paralelamente à análise da qualidade das esquadrias com base na *Norma ISO 6241 – Desempenho dos Edifícios*, recomenda-se a observação *da Norma NBR 10821/EB 1968: Caixilho para Edificação – Janela – Especificação*, que fornece para quatro classes de edifícios (classes definidas pelas alturas máximas das edificações e pelos seus tipos de usos) e para as diversas regiões do país as pressões de ensaios que necessariamente precisam ser atendidas pelas esquadrias para seu correto dimensionamento. A figura 23, apresentada a seguir, retrata o exemplo de uma câmara de testes de conformidade das esquadrias, testes que garantem a solução adequada para as esquadrias de alumínio.

Figura 23: Câmara de testes de conformidade das esquadrias

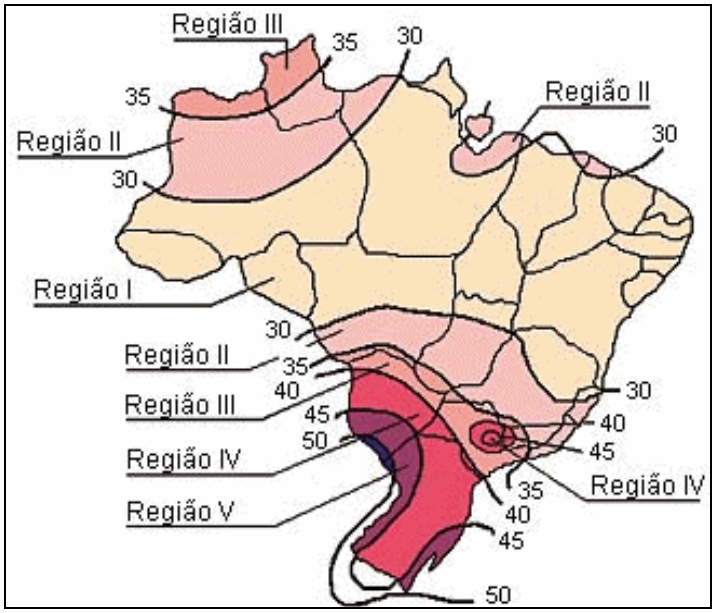
Fonte: ABAL. *Hotsite de portas e janelas.*

Destacam-se como principais requisitos de desempenho que serviram de base para a elaboração da *Norma NBR 10821/EB 1968: Caixilho para Edificação – Janela – Especificação*, fundamentais para definição do perfil de desempenho: estanqueidade ao ar, estanqueidade à água de chuva; estanqueidade a insetos e poeiras; isolação sonora; iluminação; ventilação; facilidade de manuseio; manutenção; durabilidade; resistência aos esforços de uso; resistência a cargas de vento; economia.

A *Norma NBR 10821/EB 1968: Caixilho para Edificação – Janela – Especificação*, estabelece cinco regiões no Brasil com diferentes velocidades máximas para o vento. A figura 24, inserida a seguir,

apresenta o mapa das isopletas[89] das velocidades dos ventos, em metros por segundos, nas cinco regiões do Brasil.

Figura 24: Mapa das isopletas das velocidades dos ventos em m/s



Fonte: ABNT. *Norma NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações.*

O quadro 16, inserido a seguir, apresenta as velocidades características dos ventos nas cinco regiões do Brasil, de acordo com a *Norma NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações.*

Quadro 16: Velocidades características dos ventos

Região	Velocidade máxima do vento em m/s	Velocidade máxima do vento em km/h	Pressão de ensaio
I	30	108	650 Pa
II	35	126	900 Pa
III	40	144	1200 Pa
IV	45	162	1500 Pa
V	50	180	1850 Pa

Com base na *Norma NBR 10821/EB 1968: Caixilho para Edificação – Janela – Especificação* estabelecem-se as pressões de ensaio de cargas uniformemente distribuídas para cada uma das cinco regiões do Brasil e

[89] Mapa das isopletas das velocidades dos ventos: apresenta as características em relação às velocidades dos ventos características de cada uma das regiões do país, de acordo com incidência destes em intervalos de 50 em 50 anos. Isopletas são ventos de mesma velocidade.

de acordo com o tipo de edificação, conforme demonstra o quadro 17, inserido a seguir.

Quadro 17: Pressões de ensaios de cargas uniformemente distribuídas – Norma NBR 10821/EB 1968: Caixilho para Edificação – Janela – Especificação

Classe	Regiões do país	Pressão de projeto Pp em Pa	Pressão de sucção em Pa: Pe X 0,8	Pressão de ensaio Pe = Pp x 1,5 (em Pa)
Normal Residencial Unifamiliar ou Comercial Simples – até dois pavimentos	I II III IV V	300 400 550 650 850	350 500 650 800 1.000	450 600 800 950 1.250
Melhorada Residencial ou Comercial até 4 pavimentos ou 12 metros	I II III IV V	450 600 800 1.000 1.200	550 700 950 1.200 1.450	650 900 1.200 1.500 1.800
Reforçada(1) Comercial pesada ou edifícios residenciais com mais de 5 pavimentos	I II III IV V	Calcular conforme NBR 6123	Calcular conforme NBR 6123	Calcular conforme NBR 6123
Excepcional(2) Arquiteturas especiais (*shoppings*, indústrias, hospitais, etc.	I II III IV V	Calcular conforme NBR 6123	Calcular conforme NBR 6123	Calcular conforme NBR 6123

(1) Na classe reforçada, os valores de pressão calculados conforme NBR 6123 deverão ser pelo menos iguais aos valores das pressões e ensaio da classe melhorada.
(2) Nos casos de arquiteturas especiais da classe excepcional, os valores de pressão de ensaio, calculados conforme a NBR 6123, quando inferiores aos valores da classe melhorada deverão ser justificados através de ensaios em túneis de vento ou planilhas de cálculo, e assumidos por um responsável técnico

Do ponto de vista da *segurança*, uma esquadria de alumínio deve atender às exigências referentes à resistência mecânica às *cargas de ventos*, aos *esforços de uso ou operações de manuseio*, e à *intrusão*.

O *vento* é a principal carga incidental que age nas edificações. Por este motivo, a análise da *ação dos ventos* sobre as esquadrias é fundamental para que estas não apresentem problemas de funcionamento ou estanqueidade, nem sofram deformações instantâneas

ou residuais excessivas. Os cálculos das cargas de sucção ou obstrução incidentes nas esquadrias são o ponto de partida para a definição da resistência mecânica dos perfis e dos demais componentes. O capítulo 5 desta Dissertação, onde se vai tratar da especificação das esquadrias, apresenta detalhadamente os cálculos para a definição da dimensão dos perfis a partir da pressão dos ventos incidentes sobre a edificação.

Os diversos *esforços de uso* relativos às *operações de manuseio* são simulados em ensaios em que se verificam as solicitações apresentadas, para que as esquadrias sejam reforçadas, evitando: danos provocados por pressões distribuídas uniformemente, como as decorrentes da ação dos ventos; dificuldades de fechar janelas emperradas; risco de crianças penduradas em folhas de janelas abertas; outros esforços.

A resistência mecânica do material deve também ser útil para impedir ou dificultar eventuais tentativas de *intrusão* no ambiente através das esquadrias.

Na categoria *habitabilidade* das esquadrias destacam-se os aspectos referentes *à estanqueidade à água e a permeabilidade ao ar; ao conforto térmico; à saúde e higiene; ao conforto lumínico; ao conforto acústico; à funcionalidade; ao conforto tátil.*

A *estanqueidade à água* deve considerar uma condição climática crítica: a ação simultânea de chuva e vento, quando a entrada de água é facilitada pelas deformações de perfis decorrentes da pressão exercida pelo vento. O quadro 18, apresentado a seguir, fornece as pressões de ensaios de estanqueidade à água, segundo a *Norma MB-1226: Caixilho para Edificação de Uso Residencial e Comercial – Janela, fachada-cortina e porta externa – Verificação da estanqueidade à água – Método de ensaio.*

Quadro 18: Pressões de ensaios de estanqueidade à água

Classe de utilização	Regiões do país	Pressão de ensaio de estanqueidade à água Pressão de projeto de vento – Pp x 0,15, em Pa
Normal Residencial Unifamiliar ou Comercial Simples – até dois pavimentos	I II III IV V	45 60 80 100 125
Melhorada Residencial ou Comercial até 4 pavimentos ou 12 metros	I II III IV V	65 90 120 150 180
Reforçada Comercial pesada ou edifícios residenciais com mais de 5 pavimentos	I II III IV V	Pressões de ensaio = o maior dos valores: 0,15 x Pp (pressão de projeto das cargas de vento) e os valores das pressões da classe melhorada
Excepcional Arquiteturas especiais (*shoppings*, indústrias, hospitais, etc)	I II III IV V	Pressões de ensaio = o maior dos valores: 0,15 x Pp (pressão de projeto das cargas de vento) e os valores das pressões da classe melhorada

A *estanqueidade à água* de chuva é uma das propriedades e um dos requisitos mais difíceis de ser bem atendidos por uma esquadria. Merece atenção especial, uma vez que esta característica é bastante influenciada pelo projeto da fachada.

Nos primeiros edifícios construídos pelo homem concebiam-se as coberturas de forma a proteger as fachadas da ação direta da água da chuva. Por meio de calhas ou beirais, a água da chuva era conduzida para longe das janelas, as quais só se molhavam com gotas difusas de chuva impelidas pelo vento.

A constatação da importância dos detalhes construtivos e ornamentos das fachadas dos edifícios antigos, no que tange à melhoria da durabilidade e estanqueidade à água, somente foi possível quando a arquitetura moderna, predominantemente linear, suprimiu tais ornamentos. Sabe-se que as concentrações de água de chuva criam regiões sujeitas a maior risco de penetração de água, provocando desgaste diferente nas fachadas.

Para minimizar os riscos de infiltração de água de chuva em uma janela deve-se controlar efetivamente os fluxos que se acumulam na superfície das fachadas através de beirais, pingadeiras, ressaltos e outros detalhes construtivos.

A *permeabilidade ao ar* de uma janela é a medida da facilidade com que ocorrem as trocas de ar do edifício com o ambiente. Seus parâmetros também dependem da localização, do tipo de utilização e da pressão que atua sobre a janela, fatores que lhe causam deformações e aberturas de juntas. A *Norma NBR 6485 – Verificação de estanqueidade ao ar* traz as orientações para este tópico, conforme demonstra o quadro 19 apresentado a seguir.

Quadro 19: Exigências de permeabilidade ao ar

Tipo de ambiente	Localização	Classes de utilização	Exigência de permeabilidade ao ar
Condicionado ou climatizado	Todos os estados do país	Normal ou Melhorada	Resistência térmica mínima 0,15 m^2K/W Vazão máxima de 5 m^3/h x metro linear de juntas abertas, sob uma pressão de 30 Pa
Condicionado ou climatizado	Todos os estados do país	Reforçada ou Excepcional	Resistência térmica mínima 0,15 m^2K/W Vazão máxima de 5 m^3/h x metro linear de juntas abertas, sob uma pressão de 50 Pa
Não condicionado ou não climatizado	São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul	Normal ou Melhorada	Velocidade do ar < 0,5 m/s, a uma distância de 2,0 cm da janela, quando submetida a uma pressão de 30 Pa
Não condicionado ou não climatizado	São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul	Reforçada ou Excepcional	Velocidade do ar < 0,5 m/s, a uma distância de 2,0 cm da janela quando submetida a uma pressão de 50 Pa
Não condicionado ou não climatizado	Outros estados	Qualquer	Não há exigência

Com relação à *isolação térmica* e à *transmissão de radiação solar*, as esquadrias constituem importantes componentes por meio dos quais o ambiente interno se sujeita a trocas constantes de calor com o meio externo, seja por condução, convecção ou radiação térmica, ou ainda por radiação solar direta. As esquadrias, portanto, influem significativamente

nas condições de *conforto térmico* e no consumo de energia utilizada no condicionamento térmico dos ambientes.

Sob este aspecto a esquadria deve, de modo geral, proporcionar ao ambiente o maior ganho possível de energia solar durante o dia e a menor perda possível de calor por condução, convecção ou radiação durante a noite, quando no inverno.

No verão o desempenho da mesma esquadria deveria ser exatamente o contrário, ou seja, impedir ao máximo a entrada de energia solar durante o dia. Geralmente, nesta época, os ganhos por condução, convecção ou radiação térmica de ondas longas durante o dia são bem menores que os ganhos por energia solar, sendo a perda de calor durante a noite mais significativa através da ventilação.

As perdas ou ganhos de calor por condução, combinadas com a convecção e a radiação térmica de ondas longas, 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 esquadria.

Uma das funções mais importantes das esquadrias é a de promover a *ventilação natural* dos ambientes como recurso para o controle de temperatura e da *qualidade do ar interior*, promovendo a *higiene* das habitações e a *saúde* dos usuários.

A ventilação natural ocorre pelas diferenças de pressão do ar entre os ambientes exteriores e interiores ou aberturas na fachada do edifício. As diferenças de pressão do ar, por sua vez, são provocadas pela ação do vento e pelas mesmas diferenças de temperatura entre o ambiente exterior e interior do edifício, gerando um processo contínuo.

A *ventilação* nos edifícios tem como principal objetivo promover a troca do ar impuro ou viciado por um ar exterior limpo e fresco. Entende-se como ar viciado aquele que não atende às exigências *de higiene* para uso humano (concentração de O_2, CO_2, N, NH_4 e outros), *higrotérmicas* ou nos casos de calor excessivo que dificulta as trocas térmicas entre o corpo humano e o meio. A ventilação tem também a tarefa de evitar a condensação do ar úmido nos ambientes.

A *iluminação* é o meio principal pelo qual a luz natural é trazida para o interior de um recinto a fim de satisfazer as exigências humanas quanto ao conforto visual e luminoso.

As esquadrias devem obedecer aos seguintes critérios: a quantidade de luz que entra deve ser suficiente para a realização das atividades humanas no ambiente; as direções de entrada da luz devem ser tais que permitam precisar o formato correto dos sólidos; as esquadrias devem permitir uma visão do exterior a partir do maior número possível de posições de trabalho no ambiente; qualquer visão do céu não deve provocar desconforto visual aos ocupantes dentro do ambiente.

Para se conseguir o melhor aproveitamento da luz natural – seja por preferência do usuário, seja evitando a iluminação artificial para economizar energia elétrica – é necessário estudar a influência das características da esquadria na transferência de luz do exterior para o interior do ambiente.

As características que mais contribuem para o aproveitamento da luz natural são: área do material transparente ou translúcido em relação à área do piso do local; formatos e posicionamento das janelas no recinto; orientação solar das janelas; características ópticas dos materiais transparentes ou translúcidos; características intrínsecas das esquadrias; facilidade de manutenção da janela.

Além dessas características inerentes à própria esquadria, devem ser ainda considerados os recursos do recinto e do entorno quanto à refletância do acabamento interno das paredes, piso e teto e quanto à presença de obstruções exteriores à janela.

A *Norma 10830/TB 355 – Caixilho para Edificação – Acústica em edificações – Terminologia* tem o objetivo de orientar, sem ser exigência de conformidade, sobre os valores recomendados para não se perder conforto acústico, levando-se em consideração o uso e as atividades que serão realizadas no ambiente e as condições a que este ambiente será exposto.

O uso e a atividade determinam a tolerância ao ruído no ambiente interno, classificada em alta, média, baixa e nula. As condições de

exposição do nível de ruído no ambiente externo classificam-se em: naturais, ocasionais, incipientes, moderadas, acentuadas e críticas.

A esquadria é classificada conforme a quantidade de ruídos ou sons dos quais ela consegue impedir a passagem de um ambiente a outro. O indicador de desempenho "CTS" (Classe de Transmissão Sonora) determina que quanto maior seu valor, maior será a eficiência na atenuação sonora. A seguir, o quadro 20 explicita as condições de tolerância ao ruído.

Quadro 20: Condições de tolerância ao ruído

Nível de ruído db (A)	Exemplos de ruídos	Conver-sação	Condições exposição ruído	Condições tolerância ao ruído			
				Nula	Baixa	Média	Alta
105	Buzina de automóvel, a 1 m de distância de aeroporto.	Aos berros	Críticas	40 < CTS	40 < CTS	30 < CTS < 40	20 < CTS < 40
95	Laterais de ferrovia, piano, indústria ruidosa.	Aos berros	Críticas	40 < CTS	40 < CTS	30 < CTS < 40	20 < CTS < 40
85	Proximidade de ferrovia, pista de boliche.	Em voz muito alta	Acentuadas	40 < CTS	30 < CTS ≤ 40	20 < CTS ≤ 30	10 < CTS ≤ 20
75	Cruzamento de grandes avenidas, motor a *diesel*.	Em voz muito alta	Acentuadas	40 < CTS	30 < CTS ≤ 40	20 < CTS ≤ 30	10 < CTS ≤ 20
65	Grande centro urbano, motor a gasolina.	Em voz alta	Moderadas	40 < CTS	10 < CTS ≤ 20	10 < CTS ≤ 20	CTS ≤ 10
55	Conversação em *shopping center*, burburinho urbano.	Em voz alta	Moderadas	40 < CTS	10 < CTS ≤ 20	10 < CTS ≤ 20	CTS ≤ 10
45	Escritório silencioso.	Em voz normal	Incipientes	40 < CTS	CTS ≤ 10	CTS ≤ 10	CTS ≤ 10
35	Praça silenciosa, rodovia a grande distância.	Em voz normal	Incipientes	40 < CTS	CTS ≤ 10	CTS ≤ 10	CTS ≤ 10
25	Madrugada em bairro residencial.	Em voz sus-surada	Naturais ocasionais	40 < CTS	CTS ≤ 10	CTS ≤ 10	CTS ≤ 10
15	Cochicho, chuva branda.	Em voz sus-surada	Naturais ocasionais	40 < CTS	CTS ≤ 10	CTS ≤ 10	CTS ≤ 10

Vale lembrar que a isolação acústica depende fundamentalmente: do tipo de vidro; do modo de colocação e fixação do vidro; da estanqueidade entre o marco e as folhas e entre o marco ou contramarco e a alvenaria; do tipo de material de que se constitui o caixilho.

Com relação aos requisitos de sustentabilidade, destacam-se os aspectos referentes à durabilidade, à manutenabilidade e à adequação ambiental.

Do ponto de vista da *durabilidade*, a *NBR 10821: Caixilho para Edificação – Janela, Especificação* estabelece verificações da janela no aspecto de seu funcionamento, através de ensaios de abertura e fechamento (ciclos de utilização). Por meio destes tipos de ensaio, testam-se apenas os comportamentos de seus componentes de movimentação, como roldanas, gaxetas e articulações, sem considerar efeitos do envelhecimento e ações do ambiente sobre os materiais dos perfis, tais como degradação térmica, fotodegradação, água e vapor de água, agentes químicos e agentes biológicos.

Os métodos de ensaio esclarecem os pontos de medição das deformações, formas de cálculo e instalação de esquadrias nas câmaras, entre outras informações.

A *durabilidade* é um dos grandes diferenciais do alumínio. Esta característica encontra-se descrita no capítulo 2 deste trabalho: O metal alumínio e suas ligas.

A *manutenção* dos perfis de alumínio utilizados na fabricação de esquadrias é bastante simples. A descrição detalhada dos cuidados referentes a este aspecto encontra-se no capítulo 5 desta Dissertação.

4.1.5 Matriz do perfil de desempenho das esquadrias

O desempenho de uma esquadria vai depender das suas características intrínsecas e do sistema de juntas e acessórios. Também serão consideradas a altura e a posição em que será instalada na edificação, além de outras situações definidas pelo próprio edifício e pelo meio onde este se insere (condições externas).

A análise de desempenho das esquadrias, independentemente do material com que são fabricadas, apresenta dificuldade devido à simultaneidade de funções que este sistema desempenha. Diante desta situação comumente enfrentada por quem analisa diversas alternativas

de janelas, *Dr. K. Blach, do Danish Building Research Institute*, desenvolveu uma metodologia que permite ao analista visualizar o conjunto de aspectos envolvidos em um dado sistema e ter facilitada a tomada de decisão.

Por meio de uma matriz que representa o perfil de desempenho da esquadria, a análise é desenvolvida em dois momentos: *num primeiro momento analisa-se a adequação do perfil de desempenho à situação onde vai ser instalada a janela; num segundo momento analisam-se os diversos perfis de desempenho, comparando-os entre si e, desta forma, selecionando os de maior interesse.*

Na proposição do pesquisador os parâmetros devem, na medida do possível, ser quantificáveis. Porém, na impossibilidade desta análise, pode-se usar parâmetros qualitativos.

