

Isa Miguel Duarte Martins Reis



Tratamento de superfícies por anodização

Porto, 2003

Isa Miguel Duarte Martins Reis



Tratamento de superfícies por anodização

Porto, 2003

Isa Miguel Duarte Martins Reis

Tratamento de superfícies por anodização

Monografia apresentada à Universidade Fernando Pessoa como parte dos requisitos para a obtenção do grau de licenciada em Engenharia do Ambiente.

Isa Miguel Duarte Martins Reis

Ao meu Pai

Agradecimentos

Agradeço à Eng.^a Alzira Dinis pelo apoio e disponibilidade prestada durante a elaboração da monografia.

Agradeço à Eng.^a Palmira Tavares pela disponibilidade, acompanhamento e fornecimento de material de apoio.

Agradeço a colaboração da empresa *Alumínios Ibérica, Lda.* por facultar documentação e dados reais referentes à sua actividade. Como também por facilitar o estudo prático do processo.

Agradeço aos docentes da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Fernando Pessoa pelo incentivo e ensino prestados durante a formação académica.

Resumo

A anodização de perfis de alumínio destinados à arquitectura e decoração provoca impactes ambientais mais ou menos significativos consoante a consciencialização dos empresários para as questões ambientais. Sabe-se que é impossível a produção sem geração de poluição, mas as medidas preventivas em conjunto com o desenvolvimento tecnológico, podem impedir que a poluição se torne tão significativa como se tem vindo a verificar (Capítulo I).

A anodização é um tratamento de superfície que tem por finalidade a protecção da superfície do alumínio contra os agentes corrosivos através da formação de uma camada de óxido na sua superfície. Actualmente, cada vez se recorre com mais frequência a este tipo de revestimento devido à sua eficiência de protecção e aos atraentes acabamentos estéticos que é possível obter. No Capítulo II abordam-se as diferentes etapas de tratamento que podem compor uma linha de anodização salientando-se a tendência actual de utilização e os motivos que conduzem a esta evolução. Os revestimentos anódicos, não são somente superiores mecanicamente, mas são também mais resistentes à corrosão, enquanto formam uma base bastante adequada para a absorção de colorações resistentes à luz. É, por isso, possível a obtenção dos mais atractivos e coloridos acabamentos.

Destacam-se no Capítulo III as influências deste tipo de processo no ambiente, nomeadamente ao nível da geração de efluentes líquidos e resíduos, não descurando a importante relação com a área da segurança, higiene e saúde no trabalho.

No Capítulo IV apresenta-se uma empresa, como caso prático, referindo as etapas que utiliza no seu processo de anodização evidenciando-se o tratamento promovido aos efluentes líquidos e o destino final das lamas de alumínio. Utilizando os valores reais desta empresa efectuou-se a simulação da produção diária de alumínio anodizado em duas ferramentas informáticas distintas, *Stella* e *Matlab*. O trabalho finaliza com uma pequena demonstração da importância de um desmineralizador, quer em termos económicos pela, redução do consumo de água, quer pela mais valia que representa reciclar a água, em termos de economia de recursos ambientais.

ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE TABELAS.....	vii
GLOSSÁRIO.....	ix
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO II – ANODIZAÇÃO	
1. Tratamento de superfícies – anodização.....	3
1.1. Propriedades do alumínio.....	3
1.2. Ligas de alumínio.....	5
1.3. Processo de anodização.....	6
1.3.1. Suspensões.....	8
1.3.2. Preparação da superfície.....	9
1.3.2.1. Tratamentos mecânicos.....	10
1.3.2.2. Tratamentos químicos.....	10
1.3.2.2.1. Desengorduramento.....	11
1.3.2.2.2. Decapagem.....	13
1.3.2.2.3. Acetinagem.....	14
1.3.2.2.4. Neutralização.....	14
1.3.3. Tipos de anodização.....	15
1.3.3.1. Anodização em ácido sulfúrico.....	15
1.3.3.2. Anodização com corrente alternada.....	20
1.3.3.3. Anodização em ácido crômico.....	21
1.3.3.4. Outros tipos de anodização.....	22
1.3.3.5. Síntese dos processos de anodização industrialmente mais utilizados.....	23
1.3.4. Coloração.....	23
1.3.4.1. Coloração química ou por imersão.....	24
1.3.4.1.1. Coloração orgânica.....	24

	Pág.
1.3.4.1.2. Coloração inorgânica.....	24
1.3.4.2. Coloração electrolítica.....	26
1.3.4.3. Coloração combinada.....	27
1.3.5. Colmatação.....	29
1.3.6. Água.....	31
1.3.6.1. Águas de lavagem.....	31
1.3.6.2. Preparação das soluções de tratamento.....	33
1.3.7. Defeitos do revestimento anódico e suas causas.....	34
2. Normas aplicadas ao alumínio anodizado destinado à arquitectura de construção	35

CAPÍTULO III – QUESTÕES AMBIENTAIS E DE SEGURANÇA

1. Efluentes líquidos.....	37
2. Consumo energético.....	40
3. Resíduos.....	42
4. Emissões gasosas.....	46
5. Higiene e segurança no trabalho.....	47
5.1. Segurança industrial.....	48
5.2. Acidentes de trabalho.....	49
5.3. Prevenção e protecção contra incêndios.....	50
5.3.1. Líquidos inflamáveis.....	51
5.3.2. Combustíveis inflamáveis.....	52
5.3.3. Gases.....	52
5.3.4. Classes de fogo.....	52
5.4. Riscos dos produtos químicos perigosos.....	54
5.4.1. Riscos de explosão e incêndio.....	57
5.4.2. Riscos de irritação e de queimaduras por contacto.....	58
5.4.3. Riscos de intoxicação.....	58
5.4.4. Riscos para o ambiente.....	58
5.5. Riscos de choque eléctrico.....	59
5.6. Sinalização de segurança.....	60
5.7. Rotulagem e fichas de dados de segurança.....	62

	Pág.
5.7.1. Rotulagem.....	62
5.7.2. Fichas de dados de segurança.....	63
5.8. Equipamento de protecção individual.....	64
6. Sistemas de ventilação.....	67
CAPÍTULO IV – CASO PRÁTICO <i>ALUMÍNIOS IBÉRICA, LDA.</i>	
1. Apresentação da empresa.....	71
2. Anodização na <i>Alumínios Ibérica, Lda</i>	71
3. Simulação da produção diária de alumínio anodizado.....	73
3.1. Modelo Stella – Metodologia e descrição.....	73
3.1.1. Equações desenvolvidas no modelo.....	75
3.1.2. Resultados e discussão.....	77
3.2. Modelo Matlab – Descrição e discussão.....	79
4. Qualidade e Ambiente.....	82
4.1. Política de qualidade e ambiente.....	82
4.2. Efluentes líquidos.....	83
4.3. Consumo de gás e energia.....	86
4.4. Emissões atmosféricas.....	86
4.5. Geração de resíduos.....	87
4.6. Higiene e segurança.....	90
5. Exemplo prático de cálculo – Reciclagem da água sobre resinas de permuta iónica: Desmineralização.....	91
5.1. Funcionamento das resinas.....	92
5.2. Determinação da economia gerada pela utilização de um desmineralizador...	93
CAPÍTULO V – CONCLUSÕES.....	98

Bibliografia.....	Pág. 101
-------------------	-------------

ANEXOS

- ANEXO A - NP 1482:1985 Alumínio Anodizado – Características do revestimento dos produtos destinados à construção civil.
- ANEXO B - Tratamento físico-químico por decantação.
- ANEXO C - Necessidades térmicas.
- ANEXO D - Catálogo Europeu de Resíduos.
- ANEXO E - Conclusões e discussões dos projectos na área da reciclagem e reutilização de lamas de anodização de alumínio.
- ANEXO F - Incompatibilidade no armazenamento das substâncias perigosas.
- ANEXO G - Sinalização de segurança.
- ANEXO H - Frases R e Frases S.
- ANEXO I - Fichas de dados de segurança.
- ANEXO J - Processo *Vacudest*.
- ANEXO L - Consumos anuais eléctricos e de gás da *Aluminios Ibérica, Lda.*
- ANEXO M - Fichas de dados de segurança (*Aluminios Ibérica, Lda.*).

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura II.1. - Aspecto de um cristal de bauxite.....	3
Figura II.2. - Biletes de alumínio destinados à extrusão.....	4
Figura II.3. - Exemplo de diferentes formas de alumínio.....	4
Figura II.4. - Formação de biletes de alumínio e sua extrusão.....	4
Figura II.5. - Exemplo de uma instalação típica de anodização.....	7
Figura II.6. - Área de amarração dos perfis de alumínio numa linha de anodização...	8
Figura II.7. - Linha típica de anodização.....	8
Figura II.8. - Posição do bastidor para promover a drenagem do material antes de passar ao tratamento seguinte.....	9
Figura II.9. - Disco de polimento para efectuar o pré-tratamento mecânico mais utilizado.....	10
Figura II.10. - Estrutura da camada de óxido em formação.....	16
Figura II.11. - Poro anódico e concentração de corante na coloração química ou por imersão.....	24
Figura II.12. - Deposição de sais metálicos no poro anódico na coloração electrolítica.	26
Figura II.13. - As duas etapas da coloração combinada.....	27
Figura II.14. - Alimentação das tinas de lavagem.....	32
Figura III.1. - Triângulo do fogo.....	51
Figura III.2. - Símbolos das classes de fogos.....	53
Figura III.3. - Utilização de extintores.....	54
Figura III.4. - Exemplo de rótulo que deve constar nas embalagens dos produtos químicos perigosos.....	62
Figura III.5. - EPI: máscara com filtro para protecção das vias respiratórias.....	66
Figura III.6. - EPI: bota de segurança.....	66
Figura III.7. - EPI: fato para protecção química.....	66
Figura III.8. - Dispositivos de captação envolvente.....	69
Figura III.9. - Dispositivos de aspiração por hotte – situações típicas.....	69
Figura III.10. - Dispositivos de aspiração lateral: unilateral e bilateral.....	70
Figura III.11. - Dispositivos de aspiração e insuflação de ar.....	70
Figura IV.1. - Linha de anodização na empresa <i>Aluminios Ibérica, Lda</i>	71

	Pág.
Figura IV.2. - Variação do número de perfis ao longo do tempo, obtidos na simulação <i>Stella</i> , com uma entrada inicial de 20 perfis.....	77
Figura IV.3. - Necessidade de produtos químicos ao longo do tempo, obtida na <i>Stella</i> , assumindo uma entrada inicial de 20 perfis.....	78
Figura IV.4. - Produção efectiva em oito horas de trabalho na simulação <i>Stella</i>	79
Figura IV.5. - Variação do número de perfis em cada tina, ao longo do tempo, na simulação <i>Matlab</i>	81
Figura IV.6. - Número total de perfis ao fim de oito horas de trabalho na simulação <i>Matlab</i>	81
Figura IV.7. - Estratégia da <i>Alumínios Ibérica, Lda.</i> relativamente à reutilização da água tratada para o processo produtivo.....	83
Figura IV.8. - Tanques de concentrados da <i>Alumínios Ibérica, Lda.</i> para o armazenamento das soluções de tratamento.....	84
Figura IV.9. - Decantador e filtro-prensa utilizados na <i>Alumínios Ibérica, Lda.</i> como equipamento integrante da ETAR.....	85
Figura IV.10. - Sistema de aspiração da anodização (a e b) na <i>Alumínios Ibérica, Lda.</i> ..	87
Figura IV.11. - Desmineralizador.....	94

ÍNDICE DE TABELAS

	Pág.
Tabela II.1. - Condições operacionais para desengordurantes electrolíticos cujas soluções contêm soda cáustica e carbonato de sódio.....	13
Tabela II.2. - Condições de trabalho na etapa de decapagem para banhos ácidos e alcalinos.....	13
Tabela II.3. - Classes de espessuras da camada anódica.....	16
Tabela II.4. - Agressividade do ambiente para escolha da espessura de camada anódica mais indicada.....	16
Tabela II.5. - Condições de operação para o banho de anodização.....	20
Tabela II.6. - Efeito das condições de operação nas propriedades do revestimento de óxido anódico produzido em ácido sulfúrico.....	21
Tabela II.7. - Comparação entre a anodização em ácido sulfúrico e em ácido crómico	22
Tabela II.8. - Alguns processos de anodização para utilização em aplicações decorativas e protectoras.....	23
Tabela II.9. - Parâmetros e condições para a coloração orgânica.....	25
Tabela II.10. - Condições de trabalho para a coloração inorgânica.....	26
Tabela II.11. - Relação entre a tonalidade da cor e o tempo de permanência na coloração electrolítica.....	27
Tabela II.12. - Condições de trabalho para os diferentes tipos de colmatação.....	29
Tabela II.13. - Características das diferentes categorias da água.....	33
Tabela II.14. - Impurezas admissíveis na água a utilizar no processo de anodização....	34
Tabela II.15. - Defeitos frequentes do revestimento anódico e suas causas.....	35
Tabela II.16. - Normas aplicadas ao alumínio anodizado destinado à arquitectura.....	36
Tabela III.1. - Valores limite de emissão (VLE) na descarga de águas residuais.....	38
Tabela III.2. - Normas de descarga de águas residuais do sector de tratamento de superfícies.....	40
Tabela III.3. - Principais tipos de resíduos produzidos durante o processo de anodização, classificados de acordo com o código CER.....	43
Tabela III.4. - Estimativa aproximada da quantidade de lamas provenientes de linhas de anodização e lacagem geradas em Portugal em 1998.....	44