Os requisitos de desempenho relacionados não têm hierarquia de importância, pois em determinadas situações uma dessas exigências pode ser fundamental como, por exemplo, estanqueidade a insetos em região onde são freqüentes, ou isolação sonora ao lado de uma via expressa. Em outras situações alguns destes requisitos podem ser desconsiderados como, por exemplo, estanqueidade ao ar para uma casa de praia no nordeste brasileiro, sem ar condicionado.

Para determinar o perfil de desempenho de uma janela, pode-se montar uma "Matriz do perfil de desempenho das esquadrias[90]". O quadro demonstra os níveis M, N, O, P e Q, que se referem aos níveis de desempenho requeridos e aos níveis de desempenho da janela. De acordo com cada edificação, estes níveis podem ser considerados mais ou menos adequados que outros para uma determinada situação.

Os níveis de desempenho M e Q seriam situações extremas: de máxima importância ou de extrema solicitação, no caso do nível M; de nenhuma importância, no caso do nível Q.

Utilizaram-se as letras M, N, O, P e Q, diferentemente do tradicional A, B, C, D e E para evitar a situação histórica em que A é melhor que B,

---

[90] Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA – ABCI (1991). *Manual técnico de caixilhos, janelas:* aço, alumínio, vidros, madeira, acessórios, juntas e materiais de vedação. São Paulo: Editora Pini.

que por sua vez é melhor que C. Em vez disso, os níveis M, N, O, P e Q referem-se à adequação e, sendo assim, nenhum nível é melhor ou pior que o outro.

O quadro 21, inserido a seguir, apresenta um modelo da matriz para definição do perfil de desempenho de uma esquadria.

Quadro 21: Matriz para definição do perfil de desempenho de uma esquadria

Exigências de desempenho da esquadria	**Nível**	**Nível**	**Nível**	**Nível**	**Nível**
	M	**N**	**O**	**P**	**Q**
Resistência a cargas de vento					
Resistência a esforços de uso					
Resistência à intrusão					
Estanqueidade à água de chuva					
Estanqueidade ao ar					
Estanqueidade a insetos e poeira					
Isolação acústica					
Iluminação					
Ventilação					
Facilidade de manuseio					
Aspecto					
Outras exigências de interesse					
Durabilidade					
Manutenção					
Economia – Custo Inicial (CI)					
Economia – Custo Reposição de Peças (CR)					
Economia – Custo de Manutenção (CM)					
Economia – Custo Total (CT=CI+CR+CM)					
< Exigência crescente					

Fonte: Manual Técnico de Caixilhos / Janelas.

De forma ilustrativa, considera-se um usuário que necessite escolher as esquadrias de um edifício de 12 andares para escritórios, numa cidade do interior do Estado de São Paulo. Após a leitura da NBR 10821 para a definição do perfil de desempenho de uma esquadria, o usuário deverá observar suas características, analisando-as com base em cada um dos aspectos relacionados a seguir.

Resistência a cargas de vento: de acordo com os procedimentos de norma, o usuário chega à conclusão que a pressão de ensaio deve ser de aproximadamente 1.300 (Pa), que ele classifica como nível "N".

Resistência a esforços de uso: o usuário classifica como nível "O", ou seja, dentro dos valores estabelecidos pela NBR 10821 no item 4.4, resistência às operações de manuseio.

Resistência à intrusão: o usuário classifica como desnecessária tratando-se de um edifício de escritórios. Portanto, nível "Q".

Estanqueidade à água de chuva: o usuário conclui que está na região III, e classifica como "N".

Estanqueidade ao ar: o usuário analisa a norma e considera os pressupostos de economia para o sistema de ar condicionado. Conclui sobre a importância desta exigência e a classifica no nível "M".

Estanqueidade a insetos e poeira: o usuário classifica em nível "N", nem tanto pelos insetos, mas pela existência de poeira na região.

Isolação acústica: o usuário classifica em nível "P", considerando os escritórios em condições de tolerância média e condições de exposição moderada.

Iluminação: o usuário considera este item de grande importância, devido aos pressupostos de iluminação natural e, portanto, deseja maior transparência dos vãos, quando possível. Além disso, deseja que a paisagem local seja plenamente desfrutada, classificando este item no nível "N".

Ventilação: o usuário optou por janelas do tipo "máximo-ar", para adequar a ventilação natural, quando possível, aos trabalhos de escritório. Nível "N".

Facilidade de manuseio: o usuário classificou como nível "O", baseando-se nos níveis estabelecidos na norma.

Aspecto: o usuário considera um item de importância, haja vista que o prédio será destinado a profissionais liberais, e classifica no nível "N".

Durabilidade: a cidade não tem problemas de poluição e ambiente marinho, as condições de uso serão moderadas, não implicando um número excessivo de operações de abertura e fechamento. Portanto, este item é classificado como nível "O".

Manutenção: pelo fato de haver muita poeira na região, as operações de limpeza devem ser freqüentes e facilitadas. Por outro lado, o edifício não comporta um sistema de gôndolas externas para auxiliar os trabalhos de manutenção. O item é classificado como nível "N".

Economia – Custo Inicial (CI): a construtora está trabalhando por administração (preço de custo) mas, por outro lado, existe uma pressão para manter-se dentro dos valores médios praticados no mercado. O item é classificado como nível "Q".

Economia – Custo de Reposição de Peças (CR): O usuário deseja o menor custo possível e classifica no nível "P".

Economia – Custo Total (CT = CI + CR + CM): dentro do ciclo de vida da janela, este custo deverá sempre ser o menor possível, uma vez que é um argumento de qualidade que a construtora está implantando em toda a obra. Portanto, o item é classificado no nível "P".

Após a definição do perfil de desempenho de interesse pelo usuário, ele irá contatar diversas empresas de esquadrias com o intuito de selecionar aqueles produtos que tenham o perfil de desempenho que mais se aproxima das necessidades do edifício em questão. De imediato ele elimina aqueles produtos com perfil de desempenho deslocado inteiramente para a esquerda ou para a direita da matriz de desempenho, ou seja, que estariam muito aquém ou muito além das necessidades objetivas. Num segundo momento, ele seleciona alguns produtos de maior interesse e compara os perfis de desempenho.

O quadro 22, apresentado a seguir, demonstra um exemplo de matriz para definição do perfil de desempenho de uma esquadria, conforme o caso em estudo.

Quadro 22: Exemplo de Matriz para definição do perfil de desempenho de uma esquadria

Exigências de desempenho da esquadria	Nível M	Nível N	Nível O	Nível P	Nível Q
Resistência a cargas de vento		X			
Resistência a esforços de uso			X		
Resistência à intrusão					X
Estanqueidade à água de chuva		X			
Estanqueidade ao ar	X				
Estanqueidade a insetos e poeira		X			
Isolação acústica				X	
Iluminação		X			
Ventilação		X			
Facilidade de manuseio			X		
Aspecto		X			
Outras exigências de interesse					
Durabilidade			X		
Manutenção		X			
Economia – Custo Inicial (CI)					X
Economia – Custo Reposição de Peças (CR)				X	
Economia – Custo de Manutenção (CM)				X	
Economia – Custo Total (CT=CI+CR+CM)					
< Exigência crescente					

Fonte: Manual Técnico de Caixilhos / Janelas.

4.1.6 Relação das normas brasileiras para as esquadrias de alumínio

A fim de complementar as informações referentes à normalização das esquadrias de alumínio, apresentam-se aqui as principais *Normas Técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT* relativas *ao alumínio, aos caixilhos, aos elastômeros, aos vidros, aos acessórios e outras normas diversas*.

Primeiramente serão apresentadas as normas relativas ao alumínio, contidas no quadro 23, exposto a seguir.

Quadro 23: Normas ABNT relativas ao alumínio

NBR 6599	Alumínio e suas ligas. Processos e produtos – Terminologia.
NBR 6834	Alumínio e suas ligas. Classificação.
NBR 6835	Alumínio e suas ligas. Têmperas.
NBR 7000	Alumínio e suas ligas. Propriedades mecânicas de produtos extrudados.
NBR 8116	Alumínio e suas ligas. Tolerâncias dimensionais de produtos extrudados.
NBR 8117	Alumínio e suas ligas. Barras, arames, perfis e tubos extrudados.
NBR 8118	Alumínio e suas ligas. Arames e barras.
NBR 8967	Tratamento de superfície do alumínio e suas ligas. Terminologia.
NBR 8968	Tratamento de superfície do alumínio e suas ligas. Classificação.
NBR 9243	Alumínio e suas ligas. Tratamento de superfície – Determinação da qualidade de selagem da anodização pelo método de perda de massa.
NBR 12609	Tratamento de superfície do alumínio e suas ligas. Anodização para fins arquitetônicos.
NBR 12610	Tratamento de superfície do alumínio e suas ligas. Determinação da espessura da camada anódica pelo método de corrente parasita (*Eddy Current*).
NBR 12611	Tratamento de superfície do alumínio e suas ligas. Determinação da espessura da camada anódica pelo método da microscopia.
NBR 12612	Tratamento de superfície do alumínio e suas ligas. Determinação da resistência da camada anódica colorida ao intemperismo acelerado – Solidez à luz.
NBR 12613	Tratamento de superfície do alumínio e suas ligas. Determinação da qualidade de selagem na anodização pelo método de absorção de corantes.
NBR 14125	Revestimento orgânico. Pintura.
NBR 14126	Revestimento orgânico. Determinação do brilho de película seca de tintas e vernizes.
NBR 14127	Revestimento orgânico. Determinação da resistência ao impacto da película seca de tintas e vernizes.
NBR 14155	Alumínio e suas ligas. Determinação da microdureza da camada anódica.
NBR 14229	Tubos extrudados para fins estruturais.

Fonte: ABAL. *Hotsite de portas e janelas*.

A seguir, o quadro 24 apresenta a relação das Normas Brasileiras relativas aos caixilhos.

Quadro 24: Normas ABNT relativas aos caixilhos

NBR 6123	Cargas de ventos.
NBR 6485 / MB 1225	Caixilho para Edificação – Janela, fachada-cortina e porta externa: Verificação da penetração de ar – Método de ensaio.
NBR 6486 / MB 1226	Caixilho para Edificação – Janela, fachada-cortina e porta externa: Estanqueidade à água – Método de ensaio.
NBR 6487 / MB 1227	Caixilho para Edificação – Janela: Verificação do comportamento quando submetido a cargas uniformemente distribuídas – Método de ensaio.
NBR 7202	Desempenho de janelas de alumínio em edificação de uso residencial e comercial.
NBR 10820 / TB 354	Caixilho para Edificação – Janela – Terminologia.
NBR 10821: 2000	Caixilho para Edificação – Janela. Considerada norma mãe por fixar as condições exigíveis de desempenho de caixilhos para edificações para uso residencial e comercial.
NBR 10821/ EB 1968	Caixilho para Edificação – Janela – Especificação.
NBR 10822 / MB 3064	Caixilho para Edificação – Janela do tipo de abrir e pivotante: Verificação da resistência às operações de manuseio – Método de ensaio.
NBR 10823 / MB 3065	Caixilho para Edificação – Janela do tipo projetante: Verificação da resistência às operações de manuseio – Método de ensaio.
NBR 10824 / MB 3066	Caixilho para Edificação – Janela do tipo de tombar: Verificação da resistência às operações de manuseio – Método de ensaio.
NBR 10825 / MB 3067	Caixilho para Edificação – Janela do tipo basculante: Verificação da resistência às operações de manuseio – Método de ensaio.
NBR 10826 / MB 3068	Caixilho para Edificação – Janela do tipo reversível: Verificação da resistência às operações de manuseio – Método de ensaio.
NBR 10827 / MB 3069	Caixilho para Edificação – Janela do tipo de correr: Verificação da resistência às operações de manuseio – Método de ensaio.
NBR 10828 / MB 3070	Caixilho para Edificação – Janela do tipo guilhotina: Verificação da resistência às operações de manuseio – Método de ensaio.
NBR 10829 / MB 3071	Caixilho para Edificação – Janela – Medição da atenuação acústica – Método de ensaio.
NBR 10830 / TB 355	Caixilho para Edificação – Acústica em edificações – Terminologia.
NBR 10831 / NB 1220	Projeto e utilização de caixilhos para edificações de uso residencial e comercial – Janelas – Procedimento.
NBR 14718:2001	Guarda-corpos para Edificação.

Fonte: ABAL. *Hotsite de portas e janelas.*

A Comissão Nacional de Estudos – Esquadrias para Construção Civil do Comitê Brasileiro da Construção Civil (Cobracon-ABNT) realizou a revisão das normas para janelas. Neste trabalho, os parâmetros de avaliação estão de acordo com o clima, os hábitos culturais e as necessidades brasileiras.

As normas revisadas de janelas, que oficialmente entraram em vigência em outubro de 2000, são: *NBR 10821 – Caixilhos para Edificação – Janelas; NBR 6485 – Caixilhos para Edificação – Janela, fachada-cortina e porta externa – Verificação da penetração de ar*; *NBR 6486 – Caixilhos para Edificação – Janela, fachada-cortina e porta externa – Verificação da estanqueidade à água*; e *NBR 6487 – Caixilhos para Edificação – Janela, fachada-cortina e porta externa – Verificação do comportamento quando submetido a cargas uniformemente distribuídas*.

A principal mudança introduzida pela revisão normativa é a obrigatoriedade da informação do número da norma a que os produtos atendem, a especificação do uso a que se destinam e a classe de utilização por região do país, as condições de permeabilidade ao ar e à água, as pressões máximas de carga de vento e se o produto é próprio para ambientes com ar-condicionado.

A entidade que coordenou o trabalho de revisão acredita que as normas evitam a concorrência predatória dos produtos importados, quase sempre muito mais requintados por atender às rígidas condições climáticas de seus países de origem e evitar a perda do calor interno durante os meses mais frios.

A seguir, os quadros 25, 26 e 27, enfatizando respectivamente as normas relativas aos elastômeros, aos vidros e a outros aspectos diversos.

Quadro 25: Normas ABNT relativas aos elastômeros

NBR 7318	Elastômero vulcanizado para uso em veículos automotores. Determinação da dureza.
NBR 7462	Elastômero vulcanizado. Determinação da resistência à tração.
NBR 6565	Elastômero vulcanizado. Determinação do envelhecimento acelerado em estufa.
NBR 11910	Elastômero vulcanizado. Ensaio de abrasão.
NBR 10025	Elastômero vulcanizado. Ensaio de deformação permanente à compreensão.
NBR 8360	Elastômero vulcanizado. Envelhecimento acelerado em câmara de ozônio.
NBR 11911	Elastômero vulcanizado. Resistência ao rasgamento.
NBR 9299	Elastômero vulcanizado. Retração à baixa temperatura.
NBR 8690	Elastômero vulcanizado. Determinação de resiliência.

Fonte: ABAL. *Hotsite de portas e janelas*.

Quadro 26: Normas ABNT relativas aos vidros

NBR 7199 / NB 226	Projeto e execução de envidraçamento na construção civil – Procedimento.
NBR 7210 / TB88	Vidro na construção civil – Terminologia.
NBR 12067	Vidro plano – Determinação da resistência à tração na flexão.
NBR 11706	Vidros na construção civil.

Fonte: ABAL. *Hotsite de portas e janelas.*

Quadro 27: Normas ABNT diversas

NBR 6294	Segurança nos andaimes.
NBR 233	Elevadores de segurança de canteiros de obras de construção civil.

Fonte: ABAL. *Hotsite de portas e janelas.*

4.2 Norma NBR 10821/EB 1968: Caixilho para Edificação – Janela – Especificação

Esta norma fixa as condições exigíveis de desempenho de caixilhos de edificações para uso residencial e comercial. Não se aplica a grupos de caixilhos para edificações que, pela sua forma, localização, utilização ou grau de sofisticação, possam ser considerados especiais e objeto de normas específicas. Visa assegurar ao consumidor o recebimento dos produtos com condições mínimas exigíveis de desempenho.

Na aplicação desta norma é necessária consulta complementar às normas relacionadas no quadro 28, apresentado a seguir.

Quadro 28: Relação de normas para consulta complementar à *Norma NBR 10821/EB 1968: Caixilho para Edificação – Janela – Especificação*

NBR 6485/MB 1225	Caixilho para Edificação – Janela, fachada-cortina e porta externa – Verificação da penetração de ar – Método de ensaio.
NBR 6486/MB 1226	Caixilho para Edificação de uso residencial e comercial – Janela, fachada-cortina e porta externa – Verificação da penetração de ar – Método de ensaio.
NBR 6487/MB 1227	Caixilho para Edificação – Janela, fachada-cortina e porta externa – Verificação do comportamento quando submetido a cargas uniformemente distribuídas – Método de ensaio.
NBR 10820/TB 354	Caixilho para Edificação – Janela – Terminologia.
NBR 10822/MB 3064	Caixilho para Edificação – Janela do tipo de abrir e pivotante – Verificação da resistência às operações de manuseio – Método de ensaio.
NBR 10823/MB 3065	Caixilho para Edificação – Janela do tipo projetante – Verificação da resistência às operações de manuseio – Método de ensaio.
NBR 10824/MB 3066	Caixilho para Edificação – Janela do tipo de tombar – Verificação da resistência às operações de manuseio – Método de ensaio.
NBR 10825/MB 3067	Caixilho para Edificação – Janela do tipo basculante – Verificação da resistência às operações de manuseio – Método de ensaio.
NBR 10826/MB 3068	Caixilho para Edificação – Janela do tipo reversível – Verificação da resistência às operações de manuseio – Método de ensaio.
NBR 10827/MB 3069	Caixilho para Edificação – Janela do tipo de correr – Verificação da resistência às operações de manuseio – Método de ensaio.
NBR 10828/MB 3070	Caixilho para Edificação – Janela do tipo guilhotina – Verificação da resistência às operações de manuseio – Método de ensaio.
NBR 10829/MB 3071	Caixilho para Edificação – Janela – Medição da atenuação acústica – Método de ensaio.
NBR 10830/ TB-355	Caixilho para Edificação – Acústica em edificações – Terminologia.

Fonte: ABAL. *Hotsite de portas e janelas.*

4.3 Qualidade

4.3.1 O conceito de qualidade

O conceito de qualidade[91] pode basear-se em diferentes critérios subjetivos ou objetivos, havendo, por este motivo, várias formas de definir a palavra.

Qualidade pode significar a propriedade, o atributo ou a condição das coisas ou das pessoas capaz de distingui-las das outras e de lhes determinar a natureza. Numa escala de valores, é a qualidade que permite avaliar e, conseqüentemente, aprovar, aceitar ou recusar qualquer objeto.

É possível também definir qualidade como a característica peculiar ou a particularidade; o atributo ou o predicado; a espécie ou o gênero; a virtude ou o mérito; a superioridade ou a excelência.

A definição de qualidade é fundamental para que o conceito correto seja transmitido de forma clara e com o significado pretendido, evitando-se erros de interpretação e, dependendo da situação, eventuais prejuízos de ordem financeira.

Em termos práticos e mercadológicos, definições baseadas no cliente são as mais interessantes, pois consideram a opinião dos usuários dos produtos. Neste sentido, o conceito de qualidade poderá basear-se nos seguintes aspectos principais: *produto, processo de manufatura e valor*.

Produtos cuja qualidade está baseada no cliente devem estar de acordo com as exigências deste, bem como devem estar adequados ao tipo de uso a que se destinam.

Quando baseada no produto, a qualidade agrega valor a ele pelas características e propriedades que o distinguem dos similares.

A qualidade do processo de manufatura deve garantir que o produto atenda às especificações e aos requisitos estabelecidos pelas normas

---

[91] Qualidade – do latim: *qualitas, qualitatis*. Fonte: *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa*.

técnicas. Deve também contribuir para reduzir defeitos decorrentes da fabricação.

Baseada no valor, a qualidade do produto deve assegurar a melhor relação custo–benefício.

Este tipo de enfoque baseado no cliente fez com que as empresas desenvolvessem produtos visando atender às expectativas dos usuários, priorizando as exigências do mercado consumidor em potencial.

4.3.2 Controle da Qualidade Total – CQT

A evolução do conceito de qualidade *ocorreu naturalmente, com o objetivo de atender às necessidades surgidas a partir das mudanças nos processos de produção.*

No modo de produção anterior à Revolução Industrial, o artesão se ocupava de todas as tarefas: desde a escolha e aquisição da matéria-prima até a fase de acabamento e entrega do produto. O controle da qualidade era exercido pelo próprio artesão. As características do modelo artesanal eram a baixa produção e o alto padrão de qualidade.