	Pág.
Tabela III.5. - Valores limite de exposição (VLE) para gases, vapores e partículas tóxicas presentes numa linha de anodização.....	47
Tabela III.6. - Substâncias extintoras mais adequadas às diferentes classes de fogos...	53
Tabela III.7. - Perigosidade das substâncias ou preparações de produtos químicos perigosos consoante a categoria.....	56
Tabela III.8. - Acções para protecção dos trabalhadores contra os danos provocados pela utilização de produtos químicos inflamáveis e explosivos.....	57
Tabela III.9. - Acções preventivas para controlar os riscos de intoxicações em consequência da exposição a produtos químicos perigosos.....	59
Tabela III.10. - Símbolos de perigosidade que devem ser impressos na rotulagem das substâncias e preparações químicas perigosas.....	63
Tabela III.11. - Equipamentos de protecção individual mais utilizados nas operações que envolvem o processo de anodização.....	65
Tabela III.12. - Esquema indicativo para o inventário dos riscos com vista à utilização de protecção individual.....	67
Tabela IV.1. - Função e capacidade das tinas que compõem a linha de anodização na empresa <i>Alumínios Ibérica, Lda.</i>	72
Tabela IV.2. - Produtos químicos utilizados na <i>Alumínios Ibérica, Lda.</i> e o seu respectivo consumo.....	73
Tabela IV.3. - Consumo anual de água no processo anodização na <i>Alumínios Ibérica, Lda.</i> em 2002.....	84
Tabela IV.4. - Emissão de poluentes atmosféricos na <i>Alumínios Ibérica, Lda.</i> , no primeiro trimestre de 2002.....	86
Tabela IV.5. - Resíduos de embalagem de produtos químicos produzidos na linha de anodização da <i>Alumínios Ibérica, Lda.</i> , em 2002.....	87
Tabela IV.6. - Resíduos banais e lamas provenientes da ETAR da empresa <i>Alumínios Ibérica, Lda.</i> , em 2002.....	88
Tabela IV.7. - Dados da resistência à compressão (N/cm ²) do produto cozido com introdução de lamas da <i>Alumínio Ibérica, Lda.</i> , em 2000.....	89
Tabela IV.8. - Dados ecotoxicológicos referentes à introdução de lamas da <i>Alumínios Ibérica, Lda.</i> em produtos cerâmicos, em 2000.....	89
Tabela IV.9. - Consumo de água afecto à regeneração do desmineralizar da <i>Alumínios Ibérica, Lda.</i> , em 2002.....	95

Glossário

AIMinho	Associação Industrial do Minho
APAL	Associação Portuguesa de Anodização e Lacagem
CBO ₅	Carência Bioquímica de Oxigénio
CER	Catálogo Europeu de Resíduos
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
CQO	Carência Química de Oxigénio
ECOCERAM	Inertização de Lamas Derivadas do Tratamento Físico-químico de Efluentes Galvânicos, por Introdução em Materiais Cerâmicos
EMAS	<i>Eco-Management and Audit System</i>
EPI	Equipamento de Protecção Individual
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
EURAS	Associação Europeia de Anodizadores
EWAA	Associação Europeia do Alumínio Trabalhado
IDICT	Instituto de Desenvolvimento e Inspecção das Condições de Trabalho
INEGI	Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Empresarial
INETI	Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial
ISO	<i>Internacional Standard Organization</i>
ITIME	Instituto Tecnológico para a Inovação e Modernização Empresarial
NP	Norma Portuguesa
OIT	Organização Internacional do Trabalho
QUALANOD	Associação para os Controlos de Qualidade na Indústria da Anodização
RGCE	Regulamento da Gestão do Consumo de Energia
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios
SHST	Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho
SST	Sólidos Suspensos Totais
TecMinho	Associação Universidade Empresa para o Desenvolvimento
VLE	Valor Limite de Emissão
VMA	Valor Máximo Admissível

Capítulo I – Introdução

Entende-se por Ambiente o conjunto de factores naturais, sociais, culturais, económicos e estéticos que interactuam com o Homem e as comunidades humanas e que determinam as suas características e inter-relações e a sua organização e progresso. Os bens e serviços promovidos pelo ambiente podem ser utilizados, em particular os recursos naturais, até um limite, sem risco de exaustão, desde que a capacidade de regeneração seja superior à de aprovisionamento (AIMinho, 1998). Sendo assim, o desafio que o Homem enfrenta consiste no desenvolvimento de uma economia global sustentável, onde se respeitem os recursos naturais, a segurança e a saúde dos trabalhadores e a comunidade circundante.

As empresas de tratamento de superfícies, neste caso em concreto, as que praticam a anodização, consomem um elevado número de recursos. De entre eles poder-se-á referir a água e a energia como sendo os de maior destaque. É também de salientar a utilização de substâncias perigosas. Segundo o IDITC (1996) as substâncias perigosas são elementos químicos e seus compostos, tal como são produzidos pela indústria. Poderão ter, na sua composição, um ou mais aditivos necessários à preservação da sua estabilidade, além de impurezas decorrentes do processo de fabricação. São exemplos os ácidos fortes.

A anodização (tratamento aplicado à superfície do alumínio) destina-se, essencialmente, à arquitectura de construção e decoração, tendo como objectivos principais o aspecto e a longevidade, sendo essencial que o produto anodizado mantenha o aspecto e a resistência à corrosão atmosférica (<http://www.extrusal.pt/boletim/03/pág.14.pdf>).

Inevitavelmente associada à actividade industrial a existência de determinadas emissões não pode ser vista de modo supérfluo por parte dos responsáveis das empresas, por quatro razões principais (AIMinho, 1998):

- Constitui um custo potencial para a empresa (na forma desperdício de matéria-prima e/ou de tratamentos fim de linha);
- Afecta directamente o bem-estar das comunidades mais próximas da unidade industrial, bem como dos próprios trabalhadores da empresa;
- Contribui para a melhoria do desempenho industrial;
- Contribui para a diminuição do potencial ambiental associado à produção.

Actualmente a competitividade industrial é cada vez mais elevada e exige-se dos produtos maior qualidade. Como tal, é necessário investir nas melhores tecnologias para que se obtenham os melhores produtos. O princípio da melhoria contínua não é novo na actividade industrial, as empresas procuram melhorar continuamente a sua eficácia financeira. É um facto inquestionável que não pode haver produção industrial sem gerar poluição e sem consumos, muitas vezes significativos, de recursos naturais e energia. Mas também não restam dúvidas que a evolução tecnológica vem revelando que é possível produzir mais e melhor consumindo menos; produzir de uma forma diferente, recorrendo a novos processos que racionalizem consumos, que reaproveitem resíduos e que utilizem produtos que minimizem os impactes ambientais (AIMinho, 1998).

Tendo como objectivo alcançar a melhoria contínua, utilizar as melhores tecnologias e caminhar de encontro a um melhor ambiente as empresas recorrem a instrumentos como o EMAS (*Eco-Management and Audit System*), as normas da família ISO 14000, as normas da família ISO 9000 e as normas da família ISO 18000. O EMAS tem como principal objectivo melhorar o comportamento ambiental e a performance financeira das unidades. A implementação de normas ISO 14000 credibiliza interna e externamente a qualidade dos produtos ou serviços do ponto de vista ambiental. A implementação de normas ISO 9000 garante a qualidade do produto e o respeito pelas condições exigidas à sua produção. As normas ISO 18000 dizem respeito à segurança e saúde no trabalho. De acordo com a Organização Internacional do Trabalho (OIT) os sistemas de gestão de Segurança e Saúde no Trabalho (SST) não têm um carácter obrigatório, tal como os sistemas de gestão da qualidade e ambiente, mas a implementação das suas recomendações, confere a nível organizacional, um forte instrumento de política global, de medidas de gestão e de motivação à organização para a aplicação de princípios e métodos adequados de gestão da SST, da qualidade e do ambiente para uma melhoria contínua (OIT, 2002).

Capítulo II – Anodização

A anodização, ao contrário de muitas operações de acabamento, é comercialmente utilizada unicamente para o alumínio. O processo é utilizado numa variedade de produtos de alumínio, desde aplicações aeronáuticas até aplicações decorativas e arquitectónicas (Adams, 1997). Neste trabalho o processo de anodização será abordado tendo em conta aplicações decorativas e arquitectónicas.

1. Tratamento de superfícies – anodização

A anodização é um processo electroquímico que permite a formação de uma camada de óxido na superfície do alumínio. Esta camada protege a superfície metálica contra os agentes corrosivos de modo uniforme, sendo possível a sua posterior coloração.

1.1. Propriedades do alumínio

O alumínio é dos elementos mais abundantes na superfície terrestre. Existe apenas no estado combinado em diversas rochas silicatadas, encontrando-se também em argilas, xistos e na bauxite. A bauxite, cujo aspecto se mostra na Figura II.1., é um óxido de alumínio hidratado ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) que se encontra normalmente associado a óxidos de ferro e titânio. A bauxite é o mineral de alumínio mais utilizado, contendo cerca de 40 a 60 % de alumina (Al_2O_3). Este mineral encontra-se com maior abundância nos países tropicais. A produção de alumínio é realizada a partir da alumina retirada do mineral bauxite. O mineral, depois de moído, é misturado com soda cáustica formando uma pasta que posteriormente é aquecida sobre pressão para a remoção de impurezas através de processos de sedimentação e filtração. Da solução resultante será removida a alumina; este processo ocorre em precipitadores por meio de uma reacção designada *cristalização por semente*. Todo o processo exige o consumo de quantidades significativas de energia (Varley, 1970; <http://www.extrusal.pt/por/alumínio-cont.html>; <http://www.imperiolatplast.hpg.ig.com.br/alumínio.htm>).



Figura II.1. – Aspecto de um cristal de bauxite ([http://www.javascrip:Openlmg \('.../bitmaps/minerais/jj0025.gif',bauxite',165,170\)\)](http://www.javascrip:Openlmg ('.../bitmaps/minerais/jj0025.gif',bauxite',165,170)))).

Depois da extracção do minério e remoção da alumina, seguida do alumínio, a etapa seguinte é a extrusão. A extrusão de perfis de alumínio é um processo que permite transformar cilindros, designados por biletos de liga de alumínio, conforme se pode visualizar na Figura II.2., em perfis muito variados, como se mostra na Figura II.3. Os biletos são obtidos a partir do alumínio líquido, que depois é fundido, adquirindo a forma cilíndrica de um bilete. São submetidos a um tratamento térmico de homogeneização, que visa preparar a estrutura em termos de tamanho de grão, para suportar a deformação plástica que irá sofrer no processo de extrusão. Segue-se um pré-aquecimento num forno, adquirindo um grau de ductilidade adequado para serem extrudidos. Após este pré-aquecimento, os biletos são forçados a fluir, pela acção de uma prensa horizontal de grande capacidade, através de uma matriz com uma ou mais aberturas com a forma do perfil desejado (Varley, 1970; http://meusitemackenzie.com.br/carlosmonezi/seminarios/2_2002/extrusão_de_alumínio_23_10_2001.pdf; <http://www.extrusal.pt/boletim/03/pág.9.pdf>), como ilustra a Figura II.4.



Figura II.2. – Biletos de alumínio destinados à extrusão (<http://www.extrusal.pt/por/alumínio-cont.html>).

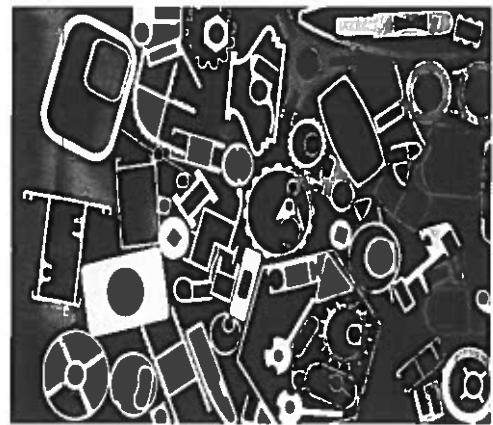


Figura II.3. – Exemplos de diferentes formas de alumínio (Varley, 1970).

As três características principais, nas quais é baseada a aplicação do alumínio é a sua baixa densidade, de aproximadamente 2,7, a sua elevada resistência mecânica, alcançada através de uma liga adequada, e a relativamente

elevada resistência à corrosão do metal puro. Outras propriedades valiosas incluem a sua

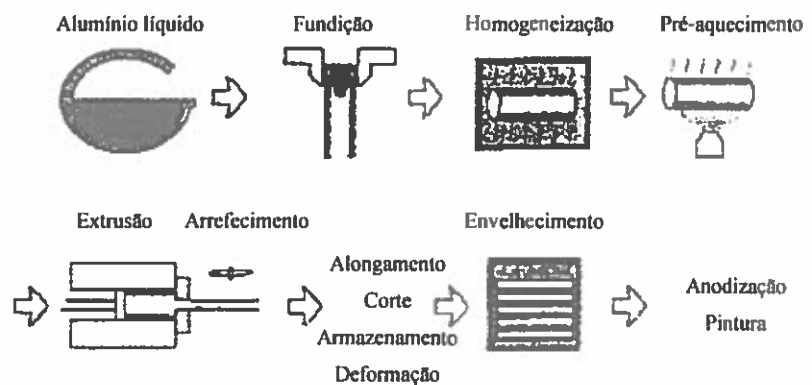


Figura II.4. – Formação de biletos de alumínio e sua extrusão (Aluminium extrusion, 1998).

elevada condutância térmica e eléctrica, a sua reflectividade e um baixo custo resultante relativo à maquinabilidade (Wernick *et al.*, 1987).

O alumínio no seu estado puro possui uma resistência à corrosão relativamente elevada necessitando duma menor protecção superficial do que a maioria dos metais pesados. Por outro lado, o alumínio comercial e as suas ligas, embora resistentes, são claramente mais sensíveis à corrosão (Wernick *et al.*, 1987). Os elementos de liga são adicionados ao alumínio para promover a melhoria das suas propriedades mecânicas (Donald e Wilbur, 1962).

1.2. Ligas de alumínio

Os principais elementos de liga adicionados ao alumínio são o cobre (Cu), o magnésio (Mg), o silício (Si), o manganês (Mn), o níquel (Ni) e o zinco (Zn). A escolha de uma ou outra liga depende da finalidade para a qual se destina a aplicação do material. As seguintes considerações são levadas em conta na escolha do tipo de liga (Varley, 1970; Wernick *et al.*, 1987):

- O ambiente de serviço, ou seja, interior, exterior ou exposição marítima, bem como a susceptibilidade às tensões internas;
- Adequabilidade do acabamento para a liga escolhida;
- Aplicações especiais, onde são requeridos elementos adicionais como dureza, resistência à abrasão e isolamento;
- Custo do processo.

Segundo Donald e Wilbur (1962), o cobre foi, por muitos anos, o elemento de liga mais utilizado, com uma percentagem de adição entre 4 a 8 %. No entanto, estas ligas (Al-Cu) apresentam uma menor resistência à corrosão (Varley, 1970).

Por sua vez as ligas contendo silício, numa quantidade de 1 a 14 % como elemento primário ou secundário, apresentam maior resistência à corrosão, baixa expansão térmica e alta condutividade. É comum que o Si seja utilizado como elemento de adição secundário nas ligas de alumínio – magnésio (Al-Mg). As ligas de Al-Mg-Si são as mais utilizadas para fins arquitectónicos por apresentarem uma resistência à corrosão elevada. As ligas que contenham apenas magnésio apresentam uma coloração mais clara, possuem boas propriedades mecânicas, são facilmente maquináveis e com o crescente aumento de magnésio (de 1 a 10 %)

são mais resistentes em ambientes mais agressivos, como perante uma atmosfera marítima (Donald e Wilbur, 1962; Varley, 1970).

O zinco é outro elemento de liga, normalmente adicionado, em conjunto com outros elementos, até uma quantidade máxima de 10 %. Este tipo de liga apresenta boas propriedades mecânicas devido à formação de fases intermédias duras como o Mg_2Zn (Donald e Wilbur, 1962).

1.3. Processo de anodização

A anodização é um processo cujo objectivo é a produção de filmes protectores e decorativos em artigos feitos de alumínio e suas ligas. O revestimento anódico é obtido pela imersão do alumínio numa solução contendo, normalmente, um electrólito ácido e promovendo a passagem de corrente directa a uma voltagem apropriada. Durante o processo, o alumínio é o ânodo e o cátodo é constituído por um material adequado susceptível de passagem de corrente. O filme de óxido formado é duro, resistente à abrasão e corrosão e é poroso, este facto permite a posterior coloração do revestimento. Uma vez que o revestimento formado é poroso este deve ser colmatado de forma a obter a resistência à corrosão pretendida (Brace e Sheasby, 1979; Adams, 1997).

Segundo Brace e Sheasby (1979), para a produção de um filme anodizado no alumínio são necessários:

- Uma fonte de corrente directa, e
- Uma solução ácida que fornecerá os iões de oxigénio.

O processo de anodização é composto por várias etapas conforme se ilustra na Figura II.5., que correspondem aos diversos tratamentos pelos quais o alumínio é submetido e às águas de lavagem.

A qualidade do alumínio a ser anodizado é muito importante, pois o acabamento final depende única e tão somente dele. Existem três tipos de alumínio (<http://www.epacorantes.com/anodizac/anodizac.com>):

- Extremamente puro, que contém 99,95 % de alumínio, ou mais;
- Puro, que contém até 1 % de ligas, podendo ser manganês, magnésio, silício e outros;

A Figura II.5. é a representação esquemática das diferentes etapas da anodização.



Figura II.5. – Exemplo de uma instalação típica de anodização (APAL, 1995).

- Qualidade anodizável, que contém mais ou menos elementos de liga, de acordo com a exigência final.

1.3.1. Suspensões

Como já foi referido anteriormente, no ponto 1.3., o processo de oxidação anódica consiste em fazer passar uma corrente eléctrica adequada através do material a tratar. Assim, o material deve estar intimamente ligado à barra anódica, conforme se ilustra na Figura II.6., por meio de condutores apropriados de corrente, como mostra a Figura II.7., que se designam por suspensões. O material que constitui a suspensão deve ser similar à liga do material a ser anodizado, ou, pelo menos, dum material em que o consumo de corrente seja baixo (Wernick *et al.*, 1987).



Figura II.6. – Linha típica de Anodização (Brace e Sheasby, 1979).

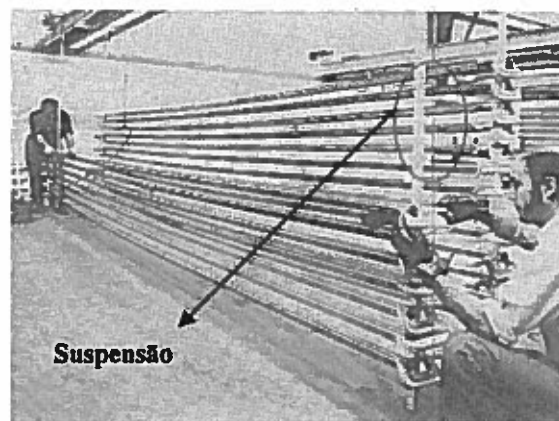


Figura II.7. – Área de amarração dos perfis de alumínio numa linha de anodização (Brace e Sheasby, 1979).

As suspensões devem ser eficientes no carregamento e descarregamento das peças. Para além deste facto, a sua escolha deve ter em conta alguns critérios (Brace e Sheasby, 1979):

- Capacidade de transporte de corrente: a montagem deve ser suficientemente grande de forma a fornecer a quantidade correcta de corrente a cada peça;
- Posicionamento das peças: a montagem dos perfis de alumínio na linha deve permitir o posicionamento adequado dos mesmos para permitir uma boa drenagem, evitando perdas por arrastamento e contaminação dos banhos seguintes, como se mostra na Figura II.8., e uma boa distribuição de corrente;

- Resistência à corrosão: a montagem deve possuir uma resistência à corrosão e calor suficientes para suportar o ambiente de cada fase do ciclo de anodização.

O principal problema das suspensões de alumínio é que elas próprias são anodizadas durante o processo e o filme anódico formado tem que ser removido após cada operação de anodização, pelo menos, nas zonas de contacto. Uma alternativa são as suspensões de titânio que possuem a vantagem do filme de óxido produzido durante a anodização ser suficientemente fino para não provocar problemas de contacto, logo não terão que ser submetidos ao tratamento de remoção de filme. No entanto, são mais dispendiosas e a capacidade de transporte de corrente

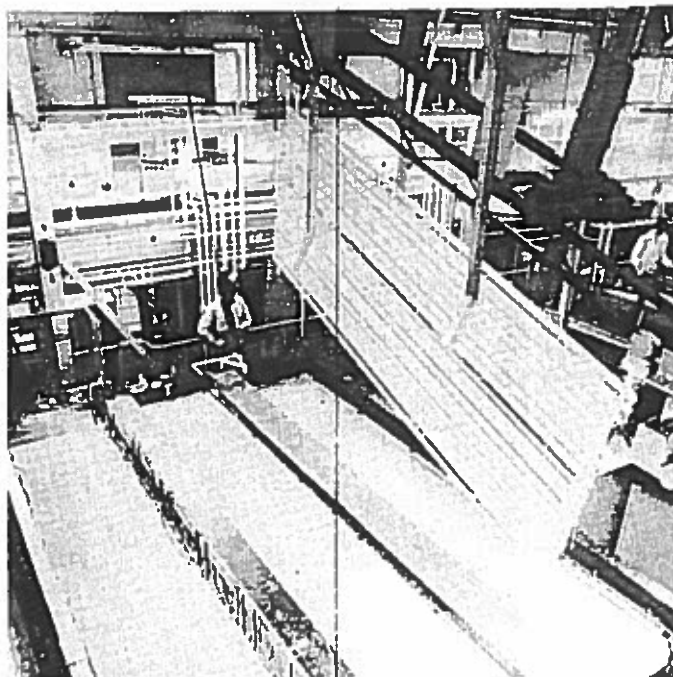


Figura II.8. – Posição do bastidor para promover a drenagem do material antes de passar ao tratamento seguinte (King, 1988).

não é tão boa como a do alumínio (Brace e Sheasby, 1979). Na prática, as suspensões mais utilizadas são as de Al-Mg-Si. Os pontos de contacto entre as suspensões e as peças a anodizar devem ser escolhidos com cuidado, uma vez que não é formado filme nesses mesmos pontos (Wernick *et al.*, 1987).

1.3.2. Preparação da superfície

Actualmente está bem estabelecido que as boas preparações superficiais são a chave para a obtenção duma boa protecção pelos revestimentos superficiais (Paul, 1986). Segundo Wernick e Pinner (1962), o aspecto, bem como a utilidade, dum produto de alumínio, depende de certa forma dos tratamentos superficiais que precedem o próprio acabamento.

Distinguem-se quatro aspectos visuais no alumínio anodizado para utilização na construção (APAL, 1995):

- Alumínio anodizado industrial não submetido a qualquer pré-tratamento de superfície do tipo mecânico ou químico;
- Alumínio anodizado submetido a pré-tratamento de polimento;
- Alumínio anodizado submetido a pré-tratamento de decapagem mecânica;
- Alumínio anodizado submetido a pré-tratamento de acetinagem química.

Os pré-tratamentos podem ser abordados segundo dois aspectos ou são mecânicos ou químicos.

1.3.2.1. Tratamentos mecânicos

O polimento mecânico é o pré-tratamento mecânico mais utilizado na anodização, é efectuado por discos de polimento como se mostra na Figura II.9., impregnados de abrasivos com o objectivo de limpar a superfície e remover os defeitos superficiais eliminando rugosidades. Como o alumínio é mais macio do que a maioria dos outros metais, as pressões empregues devem ser mais baixas, sendo necessário um maior cuidado para obtenção dos melhores resultados. Convém salientar que o polimento mecânico provoca perturbações na superfície do alumínio, podendo conduzir a transformações estruturais (Varley, 1970; Vaugh, 1987; Guillaies e Leroux, 1989).

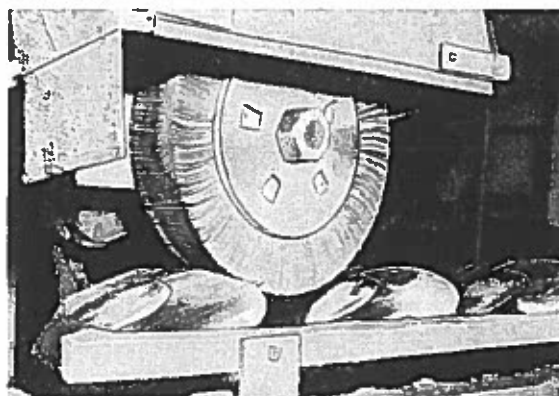


Figura II.9. – Disco de polimento para efectuar o pré-tratamento mecânico mais utilizado (Burkart, 1966).

1.3.2.2. Tratamentos químicos

São inúmeras as técnicas utilizadas nos tratamentos químicos que precedem a anodização. Todas com o intuito de eliminar da superfície sujidades gerais e poeiras, fluidos quimicamente absorvidos, óleos residuais provenientes da extrusão ou de outras operações, fluidos de corte, pós ou resíduos do torneamento do metal e pós de polimento (Paul, 1986). Dos tratamentos químicos destacam-se o desengorduramento, a decapagem, a acetinagem e a neutralização.

1.3.2.2.1. Desengorduramento

É essencial a adequada e correcta limpeza do alumínio antes do revestimento para que se possa obter um produto final de aspecto atraente e uniforme (Wernick e Pinner, 1962; Brace e Sheasby, 1979).

O desengorduramento consiste na eliminação de matérias oleosas e sujidades da superfície. Actualmente, existem três tipos de desengorduramentos principais (Wernick e Pinner, 1962; Pollack, 1964; Brace e Sheasby, 1979):

- (1) Desengorduramento alcalino;
- (2) Desengorduramento ácido;
- (3) Desengorduramento electrolítico.

(1) Desengorduramento alcalino

O processo actualmente mais utilizado é o desengorduramento realizado à base de soluções alcalinas; tem a vantagem de apresentar múltiplas possibilidades de aplicação. Comparativamente com outros produtos, desengordurantes clorados, as soluções alcalinas são menos perigosas embora não se possa esquecer a sua acção corrosiva. No entanto, como desvantagem, as soluções alcalinas tendem a atacar a superfície do alumínio dissolvendo-o (Pollack, 1964).

Distinguem-se dois tipos de banhos: os banhos fortemente básicos e os banhos básicos. Os fortemente básicos com pH superior a 11,5 apresentam um ligeiro poder decapante que pode ser atenuado pela presença dum inibidor de ataque (cromato, bórax, etc.). Os banhos de pH inferior ou igual a 10 não decapam o alumínio e o seu desengorduramento é concretizado com a mesma eficiência sem que seja necessário a adição de inibidores (Wernick e Pinner, 1962).

Segundo Pollack (1964); Wernick e Pinner (1962); Brace e Sheasby (1979), o pH da solução deve estar compreendido entre 9 e 11 e a temperatura de trabalho entre 60 a 80 °C. Quanto ao tempo de permanência do tratamento depende da eficiência do desengordurante e da sujidade do alumínio, mas estará sempre compreendido entre 5 a 10 minutos.

Uma boa solução de desengorduramento deve, assim, satisfazer as seguintes especificações (APAL, 1995):

- Molhar bem a peça para entrar em contacto com a sujidade;
- Dissolver a sujidade (por emulsão ou saponificação);
- Destacar da peça a sujidade gordurosa e pô-la em solução;
- Ser activa mas não atacar o alumínio;
- Eliminar a dureza da água (sais de cálcio e de magnésio) para reforçar a acção de desengorduramento.

(2) Desengorduramento ácido

Os desengordurantes ácidos são principalmente constituídos por ácido fosfórico, agentes emulsionantes e agentes molhantes. O desengorduramento faz-se por imersão em tanques de aço inoxidável ou de PVC durante cerca de 5 a 15 minutos, à temperatura ambiente. O tempo de permanência para que o tratamento seja efectuado depende do poder desengordurante da solução utilizada (Wernick e Pinner, 1962). A acção de limpeza deste tipo de banho é dupla (APAL, 1995):

1. Eliminação das matérias gordas por emulsão com o auxílio de tensio-activos, e
2. Eliminação da camada de óxido natural.