Com o advento da industrialização, surgiu o processo de divisão das tarefas na confecção de um produto. O controle da qualidade passou às mãos do mestre industrial, que exercia a supervisão desses grupos. Com o aumento das escalas de produção e do número de trabalhadores, o sistema tornou-se inviável, pois não era possível um só mestre supervisionar todo o processo. Como resposta para este problema surgiu a padronização dos produtos. Com a 2ª Guerra Mundial houve uma grande evolução tecnológica, acompanhada por uma complexidade técnica de materiais, processos de fabricação e produtos. Essa situação ameaçava inviabilizar a inspeção total da produção.

Surgiu então uma evolução do controle da qualidade: o controle estatístico, baseado em inspeção por amostragem e gráficos de controle. Daí derivou a preocupação com a prevenção de falhas. Entretanto, as ações corretivas desencadeadas ainda eram de eficiência restrita. Esta ineficiência das ações corretivas e a acirrada competição pelo mercado

consumidor acabaram contribuindo significativamente para que se adotasse um novo enfoque em termos de controle de qualidade: o "Controle da Qualidade Total – CQT"[92].

O CQT foi um modelo para o sistema da garantia da qualidade e apresentava certos aprimoramentos em relação ao sistema anterior (controle estatístico) tais como: preocupação com a satisfação do cliente; conceito de aperfeiçoamento contínuo[93]; envolvimento e participação de todos os funcionários, desde a alta gerência até o escalão mais baixo da empresa; valorização do respeito ao indivíduo.

O CQT representa mais do que uma simples utilização de metodologias, técnicas, sistemas ou ferramentas: é uma filosofia organizacional expressa através de ações da gerência, de cima para baixo, que focalizam o processo de organização como um todo e buscam a vantagem competitiva a longo prazo, tendo como armas estratégicas a qualidade, o respeito, a participação e a confiança de todos os funcionários.

A filosofia do CQT teve um grande impacto nas práticas de engenharia e gerência, o que serviu como base para a evolução aos atuais sistemas da qualidade.

Os sistemas da qualidade proporcionam os instrumentos necessários para assegurar que os requisitos e atividades especificados sejam acompanhados e verificados de uma maneira planejada, sistemática e documentada. Deste modo, estabelecer um sistema da qualidade não significa aumentar ou reduzir a qualidade dos serviços ou produtos, mas sim, aumentar ou reduzir a certeza de que os requisitos e atividades especificados sejam cumpridos.

A mudança do enfoque tradicional, antes baseado no controle e na garantia da qualidade, para o agora controle de gestão e melhoria de processos, que garante a produção da qualidade especificada logo na primeira vez, foi fundamental na evolução do conceito de qualidade.

---

[92] Controle da Qualidade Total – CQT, cuja sigla em inglês é *Total Quality Control – TQC*, também conhecido por *Total Quality Management – TQM*.

[93] Conceito de aperfeiçoamento contínuo: no modo de produção das indústrias japonesas, o dia não poderia passar sem que alguma melhoria fosse feita em algum lugar na empresa.

No contexto atual a qualidade não se refere mais à qualidade de um produto ou serviço em particular, mas à qualidade do processo como um todo, abrangendo tudo o que ocorre na empresa.

4.3.3 Mudanças nos modos de produção e necessidade de padronização

Atualmente é imprescindível que as empresas adotem um sistema de gestão da qualidade, pois atuar sob um sistema deste tipo fornece aos clientes a evidência tangível de sua preocupação com a qualidade, principalmente no que diz respeito am manter a qualidade alcançada.

As atuais tendências de globalização da economia, como a queda de barreiras alfandegárias no Mercado Comum Europeu – MCE, Mercosul e Nafta[94], tornam necessário que clientes e fornecedores, em âmbito mundial, usem o mesmo vocabulário no que diz respeito aos sistemas da qualidade.

A unificação deste vocabulário pode evitar problemas de incompatibilidade dos diferentes sistemas de gestão das empresas. A diferença nos sistemas de gestão pode gerar prejuízos de tempo e dinheiro, por interpretações errôneas.

Para evitar conflitos desta natureza emitiram-se normas internacionais sobre sistemas de gestão da qualidade. Estas normas foram emitidas pela *International Organization for Standardization*.

---

[94] Nafta – sigla de North America Free Trade Agreement: Tratado de Livre Comércio da América do Norte

4.4 Normas ISO

4.4.1 *International Standards Organization – ISO*

A *International Standards Organization*, conhecida mundialmente pela sigla *ISO*, é uma entidade não-governamental criada em 1947 com sede em Genebra, na Suíça.

Esta entidade tem como objetivo promover no mundo o desenvolvimento da normalização e atividades relacionadas, visando facilitar o intercâmbio internacional de bens e de serviços, bem como desenvolver a cooperação nas esferas intelectual, científica, tecnológica e de atividade econômica.

A instituição é responsável por propor e monitorar normas que representem e traduzam o consenso de diferentes países para a normalização de procedimentos, medidas e materiais em todos os domínios da atividade produtiva, estabelecendo padrões internacionais de trabalho e de garantia de qualidade nas empresas.

Os cerca de 90 membros da ISO são os representantes das entidades máximas de normalização nos respectivos países como, por exemplo: *American National Standards Institute – ANSI; British Standards Institute – BSI; Deutsches Institut für Normung – DIN*; *Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO*.

O trabalho técnico da *ISO* é conduzido por comitês técnicos, cuja sigla é TC. O estudo sobre a emissão das normas da série ISO 9000, por exemplo, foi feito pelo TC 176 durante o período 1983 a 1986. No Brasil o comitê técnico responsável pelas normas da série NBR-ISO 9000 é o CB 25, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, sociedade privada sem fins lucrativos.

Ressalta-se, a título de esclarecimento, que ISO é uma palavra derivada do grego *isos*, que significa igual. A palavra é comumente utilizada como prefixo em termos como: *isometria, qualidade de medidas e dimensões; e isonomia, igualdade das pessoas perante a lei*.

Nesta linha de raciocínio, a associação dos significados dos termos "iso" e "padrão" gerou a escolha de "ISO" como identificação mundial da *International Organization for Standardization,* evitando-se a infinidade de siglas resultantes da tradução do nome dessa organização para outras línguas.

As normas *ISO* não são de caráter imutável. As revisões destas normas têm a periodicidade de pelo menos uma vez a cada cinco anos.

Em 1987 a *ISO* editou, com base nos preceitos da *British Standard* – BS5750, as primeiras normas da série 9000, divididas em *ISO 9000, 9001, 9002, 9003 e 9004.*

4.4.1.1 Norma ISO – Séries 9000, 9001, 9002, 9003 e 9004

A norma *ISO 9000* é responsável por estabelecer orientações, recomendações e diretrizes no uso e escolha das normas 9001 a 9004 e verificar diferenças e inter-relações entre os principais conceitos da qualidade.

A norma *ISO 9001* descreve um modelo para sistemas de garantia da qualidade. Engloba as áreas de *projeto e desenvolvimento, produção, instalação e assistência técnica* e é a mais abrangente nas relações contratuais. Destina-se a empresas que fornecem os itens citados acima e outros especiais.

A norma *ISO 9002* refere-se à garantia da qualidade em produção, instalação e serviço pós-venda, não incluindo o projeto. É utilizada por empresas que produzem itens de catálogo ou prestam serviços de acordo com especificações existentes. É de uso contratual.

A norma *ISO 9003* proporciona modelo para garantia de qualidade em inspeções, testes e ensaios finais para empresas cuja produção não inclua processos especiais, isto é, quando for fácil separar itens conformes e não-conformes na inspeção final. É de uso contratual.

A norma *ISO 9004* fornece orientações para a gestão de qualidade e elementos do sistema da qualidade de uso interno das organizações, não

destinadas a fins contratuais, reguladores ou de certificação. É de uso voluntário para estabelecer as diretrizes.

Pode-se dizer que as normas da série *ISO 9000* representam um modelo de três camadas, em que a *ISO 9001* engloba a *ISO 9002* que, por sua vez, engloba a *ISO 9003*.

A decisão sobre qual das normas contratuais da série *ISO 9000* utilizar depende da finalidade das atividades da indústria em questão. A *ISO 9002* é a mais apropriada para a maioria das fábricas baseadas em processos de manufatura bem estabelecidos. A *ISO 9001,* por sua vez, é indicada para processos que envolvem trabalhos de pesquisa e desenvolvimento. Na prática, a *ISO 9003* não é mais utilizada por causa das limitações que apresenta.

As normas *ISO 9000* podem ser utilizadas por qualquer tipo de empresa, grande ou pequena, de caráter industrial, prestadora de serviços ou mesmo uma entidade governamental.

Entretanto, deve-se enfatizar que as normas da série *ISO 9000* referem-se apenas ao sistema de gestão da qualidade de uma empresa, e não às especificações dos produtos ou serviços. Assim, o fato de um produto ou serviço estar certificado segundo as normas *ISO 9000* não significa que terão maior ou menor qualidade em relação aos similares. As normas *ISO 9000* não conferem qualidade extra a um produto ou serviço; garantem apenas que estes apresentarão sempre as mesmas características e o mesmo padrão de qualidade.

As normas individuais da série *ISO 9000* podem ser divididas em dois grupos distintos: de diretrizes e de normas contratuais.

As normas de *diretrizes* apresentam os critérios para seleção e uso das normas *ISO 9000* e para a implementação de um sistema de gestão de qualidade, caso da *ISO 9004*. Esta última usa frases do tipo: "O sistema de qualidade deve...".

Normas contratuais são assim chamadas por se tratarem de modelos para contratos entre fornecedor, que é a empresa em questão, e o cliente. São as normas *ISO 9001, ISO 9002, ISO 9003* e *ISO 9004* e utilizam frases do tipo: "O fornecedor deve...".

Vale lembrar que as empresas só podem ser certificadas em relação às normas contratuais, ou seja, *ISO 9001, ISO 9002, ISO 9003* e *ISO 9004*.

Alguns dos benefícios trazidos para uma empresa certificada pelas normas da série *ISO 9000* são: abertura de novos mercados; maior conformidade e atendimento às exigências dos clientes; menores custos de avaliação e controle; melhor uso de recursos existentes; aumento da lucratividade; maior integração entre os setores da empresa; melhores condições para acompanhar e controlar os processos; e diminuição dos custos de re-manufatura.

4.4.1.2 Normas ISO 8402, ISO 10011 e ISO 18000

Existem outras normas que complementam a Série ISO-9000, como a *ISO 8402* e a *ISO 10011.* Há ainda normas em elaboração e duas que já fazem parte do cotidiano da sociedade, a ISO 18000 e a ISO 14000.

A *ISO 8402* foi criada para apresentar o vocabulário da qualidade e auxiliar a compreensão da norma 9000. Nesta norma encontram-se relacionados os conceitos e a terminologia da qualidade, incluindo definições e palavras-chave.

A *ISO 10011* define as diretrizes para a auditoria de sistemas da qualidade, e para uma série de guias ISO pertinentes à certificação e registro de sistemas da qualidade.

A norma *ISO 18000* trata das questões relacionadas à segurança e à saúde do trabalhador.

4.4.1.3 Norma ISO 14000

A norma *ISO 14000* estabelece critérios para implantação e certificação de *sistemas de gestão ambiental*.

O *sistema de gestão ambiental* descrito na *ISO 14000* aplica-se a aspectos ambientais de forma que a organização possa controlá-los e

sobre os quais se espera que tenha influência. A norma em si não declara critérios específicos de desempenho ambiental.

As empresas e entes de vários segmentos buscam alcançar e demonstrar desempenho ambiental eficaz. Uma das maneiras de fazê-lo é controlando os impactos ambientais de suas atividades, produtos e ou serviços. As auditorias e análises críticas do meio ambiente auxiliam a encontrar e mensurar tais impactos. Contudo, mesmo sendo essas ferramentas bastante úteis, não são suficientes ou completas em abrangência. Para que a organização possa efetivamente atender aos objetivos de gestão ambiental, as auditorias devem fazer parte de um contexto de trabalho mais amplo – um sistema de gerenciamento estruturado que seja integrado com a atividade de gerência total.

A certificação *ISO 14000* não garante que uma empresa ou ente em particular, alcance o melhor desempenho ambiental possível. Ela somente atesta que foram instalados os elementos básicos de um sistema de gestão ambiental. As melhorias contínuas a que se faz referência na norma reportam-se às aplicadas no sistema gerencial, e não no desempenho ambiental diretamente.

A finalidade principal de um sistema de gestão ambiental é fornecer a uma organização um processo estruturado e um contexto de trabalho com os quais ela possa alcançar e controlar sistematicamente o nível de desempenho ambiental que estabelecer para si. O nível real de desempenho, os sucessos e o resultado em relação a todo o entorno dependem do contexto econômico, da regulamentação e de outras circunstâncias que influenciam direta e indiretamente o processo.

4.4.2 A indústria do alumínio e a preservação do meio ambiente[95]

Consciente da importância da gestão ambiental para o desenvolvimento sustentável, a indústria do alumínio é reconhecida no Brasil por diversas iniciativas derivadas da aplicação de políticas e práticas de elevado padrão, como é o caso do *Sistema de Gestão Ambiental – SGA*.

O Sistema de Gestão Ambiental confere, por si só, às empresas a certeza de desenvolver suas operações em parâmetros compatíveis com a preservação do meio ambiente. Com o Sistema de Gestão Ambiental implantado, as condições de qualificação para a ISO 14001 estão asseguradas, ficando a critério de cada empresa a decisão de homologá-la por meio da certificação.

Os princípios do desenvolvimento sustentável estão disseminados em todas as empresas dedicadas à mineração de bauxita no Brasil. Essas empresas atuam de forma responsável no uso de recursos naturais, ao adotar processos compatíveis com a preservação do meio ambiente na exploração das jazidas e ao reabilitar as áreas mineradas, vencendo desafios como o da restauração de importantes ecossistemas[96].

A indústria do alumínio, em seu processo[97] de produção, busca uma operação eficiente e competitiva que requer a redução do consumo de recursos naturais e energia, bem como a minimização de emissões e resíduos industriais. Ou seja, uma operação eficiente deve estar totalmente alinhada aos princípios do desenvolvimento sustentável.

As áreas de disposição de resíduos de bauxita (decorrentes do processo de produção de alumina) são reabilitadas, recebendo espécies nativas e monitoramento da drenagem superficial e das águas subterrâneas (lençol freático).

---

95 Fonte: Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da ABAL (2000). *Alumínio para futuras gerações.*

96 Ecossistema: Conjunto dos relacionamentos mútuos entre determinado meio ambiente e a flora, a fauna e os microorganismos que nele habitam, e que incluem os fatores de equilíbrio geológico, atmosférico, meteorológico e biológico.

97 Processo: maneira pela qual se realiza uma operação, segundo determinadas normas; método, técnica; processo manual; processo mecânico.

Para assegurar a proteção do solo e dos mananciais subterrâneos, os lagos ou áreas de resíduos de bauxita são revestidos internamente por dupla camada de impermeabilizante (argila e PVC). Sistemas de drenagem de fundo permitem recolher a água com soda, bombeando-a para ser reciclada no processo. No sistema de drenagem superficial a água neutralizada é lançada ao meio ambiente. Uma vez cheios, os lagos de resíduos são totalmente recuperados, segundo modernas técnicas, para se integrar à paisagem natural, com permanente monitoramento das águas subterrâneas, mesmo após o final do processo de reabilitação.

No aspecto de utilização de recursos naturais, destaca-se uma queda no consumo de água nos três últimos anos, devido a melhorias no processo e à qualidade da bauxita.

A indústria brasileira de alumínio vem se antecipando à *tendência de redução do consumo de água*, tendo em vista a preocupação mundial quanto à escassez deste recurso, e está alinhada ao foco global sobre uso e preservação dos recursos hídricos.

As *taxas de emissões atmosféricas* oriundas da refinaria também têm registrado queda nos últimos três anos, graças ao esforço contínuo na busca de padrões e tecnologias de controle de material particulado nas caldeiras e fornos de calcinação de alumina.

A redução do consumo e a geração própria de energia elétrica são fatores de *sustentabilidade* e *competitividade* para a indústria de alumínio. Segundo o *International Aluminium Institute* – IAI, no mundo, entre os produtores de alumínio primário, 27% têm energia própria, 55% utilizam recursos hídricos, 30% carvão e 15% gás. No Brasil, 100% da energia elétrica consumida na produção de alumínio primário é proveniente de hidrelétricas, uma fonte energética considerada limpa e renovável, conforme visto anteriormente.

A indústria brasileira do alumínio está comprometida também em *reduzir o impacto ambiental das suas emissões que contribuem para o efeito estufa*, mantendo posição bastante favorável em relação aos principais produtores mundiais. Para isso, tem se empenhado no controle e redução de gases resultantes dos efeitos anódicos, conhecidos como perfluorcarbonos – PFC´s.

Na reciclagem[98] do alumínio, somente 5% destes gases são gerados. Hoje, 35% do alumínio consumido ao redor do mundo são produzidos a partir da reciclagem de sucata. O Brasil já ocupa o segundo lugar no *ranking* mundial de reciclagem de latas de alumínio, superado apenas pelo Japão.

As empresas representadas pela ABAL participaram da elaboração desta solução, que se tornou referência para a Resolução do CONAMA nº 264, de 26/08/99, publicada no Diário Oficial da União de 20/03/2000, válida em todo o território nacional. O setor continua buscando junto a órgãos ambientais, centro de pesquisas e universidades outras alternativas de co-processamento e reaproveitamento deste resíduo, que possui alto valor energético.

4.5 Certificação

Certificação é um conjunto de atividades desenvolvidas por um organismo independente da relação comercial, com o objetivo de atestar publicamente, por escrito, que determinado produto, processo ou serviço está em conformidade com os requisitos especificados. Estes requisitos podem ser nacionais, estrangeiros ou internacionais.

As atividades de certificação podem envolver: análise de documentação, auditorias e inspeções na empresa; coleta e ensaios de produtos, no mercado e/ou na fábrica, com o objetivo de avaliar a conformidade e sua manutenção.

A certificação não é uma ação isolada e pontual, mas sim um processo que se inicia com a conscientização da necessidade da qualidade para a manutenção da competitividade e conseqüente permanência no mercado, passando pela utilização de normas técnicas e pela difusão do conceito de qualidade por todos os setores da empresa, abrangendo seus aspectos operacionais internos e o relacionamento com a sociedade e o ambiente.

---

[98] Reciclagem: repetição de uma operação sobre uma substância com o fim de melhorar propriedade ou aumentar o rendimento da operação global.

Marcas e certificados de conformidade da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT são indispensáveis na elevação do nível de qualidade dos produtos, serviços e sistemas de gestão. A certificação melhora a imagem da empresa e facilita a decisão de compra para clientes e consumidores.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT é um organismo nacional de certificação reconhecido internacionalmente. Todo o processo de certificação está estruturado em padrões internacionais, de acordo com *ISO/IEC – Guia 62/1997*. As auditorias são realizadas atendendo às normas *ISO 10011* e *ISO 14011*, garantindo um processo reconhecido e seguro. A ABNT dispõe também de um quadro de técnicos capacitados e treinados para realizar avaliações uniformes, garantindo maior rapidez e confiança nos certificados.

Fundada em 1940, a ABNT é uma entidade privada, independente e sem fins lucrativos, que atua na área de *Normalização e Certificação*, atualizando-se constantemente e desenvolvendo *know-how* próprio. É reconhecida pelo governo brasileiro como *Fórum Nacional de Normalização,* além de ser uma das fundadoras e a única representante da *International Organization for Standardization – ISO* no Brasil.

A entidade é também credenciada pelo *Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO*, o qual possui acordo de reconhecimento com os membros do *International Accreditation Forum* – IAF para certificar *Sistemas da Qualidade ISO 9000* e *Sistemas de Gestão Ambiental – ISO 14001*, dentre outros diversos produtos e serviços.

Por meio de acordos com organismos congêneres, os certificados emitidos pela ABNT são aceitos na Europa, Estados Unidos da América e outros países da América do Sul. Para a fabricação dos perfis que serão utilizados nas esquadrias de alumínio são produzidos dentro das normas estabelecidas pela ABNT. A certificação dos produtos pode ser de responsabilidade dos produtores de alumínio primário ou das próprias indústrias de esquadrias, cujos produtos devem estar de acordo com as exigências estabelecidas pelas normas.

4.6 O Código de Defesa do Consumidor e a atividade da construção civil

A seguir faz-se uma breve análise do Código de Defesa do Consumidor com o objetivo principal de ressaltar a aplicação das normas do CDC à atividade de construção civil. Todos aqueles que formam a cadeia produtiva desta atividade – projetistas, clientes, proprietários, construtores, fornecedores, etc. – devem observar as regras básicas que regem esta relação de consumo, tais como direitos e responsabilidades.

Por estas razões, os princípios norteadores das relações de consumo, tais como boa fé e eqüidade nos contratos, dever de informar e de fornecer serviços e produtos seguros e de qualidade comprovada, deverão também fazer parte não somente do código de ética profissional, mas da postura intrínseca dos profissionais envolvidos no processo.

O *Código de Defesa do Consumidor – CDC*, lei número 8.078, de 11 de setembro de 1990, regula as relações verticais de consumo entre fornecedores e consumidores, numa ordem de hierarquia vertical que tem no topo o fabricante, seguido do distribuidor e do comerciante até chegar ao consumidor final.

Tem natureza de norma de ordem pública e de interesse social, como dispõe o art. 1º do CDC, principalmente porque é instrumento para a concretização dos princípios da Política Nacional de Relações de Consumo, em atendimento ao mandamento constitucional do artigo 5º, inciso XXXII e do artigo 170º da Constituição Federal de 1988, em que se reconhece a vulnerabilidade do consumidor no mercado de consumo e procura harmonizar as relações entre consumidor e fornecedor (art. 4º do CDC).

Pelo art. 3º do CDC, a indústria da construção civil, conforme o caso, enquadra-se como fornecedora de bens e serviços. Conseqüentemente, classifica-se como praticante de relações de consumo, situação em que se aplicam as regras do CDC.

Art. 3º do CDC: "*Fornecedor é toda pessoa física ou jurídica, pública ou privada, nacional ou estrangeira, bem como os entes*

despersonalizados, que desenvolvem atividades de produção, montagem, criação, construção, transformação, importação, exportação, distribuição ou comercialização de produtos ou prestação de serviços."

Consumidor é o destinatário final dos bens e serviços, nos termos do art.2º do CDC. Assim, são considerados consumidores tanto os compradores individuais (pessoas físicas) como as empresas (pessoas jurídicas), sejam elas privadas ou públicas, administrações públicas (prefeituras, governos estaduais e União) e suas autarquias, desde que adquiram a obra (produto) ou serviço para uso próprio, sem visar sua comercialização com terceiros ou sua introdução em outro bem produzido.

Art. 2º do CDC*: "Consumidor é toda pessoa física ou jurídica que adquire ou utiliza produto ou serviço como destinatário final. Parágrafo único: Equipara-se o consumidor a coletividade de pessoas, ainda que indetermináveis, que haja intervindo nas relações de consumo".*

Produto é qualquer bem, móvel ou imóvel, material ou imaterial. *Serviço* é qualquer atividade fornecida no mercado de consumo, mediante remuneração.

O exercício da engenharia civil estabelece uma relação de consumo fornecedor–consumidor. Neste sentido, o entendimento da diferença conceitual entre fornecedores e consumidores é muito importante, uma vez que as empresas de construção civil ora se enquadram numa categoria, ora noutra. Por exemplo, as construtoras e imobiliárias, quando compram imóvel para uso próprio, são consideradas consumidoras, mas, quando compram o imóvel para revenda a outro usuário final, serão consideradas fornecedoras.

À luz das determinações dos artigos 17º e 29º do CDC, vale frisar que terceiros não vinculados à relação contratual de consumo e vítimas das práticas ilícitas do fornecedor, cuja ação tenha afetado sua saúde ou segurança, são considerados, para os efeitos dessa norma, consumidores. É o caso do proprietário do imóvel vizinho que teve paredes de sua casa danificadas pelos serviços de fundação da obra de engenharia, ou o transeunte que sofre descarga elétrica por existirem condutores elétricos descobertos.

Art. 17º do CDC: *"Para os efeitos desta Seção, equiparam-se aos consumidores todas as vítimas* do *evento."*

Art. 29º do CDC: *"Para os fins deste Capítulo e* do *seguinte, equiparam-se aos consumidores todas as pessoas determináveis ou não, expostas às práticas nele previstas."*

A partir da análise das implicações legais do enquadramento do exercício da engenharia civil às regras do CDC, pode-se anotar, resumidamente, as seguintes conseqüências ao exercício da atividade ao se submeter às determinações do Código de Defesa do Consumidor: a responsabilidade civil do construtor pelos danos causados pelo produto ou serviço executado; a obrigatoriedade em informar ao usuário sobre especificações técnicas do produto e os riscos e cuidados com a utilização deste, atendendo, assim, ao princípio da transparência nas relações interpartes; a submissão aos vários direitos do consumidor, caso o construtor use de má fé, imprudência, imperícia, negligência, abuso ou obscuridade, tais como direito a devolução e rescisão de contrato, nulidade de cláusulas abusivas, abatimento no preço, indenização por perdas e danos, recuperação de serviço ou obra mal executada, etc.

De fato, estão explícitas nos artigos 6º e 31º do CDC a responsabilidade do construtor pelos danos causados pelo produto ou serviço executado, assim como a necessidade de informar o usuário sobre especificações técnicas do produto e riscos e cuidados com a utilização deste, o que deve constar no documento "Manual do Proprietário", de confecção obrigatória. Isto implica dizer que a legislação vigente obriga o construtor a fazer uso de normas técnicas, como fornecedor do produto ou serviço, inclusive como garantia contratual aos próprios fornecedores.

Também estão previstas no CDC normas de proteção ao consumidor contra a publicidade enganosa e abusiva, métodos comerciais coercitivos ou desleais, bem como práticas e cláusulas abusivas ou impostas no fornecimento de produtos e serviços. Cláusulas abusivas são as que colocam o consumidor em posição de desvantagem na relação contratual, ferindo, assim, o princípio do equilíbrio de direitos e obrigações entre o fornecedor (no caso, o contratado para a execução da obra ou serviço) e o consumidor (o contratante ou usuário do serviço ou obra executada).

Como se observa, o legislador procurou defender o consumidor contra propaganda enganosa, obrigando o fornecedor a cumprir os atributos e serviços oferecidos através de anúncios, de modo que a publicidade do produto ou serviço integra o contrato, como se depreende do art. 30 do CDC. Assim, se a propaganda de venda de um determinado empreendimento afirma que o comprador da unidade residencial terá direito ao projeto gratuito de ambientação do referido imóvel, o comprador terá direito a tal projeto, ainda que isto não conste na cláusula contratual de promessa de compra e venda.

Além disso, o CDC dá ao consumidor a prerrogativa de anular cláusulas consideradas abusivas. Preocupa-se em relacionar algumas hipóteses destas, não de forma exaustiva, mas meramente exemplificativa (no art.51º).

Por exemplo, são nulas as cláusulas que: isentem ou diminuam a responsabilidade do fornecedor por vícios de qualquer natureza nos produtos e serviços, ou resultem em renúncia ou disposição de direito que, por força desta lei, é inegociável, irrenunciável e indisponível; possibilitem a perda de quantia já paga pelo consumidor; transfiram a responsabilidade do fornecedor a terceiros; criem obrigação iníqua, abusiva, incompatível com a boa-fé e a eqüidade; permitam ao fornecedor modificações ou cancelamento de obrigações contratuais de maneira unilateral.

Um dos grandes benefícios trazidos pelo Código de Defesa do Consumidor diz respeito à inversão do ônus da prova: à construtora (fornecedora) caberá provar que os fatos narrados pelo adquirente do imóvel (consumidor) não espelham a verdade, isto porque na relação de consumo, o consumidor é considerado a parte hipossuficiente (art. 6º, VIII, CDC) e, portanto, com proteção especial pelo legislador.

Além disso, o consumidor tem direito a modificar as cláusulas contratuais que o coloquem em desvantagem, ou seja, incompatíveis com a boa-fé ou eqüidade (art. 6º, V, do CDC).

Um aspecto de grande importância diz respeito à equiparação da vítima do dano construtivo ao consumidor para os efeitos da ação reparatória (art.17º do CDC). Significa que o terceiro prejudicado terá

direito a ingressar com ação indenizatória de perdas e danos contra o construtor que o lesou, pois a questão foge da esfera de interesses entre particulares para ter repercussão mais ampla, de segurança pública.

O *Código Civil Brasileiro* estabelece que os *materiais destinados a alguma construção*, enquanto não forem empregados, conservam a sua qualidade de bens móveis. Materiais provenientes de demolição também readquirem esta qualidade. Após a instalação por prestadores de serviços, adquirem a qualidade de bens materiais imóveis. Estes dados exemplificam os conceitos de produtos e serviços.

O *Código de Defesa do Consumidor*, no capítulo III, trata dos direitos básicos do consumidor, e no capítulo IV, da qualidade de produtos e serviços, da prevenção e da reparação dos danos.

Já o capítulo IV do CDC é dividido em quatro seções, das quais se destacam as seções II, III e IV.

A seção II trata da *responsabilidade pelo produto e serviço*, destacando-se os seguintes artigos:

O artigo 12º estabelece que: "O fabricante, o produtor, o construtor, nacional ou estrangeiro, e o importador respondem, independentemente da existência de culpa, pela reparação dos danos causados aos consumidores por defeitos decorrentes de projeto, fabricação, apresentação ou acondicionamento de seus produtos, bem como por informações insuficientes ou inadequadas sobre a utilização e riscos."

O artigo 14º estabelece que: "O fornecedor de serviços responde, independentemente da existência de culpa, pela reparação dos danos causados aos consumidores por defeitos relativos à prestação dos serviços, bem como por informações insuficientes ou inadequadas sobre sua fruição e riscos."

O produto ou serviço é então considerado *defeituoso* quando não fornece a segurança que o consumidor dele pode esperar.

A seção III trata da *responsabilidade por vício do produto e do serviço*, destacando-se os seguintes artigos:

O artigo 18º estabelece que: "Os fornecedores de produtos de consumo duráveis ou não duráveis respondem solidariamente pelos vícios de qualidade ou quantidade que os tornem impróprios ou

inadequados ao consumo a que se destinam ou lhes diminuam o valor, assim como por aqueles decorrentes da disparidade, ou seja, quando se anuncia uma coisa e vende-se outra."

O artigo 20º estabelece que: "O fornecedor de serviços responde pelos vícios de qualidade que os tornem impróprios ao consumo ou lhes diminuam o valor, assim como por aqueles decorrentes da disparidade com as indicações constantes da oferta ou mensagem publicitária."

A seção IV trata da *decadência e da prescrição*, destacando-se os seguintes artigos:

O artigo 26º estabelece o *prazo* para reclamar, após a detecção de um vício aparente ou de fácil constatação. Conforme já mencionado, vício de produto ou serviço é aquilo que o torna impróprio para o consumo, diminui o seu valor ou está em desacordo com as informações de oferta ou mensagem publicitária.

O direito de reclamar pelos vícios aparentes ou de fácil constatação perde o efeito em: "Noventa dias, tratando-se do fornecimento de serviço e de produtos duráveis, sendo que a contagem do prazo decadencial inicia-se a partir da entrega efetiva do produto ou do término da execução dos serviços."

Os *fabricantes de esquadrias* devem atuar de maneira ética e responsável, comercializando a produção em conformidade com o *Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat – PBQP-H*, bem como respeitando a lei estabelecida pelo Código de Defesa do Consumidor, atendo-se inclusive aos pormenores vinculados ao capítulo V, transcrito a seguir.

Capítulo V, Seção IV – Das Práticas Abusivas – Artigo 39: É vedado ao fornecedor de produtos ou serviços: Item VIII – Colocar no mercado qualquer produto ou serviço em desacordo com as normas expedidas pelos órgãos oficiais competentes ou, se normas específicas não existirem, pela *Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT* ou outra entidade credenciada pelo *Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Conmetro*.

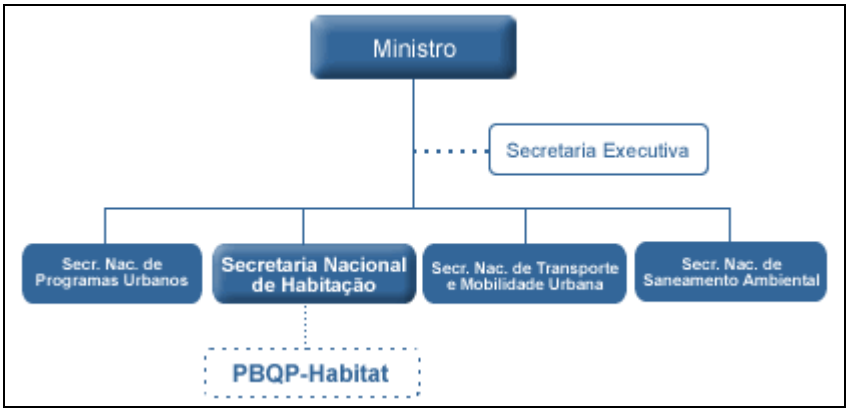
4.7 Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade – Habitat: PBQP-H

No contexto da produção da construção, programas da qualidade vêm atuando com reconhecida eficácia. O *Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade* foi criado em 1991, com a finalidade de difundir os novos conceitos de qualidade, gestão e organização da produção, que revolucionam a economia mundial e são indispensáveis à modernização e à competitividade das empresas brasileiras.

Reformulado a partir de 1996 para adquirir mais agilidade e abrangência setorial, o programa visa descentralizar suas ações e ampliar o número de parcerias, sobretudo com o setor privado. Para fortalecer essa nova diretriz no âmbito do setor público e envolver também os ministérios setoriais, o governo delegou a presidência do programa à Casa Civil, mantendo as tarefas de secretaria executiva com o Ministério das Cidades – MDIC, que atualmente assume na integralidade a condução do PBQP.

O PBQP-Habitat está inserido no contexto do Ministério das Cidades, mais especificamente na Secretaria Nacional de Habitação, como mostra a figura 25, inserida a seguir.

Figura 25: Organograma do Ministério das Cidades e o PBQP-H



Fonte: MINISTÉRIO DAS CIDADES – MDIC.

O Programa foi instituído em 18 de dezembro de 1998 com a assinatura da Portaria nº. 134, do então Ministério do Planejamento e Orçamento, instituindo o *Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade na Construção Habitacional – PBQP-H*.

No ano 2000 foi estabelecida a necessidade de uma ampliação do seu escopo, que passou a integrar o Plano Plurianual – PPA, e a partir de então englobou também as áreas de saneamento e infra-estrutura urbana. Assim, o "H" do programa passou de "Habitação" para "Habitat", conceito mais amplo e que reflete melhor sua nova área de atuação.

O *PBQP-Habitat* se propõe a organizar o setor da construção civil em torno de duas questões principais: a melhoria da qualidade do *habitat* e a modernização produtiva.

A busca por estes objetivos envolve um conjunto bastante amplo de ações, entre as quais se destacam: qualificação de construtoras e de projetistas, *melhoria da qualidade de materiais*, formação e re-qualificação de mão-de-obra, normalização técnica, capacitação de laboratórios, aprovação técnica de tecnologias inovadoras e comunicação e troca de informações.

Desta forma, espera-se aumento da competitividade no setor, melhoria da qualidade de produtos e serviços, redução de custos e otimização do uso dos recursos públicos.

O objetivo geral do PBQP-H é elevar os patamares da qualidade e produtividade da construção civil por meio da criação e implantação de mecanismos de modernização tecnológica e gerencial, contribuindo para ampliar o acesso à moradia para a população de menor renda. Para o futuro, o programa visa criar um ambiente de isonomia competitiva que propicie soluções mais baratas e de melhor qualidade para a redução do déficit habitacional no país.

Como objetivos específicos do Programa destacam-se: estimular o inter-relacionamento entre agentes do setor; promover a articulação internacional com ênfase no Cone Sul; coletar e disponibilizar informações do setor e do PBQP-H; *fomentar a garantia da qualidade de materiais, componentes e sistemas construtivos*; fomentar o desenvolvimento e a implantação de instrumentos e mecanismos de

garantia da qualidade de projetos e obras; estruturar e animar a criação de programas específicos visando a formação e a re-qualificação de mão-de-obra em todos os níveis; promover o aperfeiçoamento da estrutura de elaboração e difusão de normas técnicas, códigos de práticas e códigos de edificações; *combater a não-conformidade intencional de materiais, componentes e sistemas construtivos*; apoiar a introdução de inovações tecnológicas; promover a melhoria da qualidade de gestão nas diversas formas de projetos e obras habitacionais.

Formalmente inserido como um dos programas do Plano Plurianual 2004-2007 (PPA), o PBQP-H é também um dos instrumentos do governo federal para cumprimento dos compromissos firmados pelo Brasil quando da assinatura da Carta de Istambul, durante a Conferência do Habitat II, em 1996.

Fazem parte do programa: diversas entidades representativas de construtores, projetistas, fornecedores, fabricantes de materiais e componentes, comunidade acadêmica e entidades de normalização, além do governo federal.

Esta parceria se dá de forma transparente, baseada fundamentalmente em discussões técnicas, respeitando a capacidade de resposta do setor e as diferentes realidades nacionais. Neste sentido, não é um programa que se pretende impor, mas sim que vai sendo construído sobre consensos e em resposta a um diagnóstico sobre os problemas existentes, estabelecidos conjuntamente pelas entidades participantes.

O *PBQP-Habitat* é de adesão voluntária e gestão compartilhada, que respeita as características dos setores industriais envolvidos e as desigualdades regionais.

O programa procura se articular com o setor privado, a fim de que este se responsabilize pela gestão compartilhada. Neste sentido, sua estrutura envolve, desde o início, entidades representativas do setor, compostas por duas Coordenações Nacionais, que desenham as diretrizes do programa em conjunto com o Ministério das Cidades. Tais diretrizes são estabelecidas em fórum próprio, de caráter consultivo, o Comitê Nacional de Desenvolvimento Tecnológico da Habitação – CTECH, cuja presidência é rotativa entre entidades do governo e do setor.

A estrutura matricial do programa permite também a inserção e/ou exclusão de projetos na medida em que se fizer necessário.

Cada projeto é desenvolvido pelo governo federal em conjunto com especialistas, entidades do setor, consultores e setor privado, e tem um responsável denominado Gerente do Projeto. Contam ainda com o apoio de um técnico da Coordenação Geral e do GAT (Grupo de Assessoramento Técnico), que faz o papel de facilitador do processo e é o responsável por compatibilizar as ações entre os projetos.

A consultoria técnica de qualificação é realizada em parceria com o *Centro de Tecnologia em Edificações – CTE* e o *Nacional Bureau de Serviços – NBS*. O *Sindicato da Indústria da Construção Civil de Pequenas Estruturas – Sindicon* oferece assessoria técnica a custos reduzidos para as empresas associadas ou que venham a aderir ao *PBQP-H*.

Ao aderirem ao *PBQP-H,* as *empresas* têm a oportunidade de aumentar sua competitividade por meio da redução de desperdícios, melhor formação dos profissionais, acesso a projetos, materiais e componentes de melhor qualidade e adequação às normas técnicas. Também atendem às disposições do Código de Defesa do Consumidor, evitando as penalidades previstas para as empresas e fornecedores que comercializam produtos em não-conformidade com as normas brasileiras.

O *contratante do setor público* que participa do *PBQP-H* tem oportunidade de utilizar seu poder de compra para selecionar os fornecedores com maior qualidade, otimizando o uso dos recursos públicos, solicitando, no processo de licitação, os "Atestados de Qualificação".

O *consumidor* é beneficiado com o programa ao utilizar seu poder de compra, dando preferência às empresas que produzem com qualidade.

Os *requisitos para participar do programa* são: ser associado ao *Sindicon* e estar em dia com as contribuições social, patronal e sindical. A duração do programa é de 19 meses, no máximo. O organismo certificador credenciado e parceiro *Sindicon é o Det Norske Veritas – DNV*.

O desrespeito às normas técnicas constitui um dos mais sérios problemas enfrentados na construção civil no Brasil. Muitos produtos

colocados à disposição dos usuários não cumprem adequadamente as suas finalidades, interferindo negativamente no desempenho e durabilidade dos mesmos.

Objetivando o aumento da *qualidade das esquadrias de alumínio e o combate à não-conformidade intencional*, a Afeal, como entidade representante do setor e participante do *Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat – PBQP-H*, vem implementando o Programa Setorial da Qualidade – PSQ Esquadrias de Alumínio, envolvendo empresas fabricantes de esquadrias padronizadas e especiais.

O *PSQ – Esquadrias de Alumínio* é coordenado pela Afeal, com gerenciamento técnico da empresa TESIS – Tecnologia de Sistemas em Engenharia, consultoria especializada.

De um modo geral, o programa consiste em avaliar permanentemente o desempenho dos produtos, por meio da coleta de amostras em pontos de venda e no estoque do fabricante. As amostras coletadas são enviadas ao IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo que, por meio de ensaios, avalia a esquadria, verificando as especificações e aferindo se as normas técnicas aplicáveis estão sendo atendidas pelo fabricante. Com base nos resultados dos ensaios, são emitidos laudos de avaliação e trimestralmente os resultados são divulgados ao mercado por meio do relatório setorial do programa.