Para manter as propriedades do banho é necessária uma leve agitação por ar comprimido ou insuflado (APAL, 1995).

(3) Desengorduramento electrolítico

O desengorduramento electrolítico é um tipo de desengorduramento importante uma vez que permite uma boa aderência do revestimento à superfície do metal, apresentando uma protecção significativa e produzindo um efeito decorativo interessante. No entanto, dos três tipos de processos de desengorduramento é o menos utilizado (Pollack, 1964). O declínio da utilização dos desengordurantes electrolíticos pode ser relacionado com o desenvolvimento dos desengordurantes alcalinos e ácidos que requerem menos equipamento e custos mais reduzidos (Brace e Sheasby, 1979; Vaugh, 1987). As soluções mais empregues como desengordurantes electrolíticos são a soda cáustica e o carbonato de sódio. As soluções de soda cáustica são bons agentes saponificantes e apresentam boa condutividade ao contrário das soluções de carbonato de sódio (Pollack, 1964). Na Tabela II.1. estão apresentadas as condições operacionais para as soluções de soda cáustica e de carbonato de sódio.

No desengorduramento electrolítico de carbonato de sódio, o alumínio é imerso no banho cerca de 20 a 30 segundos antes da ligação da corrente. A corrente é ligada com uma densidade inicial de 5 A/dm^2 , decrescendo lentamente para 2 A/dm^2 após 5 a 10 minutos, quando o processo é completo (Varley, 1970).

Tabela II.1. – Condições operacionais para desengordurantes electrolíticos cujas soluções contêm soda cáustica e carbonato de sódio (Pollack, 1964; Varley, 1970).

Solução desengordurante	Temperatura (°C)	Voltagem (V)	Densidade de corrente média (A/dm^2)
Soda cáustica	70	6 – 8	3 – 5
Carbonato de sódio	70 – 95	12	3

1.3.2.2.2. Decapagem

Segundo Wernick e Pinner (1962), a decapagem química consiste no ataque da superfície metálica, modificando o aspecto e a topografia da superfície, pela dissolução do metal no banho. Óleos e sujidades podem ser removidos conjuntamente. Embora a decapagem promova a limpeza da superfície, a existência de um banho de desengorduramento numa etapa anterior é necessária para que se verifique uniformidade do ataque na superfície do alumínio. A decapagem é um processo frequentemente empregue na superfície do alumínio, pelas seguintes razões (Varley, 1970):

- Para remover imperfeições superficiais;
- Para produzir uma superfície limpa que actue como chave para a aplicação do acabamento.

Existem banhos de decapagem ácidos e básicos, estes últimos são os mais utilizados numa linha de anodização. Na Tabela II.2. apresentam-se as condições de trabalho para estes dois tipos de decapagem.

Tabela II.2. – Condições de trabalho na etapa de decapagem para banhos ácidos e alcalinos (Wernick e Pinner, 1962).

Decapagem	Temperatura (°C)	Concentração (%)	Tempo de imersão (min)
Banho alcalino (NaOH)	60	3 – 10	2 – 3
Banho ácido (H_2SO_4)	60 - 70	15	20

Segundo Wernick e Pinner (1962); Varley (1970), a acção do banho alcalino de decapagem, converte o alumínio em aluminato de sódio, e este hidroliza-se lentamente com a precipitação da alumina. Este precipitado deposita-se nas serpentinas de aquecimento e em consequência da elevada temperatura torna-se muito rígido, podendo provocar problemas (APAL, 1995):

- Redução da troca térmica entre as serpentinas e a solução;
- Dificuldade de limpeza da tina quando se transvasa o banho.

A adição de cerca de 1 % de gluconato de sódio permite a formação dum precipitado mais macio (Varley, 1970).

1.3.2.2.3. Acetinagem

Na bibliografia consultada, esta etapa de tratamento não consta de forma isolada, mas sim em conjunto com a decapagem. No entanto, na prática, elas devem ser independentes, pois, apesar dos banhos serem quimicamente semelhantes, o objectivo do tratamento é distinto. Tal como na decapagem, promove-se o ataque químico da superfície do alumínio alterando o aspecto deste (Wernick e Pinner, 1962). É devido a este facto que os dois tratamentos são, muitas vezes, acoplados num só banho. Mas a finalidade deste tratamento está mais relacionada com o aspecto final que se pretende obter, ou seja, é um banho de ordem estética, para a obtenção de um aspecto mate mais ou menos pronunciado. A formulação geralmente utilizada é composta por soda cáustica e complexantes (APAL, 1995).

1.3.2.2.4. Neutralização

Não há qualquer referência bibliográfica a esta fase tratamento, verifica-se apenas em termos práticos consoante os processos de tratamento anteriores, uma vez que se destina a eliminar a basicidade existente no metal devido aos tratamentos alcalinos precedentes. O objectivo deste tratamento é o de conseguir que não se verifique uma contaminação rápida do banho de anodização que se segue.

A solução de neutralização pode conter ácido nítrico ou ácido sulfúrico. A solução contendo ácido nítrico é a mais utilizada, trabalhando-se com uma concentração de 150 a 250 g/L. O ácido nítrico tem a propriedade de passivar (tornar quimicamente inerte) o alumínio posto a descoberto, protegendo-o no decurso das lavagens que precedem a anodização. À solução contendo ácido sulfúrico têm que ser adicionados aditivos específicos de forma a fornecer aos

banhos os agentes oxidantes indispensáveis à sua eficácia. A concentração de trabalho é, em geral, entre 40 a 60 g/L (APAL, 1995).

1.3.3. Tipos de anodização

A possibilidade de produção de revestimentos de óxidos anódicos no alumínio e suas ligas tem aumentado marcadamente a amplitude de aplicações comerciais destes materiais. Isto é devido às propriedades específicas dos revestimentos óxidos, obtidos por diversos tipos de anodização, como a sua dureza e elevada resistência à abrasão, inércia química que garante uma boa protecção do metal contra meios agressivos, bem como exposição às condições atmosféricas (Biestek e Weber, 1976).

1.3.3.1. Anodização em ácido sulfúrico

As condições de operação influenciam as propriedades dos revestimentos. Assim, a utilização de soluções diluídas e temperaturas baixas, favorecem revestimentos duros, enquanto que soluções mais concentradas e temperaturas mais elevadas podem produzir revestimentos mais macios, podendo, numa situação extrema, ser esponjosos e fáceis de destacar (Biestek e Weber, 1976; Brace e Sheasby, 1979; Wernick *et al.*, 1987).

De todos os processos de anodização disponíveis, o processo que utiliza ácido sulfúrico é o que possui maior aplicabilidade (Varley, 1970; Wernick *et al.*, 1987). Assim, o electrólito usado para a formação do revestimento anódico é o ácido sulfúrico e o ânodo é o alumínio. Aquando da passagem de corrente será libertado hidrogénio no cátodo, não se verificando, no entanto, quaisquer bolhas de oxigénio gasoso no ânodo, pois o oxigénio é utilizado na formação do filme de óxido (Varley, 1970). A concentração do ácido sulfúrico é normalmente escolhida entre 150 a 220 g/L. Quanto mais concentrado estiver o ácido melhor é a condutibilidade eléctrica do banho, com uma economia de tensão eléctrica (APAL, 1995).

A norma NP 1482:1985 destina-se a fixar, em função das condições de agressividade do ambiente e de outras condições de utilização, as exigências relativas às principais características dos revestimentos de produtos de alumínio anodizado para utilização em construção civil ou arquitectural e respectivos métodos de ensaio (Anexo A). A norma prevê cinco classes de espessuras para o alumínio anodizado de acordo com o apresentado na Tabela II.3.

Tabela II.3. – Classes de espessuras da camada anódica (NP 1482:1985).

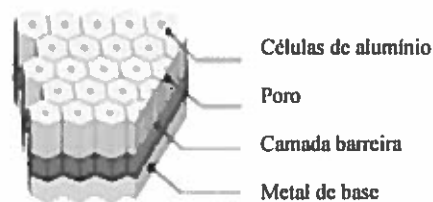
Classe	Espessura média mín. (µm)	Espessura local mín. (µm)
5	5	4
10	10	8
15	15	12
20	20	16
25	25	20

A escolha da espessura deve ser estabelecida de acordo com o utilizador e é função do grau de agressividade do meio no qual o material deverá ser instalado (APAL, 1995). De acordo com a referida norma consideram-se quatro graus de agressividade. Na Tabela II.4. indica-se, a título informativo, a escolha da espessura consoante a agressividade do ambiente.

Tabela II.4. – Agressividade do ambiente para escolha da espessura de camada anódica mais indicada (NP 1482:1985).

Aplicação	Agressividade do ambiente	Classe
Interior	Não agressivo	5
	Fracamente agressivo	10
Exterior	Fracamente agressivo	15
	Moderadamente agressivo	20
	Fortemente agressivo	25

O filme é constituído por um elevado número de células hexagonais, cada uma com um poro no seu centro (Varley, 1970; Brace e Sheasby, 1979), como se pode observar na Figura II.10. O tamanho das células hexagonais é dependente da voltagem aplicada; quanto maior é a voltagem, maiores são as células. Imediatamente após a formação, o filme é muito absorvente podendo ser facilmente marcado e danificado, logo antes de ser utilizado deve ser colmatado. A colmatação consiste na hidratação dos poros (Varley, 1970). A

**Figura II.10.** – Estrutura da camada de óxido em formação (<http://www.extrusal.pt/boletim/03/pág.14.pdf>).

espessura de filme varia com o electrólito usado e com as condições de operação, especialmente a temperatura que afecta a velocidade de dissolução (Wernick *et al.*, 1987).

Seguidamente abordam-se algumas variáveis que influenciam a camada anódica:

- (1) Controlo da espessura da camada de anodização;
- (2) Densidade de corrente;
- (3) Temperatura do banho;
- (4) Agitação do banho;
- (5) Efeito da concentração do ácido;
- (6) Efeito das condições operacionais.

(1) Controlo da espessura da camada de anodização

O filme de óxido anódico consiste em duas camadas, a camada porosa exterior mais espessa crescendo numa camada interna mais fina, densa e dielectricamente compacta, e denominada camada activa, filme barreira ou filme dieléctrico (Biestek e Weber, 1976).

A espessura do filme de óxido anódico varia de acordo com o processo utilizado e com a duração do tratamento. Nos artigos produzidos para fins decorativos a espessura do filme é uma questão de compromisso, uma vez que os filmes mais espessos necessários para a durabilidade reduzem inevitavelmente a reflectividade ou brilho da superfície (Varley, 1970). A espessura da camada anódica aumenta progressivamente durante um certo período de tempo (cerca de 2 horas). A fórmula empírica que permite determinar a espessura da camada é a seguinte (APAL, 1995):

$$e = 0,3 \times d \times t \quad (1)$$

Onde,

- e - Espessura da camada (μm)
- d - Densidade de corrente (A/dm^2)
- t - Tempo (min)
- 0,3 - Factor de proporcionalidade

Assim, o tempo de permanência dos perfis dentro da solução irá variar, para a obtenção de diferentes espessuras.

(2) Densidade de corrente

Existe, segundo Brace e Sheasby (1979), uma variedade de factores que influenciam a voltagem requerida para produzir uma determinada densidade de corrente: a força do ácido sulfúrico, a quantidade de alumínio dissolvido no ácido sulfúrico, a temperatura do electrólito, a necessidade de agitação do banho e a liga de alumínio utilizada. A densidade de corrente determina a velocidade de crescimento do filme de óxido anódico e este é o valor que deve ser conhecido se se pretender a obtenção de uma espessura controlada. Se for utilizado um valor de voltagem para controlar a espessura, pode, numa maior ou menor escala, resultar num trabalho insatisfatório, resultando um revestimento de óxido anódico ou muito espesso ou muito fino. A corrente eléctrica utilizada varia, normalmente, de 1,2 a 2 A/dm² (APAL, 1995).

(3) Temperatura do banho

Durante a formação do revestimento de óxido é libertada uma grande quantidade de energia. Este fenómeno pode ser explicado pela reacção exotérmica do alumínio com o ácido e pela própria oxidação do alumínio. A quantidade de calor libertada durante 30 minutos de oxidação anódica de 1 m² de alumínio puro em ácido sulfúrico à densidade de corrente de 1,5 A/dm², é cerca de 1.000 Kcal (Biestek e Weber, 1976).

A quantidade de calor desenvolvida pode ser calculada aproximadamente pela seguinte fórmula (APAL, 1995):

$$Q = 0,86 \times I \times (V + 3) \quad (2)$$

Onde,

Q - Quantidade de calor desenvolvida (Kcal/h)

I - Intensidade da corrente (A)

V - Tensão (V)

Segundo Wernick e Pinner (1962), a acção da temperatura é praticamente nula sobre a velocidade de oxidação, uma vez que ela afecta pouco a condutibilidade do banho.

Contrariamente, a temperatura actua de forma exponencial sobre a velocidade de dissolução. Na prática recomenda-se um valor nominal de 20 °C. Na anodização para elementos arquitectónicos, convém, geralmente, uma precisão de 20 ± 1 °C, pois, a temperatura não só actua na morfologia do filme, mas também no seu aspecto.

Todo o calor libertado tem que ser eliminado por um sistema de arrefecimento. O arrefecimento do banho pode ser efectuado de diferentes maneiras (APAL, 1995):

- Fazendo circular água fria em serpentinas situadas nas paredes da tina;
- Fazendo circular o ácido por um grupo frigorífico arrefecido por ar ou por água.

(4) Agitação do banho

O processo de anodização gera calor, por isso é necessária a agitação de forma a prevenir o sobreaquecimento do banho e especialmente o do electrólito imediatamente adjacente às partes do alumínio que estão a ser anodizadas. Os dois requisitos essenciais para um sistema de agitação são que deve ser adequado e que não se deve introduzir materiais estranhos na solução. Um dos métodos usados é a utilização dum tubo perfurado em PVC ou polipropileno preso no fundo da tina de anodização. O tubo é alimentado por ar comprimido existindo um cuidado especial referente à não introdução de óleos e sujidades no electrólito. A agitação é um factor que é frequentemente negligenciado no processo de anodização. É difícil saber a agitação exigida para assegurar propriedades constantes na formação do óxido anódico, mas sugere-se 0,22 a 0,45 m³ por m² de superfície da tina para o banho da anodização (Brace e Sheasby, 1979).