Face ao exposto neste capítulo 4, verifica-se a importância na adoção e uso das Normas Técnicas da ABNT, das Normas Série ISO 9000, ISO 6241, Certificação de Qualidade, Código de Defesa do Consumidor e PBQP-H, de maneira que se possa otimizar todo o processo de produção de esquadrias de alumínio.

CAPÍTULO 5

ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA PARA ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO

CAPÍTULO 5: ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA PARA ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO

5.1 Partes de uma esquadria

Uma *esquadria de alumínio* é composta basicamente pelos *perfis de alumínio* (que recebem *tratamento de superfície*), pelos *componentes ou acessórios* e pelos *vidros*. A figura 26 demonstra o detalhe, em corte, de uma janela de alumínio com duas folhas (de correr) formada de perfis de alumínio e vidro: uma persiana de enrolar e os componentes característicos desta tipologia. Na imagem é possível observar as partes que compõem a esquadria.

Figura 26: Partes de uma esquadria

Fonte: ALCOA ALUMÍNIO S. A. Catálogo de produtos.

Apresentam-se detalhadamente, a seguir, as características de cada uma das partes das esquadrias de alumínio: os perfis, os componentes ou acessórios e os vidros, ressaltando os principais aspectos a ser observados no momento da especificação de cada uma destas partes.

5.1.1 Perfis de alumínio

Os perfis de alumínio para fabricação das esquadrias são obtidos a partir do alumínio primário, cujo processo de produção, que tem a bauxita e a energia elétrica como insumos básicos, foi exposto no capítulo 2 desta Dissertação.

Em síntese, inicia-se o processo de produção do alumínio primário por meio da extração da bauxita, que é transformada em alumina. Ocorre então a redução da alumina em metal, por meio de eletrólise, em que há grande consumo de energia elétrica. O metal líquido, que sai dos fornos com pureza superior a 99,5% de alumínio, é misturado a outros componentes para a produção das ligas de alumínio. Finalmente, após a retirada de gases, o alumínio primário transforma-se nos produtos semimanufaturados: barras, vergalhões, rolos, lingotes e tarugos.

O alumínio primário na forma de tarugos será transformado através do processo de extrusão. É a partir da *extrusão*[98] do alumínio que ocorre a produção dos *perfis extrudados*, utilizados na fabricação das esquadrias.

Para a obtenção dos perfis, funde-se novamente a massa de alumínio, moldada pela extrusão. Esta etapa requer a utilização de prensas de última geração operadas por sistemas computadorizados e com grande capacidade de tonelagem e produtividade, bem como tecnologia aplicada à confecção das matrizes, as chamadas ferramentas de extrusão.

Depois de extrudados, os perfis são esticados para se obter uniformidade. Cortados em tamanhos adequados, vão para os fornos de envelhecimento, onde recebem tratamento térmico para adquirir resistência.

O processo de fabricação de perfis para esquadrias através da extrusão produz barras com comprimentos médios de seis metros, sendo

---

[98] Extrusão: Processo metalúrgico que consiste na deformação plástica a quente do material, fazendo-o passar, pela ação de um pistão, através do orifício de uma matriz que apresenta o contorno da seção do produto a se obter.

possível programar outros comprimentos de acordo com a necessidade. Tais barras são preparadas conforme orientações técnicas, atendendo, com sua composição, a todas as necessidades físico-químicas de um perfil para esquadrias.

As propriedades mecânicas e físicas dos perfis de alumínio para esquadrias variam de acordo com a liga e a têmpera, e são identificadas através de ensaios mecânicos em amostras selecionadas de produto. As propriedades mecânicas das ligas mais utilizadas em perfis para esquadrias estão relacionadas no quadro 29, apresentado a seguir.

Quadro 29: Propriedades mecânicas das principais ligas utilizadas em perfis para esquadrias

Liga e têmpera	LRT(1) MPa (N/mm^2) mínimo	LRT MPa (N/mm^2) máximo	LE(2) MPa (N/mm^2) mínimo	LE MPa (N/mm^2) máximo	Alongamento % (50 mm) mínimo	Dureza *Brinell* % (50 mm) Valor típico HB
6063-0		130			18	25
6063-T4A	110		60		14	50
6063-T5	145		105		8	60
6063-T6	205		170		8	73
6063-T6C	180		145		8	65

Fonte: Guia Técnico do Alumínio – Extrusão.

(1) LRT: Limite de Resistência à Tração.
(2) LE: Limite de Escoamento. Escoamento: deformação rápida e irreversível de um corpo, sem aumento apreciável da tensão que a causa.

Os perfis para as esquadrias de alumínio possuem secções transversais uniformes e se classificam em três categorias principais: *perfis sólidos,* cuja secção transversal não tem nenhum vazio totalmente circunscrito por metal; *perfis tubulares,* cuja secção transversal tem pelo menos um vazio totalmente circunscrito; *perfis semitubulares,* cuja secção transversal tem vazios parcialmente circunscritos por metal. A figura 27, a seguir, apresenta os tipos de perfis de alumínio.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CAPÍTULO 6: CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensino da arquitetura do sistema de *vedos* (vedações internas e externas) e do *sistema de vãos* (aberturas e esquadrias internas e externas) do edifício, no Departamento de Tecnologia da Arquitetura – Grupo Construção, da FAU-USP, segue a sistematização implantada pelo professor Ariosto Mila, e tornou-se referência para alguns cursos, escolas e faculdades da cidade de São Paulo. A partir dos ensinamentos do professor Ariosto, e sob a orientação do professor João Roberto Leme Simões, desenvolveu-se a Dissertação ora apresentada.

A sistematização proposta pelo professor Ariosto considera que o edifício é formado por órgãos, ou elementos, segundo a *Normalização Técnica*. Cada órgão é responsável por uma determinada função. Para assegurar o desempenho de cada uma destas funções, executam-se determinadas obras e serviços, utilizando-se *materiais*, técnicas e tecnologias.

Os órgãos *vedos* e *vãos* têm como funções, respectivamente, a *vedação* e a *comunicação dos ambientes internos e externos do edifício*. Ambos, conforme exposto, necessitam de obras e serviços, que são executados com determinados *materiais*, segundo determinadas técnicas e tecnologias para atender às *condições de desempenho técnico-construtivo* e à *qualidade* necessária para a satisfação dos usuários. Neste sentido, faz-se necessária a inserção, no ensino da arquitetura, do *uso dos materiais*, das técnicas e tecnologias nas fases de projeto, execução, uso, avaliação e manutenção do ambiente construído.

O *sistema de vãos* vincula-se ao órgão do edifício cuja função é a *comunicação entre os ambientes internos e externos*. Para assegurar o desempenho desta função utilizam-se: *esquadrias* (portas e janelas), lanternins, domos e cortinas vazadas. Os *materiais* utilizados são: madeira, aço, *alumínio*, PVC, vidros, concreto armado, argamassa armada, etc.

Segundo a *Norma ISO 6241 – Desempenho dos Edifícios*, dentre os requisitos dos usuários relacionados ao sistema de vãos destacam-se: a estabilidade, a segurança contra incêndio, a segurança em uso, a estanqueidade, a higrotermia, a pureza do ar, o conforto térmico, acústico e visual, a dinâmica, a higiene, a conveniência de espaços para usos específicos, a durabilidade e a economia. Iluminação, ventilação e insolação, cujas aberturas mínimas vinculam-se à área do piso do ambiente e estão explicitadas no Código de Obras da Cidade, constituem aspectos importantes a observar na definição das soluções para o sistema de vãos das edificações.

Observa-se, na prática, que a predominância do vão sobre o vedo tornou frágil o desempenho do edifício. O vão substituiu o vedo, razão pela qual torna-se necessário que os produtos destinados ao fechamento dos vãos apresentem desempenho compatível com as exigências técnicas requeridas conforme as condições de cada obra, de modo a propiciar a qualidade destes produtos e da edificação como um todo.

O ensino dos *sistemas de vãos e vedos* na arquitetura deve ser circunstanciado no *conhecimento dos atributos técnicos* e das condições de *desempenho dos materiais*, técnicas e tecnologias existentes no mercado.

Visando atender a esta necessidade de produzir registro didático a respeito dos *materiais que compõem o sistema de vãos*, esta Dissertação descreve o processo de produção do alumínio destinado à fabricação de esquadrias, relaciona os produtos de alumínio para a execução das esquadrias na construção civil, disponíveis no mercado brasileiro, conceitua a qualidade do material com base nas normas vigentes, apresenta as características vinculadas ao desempenho das esquadrias de alumínio e orienta o seu uso, demonstrando a significativa potencialidade de suas aplicações na construção civil.

A expectativa é que o presente trabalho contribua para que arquitetos e demais profissionais da construção civil ampliem seus conhecimentos a respeito do material, de modo a auxiliar na *especificação técnica, responsável e consciente, das esquadrias de alumínio.*

No trabalho de especificação técnica das esquadrias de alumínio, há diversos pontos relevantes que devem ser observados, dentre os quais destacam-se: a própria experiência dos profissionais de arquitetura, o conhecimento de todas as normas brasileiras pertinentes, bem como dos critérios de desempenho a considerar na definição destes produtos.

A experiência do profissional da construção civil pode determinar quais produtos não utilizar, em função de problemas enfrentados anteriormente. Profissionais preocupados com seus projetos verificam o desempenho dos produtos após sua instalação, evitando manter ou repetir o uso de produtos inadequados.

O conhecimento das normas brasileiras, que atualmente abrangem quase a totalidade dos pontos importantes sobre esquadrias de alumínio, permite ao profissional da construção civil elaborar um plano de verificação geral, no qual todos os aspectos relevantes são considerados.

É interessante salientar que as normas brasileiras não mencionam o nível de sofisticação da obra. O desempenho mínimo é exigido de todas as esquadrias, independentemente do padrão do imóvel. Nesse sentido, vale lembrar que o Código Brasileiro de Defesa do Consumidor responsabiliza todos os profissionais e empresas que participam do fornecimento de um produto ou serviço por não cumprir as normas regularmente vigentes no país. Para o Código de Defesa do Consumidor, as normas têm força de lei.

Quanto aos critérios de desempenho a considerar na definição das esquadrias de alumínio, estes estão de acordo com as normas elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Em síntese, as etapas para a elaboração da especificação técnica das esquadrias de alumínio, com base nos requisitos de desempenho, são descritas a seguir.

No *projeto arquitetônico* definem-se preliminarmente as dimensões dos vãos e as tipologias das esquadrias. Para os *dimensionamentos dos vãos* das esquadrias é recomendável consultar o *Código de Obras* de cada cidade.

Após a definição das tipologias, inserem-se no projeto executivo de arquitetura as *representações gráficas das esquadrias.*

Definidas as dimensões dos vãos e as tipologias, iniciam-se os estudos para a *escolha do produto a ser utilizado*. O desempenho das esquadrias deverá estar de acordo com as exigências estabelecidas pela *Norma NBR 10821/EB 1968: Caixilho para Edificação – Janela – Especificação,* bem como atender aos requisitos dos usuários propostos pela *Norma ISO 6241 – Desempenho dos Edifícios*.

Após o *cálculo do desempenho estrutural mínimo dos perfis de alumínio*, de acordo com a carga de ventos, a pressão de ensaio, as características da obra e as normas brasileiras, é possível definir o produto a ser adotado.

A definição das *espessuras mínimas dos perfis* será a base para a escolha da "família de produtos". Os produtos a adotar deverão atender aos requisitos de desempenho estabelecidos pelos cálculos obtidos de acordo com as características específicas de cada obra.

Realizada a escolha do produto, a próxima etapa da especificação é definir o *tipo de instalação das esquadrias*, que poderá ser efetuada com ou sem o uso de contramarcos.

A decisão seguinte na escolha das esquadrias refere-se ao *tipo de corte dos perfis* para montagem das folhas das esquadrias, que pode ser executado a 45 ou a 90 graus.

Na *especificação dos acabamentos*, é possível optar por três diferentes tipos de *tratamento de superfície* para os perfis de alumínio: anodização, jateamento com anodização ou pintura eletrostática a pó.

Prossegue-se a especificação das esquadrias, verificando a *qualidade dos componentes ou acessórios*.

E finalmente, após verificar a qualidade dos componentes, *seleciona-se a indústria de esquadrias*, responsável pela fabricação, montagem e instalação das mesmas.

A observação dos critérios de desempenho no trabalho de especificação técnica das esquadrias de alumínio permite a adequação do uso destes produtos ao tipo de edificação, considerando o padrão da obra e sua localização. Esta observância também promove o uso racional deste material, adequando suas dimensões de modo a evitar desperdícios.

O desempenho das esquadrias de alumínio contribui para a *qualidade da arquitetura,* cuja definição, segundo critérios subjetivos, é tarefa complexa. Entretanto, é possível simplificar a definição da qualidade da arquitetura a partir de suas características mensuráveis, considerando-se como de qualidade aquela em que a obra atende ao programa solicitado, cumpre o custo programado, aquela cuja edificação resultante é estável e os seus órgãos atendem às respectivas funções. Neste caso, as técnicas construtivas foram previstas corretamente e a obra funciona como o usuário pretendia, como o arquiteto a concebeu e como a construtora foi orientada para executá-la.

Uma vez atendidas todas as expectativas e anseios do cliente interpretados pelo arquiteto, para ser considerado de qualidade um bom *projeto arquitetônico* deve incorporar todas as áreas técnicas afins: cálculo estrutural, instalações hidráulicas, sanitárias, elétricas, eletrônicas, telefônicas, etc. O projeto de qualidade deve também conter implicitamente, em seu processo construtivo, coerência com a mão-de-obra local, estudo de custo fundamentado, *relações e listagens de todos os materiais* a serem empregados, custos e prazos previstos, organização administrativa de compras, entregas, pagamentos e, certamente, deve incorporar ao desenho conceitos culturais de cada sociedade.

A construção civil, conforme os dados apresentados no capítulo 3 desta Dissertação, participa em 18,4% do PIB no Brasil, configurando-se como uma atividade de grande importância e influência na economia brasileira. O segmento produtor de edificações caracteriza-se pela grande diversidade de insumos utilizados, provenientes de diferentes setores industriais. Além da própria indústria montadora, identifica-se o macrocomplexo da construção civil por meio de seis cadeias produtivas: extração e beneficiamento de materiais não-metálicos, *insumos metálicos*, madeira, cerâmica, cimento e insumos químicos. De acordo com esta abordagem destacam-se a integração destas cadeias e o *significativo volume no consumo do alumínio* como componente metálico.

Complementando as informações referentes à definição dos materiais no segmento de construção civil, pesquisas elaboradas pela FAU-USP relacionadas à avaliação pós-ocupação (APO) e à relação

ambiente–comportamento (RAC), demonstram que, quanto à especificação de materiais, o *Building Research Establishment* – BRE, em 1982, conclui que arquitetos, no desenvolvimento de seus projetos, desejam consultar trabalhos que sejam bem ilustrados e condizentes com suas atividades. Diagnosticou-se também, que os arquitetos orientam seus projetos a partir de breve fundamentação em catálogos técnicos, publicações na área de arquitetura e urbanismo, experiências anteriores, estereótipos, imagens, metas pessoais e regras domésticas.

Com base nos dados citados, observa-se que no momento do projeto, é preciso que as informações estejam claras, completas e atualizadas. Além disso, o acesso a elas deve ser fácil e rápido. Assim, a necessidade do arquiteto em conhecer os materiais disponíveis no mercado para o trabalho de especificação demonstra-se evidente, e o profissional terá sua tarefa facilitada se encontrar estas informações também nas bibliotecas universitárias, incorporando-as a sua formação acadêmica.

Neste sentido, estudos acadêmicos nesta área, isentos de qualquer tipo de viés mercadológico, e que possam servir de fonte de informações e enriquecimento profissional, tornam-se oportunos. Por estas razões, visando ampliar as informações a cerca dos produtos de alumínio para a construção civil, como plano para trabalhos futuros desta pesquisadora está a elaboração de tese de doutorado por meio da qual seja possível comprovar a relação custo *x* benefício do uso das esquadrias de alumínio, significativo fator de economia da edificação; bem como comprovar o desempenho das esquadrias de alumínio e, conseqüentemente, confirmar a qualidade destas como elementos do sistema de vãos.

Magda Netto dos Reis

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

Março de 2006

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

AFLALO, Roberto; GASPERINI, Gian Carlos. *25 Anos depois:* uma retrospectiva da obra de Groce, Aflalo e Gasperini Arquitetos. São Paulo: Pau Brasil, 1987.

ALCOA ALUMINUM COMPANY OF AMERICA. *Aluminum by Alcoa.* Alcoa Building – Pittsburg, 1969.

ALCOA. *Manual de Fabricación con Aluminio.* [s.i.]

ALIOTTI, Enzo *et al. Facciate continue:* Una Monografia. Milão: Tecnomedia, 1990.

ALLEN, Edward. *Como funciona un edificio.* Barcelona: Gustavo Gili, 1982.

ALTENPOHL, Dietrich G. *Aluminum:* technology, applications and environment. A profile of a modern metal – aluminum from within. The Aluminum Association; The Minerals, Metals & Materials Society – TMS. 6. ed. Published by The Aluminum Association and The Minerals, Metals & Materials Society, 1998.

ALUMINUM IN BUILDING – NORTHERN. *Aluminum Company Limited.* [s.i.]

AMARAL, Cláudio Silveira. *O espaço de produção administrativa em São Paulo.* Dissertação (Mestrado). São Paulo: FAUUSP, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA – ABCI. *Manual técnico de caixilhos, janelas:* aço, alumínio, vidros, madeira, acessórios, juntas e materiais de vedação. São Paulo: Pini, 1991.

ABAL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. *Tecnologia da Indústria do Alumínio.* [s.i.]

_____. *Guia técnico do alumínio:* laminação. São Paulo: Abal, v. 2, 1994. 138 p.

_____. *Guia técnico do alumínio:* tratamento de superfície. São Paulo, v. 3, 1996. 180 p.

_____. *Guia técnico do alumínio:* manuseio do alumínio líquido. São Paulo, v. 4, 2000. 96 p.

_____. *Anuário estatístico ABAL,* 2001.

_____. *Guia técnico do alumínio:* extrusão. 2. ed. São Paulo: Abal, v. 1. 232 p., 2001.

_____. *Guia técnico do alumínio:* estruturas – perfis, chapas e telhas. São Paulo: Abal, v. 5, 2001. 96 p.

_____. *Guia técnico do alumínio:* tratamento térmico. São Paulo, v. 6, 2003. 149 p.

_____. *Anuário estatístico ABAL,* 2003.

_____. *Guia técnico do alumínio:* compatibilidade do alumínio e suas ligas com alimentos e produtos químicos. São Paulo, v. 7, 2003. 128 p.

_____. *Projeto de perfis extrudados de alumínio.* Apostila da palestra proferida pelo Eng. Jairo Lisboa, membro do Comitê Técnico da ABAL, 20O3.

_____. *Fundamentos do alumínio e suas aplicações.* São Paulo, 2004.

_____. *Hotsite de portas e janelas,* 2004. Disponível em: <http://www.abal.org.br/hotsites/index.cfm?frame=hotsites>. Acesso em: 18 mar. 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Níveis de ruído para conforto acústico*, NBR 10152. Rio de Janeiro, 1987.

_____. *Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade*, NBR 10151. Rio de Janeiro, 1987.

_____. *Forças devidas ao vento em edificações;* Procedimento, NBR 6123. Rio de Janeiro, 1988.

_____. *Caixilho para edificação:* Janela, fachada-cortina e porta externa; Verificação da penetração do ar, NBR 6486. Rio de Janeiro, 1988.

_____. *Caixilho para edificação:* Janela, fachada-cortina e porta externa; Verificação da estanqueidade à água, NBR 6486. Rio de Janeiro, 1989.

_____. *Caixilho para edificação:* Janela, fachada-cortina e porta externa; Verificação do comportamento quando submetido a cargas uniformemente distribuídas, NBR 6487. Rio de Janeiro, 1989.

_____. *Projeto, execução e aplicações de vidro na construção civil*; Procedimentos, NBR 7199. Rio de Janeiro, 1989.

_____. *Vidro na construção civil*; Terminologia, NBR 7210. Rio de Janeiro, 1989.

_____. *Caixilho para edificação:* Janela; Terminologia, NBR 10820. Rio de Janeiro, 1989.

_____. *Caixilho para edificação:* Janela; Medição da atenuação acústica; Método de ensaio, NBR 10829. Rio de Janeiro, 1989.

_____. *Caixilho para edificação:* Acústica dos edifícios; Método de ensaio, NBR 10829. Rio de Janeiro, 1989.

_____. *Projeto e utilização de caixilhos para edificações de uso residencial e comercial:* janelas; Procedimento, NBR 10831. Rio de Janeiro, 1989.

_____. *Tratamento de superfície de alumínio e suas ligas:* anodização para fins arquitetônicos, NBR 12609. Rio de Janeiro, 1992.

_____. *Caixilho para edificação:* janela; Terminologia, NBR 10821. Rio de Janeiro, 2000.

_____. *Desempenho de Edifícios habitacionais de até 5 pavimentos:* Parte 4: Fachadas e Paredes Internas. ABNT/CB 02 – Comitê Brasileiro de Construção Civil. CE 02.136.01 – Desempenho de Edificações, 2002.

AFEAL –ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO. *Termo de garantia e manual de uso, limpeza e conservação de esquadrias, revestimentos em alumínio e seus componentes*. São Paulo, 1999.

ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASIL-ALEMANHA. Alumínio na Arquitetura e na Construção Civil. In: *Anais do 1. Simpósio Internacional da VDI sobre Tecnologia do Alumínio. Matéria-prima, transformação, aplicações e reciclagem*. São Paulo, 2003.

AZEREDO, Hélio Alves de. *O edifício e seu acabamento*. São Paulo: Edgar Blücher, 1987.

BAILEY, Robert D. *Assembléia 100, Rio*. Edifício Citibank. Rio de Janeiro: Index, 1984.

BAKENS, Wim. Thematic Network PeBBu – Performance Based Building. International Council for Research and Innovation in Building and Construction – CIB. *5th Framework Research Program of the Commission of the European Communities.* Wellington, New Zealand, 2001.

BARKIN, David. *Riqueza, pobreza y desarrollo sustentable*. Centro de Ecología y Desarrollo. México: Jus, 1998.

BARNETT, Jonathan. *An introduction to urban design*. New York: Harper & Row, 1982.

BARRAND, Pierre; GADEAU, Robert. *Enciclopedia del aluminio*. Bilbao: Urmo, 1967.

BASTOS, Maria Alice Junqueira. *Pós-Brasília:* rumos da arquitetura no Brasil. São Paulo: Perspectiva, 2003.

BAYÓN, Damian; GASPARINI, Paolo. *Panoramica de la arquitectura latinoamericana*. Barcelona: Blume e UNESCO, 1977.

BELINI, Antonio (Ed.). *A história do alumínio no Brasil*. São Paulo: ABAL, 2000.

BENDER, Richard. *Una visión de la construcción industrializada*. Tecnología y Arquitectura. Barcelona: Gustavo Gili, 1976.

BENEVOLO, Leonardo. *Storia dell'Architettura Moderna*. Laterza – Collana: GO – Grandi Opere, 2003.

BLASER, Werner. *Mies van der Rohe*. Estudio Paperback. Barcelona: Gustavo Gili, 1972.

BNH/DEPES. *O conceito de performance e sua terminologia. UDC 69.001.3 CI/SFB (E) (Y), Building Research and Practice,* 1975.

BOESIGER, W.; GIRSBERGER, H. *Le Corbusier*. Barcelona: Gustavo Gili, 1971.

BORGES, Alberto de Campos. *Prática das pequenas construções*. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

BOUERI FILHO, J. Jorge. *Antropometria:* fator de dimensionamento da habitação. São Paulo: FAUUSP, 1989.

BRAGA, Antônio Sérgio; MIRANDA, Luiz Camargo (Org.). *Comércio e meio ambiente*: uma agenda positiva para o desenvolvimento sustentável. Brasília: Ministério do Meio Ambiente e Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável, MMA/SDS, 2002.

BRAGA, Thomaz dos Mares Guia. *Cronologia do uso dos metais*. Disponível em: <http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php? id_pag=167>. Acesso em: 21 ago. 2004.

BRIDI, Beth. *Revista Anamaco*. São Paulo: Grau 10 Jornalismo e Comunicações Ltda, ano XII, n. 133, ago. 2003.

BROOKES, Alan J.; GRECH, Chris. *Connessioni in Edilizia*. Soluzioni per giunti e assemblaggi nella costruzione. Milão: BE-MA, 1993.

BRUAND, Yves. *Arquitetura contemporânea no Brasil*. São Paulo: Perspectiva, 1981.

BUECKEN, Francisco J. *História do alumínio*. [s.i.], 19?.

CAMPOS, Cândido Malta *et al*. *São Paulo, metrópole em trânsito*. São Paulo: Senac São Paulo, 2004.

CAMPOS, Cândido Malta Filho. *Cidades brasileiras*: seu controle ou o caos – o que os cidadãos devem fazer para a humanização das cidades do Brasil. 4. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

CANEDO, L.B. *A Revolução Industrial*. Campinas: Ed. Unicamp, 1986.CARDOSO, Antonio Benedito. *Esquadrias de alumínio no Brasil:*

histórico, tecnologia, linhas atuais, gráficos de desempenho. I. Alain Belda, apresentação. II. Vicente Wissenbach, introdução. São Paulo: ProEditores Associados. Apoio: Alcoa Alumínio S. A., 2004.

CANEVACCI, Massimo. *A cidade polifônica*: ensaio sobre a antropologia da comunicação urbana. 2. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2004.

CARR, S. et al. *Public space*. Environmental and behavior series. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

CASTELO, Ana Maria; LINS, Maria Antonieta Del Tedesco; GARCIA, Fernando. *Conjuntura da construção*. São Paulo: SindusCon-SP e FGV, ano 1, n. 2, dez. 2003.

CASTRO NETO, Jaime Spinola. *Edifícios de alta tecnologia*. São Paulo: Carthago & Forte, 1994.

CIB Report. Publication 64. *Working with the performance approach in building*. Garston, England: Building Research Establishment – BRE, 1982.

CIB, RILEM, ASTM, ISO, INTERNATIONAL SYMPOSIUM APPLICATIONS OF THE PERFORMANCE CONCEPT BUILDING, 3., 1986, Haifa. *Proceedings*...Haifa, 1996. 2v.

CIMBERIS, Borisas. Economia e termodinâmica. *Economia & Energia*, ano II, n. 9, julho/agosto, 1998.

COMPANHIA VIDRARIA SANTA MARINA. *O vidro na arquitetura*. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1993.

CORBIOLI, Nanci. *Revisão das normas para janelas*. Publicação original na Revista Projeto Design. Edição 253, de março de 2001. Disponível em: <http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/tecnologia9.asp>. Acesso em: 14 jan. 2004.

CORONA, Eduardo; LEMOS, Carlos. *Dicionário da arquitetura brasileira*. São Paulo: Edart, 1972.

COSTA, Ennio Cruz. *Arquitetura ecológica*. São Paulo: Edgar Blücher, 1982.

COSTA, Lúcio. Documentação Necessária. *Revista do Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional*, v. 1, Rio de Janeiro, 1937.

CTE; SEBRAE, SP; SindusCon – SP. *Qualidade na aquisição de materiais de execução de obras*. São Paulo: Pini, 2002.

DEL RIO, Vicente. *Introdução ao desenho urbano no processo de planejamento*. São Paulo: Projeto Cultural Brassinter, 1999.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. *Recursos minerais e sociedade*. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br>. Acesso em: 12 mar. 2003.

DIAS, Luis A. M. *Aço e Arquitetura – Estudo de Edificações no Brasil*. São Paulo: Zegurate, 2001.DOLLINGER, Horst Peter. *Material, estructura, ornamento.* Ejemplos de arquitectura de hoy com 80 láminas. Barcelona: Gustavo Gili, 1966.

DOZER, D. M. *América Latina:* uma perspectiva histórica. São Paulo: Globo; Edusp, 1962.

DREW, Philip. *Tercera generación:* la significación cambiante de la arquitectura. Barcelona: Gustavo Gili, 1973.

ESPÍRITO SANTO, Geoberto. A reengenharia da energia. In: *Anais do II Congresso Brasileiro de Planejamento Energético:* planejando o século XXI. Campinas: Unicamp; 12–14 dezembro, 1994, p. 18–30.

FENGLER, M. *Estructuras resistentes y elementos de fachada*. Barcelona: Gustavo Gili, 1968.

FERRARI, Celson. *Dicionário de urbanismo*. São Paulo: Disal, 2004.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. *Novo Dicionário da Língua Portuguesa*. 2. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, J.E.M.M. Editores, 1986.

_____. *Dicionário Aurélio Básico da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, JEMM Editores, 1988.

FIKER, José. *Manual prático de direito das construções*. São Paulo: Livraria e Editora Universitária de Direito, 2002.

FIRMINO, Nelson. *Tecnologia das esquadrias de alumínio*. São Paulo: Aluparts Consultoria, 1999. Apostila.

FOLHA DE S. PAULO. *Energias alternativas*. 1 out. 2000, p. 3. Caderno Mais.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Escola de Economia de São Paulo & Sindicato da indústria da construção de São Paulo – SindusCon. São Paulo: *Revista Conjuntura da Construção Civil*, ano 1, n. 2, dez. 2003. Separata da Revista Conjuntura Econômica.

GALVÃO, Fátima Monteiro (Ed.). *Alumínio para futuras gerações*. São Paulo: ABAL. Coordenação: Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da Abal, 2000.

GOLDENBERG, José. *Energia, meio ambiente & desenvolvimento*. São Paulo: Edusp, 1998.

GOLDMAN, Pedrinho. *Introdução ao planejamento e controle de custos na construção civil brasileira*. 4. ed. São Paulo: Pini, 2004.

GOMES, Mario Rennó; BRESCIANI, Ettore Filho. *Propriedades e usos de metais não-ferrosos*. São Paulo: Associação Brasileira de Metais – ABM, 1987.

GONÇALVES, Carlos Roberto. *Responsabilidade Civil*. 6ª. ed. São Paulo: Saraiva, 1995.

GONÇALVES, Orestes M.; JOHN, Vanderley M., PICCHI, Flávio Augusto. *Normalização e Certificação na Construção Habitacional*. Coletânea Habitare. v. 3, 2003.

GRATZ, R.; MINTZ, N. *Cities, back from the edge:* new life for downtown. New York: Preservation Press and John Wiley & Sons, 1998.

GREENSTEIN, R.; WIEWEL, W. (Eds.). *Urban-suburban interdependencies*. Cambridge, Massachusetts: Lincoln Institute of Land Policy, 2000.

GÜEL, José Miguel Fernández. *Planificación estratégica de ciudades*. 2. ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2000.

HALL, Peter. *Cidades do amanhã:* uma história intelectual do planejamento e do projeto urbano no século XX. São Paulo: Perspectiva, 1995.

HALPERN, Kenneth. *Downtown USA:* urban design in nine American cities. New York: Whitney Library of Design, 1978.

HARVEY, David. *A condição pós-moderna:* uma perspectiva sobre as origens da mudança cultural. São Paulo: Loyola, 1993.

HATCH, J. E. *Aluminum:* properties and physical metallurgy. USA: Metals Park, ASM, 1990.

HEINECK, Luiz Fernando M. Evolução de preços na edificação com índices deflacionários. In: *Anais do IX ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Santa Catarina: UFSC, 1997.

HOFFMANN, Julius. *Fachadas:* forma y detalle de paredes y revestimientos exteriores. Barcelona: Blume e Labor, 1974.

HOUAISS, Antônio. *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa*. Instituto Antônio Houaiss e Editora Objetiva, 2001.

HOUGH, Michael. *Naturaleza y ciudad planificación urbana y procesos ecológicos*. Barcelona: Gustavo Gili, 1995.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Formulação de critérios para avaliação de desempenho de habitações*. São Paulo, 1981. Relatório técnico n. 16.277.

INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION. *Performance standards in building:* contents and presentation. ISO 6240, 1980.

_____. Normalização Internacional – ISO 6241. *Normalização de Performance em Edifícios,* 1982.

_____. *Performance standards in building:* principles for their preparation and factors to be considered. ISO/DIS 6241. Draft for comment, 1982.

_____. *ISO/TC 59/SC 3: Functional / user requirements in building construction*. CD 15686-1 – Buildings – Service Life Planning – Part 1 General Principles, 1997.

_____. Buildings – Service Life Planning – Part 2. *Service Life Prediction Methods*. Draft for comment, 1997.

JANUZZI, Gilberto de Martino. *Políticas públicas para eficiência energética e energia renovável no novo contexto de mercado*. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~januzzi/resenha.htm>. Acesso em: 11 mar. 2003.

_____. A política energética e o meio ambiente: instrumentos de mercado e regulamentação. In: ROMEIRO, A.R. *et al.* (Org.). *Economia do meio ambiente*: teoria, políticas e a gestão de espaços regionais. Campinas: UNICAMP – Instituto de Economia, 1996.

JANUZZI, G. M.; SWISHER, J. *Planejamento integrado de recursos energéticos*: meio ambiente, conservação de energia e fontes renováveis. Campinas: Autores Associados, 1997.

JESUS, Cláudia N. *et al.* Estratégia competitiva: impactos internos e na cadeia produtiva das ações de um fornecedor de sistemas de esquadrias de alumínio. In: *Simpósio Brasileiro de Gestão de Qualidade e Organização do Trabalho no Ambiente Construído*, 2º, Fortaleza, CE., 2001. 13 p. Artigo Técnico.

JOHN, Vanderley Moacir. *Avaliação de materiais, componentes e edifícios em uso enquanto avaliação de desempenho*. São Paulo: Divisão de edificações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1962.

JOSSIFORT, I. *Techniques américaines du Mur-Rideau*. Paris, France: Eyrolles. Traduction partielle des ouvrages: "Curtain walls of stainless steel" et "Curtain wall research project". Publies par L´École D´Architecture de L´Université de Princeton, respectivement en 1955 et 1957 sous le patronage du Comité des Producteurs Dácier Inoxydable et de L´Institut Américain du fer et le L´Acier, 1962.

KÖNIGSBERGER, Jorge; MANHÃES, Lízia. *O arquiteto e as leis:* manual jurídico para arquitetos. Manual da AsBEA. São Paulo: Pini, 2003.

LAROUSSE. *Dicionário da Língua Portuguesa – Larousse Cultural.* São Paulo: Nova Cultural, 1992.

LEVI, Rino. *Arquitetura e cidade.* Dissertação (Mestrado). São Paulo: FAUUSP, 2001.

LIBRELOTTO, Lisiane Ilha *et al.* Custos na construção civil: uma análise teórica e comparativa. In: *Anais do ENTAC – VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, Florianópolis, SC. v. 2, 1998, p. 399–406. Artigo Técnico.

LIMA, Maria Helena M. Rocha. *Inovações tecnológicas e setores da indústria extrativa e de transformação mineral.* Rio de Janeiro: CETEM / MCT, n. 49, 39p. Série Estudos e Documentos, 2001.

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil. *Controle de qualidade de componentes de edifícios.* Lisboa, Portugal, 1972a.

_____ *Homologação de construções gerais.* Ficha de atividade (FA) 803/72. Lisboa, Portugal, 1972.

LUCINO, Hugo Camilo. *Manual técnico de modulação de vãos de esquadrias.* São Paulo: AFEAL, AsBEA, SindusCon-SP e Pini, 2001.

LUZ, Aramy Dornelles da. *Direito do consumidor anotado.* São Paulo. Editora Juarez de Oliveira, 2003.

MACHADO, H.C. *Apontamentos da história do alumínio primário no Brasil.* [s.i.], 19?.

MAGALHÃES, Luiz Edminho de (Coord.). *A questão ambiental.* São Paulo: Terragraph, 1994.

MARGARIDO, Aluízio Fontana. *O Uso do Aço na Arquitetura.* Apostila Curso Fundação para Pesquisa Ambiental – Fupam. Responsável e coordenador científico: Prof. João Roberto Leme Simões. São Paulo, 2004.

MARQUES, Cláudia L; VASCONCELLOS, Antônio H. de; MIRAGEM, Benjamim Bruno. *Comentários ao Código de Defesa do Consumidor.* São Paulo: Revista dos Tribunais, 2003.

MARTINEAU, Jean-Michel. *Catalogue commercial Technal.* Toulouse, France: Technal: Société en nom collectif, 1987.

MARTINELLI, Frederico Augusto. Janela colada. In: *Anais do Congresso Latino-Americano em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios*: soluções para o terceiro milênio. São Paulo. v.1, 1998, p. 73–77. Artigo Técnico.

MASCARÓ, Juan Luis. *O custo das decisões arquitetônicas*. São Paulo: Nobel, 1975.

_____ *Consumo de energia e construção de edifícios*. São Paulo: Secovi, 1980.

_____ *Análise macroeconômica da indústria da construção de edifícios como fator de desenvolvimento nacional*. São Paulo: FAUUSP, 1985.

MASCARÓ, Juan Luis; MASCARÓ, Lucia Raffo. *As indústrias de materiais e componentes de construção civil no Brasil*. São Paulo: FAUUSP, 19?.

MENDONÇA, Vanda. *Anuário construção:* tecnologia e qualidade em edificações. São Paulo: Editorial Magazine, 2003.

MITIDIERI, C.V. *Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações:* proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural. 1998. 218 f. Tese (Doutorado) – São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1998.

MONTANER, Josep Maria. *A modernidade superada*. Barcelona: Gustavo Gili, 2001.

MUNGIOLI, Arlindo. *Revista esquadria*. Suplemento técnico da Revista Finestra. São Paulo: Arco Editorial, 2003.

_____. *Revista projeto design*. São Paulo: Arco Editorial Ltda, 2003.

_____. *Revista esquadria, alumínio e cia*. São Paulo: Produzido para Alcoa Alumínio por Arco Editorial, ano 4, n. 14, jul./set. 2004, 2004.

_____. *Revista Finestra*. São Paulo: Arco Editorial. ano 9, n. 39, out.-nov.-dez. 2004, 2004.

NEUFERT, Ernst. *A arte de projetar em arquitetura*. 17. ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2004.

NOBRE, Eduardo A. C. *Towards a better approach to urban regeneration:* defining strategies for intervention in the central area of São Paulo. Dissertação (Mestrado). São Paulo: FAUUSP., 1994.

OLIN, Harold B. *et al. Construction*: principles, materials and methods. 6. ed. Revised by H. Leslie Simmons, AIA, CSI, 1994.

OLIVEIRA, James Eduardo. *Código de Defesa do Consumidor anotado e comentado: doutrina e jurisprudência*. São Paulo: Atlas, 2004.

OLIVEIRA, Nildo Carlos. *Esquadrias: caderno de especificação 1*. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1990.

OLIVERI, Mario G. *Prefabricación o megaproyecto constructivo*. Barcelona: Gustavo Gili, 1972.

ORNSTEIN, Sheila Walbe; MARTINS, Cláudia Alonso. Arquitetura, manutenção e segurança de ambientes escolares: um estudo aplicativo de APO. *Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. São Paulo, 1997, p. 7–18. Artigo Técnico.

ORNSTEIN, Sheila Walbe. A avaliação pós-ocupação (APO): produção nacional e internacional recentes e as tendências rumo ao século XXI. In: *Anais do Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. São Paulo. São Paulo. v. 2, 1993, p. 855–864. Artigo Técnico.

_____. A avaliação pós-ocupação aplicada ao conforto ambiental: o caso das escolas de 1º e 2º graus na Grande São Paulo. In: *Anais do III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído*. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Gramado, RS, 4–7 junho, 1995, p. 637–642.

_____. *O desempenho do edifício construído, interdisciplinaridade e arquitetura*. São Paulo: FAUUSP, 1996.

_____. A avaliação pós-ocupação em São Paulo: O caso do edifício principal do Instituto de Física da Universidade de São Paulo. *Cadernos Técnicos* – AUT, n. 1. São Paulo: FAUUSP, 1996, p. 37–59.

ORNSTEIN, Sheila *et al.* Espaços públicos e semipúblicos: uma experiência interdisciplinar – a avaliação pós-ocupação como metodologia de projeto. *Boletim Técnico,* n. 1, São Paulo: FAUUSP, 1994.

_____. *Ambiente construído & comportamento*: a avaliação pós-ocupação e a qualidade ambiental. São Paulo: Studio Nobel, FAUUSP e FUPAM, 1995.

PEARSON & PARKINS. *The extrusion of metals*. [s.i.], 19?.

PEVSNER, Nikolaus. *Los orígenes de la arquitectura moderna y del diseño*. Barcelona: Gustavo Gili. Coleção Comunicação Visual, 1968.