(5) Efeito da concentração do ácido

Segundo Wernick e Pinner (1962), o ácido sulfúrico dissolve uma parte da camada de óxido ao mesmo tempo que ela se vai formando. A concentração do electrólito evolui conforme o envelhecimento do banho, por isso, deve ser verificado periodicamente o teor de ácido no banho. Para a boa funcionalidade do banho, ele deve conter, pelo menos, 3 a 4 g/L de alumínio dissolvido (APAL, 1995). No entanto, o teor de alumínio não deve ultrapassar 7 g/L para tratamentos decorativos, acima deste valor o filme tende a tornar-se opaco. Para tratamentos de protecção, sem exigências estéticas, admite-se um limite de 12 g/L (Wernick e

Pinner, 1962). Na prática, se o banho atingir 15 g/L de alumínio dissolvido deverá ser regenerado (APAL, 1995).

(6) Efeito das condições operacionais

Resumindo as variáveis que podem provocar alterações na camada anódica, apresenta-se na Tabela II.5. um exemplo concreto das condições de operacionalidade de um banho de anodização em ácido sulfúrico de forma a obter os melhores resultados.

Tabela II.5. – Condições de operação para o banho de anodização (APAL, 1995).

Condições	Anodização
Ácido sulfúrico	150 a 220 g/L
Teor em alumínio	3 a 4 g/L no mínimo 15 g/L no máximo
Densidade eléctrica	1,2 a 2 A/dm ²
Tensão eléctrica	12 a 20 V
Tipo de corrente	contínua

As propriedades do revestimento de óxido são influenciadas pela alteração de determinados parâmetros. Na Tabela II.6. é evidenciada a acção provocada no revestimento pela variação da concentração do ácido sulfúrico, do teor de alumínio no electrólito, da temperatura do electrólito, da densidade de corrente anódica e da agitação do electrólito (Biestek e Weber, 1976).

1.3.3.2. Anodização com corrente alternada

Segundo Wernick *et al.* (1987), o electrólito de ácido sulfúrico também pode ser utilizado para a anodização com corrente alternada. Este tipo de anodização produz revestimentos mais claros devido à menor espessura da camada de óxido em comparação com a camada obtida por corrente contínua, este processo também exige voltagens mais elevadas, cerca de 50 % superiores em relação ao processo com corrente contínua. Devido às limitações de espessura a aplicação da anodização com corrente alternada não é efectuada quando é necessária boa resistência à abrasão e corrosão. O número de poros formados neste processo é superior ao formado com uma corrente contínua, exigindo desta forma, uma colmatação maior em extensão.

40 minutos consoante a espessura requerida. Na Tabela II.7. apresenta-se uma comparação entre a anodização em ácido crómico e a anodização em ácido sulfúrico.

Tabela II.7. – Comparação entre a anodização em ácido sulfúrico e em ácido crómico (Biestek e Weber, 1976).

	Processo	
	Ácido sulfúrico	Ácido crómico
Custo	Menos dispendioso, quer em relação aos produtos químicos, quer em custos energéticos.	Mais dispendioso.
Planta automática	Pode ser implementado numa instalação automática.	Pode ser implementado numa instalação automática.
Composição da liga	A maioria das ligas é tratada com sucesso.	Ligas contendo mais de 5 % de metais pesados ou quantidades elevadas de silício não são tratadas de forma satisfatória.
Forma de trabalho	Os resíduos de H_2SO_4 possuem natureza corrosiva.	Os resíduos de ácido crómico inibem a corrosão.
Protecção	Os revestimentos não colmatados são menos resistentes. Quando colmatado os revestimentos são de boa qualidade.	Os revestimentos não colmatados são mais resistentes. Mas são finos, macios e não suportam o desgaste.
Aspecto	Claro e transparente.	Opaco.

1.3.3.4. Outros tipos de anodização

Para além dos referidos processos de anodização, existem outros, como a anodização em ácido oxálico e em ácido fosfórico. Contudo, estes apresentam uma aplicabilidade inferior em relação a um daqueles processos – ao processo de anodização em ácido sulfúrico. Isto devido a inúmeros factores sendo um dos mais importantes a qualidade de protecção dada contra a corrosão e abrasão da superfície anodizada.

Segundo Varley (1970), o processo de anodização com ácido oxálico produz filmes coloridos que vão de um beije pálido a castanho, de acordo com a liga utilizada e com as condições operacionais. O banho contém cerca de 4 % de ácido oxálico, a voltagem aplicada pode ser corrente contínua ou alternada, variando de 30 a 60 V, e a temperatura do banho pode variar desde a temperatura ambiente até 35 °C. A maioria dos processos que utilizam ácido oxálico tem sido substituída por ácido sulfúrico, devido à menor protecção contra a corrosão que estes processos apresentavam em relação aos que utilizam ácido sulfúrico (Biestek e Weber, 1976).

Um outro processo utiliza um electrólito com 250 g/L de ácido fosfórico, densidades de corrente de 1,1 a 1,6 A/dm² e 25 °C, durante um período de tempo de 10 minutos. A

solubilidade dos filmes anódicos em ácido fosfórico é muito mais elevada do que em ácido sulfúrico, resultando filmes mais finos e mais porosos (Brace e Sheasby, 1979).

1.3.3.5. Síntese dos processos de anodização industrialmente mais utilizados

Entre os muitos electrólitos que se encontram na bibliografia corrente poucos são de importância industrial. Os electrólitos industrialmente mais utilizados são os de ácidos crómico, sulfúrico e oxálico. Na Tabela II.8. são apresentados os processos que utilizam estes electrólitos, no entanto, deve ser lembrado que as condições de operação podem variar dentro de largos intervalos, e os fornecidos são os procedimentos padrão normalmente usados para alumínio puro (Wernick *et al.*, 1987).

Tabela II.8. – Alguns processos de anodização para utilização em aplicações decorativas e protectoras (Wernick *et al.*, 1987).

Parâmetros	Tipo de Processo									
	Ácido Crómico				Ácido Sulfúrico		Ácido Oxálico			
Composição do electrólito (%)	2,5-3				10-20		5-10	3-5	3-5	3-5
Densidade de corrente	Corrente contínua				Corrente contínua		Corrente contínua			
Voltagem	0-40	40	40-50	50	10-20		50-65	40-60	30-35	40-60
Temperatura (°C)	40				20-30		30	18-20	35	25-35
Tempo de tratamento (min)	10	20	5	5	10-30		10-30	40-60	20-30	40-60
Cor	Cinza opaco				Transparente incolor		Semi-transparente			
Espessura do filme	2-15				3-35		15	10-65	10-65	10-65
Aplicações	Para protecção, raramente para decoração. Não aplicada a ligas com mais de 5 % em metais pesados.				Dura, revestimentos protectores, boa base para tintas. Colmatado para máxima resistência à corrosão. Não utilizado em trabalhos com juntas.		Tanto protector como decorativo. Agora largamente suplantado pelo ácido sulfúrico.			

1.3.4. Coloração

Segundo Biestek e Weber (1976), os revestimentos de óxidos anódicos podem ser coloridos tanto com corantes orgânicos como inorgânicos. O revestimento anódico deve ser limpo e bem lavado de forma a remover dos poros todos os vestígios de ácidos para que seja efectuada a coloração. Antecedendo a coloração, a superfície do revestimento é activada numa solução

de ácido nítrico fria durante 1 a 10 minutos. Tal é recomendado apenas para revestimentos que foram mantidos durante longos períodos de tempo em água ou ar. Após activação, as peças são lavadas, primeiro em água corrente e depois em água destilada ou desmineralizada. Após coloração o alumínio é lavado e colmatado.

Dos processos de coloração, os mais conhecidos são os de – coloração química (ou por imersão), electrolítica e combinada – aproveitando a porosidade da camada anódica produzida na operação de anodização (<http://www.extrusal.pt/boletim/03/pág.14.pdf>).

1.3.4.1. Coloração química ou por imersão

A coloração química ou por imersão é o processo mais antigo que se conhece e é efectuado por imersão em uma ou mais soluções de corantes, quer orgânicos quer inorgânicos. O corante penetra nos poros até uma certa profundidade, conforme a qualidade e o poder de absorção da camada anódica. Pode-se observar, Figura II.11., que o corante se localiza à superfície do poro anódico. As tonalidades obtidas dependem da espessura da camada anódica e do tempo de imersão (<http://www.extrusal.pt/boletim/03/pág.14.pdf>).

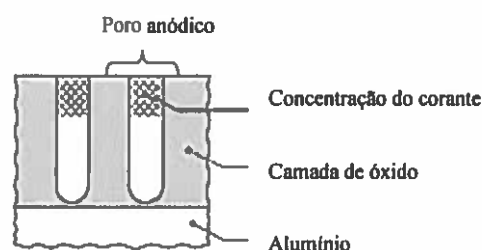


Figura II.11. – Poro anódico e concentração de corante na coloração química ou por imersão (<http://www.extrusal.pt/boletim/03/pág.14.pdf>).

1.3.4.1.1. Coloração orgânica

Segundo Brace e Sheasby (1979), são utilizados corantes orgânicos solúveis em água. Estes produtos químicos entram nos poros da camada de óxido e originam ligações químicas fortes (covalentes). Na Tabela II.9. estão descritas as condições favoráveis à coloração orgânica tendo em conta parâmetros como a espessura da camada, solidez do corante à luz, concentração, pH, tempo e temperatura, uma vez que são determinantes na obtenção de uma boa coloração.

1.3.4.1.2. Coloração inorgânica

Os corantes inorgânicos mais difundidos para o alumínio utilizado em construção são (APAL, 1995):

Tabela II.9. – Parâmetros e condições para a coloração orgânica (<http://www.cpacorantes.com/anodizac/anodizac.doc>).

Parâmetros	Condições
Espessura da camada	Espessura da camada elevada (> 20 µm), para obtenção das tonalidades mais escuras.
Solidez do corante à luz	O mais utilizado é o corante preto MLW da Sandoz.
Concentração	Pode variar de 3 a 30 g/L consoante o corante. Concentração do preto MLW Sandoz é 10 g/L.
pH	A maior parte dos corantes têm uma zona muito estreita de valores de pH. Para o preto MLW Sandoz o pH é $4,2 \pm 0,2$.
Tempo	Curto – absorção insuficiente (coloração apenas superficial). Longo – à partida não tem efeitos negativos, excepto na perda de produtividade. Tempo do preto MLW Sandoz cerca de 30 minutos.
Temperatura	Baixa – efeitos negativos na resistência à luz e sobre a tonalidade da cor. Elevada – colmatação parcial da camada, logo a absorção de corantes será efectuada de forma incorrecta. Temperatura para o preto MLW Sandoz é 60 ± 5 °C.

- Ouro – oxalato férrico amoniacal;
- Bronze – sal de cobalto e permanganato de potássio.

A coloração que utiliza a solução de oxalato férrico amoniacal é realizada numa única imersão, cuja concentração pode variar de 15 a 25 g/L e a temperatura de 35 a 45 °C. Quanto mais baixa a concentração e a temperatura, mais pálida é a coloração obtida. A profundidade da cor, por um lado, aumenta com o aumento da espessura do filme anódico, por outro não é linear com o tempo; aumenta rapidamente no primeiro minuto após o qual prossegue mais lentamente (Brace e Sheasby, 1979).

Para a produção de tons bronze, o processo é efectuado por imersão dupla, primeiro uma imersão numa solução de sal de cobalto seguida duma curta lavagem e imersão numa solução de permanganato de potássio. Para se obterem os tons desejados o processo pode ter que ser repetido diversas vezes. O tempo de lavagem entre as imersões é crítico, uma vez que uma lavagem prolongada origina uma desabsorção dos iões de cobalto enquanto que se for muito curta resulta numa precipitação superficial desigual em vez de uma precipitação nos poros (Brace e Sheasby, 1979). Na Tabela II.10. apresentam-se as condições de trabalho para os dois tipos de coloração inorgânica descritos.

Tabela II.10. – Condições de trabalho para a coloração inorgânica (APAL, 1995).

Parâmetro	Condições		
	Ouro	Bronze	
	Oxalato férrico amoniacal	Sal de cobalto	Permanganato de potássio
Concentração	15 a 25 g/L	5 a 10 g/L	10 g/L
pH	4,5 a 5	6 a 7	6 a 7
Temperatura	35 a 45 °C	Ambiente	Ambiente
Tempo	1 a 10 min, segundo a totalidade de ouro pretendida.	1 a 2 min	1 a 5 min, segundo a intensidade de bronze pretendida.

1.3.4.2. Coloração electrolítica

Segundo Schoener (1987), aproximadamente cerca de 60 % de todo o alumínio utilizado em aplicações arquitectónicas é colorido nos tons tradicionais da gama dos bronzes. Teoricamente, qualquer metal que possa ser electrodepositado a partir duma solução aquosa pode ser utilizado para a coloração electrolítica do alumínio anodizado. No entanto, somente um número limitado de metais, incluindo o cobalto, níquel e estanho, têm sido empregues comercialmente.

Os processos de coloração electrolítica baseados em estanho têm dominado o mercado da anodização arquitectónica. Mais de 80 % de todo o alumínio anodizado colorido electroliticamente é produzido utilizando processos com base no estanho.

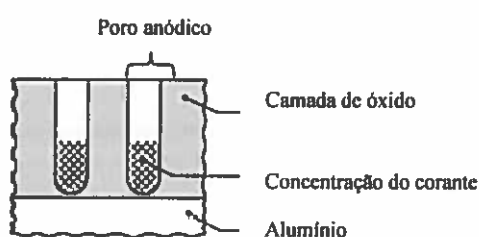


Figura II.12. – Deposição de sais metálicos no poro anódico na coloração electrolítica (<http://www.extrusal.pt/boletim/03/pág.14.pdf>).