PHILLIPI, Arlindo. *Desenvolvimento sustentável*. Anotações de aula. São Paulo: FAUUSP. Disciplina de pós-graduação: Ecologia Urbana de Áreas Metropolitanas, 28 mar. 2003.

PHILIPPI Jr; MAGLI, Ivan; COIMBRA, José de Ávila Aguiar; FRANCO, Roberto Messias. *Municípios e meio ambiente:* perspectivas para a municipalização da gestão ambiental no Brasil. São Paulo: Associação Nacional de Municípios e Meio Ambiente, 1999.

PIRES, Elmo. *Tecnologia & Vidro*. São Paulo: Redação Final Editora. n. 29, ago.-set. 2004.

PORTAS, Nuno Barata Jr. *Definição e evolução das normas de habitação.*. Portugal, Lisboa: LNEC, 1960.

_____. *Estudo das funções e da exigência de áreas de habitação.* Portugal, Lisboa, 1969.

PROUVÉ, Jean. *Une architecture par l´industrie. Industrial architecture. Architektur aus der Fabrik.* Edité par Benedikt Huber et Jean-Claude Steinegger. Les Editions d´Architecture Artemis Zurich, 1971.

QUARMBY, Arthur. *Materiales plásticos y arquitectura experimental.* Barcelona: Gustavo Gili, 1976.

RAFEINER, Fritz. *Construccion de edificios em altura.* Planificacion, coste, realizacion. Barcelona: Blume, 1967.

REID, Esmond. *Understanding buildings.* Longman Scientific & Technical. First published 1984 by Construction Press. Reprinted by Longman Scientific & Technical 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994. Harlow, England: Longman House, 1984.

REIS FILHO, Nestor Goulart. Quadro da Arquitetura no Brasil. *Coleção Debates.* São Paulo: Perspectiva, 1970.

_____. *São Paulo:* vila, cidade, metrópole. São Paulo: Perspectiva, 2004.

REVISTA ACRÓPOLE, n. 251, São Paulo, 1960. Encarte.

REVISTA METAIS BRASIL. *A história de um metal versátil.* São Paulo, SP, 30 dez. 2004. Disponível em: <http://www.abal.org.br/clipping/ mostraclipping. cfm?iclipping=2436>. Acesso em: 21 fev.2005.

REZENDE, Fernando; LIMA, Ricardo (Orgs.). *Rio – São Paulo: cidades mundiais.* Desafios e Oportunidades. Brasília: IPEA, 1999.

RIPPER, Ernesto. *Como evitar erros na construção.* São Paulo: Pini, 1984.

ROMAN, Humberto; BONIN, Luis Carlos. *Normas técnicas para avaliação de sistemas construtivos inovadores para habitações.* Coletânea Habitare ANTAC. Porto Alegre, 2003, 220 p.

ROMÉRO, Marcelo Andrade. Conservação de energia e o projeto de arquitetura: uma análise geral. *Sinopses*, n. 16, dezembro 1991, p. 5-9.

_____. *Arquitetura, comportamento e energia.* Tese (Livre-Docência). São Paulo: FAUUSP, 1997.

ROMÉRO, Marcelo Andrade; BARRETO, Douglas. *O peso das decisões arquitetônicas no consumo de energia elétrica em edifícios de escritórios.* São Paulo: FAUUSP, 1998.

_____. Consumo de energia embutida nos materiais e na produção de edifícios. In: *Anais do ENTAC – VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.* São Paulo: FAUUSP, 1998.

ROMÉRO, Marcelo A. *et al. Edifício Birmann 21*: um estudo sobre a eficiência energética, 2001. Disponível em: <www.tecto.com.br/ content.asp?contid=17905&trade=1&h=1>. Acesso em: 21 fev. 2003.

ROSSO, Teodoro. *Racionalização da construção*. São Paulo: FAUUSP, 1980.

SACCHI, Frely *et al. Serramenti & alluminio*. Introduzione ragionata alle leghe leggere, alle loro tecnologie e applicazioni inedilizia. Milão: Tecnomedia, 1990.

SANDAKER, Bjorn Norman e EGGEN, Arne Petter. *I Principi del Construire*. Milão: BE-MA, 1993.

SASSEN, Saskia. *As cidades na economia mundial*. São Paulo: Studio Nobel, 1998.

SCHITTICH, Christian. *Building Skins: concepts, layers, materials*. 1. ed. Alemanha. Birkhauser, 2001.

SCHNECK, Adolf G. *Fenster aus holz und metal:* konstruktion und maueranschlag. Julius Hoffmann Verlag Stuttgart, Germany, 1958.

SECOVI-SP. *Indústria imobiliária e a qualidade ambiental*: subsídios para o desenvolvimento urbano sustentável. São Paulo: Pini, 2000.

SEGAWA, Hugo. *Arquiteturas no Brasil: 1900–1990*. São Paulo: Edusp, 1998.

SILVA, Geraldo G. *Arquitetura do Ferro no Brasil*. São Paulo: COSIPA, Nobel, 1986. SILVA, Selênio Rocha; Cardoso Filho, Braz J. O estado da arte em fontes de energia alternativa. Banco de textos sobre desenvolvimento sustentável. *Revista Planilha*, ano I, n. 1, junho 1999, p.7–10.

SIMÕES, João Roberto Leme. *Arquitetura na cidade universitária 'Armando de Salles Oliveira':* o espaço construído. Dissertação (Mestrado). São Paulo: FAUUSP, 1984.

_____. *Realimentação de projetos arquitetônicos:* avaliação pós-uso (APU) – Instituto de Química. Tese (Doutorado). São Paulo: FAUUSP., v.1 e 2, 1989.

SNYDER, James C.; CATANESE, Anthony. *Introdução à arquitetura*. Rio de Janeiro: Campus, 1984.

SOUZA, R. *A contribuição do conceito de desempenho para a avaliação do edifício e suas partes: aplicação às janelas de uso habitacional*. 218f. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1983.

SOUZA, Ubiraci E. Lemes. *Como reduzir perdas nos canteiros*: manual de gestão do consumo de materiais na construção civil. São Paulo: Pini, 2005.

SPALDING, Eduardo. *Em busca da auto-suficiência*. 2002. Disponível em: <http://www.canal energia.com.br>. Acesso em: 12 mar. 2003.

TAMAKI, Marcos; SOUZA, Roberto de. *Gestão de materiais de construção*. São Paulo: O Nome da Rosa, 2005.

TAUNAY, Affonso de E. *História da cidade de São Paulo*. São Paulo: FAUUSP; Melhoramentos, 1953. Monografias.

TETRAPLAN Consultoria e planejamento. *Estudo de impacto ambiental*. Operação Urbana Faria Lima, 1993. São Paulo. v. 1, 2 e 3.

THOMAZ, Ercio. *Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção*. São Paulo: Pini, 2002.

TURKIENICZ, Benamy (Org.). Desenho Urbano I – I Seminário sobre Desenho Urbano no Brasil. *Cadernos Brasileiros de Arquitetura*. v. 12. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1984.

_____. (Org.). Desenho Urbano II – I Seminário sobre Desenho Urbano no Brasil. *Cadernos Brasileiros de Arquitetura*. v. 13. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1984.

_____. (Org.). Desenho Urbano III – I Seminário sobre Desenho Urbano no Brasil. *Cadernos Brasileiros de Arquitetura*. v. 14. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1984.

UNDERWOOD, D. *Oscar Niemeyer and Brazilian free-form modernism*. New York: George Braziller, 1994.

UNIEMP – Fórum Permanente das Relações Universidade–Empresa. Seminário Inovação na Construção Civil Brasileira. O Macro Setor da Construção. In: *Anais do 1. Seminário de Inovação na Construção Civil. São Paulo*: mar. 2005.

VALE, Brenda y Robert. *La casa autónoma.* Diseño y planificación para la autosuficiencia. Tecnología y Arquitectura. Barcelona: Gustavo Gili, 1997.

VAN DER MEER, Ron; SUDJIC, Deyan. *The architecture pack:* glossary of architects and architecture. Van der Meer Publishing. New York, USA: published by Alfred A. Knopf; simultaneously published in Toronto, Canada by Random House of Canada. Distributed by Random House, NY, 1997.

VIEIRA, Cícero; MAZZOLENIS, Sheila. *A história do alumínio no Brasil*: 30 Anos ABAL. Associação Brasileira do Alumínio – ABAL. São Paulo: Antonio Bellini, 2000.

VIGANÓ, Valter Roberto; COLE, Willian F.; HOUDE, Michel. Structural Glazing. In: *Anais do I Seminário "Structural Glazing"*. São Paulo: Alcan, Monsanto, Rhodia, 19?.

WARCHAVCHIK, G. *Walter Gropius – Bauhaus*: Novarquitetura. São Paulo: Perspectiva. Coleção Debates, 1969.

WILHEIN, Jorge. Espaços e Palavras. *Cadernos Brasileiros de Arquitetura.* v. 15. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1985.

WILQUIN, Hughues. *Aluminium Architecture: construction and details*. Bélgica. Birkhauser, 1. ed., 2001.

WISSENBACH, Vicente. *Revista Finestra Brasil – Anuário 2002*. São Paulo: ProEditores Associados, 2002.

YAZIGI, Walid. *A técnica de edificar*. 6. ed. São Paulo: Pini, 2004.

CATÁLOGOS TÉCNICOS DE PRODUTOS

ALCOA ALUMÍNIO S/A.

BELMETAL ALUMÍNIO S/A.

COMPANHIA BRASILEIRA DE ALUMÍNIO.

HYDRO ALUMÍNIO ACRO S/A.

FERMAX COMPONENTES PARA ESQUADRIAS.

INDIANA COMPONENTES PARA ESQUADRIAS.

FISE COMPONENTES PARA ESQUADRIAS.

PÁGINAS ELETRÔNICAS PESQUISADAS

ABAL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. Disponível em: <http://www.abal.org.br>.

ABM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS. Disponível em: <http://www.abmbrasil.com.br>.

AFEAL – ASSOCIAÇÃO DOS FABRICANTES DE ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO. Disponível em: Disponível em: <http://www.afeal.org.br>.

ALCOA ALUMÍNIO S.A. Disponível em: <http://www.alcoa.com.br>.

ARCO EDITORIAL LTDA. Disponível em: <http://www.arcoweb.com.br>.

BELMETAL INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. Disponível em: <http://www.belmetal.com.br>.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Disponível em: <http://www.cbic.com.br>.

COMPANHIA BRASILEIRA DE ALUMÍNIO. Disponível em: <http://www.aluminiocba.com.br>.

EDITORIA METALURGIA. Disponível em: <http://www.infomet.com.br>.

HYDRO ALUMÍNIO ACRO. Disponível em: <http://www.hydroacro.com.br>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Disponível em: <http://www.ipt.com.br>.

LIVRARIA VIRTUAL VITRUVIUS. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br>.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br.com.br>.

PORTAL METÁLICA. Disponível em: <http://www.metalica.com.br>.

PROGRAMA DE TECNOLOGIA DE HABITAÇÃO. Disponível em: <http://www.habitare.org.br>.

REVISTA CONTRAMARCO. Disponível em: <http://www.contramarco.com.br>.

WIKIPÉDIA ENCICLOPÉDIA LIVRE. Disponível em: <http://www.wikipedia.com.br>.

ANEXOS

GLOSSÁRIO DOS PRINCIPAIS TERMOS TÉCNICOS[*]

Acabamento *(finishing)*: Termo usado para definição da característica da superfície de um produto.

Acabamento acetinado *(mat finish)*: Acabamento fosco de textura fina.

Acabamento brilhante *(bright finish)*: Acabamento resultante da ação controlada de um agente químico ou físico agressivo sobre uma superfície com refletividade não especular.

Acabamento comum *(mill finish)*: Acabamento não uniforme, geralmente sem brilho, proporcionado pela extrusão em condições normais.

Acabamento escovado *(brushed finish)*: Acabamento produzido por abrasão com escovas de aço rotativas ou similares.

Acabamento espelhado *(polished finish)*: Acabamento com refletividade não especular, obtida por ação de polimento mecânico.

Acabamento fosco *(mat finish)*: Acabamento resultante da ação controlada de um agente químico ou físico agressivo sobre uma superfície.

Aço: metal. Liga de ferro e carbono (teor de carbono variável entre 0,008% e 2,000%), que pode conter, além de outros elementos residuais resultantes do processo de fabricação, elementos de liga.

Água *(water)*: O alumínio é resistente à água pura (H_2O), desde que não contenha fendas, ou seja, uma peça de alumínio encostada em outra peça de alumínio (vide corrosão por mancha d´água). A curva de crescimento da corrosão do alumínio sob ação da água depende da liga de alumínio e das impurezas que essa água possa conter.

Alumínio comercialmente puro *(commercialy pure aluminum)*: Liga contendo no mínimo 99,0% de alumínio. São as ligas do grupo 1000.

Alumínio e ligas de alumínio dúcteis *(wrought aluminum alloys)*: Aquele ou aquelas que suportam, pelo esforço de efeitos aplicado, uma deformação plástica relativamente elevada antes da ruptura e que podem ser trabalhadas a frio ou a quente mediante processos mecânicos, tais como: laminação, trefilação, forjamento, extrusão, etc. (ABNT NBR 6834:2000).

Alumínio primário *(primary aluminum)*: Metal extraído por redução ou decomposição de um composto de alumínio, que não tenha sido submetido a nenhuma fabricação outra que a fundição de lingotes.

Alumínio secundário *(secondary aluminum)*: Metal obtido pela recuperação que tenha sido submetido a pelo menos um processo de fabricação por fusão ou trabalho.

Anodização *(anodizing)*: Processo eletroquímico que promove a formação de uma camada controlada e uniforme de óxido de alumínio na superfície do metal (ABNT NBR 8967:1998). No processo de anodização, o alumínio a anodizar constitui o próprio ânodo, daí ser chamado "alumínio anodizado".

---

[*] Informações transcritas de: ABAL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. *Guia técnico do alumínio:* extrusão. 2. ed. São Paulo: Abal, v. 1, 2001. 232 p.

Anodização brilhante *(bright anodizing)*: Anodização resultante da ação combinada de um agente químico agressivo sobre a superfície de uma peça, aumentando sua refletividade (ABNT NBR 8967:1998). Na anodização brilhante o alumínio não é fosqueado. Um anodizado brilhante considerado de qualidade aceitável tem apenas cerca de 3 micrômetros de camada anódica (com camada acima de 5 micrômetros fica muito difícil a obtenção de brilho), não sendo, portanto, adequado para aplicações externas, em que o mínimo exigido é de 11 micrômetros. Deve-se tomar cuidado com serviços de anodização brilhante oferecidos no mercado a partir de polímero mecânico (camadas de 0,5 a 2 micrômetros) e geralmente com selagem deficiente: tem ótima aparência a princípio, mas não garante a integridade do produto após pouco tempo de utilização.

Anodização colorida eletrolítica *(electrolytical coloured anodizing)*: Processo que promove a coloração eletrolítica do alumínio e suas ligas, previamente anodizado e não selado, através da deposição (normalmente de sais metálicos) no fundo dos poros de óxido formado, colorindo assim a película anódica, com finalidade protetora e decorativa (ABNT NBR 8967:1998).

Anodização colorida por corantes *(coloured anodizing by dyeing)*: Processo que promove a coloração do alumínio e suas ligas, previamente anodizado e não selado, pela simples imersão em soluções corantes orgânicos e inorgânicos, com finalidade protetora e decorativa (ABNT NBR 8967:1998).

Anodização decorativa *(bright anodizing)*: Anodização em que prevalecem a aparência e o aspecto visual (ABNT NBR 8967:1998).

Anodização para fins técnicos (ou anodização dura) *(hard anodizing)*: Anodização realizada sob condições especiais, para produzir película espessa e dura, que ofereça alta resistência à abrasão (ABNT NBR 8967:1998). Sua camada anódica é acima de 40 micra.

Anodização fosca *(clear anodizing)*: Anodização resultante da ação controlada de um agente mecânico e/ou químico agressivo sobre a superfície da peça, diminuindo sua refletividade (ABNT NBR 8967:1998).

Anodização protetora *(protective anodizing)*: Anodização em que a proteção contra corrosão ou desgaste é o objetivo principal, sendo a aparência de pouca ou nenhuma importância (ABNT NBR 8967:1998).

Anodizado: Diz-se de certos materiais, como por exemplo o alumínio e o magnésio, que, em virtude de oxidação anódica especial, estão recobertos por camada superficial protetora de óxido, a que se pode incorporar ou não substâncias corantes.

Caixilharia: Conjunto de caixilhos: "uma grande janela de sacada (...) com sua caixilharia feita à máquina" (Ramalho Ortigão, As Farpas, I, p.49).

Corrosão *(corrosion)*: Desgaste ou modificação química ou estrutural de um material, provocado pela ação química ou eletroquímica espontânea de agentes do meio ambiente.

Corrosão ácida ou alcalina *(acid or alkaline corrosion)*: Aparece na forma de grandes "pits" profundos, distribuídos ao acaso, muitas vezes isolados. È causada por borrifos ou gases ambientais alcalinos (ataques intergranulares) ou ácidos (ataque em forma de cratera). O problema só é revelado no tanque de fosqueamento da linha de anodização. A recuperação é muito difícil. Devem ser tomados cuidados na estocagem.

Corrosão atmosférica geral *(general atmosphere corrosion)*: Causada pela ação dos ventos por falta de proteção em material estocado em ambientes agressivos ou nas proximidades. Aparece na forma de "pits" ao acaso, na superfície do alumínio, tendendo a localizar-se ao longo das linhas de matriz. É formada pela deposição de partículas de pó acidíferas que se depositam sobre a superfície do alumínio, resultando numa rápida

corrosão nessas áreas. O problema só é revelado no tanque de fosqueamento da linha de anodização, podendo ser resolvido através de decapagem, polimento e reanodização.

Corrosão conjugada a tensão *(stress corrosion)*: Definida pelo próprio nome.

Corrosão galvânica *(galvanic corrosion)*: Acontece quando metais diferentes estão juntos, na presença de um agente químico que age como eletrólito. A severidade da corrosão vai depender da condutividade deste eletrólito e da posição relativa dos metais na série galvânica.

Corrosão por água de lavagem contaminada *(corrosion by contaminated washing water)*: "Pitting" em forma de estrela ou aranha, muito superficial. É observada quando o perfil sai da água de lavagem, depois do ataque alcalino ou do abrilhantamento químico e, eventualmente, nas águas de lavagem, após a neutralização com ácido sulfúrico. Ao verificar a ocorrência, adicionar 0,1% de ácido nítrico na água de lavagem.

Corrosão por cloretos no tanque de anodização *(corrosion by chlorides in anodizing tank)*: O ataque por este motivo é geralmente profundo e sem solução. São "pits" profundos em forma de estrelas pretas, localizados ao acaso. Nenhum filme anódico está presente sobre as áreas corroídas e a espessura do filme anódico sobre o restante da carga é sempre menor do que seria esperado. Aparece no tanque de anodização. Certificar-se de que está sendo usada água livre de cloretos na anodização.

Corrosão por impressão digital *(finger-print corrosion)*: Defeito revelado no fosqueamento da anodização, ficando a marca de dedos no perfil. Só pode ser resolvido decapando, lixando e reprocessando o material, no caso de o ataque ser recente. Se o ataque é antigo, será mais difícil a recuperação, podendo ser tentada uma solução a 60°C com 10% de ácido fosfórico e 5% de ácido nítrico.

Corrosão por mancha d´água *(water stain or crevice corrosion)*: Causada pela presença de umidade entre duas superfícies planas que formam uma espécie de fenda. Numa parte da fenda havendo umidade rica em oxigênio, e na outra parte umidade mais pobre em oxigênio (aeração diferencial da água em uma fenda), haverá uma condição anódica (pilha) corroendo o alumínio e formando manchas iridiscentes (cores do arco-íris) ou brancas (quando mais velhas). Quando o ataque for recente as manchas podem ser limpas com esponjas do tipo "Scotch-brite", "Bombril", lixamento ou ataque químico apropriado.

Deformação *(strain)*: Modificações no tamanho ou na forma de um corpo, produzidas por tensões nele exercidas. A deformação elástica desaparece ao suprimir-se a pressão. Já a deformação permanente é a fluência plástica que permanece no final da tensão.

Deformação permanente *(permanent set)*: Deformação plástica (não elástica), acima do limite elástico.

Deformação plástica *(over stressing)*: Deformação permanente do metal submetido a tensões que excedem o limite elástico.

Desempenho: a palavra é definida como o comportamento do produto quando em uso. O produto deve apresentar certas propriedades para cumprir a função proposta, ao ser submetido a determinadas influências ou ações durante sua vida útil. Essas ações que atuam sobre o edifício são chamadas condições de exposição.