Este tipo de coloração consiste na deposição electrolítica dum metal (estanho, níquel ou cobalto) na base dos poros do revestimento anódico como se ilustra na Figura II.12., por oposição ao que se verifica na coloração química. A coloração electrolítica é obtida por meio duma corrente alternada (<http://www.extrusal.pt/boletim/03/pág.14.pdf>).

A coloração electrolítica à base de estanho consiste numa mistura de sulfato de estanho e ácido sulfúrico juntamente com vários agentes aditivos. Os agentes aditivos são essenciais para produzir depósitos cristalinos e aderentes (Rodrigues *et al.*, 1999).

A concentração de sulfato de estanho varia normalmente entre 14 a 20 g/L, o banho é operado com uma tensão de 16 a 18 V e uma densidade de corrente de 0,3 a 0,5 A/dm² (APAL, 1995). São aplicados baixos valores de potencial devido à elevada condutividade destes banhos, o que, em termos práticos, se traduz numa redução de consumo eléctrico (Rodrigues *et al.*, 1999). Quanto à duração do tratamento, esta é variável consoante a tonalidade da cor pretendida, uma vez que a gama dos bronzes vai desde o champanhe, bronze claro, bronze médio, bronze escuro até ao preto. Para o controlo da duração do tratamento, os transformadores tradicionais têm uma subida de tensão programada e diferentes temporizadores para pré-fixar os tempos de tratamento (APAL, 1995). Na Tabela II.11. apresenta-se a relação entre a tonalidade da cor e o tempo de tratamento necessário.

Tabela II.11. – Relação entre tonalidade da cor e tempo de permanência na coloração electrolítica (APAL, 1995).

Tonalidade da cor	Tempo de permanência
Champanhe	45 s
Bronze claro	1 min
Bronze médio	3 min
Bronze escuro	6 min
Preto	12 a 15 min

De acordo com os parâmetros apresentados na Tabela II.11. é possível concluir que à medida que vai decorrendo o tempo de tratamento é possível obter colorações mais escuras.

1.3.4.3. Coloração combinada

Nos últimos anos tem-se observado, segundo Vaugh (1987), um grande aumento da utilização de cor nos componentes anodizados em várias aplicações arquitectónicas. A coloração combinada é um processo que tem por base o alargamento da gama de cores conservando boas garantias de resistência. É obtido como resultado de duas fases, como se mostra na Figura II.13., ou seja, consiste em sobre-colorir os tons de bronze obtidos na coloração electrolítica. Existem dois métodos para sobre-colorir o

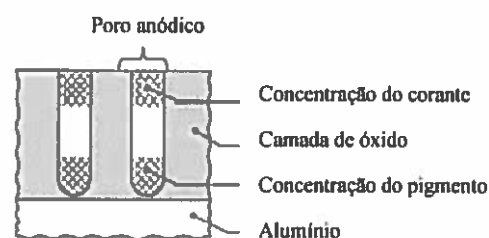


Figura II.13. – As duas etapas da coloração combinada (<http://www.extrusal.pt/boletim/03/pág.14.pdf>).

alumínio anodizado, em qualquer um deles o alumínio é submetido primeiramente à coloração electrolítica, e depois ou é novamente colorido electroliticamente ou é colorido com um corante orgânico como resultado das duas etapas explicadas anteriormente (Montgomery, 1987; [http://www.extrusal.pt/boletim/03/ pág.14.pdf](http://www.extrusal.pt/boletim/03/pág.14.pdf)).

No método que utiliza as duas colorações electrolíticas, o tratamento é composto pelas seguintes etapas (APAL, 1995):

- Coloração electrolítica num banho à base de estanho durante 1 a 3 minutos;
- Lavagem do material;
- Coloração electrolítica vermelha (à base de sais de cobre).

No método que utiliza coloração electrolítica e coloração orgânica, as etapas de tratamento são as seguintes (APAL, 1995):

- Coloração electrolítica (bronze ou vermelho);
- Lavagem do material;
- Passagem da carga numa tina contendo um corante orgânico.

A gama de cores que se pode obter neste processo é muito vasta: vermelho, verde, castanho, preto, azul, etc. e com pequenas variações no tempo de tratamento podem-se obter diferentes tonalidades dentro da mesma cor.

A título de exemplo, para a obtenção da coloração verde, procede-se da seguinte forma (APAL, 1995):

- Coloração electrolítica num banho à base de estanho durante 2 minutos;
- Lavagem minuciosa;
- Imersão durante 10 minutos numa solução de corante orgânico azul claro com uma concentração de 5 g/L e à temperatura de 40 °C.

O último procedimento é a colmatação do filme colorido. Este é um dos passos mais importantes de todo o processo porque afecta largamente a resistência à corrosão do produto final (Montgomery, 1987).

1.3.5. Colmatação

Segundo Biestek e Weber (1976), a colmatação é a última operação química no processo de oxidação anódica. A colmatação adequada é a condição mais importante para a obtenção duma protecção anti-corrosão efectiva e para assegurar a resistência dos revestimentos coloridos à luz e água. Aqui, a temperatura das soluções aquosas de colmatação, que devem ser mantidas entre 90 e 100 °C, desempenha um papel importante.

No decorrer da colmatação o óxido no filme é hidratado a $Al_2O_3 \cdot nH_2O$. Esta reacção está relacionada, entre outros aspectos, com uma modificação na malha cristalina originando uma colmatação dos poros e formação duma superfície altamente suave e resistente à marcação digital. Após a colmatação do alumínio, as substâncias absorvidas no revestimento não podem ser removidas, a menos que ocorra destruição do próprio revestimento. Para o processo se efectuar com sucesso é necessário que o tempo de colmatação seja respeitado (Biestek e Weber, 1976).

Existem diferentes tipos de colmatação, sendo uns mais adequados para alumínio anodizado colorido e outros apenas para alumínio anodizado. A colmatação com água em ebulição é o processo mais difundido ao nível industrial para alumínio anodizado colorido ou não destinado à construção. Para além deste processo também se utiliza a colmatação com vapor saturado, a colmatação com sais de níquel e a colmatação a baixa temperatura. Existem ainda outros processos de colmatação além dos quatro já referidos, mas são pouco utilizados quer pelos custos do próprio processo quer pela perigosidade dos produtos químicos necessários (Biestek e Weber, 1976; Brace e Sheasby, 1979; Wernick *et al.*, 1987). Na Tabela II.12. são apresentadas as condições de trabalho para os quatro tipos de colmatação mais utilizados.

Tabela II.12. – Condições de trabalho para os diferentes tipos de colmatação (Biestek e Weber, 1976; APAL, 1995).

Parâmetro	Colmatação				
	Água em ebulição	Vapor saturado	Sais de níquel	Baixa temperatura	
				Impregnação	Acelerador
Temperatura	≥ 96 °C	100 a 110 °C	≥ 96 °C	20 a 30 °C	70 a 80 °C
Tempo de imersão	3 min/μm	3 min/μm	3 min/μm	0,5 a 1 min/μm	10 min se a espessura for < 20 μm. 0,5 min/μm se a espessura for > 20 μm.
pH	5,5 a 6,5	Não é função do pH	5,5 a 6,5	6 ± 0,5	5,8 a 6,2

Se seguida, apresentam-se as características gerais dos diferentes tipos de colmatação mais utilizados evidenciando-se as vantagens e desvantagens de cada uma.

- | | | |
|---------------------------------|---|---|
| Colmatação com água em ebulição | { | <ul style="list-style-type: none">• Cobrir a superfície da tina com esferas de plástico para controlar a temperatura;• Influência negativa no processo provocada pela presença de iões fosfatos (PO_4^{3-}), silicatos (SiO_3^{2-}), fluoretos (F^-), cobre (Cu^{2+}) e ferro (Fe^{3+});• Utilização de água desmineralizada no banho;• Reciclagem em contínuo da água com filtração através de resinas de permuta iónica. |
| Colmatação com vapor saturado | { | <ul style="list-style-type: none">• Instalação mais cara;• Pequena tendência para descolorir o material;• Necessidade de trabalhar em recipientes fechados;• Possibilidade de escorrimentos devidos à água de condensação. |
| Colmatação com sais de níquel | { | <ul style="list-style-type: none">• A eficácia não é influenciada pela presença de iões poluentes (fosfatos, silicatos);• Não necessita de água desmineralizada;• O sal de níquel mais utilizado é o sulfato $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$;• Para colorações efectuadas com corantes orgânicos utiliza-se acetato de níquel $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ou formiato de níquel $\text{Ni}(\text{HCOO})_2$, este último é o mais estável. |
| Colmatação a baixa temperatura | { | <ul style="list-style-type: none">• A utilização de um único banho necessita de um tempo de reacção de 24 horas;• Utilizam-se, normalmente dois banhos, o segundo designa-se por acelerador da reacção;• Utilização de uma solução complexa à base de fluoretos de níquel;• Necessita de métodos e material adequado para doseamento dos fluoretos. |

1.3.6. Água

A água, bem cada vez mais escasso em termos de qualidade e quantidade, constitui um recurso quase sempre indispensável, directa ou indirectamente, aos processos industriais. Considerada como factor produtivo, incorporada no processo e/ou no produto, a água deve ser gerida de uma forma racional, de modo a minimizar consumos e descargas (AIMinho, 1998). Durante todo o ciclo da anodização, a água tem várias aplicações: alimentação das lavagens, preparação das soluções de tratamento, alimentação das caldeiras e arrefecimento das máquinas.

1.3.6.1. Águas de lavagem

As operações de lavagem ao longo de uma linha de anodização são muito importantes na garantia duma qualidade satisfatória do produto final. Muitos dos defeitos encontrados no alumínio anodizado são devido a lavagens defeituosas (Biestek e Weber, 1976; Brace e Sheasby, 1979).

A quantidade de água dependerá do processo e da quantidade de material a ser lavado, mas com o aumento do custo da água, muitas empresas controlam cuidadosamente a quantidade de água que utilizam, recorrendo mesmo à reciclagem, bem como a outros sistemas de minimização do consumo deste bem, como por exemplo alimentação de águas em paralelo e alimentação de águas em cascata como se mostra na Figura II.14. Na maioria dos casos utiliza-se água corrente que é introduzida continuamente, na tina de lavagem, pelo fundo e retirada continuamente pelo topo, do lado oposto (Brace e Sheasby, 1979).

O facto de uma empresa proceder à alimentação das águas de lavagem em cascata apresenta as seguintes vantagens (APAL, 1995):

- Redução do consumo de água (em certos casos superior a 50 %);
- Dimensão mais reduzida da estação de tratamento, em virtude do volume de água a tratar ser inferior;
- Melhor rendimento do purificador devido à maior carga de poluição específica na água.

A Figura II.14. ilustra as duas formas de efectuar o abastecimento das águas de lavagem.

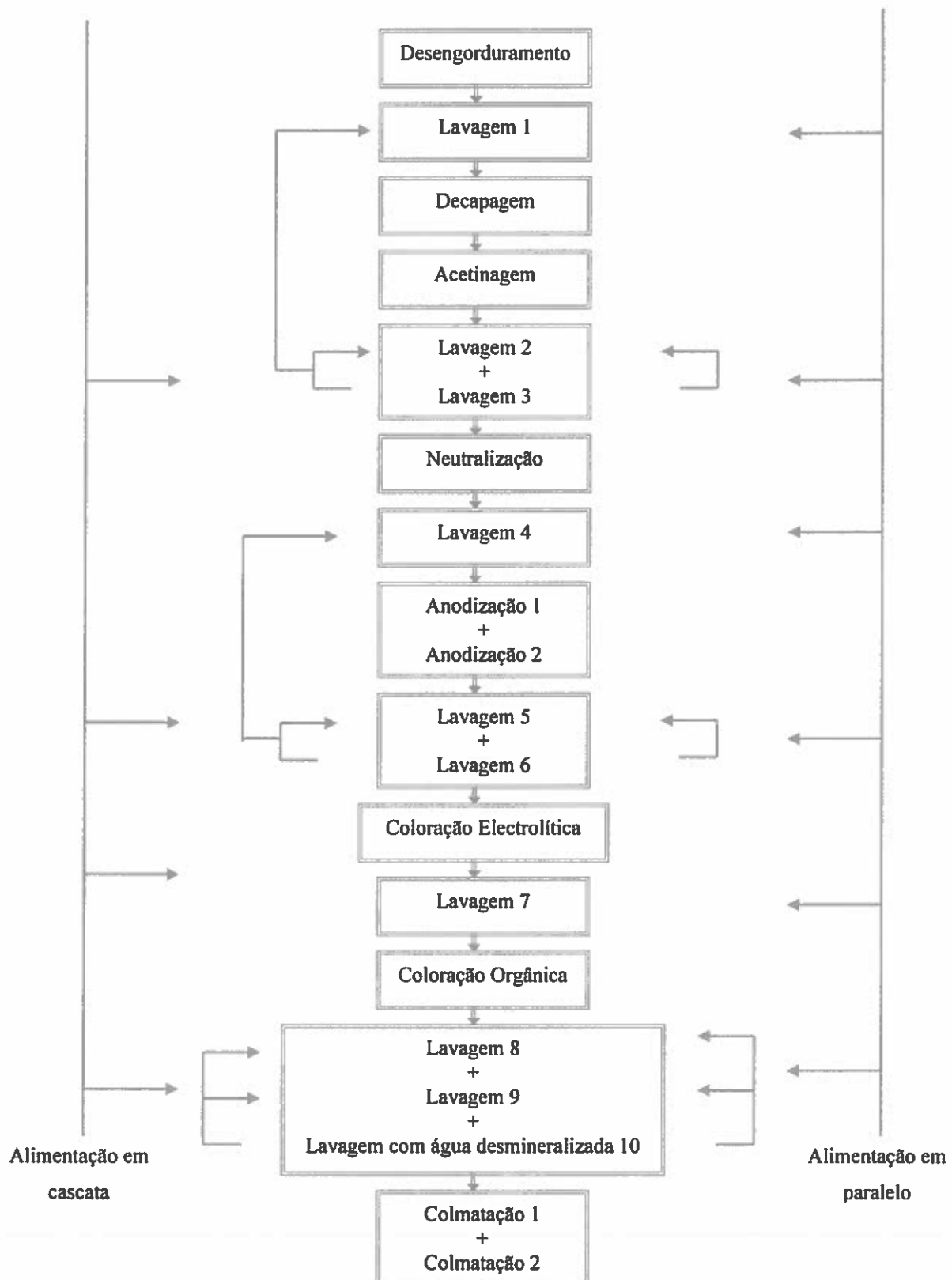


Figura II.14. – Alimentação das tinas de lavagem (APAL, 1995).