Desengraxamento *(degreasing)*: Remoção de óleo ou graxa, normalmente realizada pela ação de solvente orgânico adequado ou detergente aquoso.

Diâmetro do círculo circunscrito – DCC *(circunscript circle overall)*: É o diâmetro do menor círculo que encerra totalmente a secção transversal de um produto extrudado.

Duralumínio *(duraluminum)*: São as ligas de alumínio-cobre. Apesar de serem ligas duras, a designação nada tem a ver com dureza. O nome origina-se de seu desenvolvimento em Düren, Alemanha.

Ductibilidade *(ductibility)*: Propriedade de um material de deformar-se mecanicamente, sem chegar à fratura.

Dureza *(hardness)*: Resistência de um metal à deformação plástica, normalmente medida por penetração.

Elasticidade *(elasticity)*: Propriedade de um material de poder voltar à sua forma e tamanho originais, após suprimida uma carga inferior ao limite elástico a que estiver sendo submetido.

Elemento de liga *(alloying element)*: Elemento químico que se adiciona intencionalmente ao alumínio, segundo teores mínimos e máximos especificados (ABNT NBR 6834:2000).

Elemento de liga principal *(main alloying element)*: Elemento de liga com maior percentagem em massa (ABNT NBR 6834:2000).

Endireitamento de barras e perfis *(straightening)*: Endireitamento de uma barra ou tubo pela ação de roletes flexíveis e rotativos.

Energia hidráulica: energia fornecida pelos cursos d'água.

Esquadria. (*De esquadro + -ia*) *S.f.* 1. Ângulo reto. 2. Corte em ângulo reto. 3. V. acuta. 4. Pedra de cantaria. 5. Constr. Designação genérica de portas, caixilhos, venezianas, etc.

Estanque: adj. 2g. 1. Que se estancou. 2. vedado, tapado, isolado.

Estanqueidade: s.f. Caráter do que é estanque.

Extrusão *(extrusion)*: Processo metalúrgico que consiste na deformação plástica a quente do material, fazendo-o passar, pela ação de um pistão, através de um orifício e uma matriz que apresenta o contorno da secção do produto a ser obtido (ABNT NBR 6599:2000).

Extrusão direta *(direct extrusion process)*: Processo no qual um tarugo que está no recipiente é forçado a passar sob pressão através de uma abertura em uma matriz estacionária.

Extrusão escalonada *(stepped extrusion)*: Extrusão que tem uma ou mais alterações abruptas na secção transversal em seu comprimento.

Extrusão indireta *(indirect extrusion)*: Processo pelo qual uma matriz móvel localizada na extremidade de um êmbolo oco é forçada contra um tarugo estacionário.

Extrusão por impacto *(impact extrusion)*: Processo metalúrgico que consiste na deformação plástica a frio do material, produzida por impacto de uma ferramenta sobre o material confinado numa matriz, obrigando-o a tomar a forma do espaço compreendido entre ambas ou escoar através de outras aberturas, com uma sensível redução da espessura original do material (ABNT NBR 6599:2000).

Ferro: Elemento de número atômico 26, metálico, branco-acinzentado, duro, tenaz, reativo, formador de ligas que têm aplicações importantes. Símbolo: Fe; metal maleável e tenaz, de numerosas aplicações na indústria e na arte.

Ferro fundido: liga de ferro e carbono, com teor deste último superior ao que se encontra no aço.

Ferro galvanizado: ferro recoberto por uma película de zinco.

Ferro-gusa: o que se obtém diretamente do alto forno, em geral com elevada proporção de carbono e diversas impurezas.

Forjado *(hot forged)*: Produto obtido por martelamento ou prensagem, normalmente quando ainda quente, entre matrizes abertas ou fechadas.

Forjamento *(forging)*: Processo metalúrgico que consiste na deformação plástica do material, geralmente a quente, mediante aplicação de esforço dinâmico (ABNT NBR 6599:2000).

Fundição *(casting)*: Processo metalúrgico que consiste na obtenção de um produto sólido a partir do metal no estado líquido, mediante sua solidificação em um molde. A fundição pode ser por gravidade, sob pressão ou a vácuo (ABNT NBR 6599:2000).

Fundição a vácuo *(vacumm casting)*: Fundição que se efetua a uma pressão inferior à atmosférica (ABNT NBR 6599:2000).

Fundição contínua *(continuous casting)*: Fundição por gravidade na qual o metal, no estado líquido, passa de um modo contínuo ao estado sólido dentro de um molde aberto resfriado por água (ABNT NBR 6599:2000). A altura da peça fundida é limitada apenas pelo comprimento do percurso do fundo móvel.

Fundição em coquilha *(chilled casting)*: Processo através do qual o metal líquido é vertido em um molde permanente para solidificar-se.

Fundição semicontínua *(semicontinuous casting)*: Variante da fundição contínua, na qual o processo é interrompido uma vez alcançado o comprimento previsto do produto (ABNT NBR 6599:2000).

Fundição sob pressão *(pressure die casting)*: Fundição na qual o metal é injetado no molde sob uma pressão superior à atmosférica (ABNT NBR 6599:2000).

Hidroelétrica ou hidrelétrica: diz-se da corrente elétrica gerada através de energia hidráulica. Energia hidráulica: energia fornecida pelos cursos d'água.

Higrometria: parte da meteorologia que estuda os processos e métodos de medição da unidade atmosférica.

Higrotermia: em conforto ambiental, usa-se o termo – higrotermia – para caracterizar a relação entre o valor da temperatura e da umidade do ar, em vez de considerar separadamente o aspecto térmico ou a higrometria, devido à relação indissociável entre estas duas grandezas físicas.

Liga *(alloy)*: Material com propriedades específicas e composto por dois ou mais elementos químicos metálicos. As propriedades das ligas são usualmente distintas das de seus componentes.

Liga de alumínio *(aluminum alloy)*: Mistura intencional de elementos em que o alumínio é o predominante. Mesmo o alumínio comercialmente puro é considerado uma liga, pois contém traços de outros elementos químicos (Al 99% e as impurezas são específicas).

Lingote *(ingot)*: Produto fundido sob a forma apropriada para refusão ou transformação (ABNT NBR 6599:2000).

Linhas de matriz *(die lines)*: Estão presentes em todo material extrudado e são causadas por rugosidade no talão da matriz. Os limites de rugosidade são definidos por

normas, dependendo muito do polimento adequado do talão da matriz, sua freqüência de nitretação, sujeiras que se agregam à matriz ou ao tarugo e de possíveis excessos da temperatura de extrusão.

Nitretação *(nitriding)*: Tratamento superficial para aumentar a dureza do aço da matriz de extrusão, através da formação de nitretos dos seus elementos de liga.

Perfil *(shape)*: Produto dúctil de secção transversal uniforme ao longo do seu comprimento, diferente da barra, do arame, do tubo, da chapa ou da chapa bobinada, fornecido em unidades retas ou em rolos (ABNT NBR 6599:2000).

Perfil formado *(profile)*: Perfil produzido a partir da chapa por formação a cilindro ou por estiramento, por ambos ou pelo uso de prensa viradeira mecânica.

Perfil sólido *(solid extruded shape)*: A secção transversal uniforme não contém nenhum vão com periferia contínua (ABNT NBR 6599:2000).

Perfil tubular da classe 1 *(class 1 hollow extruded shape)*: Perfil cujo vazio é redondo, com diâmetro de 25 mm ou mais, e cuja massa é distribuída igual e uniformemente nos lados opostos de dois ou mais eixos (ABNT NBR 8116:1999).

Perfil tubular da classe 2 *(class 2 hollow extruded shape)*: Qualquer perfil extrudado tubular, diferente da classe 1, tendo um único vazio de diâmetro não inferior a 9,50 mm, área não inferior a 70 mm^2 e DCC não superior a 125 mm (ABNT NBR 8116:1999).

Perfil tubular da classe 3 *(class 3 hollow extruded shape)*: Qualquer perfil extrudado tubular, diferente das classes 1 e 2 (ABNT NBR 8116:1999).

Perfil tubular trocador de calor *(lip hollow shape)*: Perfil tubular com ressaltos adequados para ser usado como trocador de calor.

Perfilação *(profilling)*: Processo de conformação progressiva por calandras ou roletes, de produtos laminados planos, sem modificações apreciáveis da espessura (ABNT NBR 6599:2000).

Polimerização: Processo em que duas ou mais moléculas de uma mesma substância, ou dois ou mais grupamentos atômicos idênticos, se reúnem para formar uma estrutura de peso molecular múltiplo do das unidades iniciais e, em geral, elevado.

Prensa *(press)*: Termo geral usado para designar a máquina que emprega a pressão para deformar ou cisalhar o material.

Prensa de extrusão *(extrusion press)*: Máquina que essencialmente é constituída de um recipiente, um êmbolo ou outro dispositivo de aplicação de pressão, e de uma matriz, usada para produção de extrudados.

Propriedades físicas *(physical properties)*: Propriedades correntemente tratadas na Física, com exceção das consideradas como propriedades mecânicas.

Propriedades mecânicas *(mecanical properties)*: Propriedades do metal que se medem com métodos e ensaios mecânicos. Na prática, referem-se à resistência à tração, ao limite de escoamento, à porcentagem de alongamento, etc.

Resiliência *(resilience)*: É a capacidade de um corpo deformado poder recuperar seu tamanho e sua forma após deformação.

Resistência *(strenght)*: Termo geral para definir a capacidade de um material para suportar cargas de tração, compressão ou cisalhamento.

Rugosidade *(roughness)*: Irregularidade na superfície do perfil, representada por picos e vales em todo o seu comprimento. Para correção recomenda-se verificar a necessidade de polimento e nitretação da matriz de extrusão.

Semi-acabado *(semi finished)*: Também chamado de semimanufaturado. A maior parte dos produtos extrudados é constituída de semi-acabados, considerando-se que são matérias-primas para fabricações subseqüentes como usinagem, dobra, serralheria, forjamento, estampagem, etc. Nas exigências de qualidade em termos de acabamento superficial, este aspecto deve ser considerado.

Série galvânica *(galvanic serie)*: Ordem dos metais e ligas que mostra, em um contato de dois metais diferentes, qual será corroído preferencialmente: ligas de magnésio, zinco, alumínio e suas ligas, lâminas de cádmio, aço doce, ferro fundido ou forjado, lâminas de cromo, soldas de chumbo-estanho, chumbo, estanho, latões, cobre, bronzes, *monel*, níquel, aços inoxidáveis. Apesar das suas posições relativas na tabela, zinco, cádmio, cromo e aços inoxidáveis polarizam-se e tornam-se inertes ao alumínio, podendo, assim, ser acoplados a ele (lembrando que o uso do zinco ou do cádmio não é permitido na indústria alimentícia). O metal mais recomendado para união com o alumínio é o aço inoxidável não magnético, recomendando-se o aço inoxidável austenítico AISI 304 para parafusos empregados em esquadrias. O aço comum só pode ser usado se a galvanização (deposição de zinco em sua superfície) for de excelente qualidade, com camada mínima de 60 micrômetros, acrescida de pintura protetora, minimizando o risco de descascamento.

Tarugo *(log)*: Lingote para extrudar ou tarugo inteiro. Produto de forma geralmente cilíndrica, obtido por fundição e destinado à extrusão (ABNT NBR 6599:2000).

Têmpera *(temper)*: Estado que adquire o material pela ação das deformações plásticas a frio ou a quente, por tratamentos térmicos ou pela combinação de ambos, dando ao produto estrutura e propriedades características (ABNT NBR 6835:2000). Nas designações, o "H" indica a dureza do encruamento de ligas não tratáveis termicamente.

Teste de anodização *(anodizing test)*: Teste não destrutivo que utiliza o processo de anodização crômica para detectar certos defeitos em material já anodizado. Se no material houver trincas, dobras ou bolhas superficiais, elas reterão parte da solução crômica, que posteriormente aflora e mancha a película anódica.

Tolerância *(tolerance)*: Desvio admissível de uma característica específica (ABNT NBR 6999:2000).

Tratamento térmico *(heat treatement)*: Aquecimento e resfriamento de um material metálico sólido, de forma a obter-se condições ou propriedades desejadas. Aquecimento com o único propósito de realização de trabalho a quente não é considerado tratamento térmico.

Trefilação *(drawing)*: Processo metalúrgico de deformação plástica que consiste na redução da secção transversal de uma barra, vergalhão, arame, perfil ou tubo, tracionando-os a frio, através de matriz chamada trefila ou fieira (ABNT NBR 6599:2000).

Tubo *(tube)*: Produto dúctil oco, de secção transversal uniforme ao longo do seu comprimento, tendo só um vão com uma periferia contínua e espessura de parede uniforme, fornecido em unidades retas ou em rolos. As secções transversais podem apresentar as seguintes formas: redonda, quadrada, retangular, poligonal regular e elíptica (ABNT NBR 6599:2000).

GLOSSÁRIO DAS PRINCIPAIS PALAVRAS-CHAVE

Avaliação Pós-Ocupação (APO) – Do inglês. Post-Occupancy Evaluation (POE) – avaliação retrospectiva (no sentido de repensar o projeto após sua utilização) de ambientes construídos ou naturais. Adotada para diagnosticar e recomendar, segundo uma visão sistêmica e realimentadora, modificações e reformas no ambiente objeto da avaliação e para aprofundar o conhecimento sobre este ambiente, tendo-se em vista futuros projetos similares. É aplicada através de multimétodos e técnicas e leva em conta o ponto de vista dos especialistas/avaliadores e dos usuários dos ambientes, leigos ou não.

Construção. s.f. (latim *constructio*). 1. Ato ou efeito de construir, edificação, fabricação. 2. O que está construído, edificado. 3. Disposição das partes de um edifício, automóvel, avião, navio. 4. Composição, elaboração. 5. Conjunto das técnicas que permitem construir; setor de atividades cujo objetivo é construir.

Construir. v.t. (latim *construere*) 1. edificar, reunir as partes de um edifício, de uma máquina, de um aparelho. 2. desenhar, traçar. 3. Compor, imaginar. v.i. Fazer construções.

Desempenho. 1. Ato ou efeito de desempenhar (-se); cumprimento, exercício, execução. 2. Representação, atuação em cena. 3. Funcionamento de um equipamento, de uma máquina, de um projeto, de um processo, etc., com relação a características prefixadas (velocidade, consumo de combustível, estabilidade, produção, etc.).

Desempenho. 1. Ato o efeito de desempenhar (-se). 2. Execução de um trabalho, empreendimento, etc., que exige competência e/ou eficiência. 3. Conjunto de características ou de possibilidades de atuação de máquina, motor ou veículo (terrestre, aéreo ou marítimo), tais como: velocidade, capacidade de carga, agilidade, autonomia de movimentos, rendimento, etc. 4. atuação, comportamento.

Norma: Texto aprovado por comitê representativo, junto a uma associação nacional de normas técnicas.

Órgão: cada um dos elementos que compõem o edifício. Cada órgão é responsável por uma determinada função. Para assegurar o desempenho de cada uma destas funções, executam-se determinadas obras e serviços, utilizando-se *materiais*, técnicas e tecnologias.

Qualidade. (do latim *qualitate*) s.f. 1. Propriedade, atributo ou condição das coisas ou das pessoas capaz de distingui-las das outras e de lhes determinar a natureza. 2. Numa escala de valores, qualidade (1) que permite avaliar e, conseqüentemente, aprovar, aceitar ou recusar qualquer coisa: A qualidade de um vinho não se mede apenas pelo rótulo; Não há relação entre o preço e a qualidade do produto. 3. Disposição moral ou intelectual das pessoas: Não possui as qualidades necessárias para o posto. 4. Dote, dom, virtude: "Conhece-lhe as baldas, as nicas, as manhas, e as qualidades". (Afonso Arinos, Histórias e Paisagens, p123.). 5. Condição, posição, função. 6. Deprec. Espécie, casta, laia: Os justos evitam pessoas dessa qualidade. 7. Filos: Uma das categorias fundamentais do pensamento: maneira de ser que se afirma ou se nega de uma coisa. Nesta acepção, cf. quantidade (4) e relação (8). 8. Filos. Aspecto sensível e que não pode ser medido, das coisas.

Qualidade: Segundo o Código Civil Brasileiro e o Código de Obras da cidade de São Paulo, os materiais para a construção civil precisam apresentar prazo de durabilidade mínimo de 5 anos após o término da obra.

SIGLAS

AAMA – *American Architectural Manufacturers Association.*

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio.

ABCI – Associação Brasileira da Construção Industrializada.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

AFEAL – Associação Nacional de Fabricantes de Esquadrias de Alumínio.

ALBRAS – Alumínio do Brasil S.A.

ALCOA – *Aluminum Company of America.*

ALUMAR – Consórcio de Alumínio do Maranhão: é formado pelas empresas: Alcoa, Alcan, BHP Billiton e Abalco. É um dos maiores complexos de produção de alumínio e alumina do mundo, e começou a ser implantado em julho de 1980.

ALUVALE – Companhia Vale do Rio Doce Alumínio S. A.

ANSI – *American National Standards Institute.*

APO – Avaliação Pós-ocupação.

ART – Anotação de Responsabilidade Técnica.

ASBEA – Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura.

ASTM – *American Society for Testing and Materials.*

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.

BNH – Banco Nacional da Habitação.

BRE – *Building Research Establishment.*

BS – *British Standard.*

BSI – *British Standards Institute.*

CAD – *Computer Aided Design.*

CAM – *Computer Aided Manufacturing.*

CBA – Companhia Brasileira de Alumínio.

CDC – Código de Defesa do Consumidor.

CIB – *International Council for Research and Innovation in Building and Construction.*

COBRACON – Comitê Brasileiro de Construção Civil.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

CONMETRO – Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.

CQT – Controle da Qualidade Total.

CREA – Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia

CTE – Centro de Tecnologia de Edificações.

CTECH – Comitê Nacional de Desenvolvimento Tecnológico da Habitação.

CWDMA – *Canadian Window & Door Manufacturers Association.*

DIN – *Deutsches Institut für Normung.*

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral.

DNV – *Det Norske Veritas.*

FAU – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos do Ministério da Ciência e Tecnologia.

IACS – *International Annealed Copper Standard.*

IAF – *International Accreditation Forum.*

IAI – *International Aluminium Institut.*

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

ISO – *International Organization for Standardization.*

LME – *London Metal Exchange* – Bolsa de Metais de Londres.

MCE – Mercado Comum Europeu.

MDIC – Ministério das Cidades.

MERCOSUL – Mercado Comum do Sul.

NAFTA – *North America Free Trade Agreement.*

NBS – *National Bureau Services.*

NSDJA – *National Sash & Door Jobbers Association.*

PBQP-H – Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat.

PIB Industrial – Produto Interno Bruto Industrial.

PPA – Plano Plurianual.

PSQ – Programa Setorial da Qualidade – Esquadrias de Alumínio.

RILEM – *Réunion Internationale des Laboratoires d´Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions.*

SGA – Sistema de Gestão Ambiental.

SINDICON – Sindicato da Indústria da Construção Civil de Pequenas Estruturas.

SINDUSCON – Sindicato da Indústria da Construção Civil.

TC – Sigla do Comitê Técnico da ISO.

TQC – *Total Quality Control.*

TQM – *Total Quality Management.*

USP – Universidade de São Paulo.

WDMA – *Window and Door Manufacturers Association.*

SIMBOLOGIA

DCC – Diâmetro do círculo circunscrito.

EPDM – Etileno Propileno Dieno Monômero.

GWh – Gigawatts-hora.

J_x – *Momento de inércia.*

KWh_{cc} – Quilowatts-hora por centímetro cúbico.

L – *Expansão linear.*

LE – Limite de Escoamento.

LRT – Limite de Resistência à Tração.

M_f – Momento fletor.

MIG – *Metal Inert Gas.*

Mpa – Megapascais.

MWh – Megawatts-hora.

PFC – Perfluorcarbono.

PVC – Policloreto de vinila.

P_e – *Pressão de ensaio.*

P_{eq} – *Pressão de estanqueidade à água.*

P_S – *Pressão de sucção.*

q – *Pressão de obstrução.*

r – *Valor de carregamento.*

RAC – Relação Ambiente-comportamento.

S_1 – Fator topográfico.

S_2 – Fator: rugosidade do terreno e altura da edificação.

S_3 – Fator probabilístico.

TIG – *Tungsten Inert Gas*.

V_K – Velocidade característica no local da obra.

V_0 – Velocidade dos ventos (isopletas).

W_x – *Módulo de resistência.*

ΔT – Intervalo da variação térmica.

δ_{adm} – *Tensão admissível.*

σ – Tensão normal.