Segundo Sarasola (1980), a água pode ser classificada segundo quatro categorias A, B, C e D de acordo com a presença de cloretos e sulfatos. Cada uma destas categorias é adequada para uma determinada utilização conforme se ilustra na Tabela II.13.

Tabela II.13. – Características das diferentes categorias da água (Sarasola, 1980).

Parâmetros	Classes			
	A	B	C	D
pH	$7 \pm 0,2$	$7 \pm 0,5$	6,2 – 7,5	-
Cloretos (expresso em mg NaCl/L)	≤ 1	≤ 30	≤ 50	-
Sulfatos (expresso em CaSO ₄ /L)	≤ 1	≤ 50	≤ 100	-

Quanto à utilização (Sarasola, 1980):

Classe A – Preparação e regeneração de banhos sensíveis a impurezas como é o caso da maioria dos banhos compostos por abrillantadores orgânicos.

Classe B – É uma água conveniente para a maioria das águas de lavagem de processos clássicos de electrodeposição, tais como banhos de níquel e de cromo.

Classe C – É uma água fraca, apenas utilizada em lavagens grosseiras, especialmente depois de tratamentos químicos à base de fosfatos.

Classe D – Trata-se de uma água que sofreu desmineralização total por meio de resinas de permuta iónica. É especialmente utilizada em linhas de oxidação anódica.

1.3.6.2. Preparação das soluções de tratamento

Aquando da preparação das soluções, o ideal seria utilizar água desmineralizada ou destilada, o que conseqüentemente se traduziria em maiores custos. O necessário é, pelo menos, uma água com um teor total de impurezas inferior a 100 mg/L e com um pH entre 5,5 a 8,5. Na Tabela II.14. estão referidas algumas quantidades admissíveis para determinado tipo de impurezas (APAL, 1995).

É necessário ainda referir que as quantidades apresentadas na Tabela II.14. são valores genéricos e não os aplicados especificamente aos diferentes banhos de tratamento. Os banhos são sensíveis a diferentes impurezas, nomeadamente aos cloretos e ao ferro. A colmatação é afectada pelos fosfatos, fluoretos e silicatos.

Tabela II.14. – Impurezas admissíveis na água a utilizar no processo de anodização (APAL, 1995).

Impureza	Quantidade (mg/L)
Silicatos (SiO_2)	5
Bicarbonatos (H_2CO_3)	75
Cloretos (Cl)	40
Fluoretos (F)	3
Fosfatos (PO_4) ³⁻	10
Sulfatos (SO_4) ²⁻	75
Sulfuretos (S^{2-})	10

1.3.7. Defeitos do revestimento anódico e suas causas

Os defeitos existentes nos revestimentos de óxidos anódicos podem ser devidos a defeitos existentes no metal a ser tratado ou a um tratamento impróprio. As causas mais frequentes de defeitos no processo de anodização são o desgorduramento ou ataque inadequado e as lavagens mal efectuadas. Da mesma forma, uma distribuição pobre das peças no banho, em particular a uma distância demasiado pequena do cátodo, conduz a um sobreaquecimento local e à formação de revestimentos queimados. Consequentemente, é depositado um pó branco na superfície. Os revestimentos de fraca qualidade formam-se quando o contacto eléctrico entre a suspensão e a barra anódica, é fraco. As peças tratadas apresentam uma coloração cinza que indica pouco, ou nenhum, depósito de óxido (Biestek e Weber, 1976). Na Tabela II.15. são abordados mais alguns defeitos do revestimento anódico e as suas principais causas.

Tabela II.15. – Defeitos frequentes do revestimento anódico e suas causas (Biestek e Weber, 1976; Brace, 1992).

Defeitos	Causas
Descamação, baixa resistência à abrasão, fraca resistência à corrosão e fraca aptidão à coloração.	Concentração do electrólito inadequada. Quando se aumenta a concentração do electrólito, a condutância eléctrica também aumenta e a velocidade de crescimento do filme é maior para a mesma voltagem. O revestimento apresenta uma maior porosidade e uma menor dureza, devido ao facto da concentração óptima ser excedida resultando numa baixa resistência à abrasão. Se a concentração do electrólito for reduzida, os revestimentos serão mais duros, mais compactos e difíceis de colorir, particularmente nos tons mais escuros.
Fraca resistência à abrasão e fraca aptidão à coloração.	Temperatura do electrólito inadequada. Quanto maior a temperatura, maior é a condutância do electrólito e mais poroso e macio é o revestimento. Com a diminuição da temperatura do electrólito a porosidade diminui, tornando estes revestimentos difíceis de colorir.
Porosidade elevada, baixa resistência à abrasão, descamação e fraca aptidão à coloração.	Densidade de corrente inadequada. Para densidades de corrente demasiado elevadas, são formados revestimentos porosos, esponjosos ou mesmo descamáveis, sem brilho. Para densidades de corrente muito baixas são produzidos revestimentos finos fracamente coloríveis.
Perda de brilho, dureza baixa e aspecto leitoso.	Concentração de alumínio no electrólito inadequada. O teor de alumínio aumenta com o aumento da temperatura, concentração do electrólito, densidade de corrente e tempo de tratamento. Perante um banho novo, com pouco alumínio dissolvido, o electrólito ataca a superfície do alumínio e o revestimento é formado mais vigorosamente, o que pode diminuir ou destruir o brilho. Quando o teor de alumínio é demasiado elevado, a velocidade de crescimento do revestimento, decresce, enquanto o revestimento se torna mais opaco e macio.
Picadas	Teor de cloretos no banho excessivo. Acima do máximo permitido (que varia com o electrólito), o crescimento do revestimento é fortemente perturbado. Podendo formar-se picadas por toda a superfície.
Espessura não uniforme	Condições e dimensões do cátodo inadequadas. Os cátodos devem possuir uma superfície limpa e um bom contacto com a barra. Os diferentes sais depositados na superfície do cátodo devem ser removidos uma vez por semana pelo ataque ou escovagem numa corrente de água. Energia insuficiente da fonte de corrente. O gerador deve assegurar uma densidade de corrente constante a voltagem constante, com carga variável.
Descamação, baixa resistência à abrasão, dureza baixa, facilidade de sofrerem abrasão durante a coloração, fraca aptidão à coloração e picadas.	Tempo de tratamento inadequado. Com um tratamento prolongado, são aumentados a resistência eléctrica e a geração de calor, como resultado é observada uma maior dissolução do revestimento. Os filmes são menos duros e apresentam tendência para descamarem. Aquando da coloração deste revestimento pode ocorrer abrasão. Tratamentos muito curtos produzem revestimentos finos e difíceis de colorir. Revestimentos muito finos podem facilitar a corrosão por picadas. O alumínio não tratado apresenta uma maior resistência ao ambiente do que quando é fracamente anodizado.

2. Normas aplicadas ao alumínio anodizado destinado à arquitectura de construção

A Associação para os Controlos de Qualidade na Indústria da Anodização (QUALANOD) é proprietária da marca Associação Europeia de Anodizadores / Associação Europeia do Alumínio Trabalhado (EURAS/EWAA). A marca de qualidade designa a marca registada em 1974 pela QUALANOD. A Associação Portuguesa de Anodização e Lacagem (APAL) é a detentora geral da licença QUALANOD em Portugal.

Para além das directivas editadas pela QUALANOD existe um conjunto de normas que enquadram a anodização de alumínio destinado à arquitectura; todas estas normas estão referidas na Tabela II.16.

Tabela II.16. – Normas aplicadas ao alumínio anodizado destinado à arquitectura

(http://www.apal.pt/normalização.htm).

Norma	Título
EN ISO 2360:1982 ¹	Revestimentos não condutores sobre metal de base não magnético. Medição da espessura. Método das correntes de Foucault (NP 1477:1977).
NP 3645:1990 ¹	Alumínio anodizado – Resistência à luz artificial dos revestimentos anódicos coloridos (ISO 2135:1984).
NP EN ISO 1463:1998 ¹	Medição da espessura do revestimento – Método do corte micrográfico.
NP EN 12373-2:2001 ¹	Alumínio e ligas de alumínio – Anodização Parte 2: Determinação da massa por unidade de superfície dos revestimentos de oxidação anódica – Método gravimétrico.
NP EN 12373-3:2001 ¹	Alumínio e ligas de alumínio – Anodização Parte 3: Determinação da espessura dos revestimentos de oxidação anódica – Método não destrutivo com o microscópio de corte óptico.
NP EN 12373-4:2001 ¹	Alumínio e ligas de alumínio – Anodização Parte 4: Apreciação da perda do poder absorvente dos revestimentos de oxidação anódica após colmatação por ensaio com a gota de corante com pré-tratamento ácido.
NP EN 12373-5:2001 ¹	Alumínio e ligas de alumínio – Anodização Parte 5: Verificação da qualidade da colmatação dos revestimentos de oxidação anódica por medição da admitância
NP EN 12373-6:2001 ¹	Alumínio e ligas de alumínio – Anodização Parte 6: Verificação da qualidade da colmatação dos revestimentos de oxidação anódica por determinação da perda de massa após imersão em solução de ácido fosfórico / ácido crómico sem prévio tratamento ácido.
NP EN 12373-7:2001	Alumínio e ligas de alumínio – Anodização Parte 7: Verificação da qualidade da colmatação dos revestimentos de oxidação anódica por determinação da perda de massa após imersão em solução de ácido fosfórico / ácido crómico com prévio tratamento ácido.
NP EN 12373-8:2001	Alumínio e ligas de alumínio – Anodização Parte 8: Determinação comparativa da solidez à luz ultravioleta e ao calor dos revestimentos de oxidação anódica coloridos.
NP EN 12373-9:2001	Alumínio e ligas de alumínio – Anodização Parte 9: Determinação da resistência ao desgaste e do índice de desgaste dos revestimentos de oxidação anódica por ensaio em roda abrasiva.
NP EN 12373-10:2001	Alumínio e ligas de alumínio – Anodização Parte 10: Determinação da resistência à abrasão específica média dos revestimentos de oxidação anódica por ensaio com o aparelho de jacto abrasivo.
NP EN 12373-11:2001	Alumínio e ligas de alumínio – Anodização Parte 11: Medição da reflectância especular e do brilho especular dos revestimentos de oxidação anódica segundo ângulos de 20°, 45°, 60° e 85°.
NP EN 12373-12:2001	Alumínio e ligas de alumínio – Anodização Parte 12: Medição das características das superfícies do alumínio utilizando integradores esféricos.
NP EN 12373-13:2001	Alumínio e ligas de alumínio – Anodização Parte 13: Medição das características da reflectância das superfícies do alumínio utilizando um goniofotómetro normal ou simplificado.
NP EN 12373-14:2001	Alumínio e ligas de alumínio – Anodização Parte 14: Determinação visual da nitidez da imagem dos revestimentos de oxidação anódica – Método das escalas graduadas.
NP EN 12373-15:2001	Alumínio e ligas de alumínio – Anodização Parte 15: Avaliação da resistência dos revestimentos de oxidação anódica à formação de fissuras por deformação.
NP EN 12373-1:2002	Alumínio e ligas de alumínio – Anodização Parte 1: Método de especificação das características dos revestimentos decorativos e protectores obtidos por oxidação anódica do alumínio.
NP EN 12373-16:2002	Alumínio e ligas de alumínio – Anodização Parte 16: Verificação da continuidade dos revestimentos de oxidação anódica de pequena espessura – Ensaio pelo sulfato de cobre.
NP EN 12373-17:2002	Alumínio e ligas de alumínio – Anodização Parte 17: Determinação da tensão eléctrica de ruptura.
NP EN 12373-18:2002	Alumínio e ligas de alumínio – Anodização Parte 18: Sistema de avaliação da corrosão por picadas – Método das imagens de referência.
NP EN 12373-19:2002	Alumínio e ligas de alumínio – Anodização Parte 19: Sistema de avaliação da corrosão por picadas – Método da grelha quadriculada.

¹ Estas normas definem os procedimentos dos ensaios especificados nas “Directivas relativas à licença de Marca de Qualidade QUALANOD, para Anodização Trabalho para fins Arquitecturais”.

Capítulo III – Questões ambientais e de segurança

1. Efluentes líquidos

A importância do recurso água, já referida antes no ponto 1.3.6., exige uma utilização racional, porque para além da sua diminuição quantitativa está também em causa a sua degradação. É crucial que actividades industriais que utilizam quantidades significativas de água nos seus processos, promovam o adequado tratamento dos seus efluentes não só para que se cumpra a legislação, mas também para que se caminhe para o tão desejado desenvolvimento sustentável.

Numa indústria de tratamento de superfícies, nomeadamente num processo de anodização, verifica-se o consumo de elevadas quantidades de água, no que diz respeito à preparação de banhos de tratamento, águas de lavagem e arrefecimento. Os efluentes provenientes deste tipo de instalação contêm elementos químicos em concentração superiores ao permitido na legislação e como tal têm que sofrer tratamento adequado antes de serem rejeitados (APAL, 1995). O processo de tratamento actualmente mais utilizado é o tratamento físico-químico por decantação. Apresenta-se em anexo um diagrama esquemático de uma instalação típica de tratamento físico-químico por decantação e a respectiva descrição (Anexo B).

Para além do referido tratamento, que é realizado aquando da rejeição dos banhos de tratamento e águas de lavagem, é também possível efectuar um tratamento químico com resinas de permuta iónica, ou seja desmineralizar a água, ao longo do processo, com a finalidade de regenerar as águas de lavagem. Este tipo de procedimento torna-se uma mais valia, quer do ponto de vista ambiental quer económico, uma vez que o consumo de água é significativamente inferior.

O Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto, estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. No referido Decreto são ainda definidas as normas de descarga das águas residuais na água e no solo. Sendo assim, a descarga de efluentes deve respeitar os valores limite apresentados na Tabela III.1.

Tabela III.1. – Valores limite de emissão (VLE) na descarga de águas residuais (Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto).

Parâmetros	Expressão dos resultados	VLE ¹
pH	Escala de Sorensen	6,0 – 9,0 ²
Temperatura	°C	Aumento de 3°C ³
CBO ₅ , 20°C	mg/L O ₂	40
CQO	mg/L O ₂	150
SST	mg/L	60
Alumínio	mg/L Al	10
Ferro total	mg/L Fe	2,0
Manganês total	mg/L Mn	2,0
Cheiro	-	Não detectável na diluição 1:20
Cor	-	Não visível na diluição 1:20
Cloro residual disponível:		
Livre	mg/L Cl ₂	0,5
Total	mg/L Cl ₂	1,0
Fenóis	mg/L C ₆ H ₅ OH	0,5
Óleos e gorduras	mg/L	15
Sulfuretos	mg/L S	1,0
Sulfitos	mg/L SO ₃	1,0
Sulfatos	mg/L SO ₄	2.000
Fósforo total	mg/L P	10 3 (em águas que alimentam lagoas ou albufeiras) 0,5 (em lagoas ou albufeiras)
Azoto amoniacal	mg/L NH ₄	10
Azoto total	mg/L N	15
Nitratos	mg/L NO ₃	50
Aldeídos	mg/L	1,0
Arsénio total	mg/L As	1,0
Chumbo total	mg/L Pb	1,0
Cádmio total	mg/L Cd	0,2
Crómio total	mg/L Cr	2,0
Crómio hexavalente	mg/L Cr (VI)	0,1
Cobre total	mg/L Cu	1,0
Níquel total	mg/L Ni	2,0
Mercúrio total	mg/L Hg	0,05
Cianetos totais	mg/L CN	0,5
Sulfuretos	mg/L S	1,0
Óleos minerais	mg/L	15
Detergentes (sulfato de lauril e sódio)	mg/L	2,0 ^{4,5}

¹ Valor limite de emissão (VLE), entendido como média mensal, definida como média aritmética das médias diárias referentes aos dias de laboração de um mês, que não deve ser excedido. O valor diário, determinado com base numa amostra representativa da água residual descarregada durante um período de vinte e quatro horas, não poderá exceder o dobro do valor médio mensal (a amostra num período de vinte e quatro horas deverá ser composta tendo em atenção o regime de descarga das águas residuais produzidas).

² O valor médio diário poderá, no máximo, estar compreendido no intervalo 5,0 – 10,0.

³ Temperatura do meio receptor após a descarga de água residual, medida a 30 m a jusante do ponto de descarga, podendo o valor médio exceder o valor médio mensal de 2°.

⁴ O valor médio diário não poderá exceder o dobro do valor médio mensal.

⁵ O valor relativo à descarga da unidade industrial para a produção de HCH extracção de lindano ou, simultaneamente, produção de HCH e extracção de lindano.

Como já foi referido no capítulo anterior, ponto 1.2.6., podem ser tomadas medidas, no processo de anodização, no sentido de promover a racionalização do recurso água. Uma delas é a alimentação em cascata das águas de lavagem; outra possibilidade, não invalidando a execução da primeira, consiste na reutilização das águas, desde que convenientemente tratadas numa estação de tratamento de águas residuais. A reutilização das águas para voltarem ao processo não poderá ser aplicada a todas as necessidades, uma vez que determinados banhos requerem água de boa qualidade (desmineralizada) como é o caso da colmatação. No entanto, para a maioria dos banhos e águas de lavagem, a reutilização é uma boa solução. Este tipo de procedimento vai de encontro ao estabelecido na Portaria n.º 1030/93, de 14 de Outubro, que refere algumas medidas internas que devem ser praticadas para diminuir a quantidade de substâncias poluidoras nas águas residuais e para diminuição do consumo de água:

- Escolha de processos de fabrico industriais pouco poluentes;
- A implementação de técnicas de reciclagem, de recuperação e de regeneração dos banhos saturados, dos banhos de recuperação das águas de lavagem;
- A optimização da gestão integrada dos diversos tipos de água de lavagem no processo fabril.

A referida Portaria estabelece ainda as normas relativas à descarga de águas residuais no meio receptor natural (água ou solo) de unidades industriais do sector dos tratamentos de superfície que procedem a:

- Tratamentos e revestimentos electrolíticos;
- Tratamentos e revestimentos químicos;
- Tratamentos térmicos em banhos de sais fundidos;
- Decapagem, desengorduramento e preparação de superfícies.

As normas específicas de descarga das águas residuais do sector dos tratamentos de superfície são indicadas na Tabela III.2.

Tabela III.2. – Normas de descarga de águas residuais do sector de tratamento de superfícies (Portaria n.º 1030/93, de 14 de Outubro).

Parâmetros ¹	Expressão dos resultados	Normas de descarga (VMA) ²
Metais totais	mg/L	15,0 ³
Crómio hexavalente	mg/L Cr (VI)	0,1
Crómio trivalente	mg/L Cr (III)	3,0
Cádmio	mg/L Cd	0,2
Níquel	mg/L Ni	5,0
Cobre	mg/L Cu	2,0
Zinco	mg/L Zn	5,0
Ferro	mg/L Fe	5,0
Alumínio	mg/L Al	5,0
Chumbo	mg/L Pb	1,0
Estanho	mg/L Sn	2,0
Hidrocarbonetos totais	mg/L	5,0
Cianetos	mg/L CN	0,1
Fluoretos	mg/L F	15,0
Nitritos	mg/L NO ₂	1,0
Fosfatos	mg/L P	10,0

2. Consumo Energético

As empresas de anodização necessitam de duas formas de energia diferentes: eléctrica, térmica. Os valores a seguir indicados são valores aproximados para uma linha tipo de anodização.

¹ No caso da água residual de uma indústria de tratamento de superfície incluir outros metais e ou elementos não metálicos para além dos indicados no quadro (como sejam, por exemplo, o zircónio, o vanádio, o molibdénio, a prata, o cobalto, o magnésio, o titânio, o berílio, etc.), a licença de descarga deverá obrigatoriamente incluir uma norma de descarga para esses elementos expressa em termos de concentração na água residual.

² Valor máximo admissível (VMA), entendido como média mensal, definida como a média aritmética das médias diárias referentes aos dias de laboração de um mês. O valor médio diário, determinado com base numa amostra composta representativa da água residual descarregada durante um período de vinte e quatro horas, não poderá exceder o quádruplo do valor médio mensal.

³ No caso das unidades fabris em que se utilizem mais de cinco metais, entre os quais o ferro e o alumínio, pode ser economicamente inviável, ou pelo menos dificilmente viável, o cumprimento da norma de descarga de 15 mg/L para a soma das concentrações do conjunto dos metais. Em tal situação, deverá ser definida qual a norma de descarga para a concentração total dos metais, atendendo a factores tecnológicos e económicos e desde que não seja ultrapassado o valor de 20 mg/L.

A energia eléctrica é necessária na oxidação anódica e na coloração electrolítica, sendo as quantidades necessárias muito distintas. No banho da anodização é necessária uma corrente contínua com uma tensão de 12 a 20 volts, uma densidade de corrente de 120 a 200 A/m² e durante tempos que variam até um máximo de 55 minutos, sendo a energia dissipada de 2.500 wh/m². O banho de coloração trabalha com uma tensão alternada que pode atingir 25 volts segundo a intensidade da cor, uma densidade de corrente inicial de 70 a 100 A/m² que decresce muito rapidamente a cerca de 20 a 30 A/m², e durante tempos que variam, sempre em função da intensidade da cor, até um máximo de 15 a 20 minutos. Neste caso, a energia dissipada pode atingir um máximo de 300 wh/m² (APAL, 1995). Para além destes consumos é necessário entrar em linha de conta com as perdas do rectificador e do transformador, que têm rendimentos médios de 0,87 e 0,97 respectivamente. Com mais este consumo, o total é cerca de 3.300 wh/m² (APAL, 1995).

A necessidade de energia térmica está associada à necessidade de levar os banhos à temperatura de trabalho e de compensar as perdas de calor através das diferentes superfícies da tina. Os banhos aos quais é necessário fornecer energia térmica são os banhos de desengorduramento, decapagem, acetinagem e colmatação. Tem-se em anexo apresentado os métodos para avaliar as necessidades térmicas para levar os banhos às temperaturas de trabalho e para os manter (Anexo C).

Ainda é necessária energia para alimentar um sistema de refrigeração indispensável ao banho de anodização de forma a impedir o aumento acentuado da temperatura sob pena de prejudicar a qualidade da camada de óxido. Para manter o banho sempre à mesma temperatura é necessário ter um sistema de refrigeração capaz de retirar a energia térmica em excesso (Biestek e Weber, 1976; Brace e Sheasby, 1979). Uma forma de calcular a energia térmica a eliminar é pela fórmula apresentada no Capítulo II, (1.2.3.1.).

A publicação do Regulamento da Gestão do Consumo de Energia (RGCE) – Decreto-Lei n.º 58/82, de 26 de Fevereiro, posto em execução pela Portaria n.º 359/82, de 7 de Abril tem como principais objectivos a redução do consumo energético dos grandes consumidores de energia e o estabelecimento de metas para que as empresas reduzam progressivamente os seus consumos específicos através de Planos de Racionalização. O Regulamento é aplicável a edifícios e empresas que possuam:

- Um consumo energético superior a 1.000 tep/ano (tonelada equivalente de petróleo);
- Equipamento cuja soma dos consumos energéticos nominais seja superior a 0,5 tep/hora;
- Pelo menos um equipamento com consumo energético nominal superior a 0,3 tep/hora.

Quanto aos planos de racionalização, estes devem ser elaborados periodicamente pelo gestor de energia que deve supervisionar o consumo energético.

Em 1998 surgiu o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE) – Decreto-Lei n.º 118/98, de 7 de Maio, que vem substituir o anterior regulamento de climatização em edifícios (Decreto-Lei n.º 156/92, de 29 de Julho). Este regulamento obriga à utilização de controlo/monitorização, à instalação de sistemas de gestão se a potência instalada for superior a 250 kW, impõe ensaios de recepção que demonstrem o correcto funcionamento das instalações e impõe a existência de um plano de manutenção obrigando monitorizar os consumos energéticos dos grandes equipamentos.

5. Resíduos

Segundo o Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de Setembro, considera-se resíduos industriais os resíduos gerados em actividades industriais, bem como os que resultem das actividades de produção e distribuição de electricidade, gás e água. Inerente a qualquer actividade industrial, todas elas produtoras de resíduos, está a gestão de resíduos, consagrada no artigo 4º do referido Decreto: visa, preferencialmente, a prevenção ou redução da produção ou nocividade dos resíduos nomeadamente através da reutilização e da alteração dos processos produtivos, por via da adopção de tecnologias mais limpas, bem como a sensibilização dos agentes económicos e dos consumidores.

Os resíduos gerados por uma empresa de tratamento de superfícies – anodização – são de vários tipos. Resíduos de cartão e plásticos, provenientes da embalagem da matéria-prima (perfis de alumínio), resíduos de embalagem de produtos químicos e lamas de alumínio, provenientes do tratamento dos efluentes gerados pelo processo.

A Portaria n.º 792/98, de 22 de Setembro, inclui os impressos A e B de registo de resíduos industriais e as respectivas instruções de preenchimento, mencionados no capítulo IV do Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de Setembro, sendo de preenchimento obrigatório a quem efectue qualquer operação de gestão. Do registo deve constar:

- a) A quantidade e tipo de resíduos, recolhidos, armazenados, transportados, valorizados ou eliminados;
- b) A origem e destino dos resíduos;
- c) A identificação da operação efectuada.

Para o preenchimento dos impressos atrás referidos é necessário ter em atenção a Decisão da Comissão 2001/118/CE, de 16 de Janeiro, que altera a Decisão 2000/532/CE no que respeita à lista de resíduos. Na Tabela III.3. estão apresentados os principais resíduos gerados por uma linha de anodização com o respectivo código do Catálogo Europeu de Resíduos (CER) (Anexo D), segundo a Decisão 2001/118/CE, de 16 de Janeiro.

Tabela III.3. – Principais tipos de resíduos produzidos durante o processo de anodização, classificados de acordo com o código CER.

Designação do Resíduo	CER
Resíduos de tratamentos químicos de superfície e revestimento de metais e outros materiais; Resíduos da hidrometalurgia de metais não ferrosos.	11
Resíduos de tratamentos químicos de superfície e revestimento de metais e outros materiais (por exemplo, galvanização, zincagem, decapagem, contrastação, fosfatação, desengorduramento alcalino, anodização).	11 01
Ácidos não anteriormente especificados.	11 01 06 ¹
Bases de decapagem.	11 01 07 ¹
Lamas e bolos de filtração, contendo substâncias perigosas.	11 01 09 ¹
Líquidos de lavagem aquosos, contendo substâncias perigosas.	11 01 11 ¹
Líquidos de lavagem aquosos, não abrangidos em 11 01 11.	11 01 12
Resíduos de desengorduramento, contendo substâncias perigosas.	11 01 13 ¹
Resíduos de desengorduramento, não abrangidos em 11 01 13.	11 01 14
Resinas de permuta iónica, saturadas ou usadas.	11 01 16 ¹
Outros resíduos contendo substâncias perigosas	11 01 98 ¹

¹ Resíduos considerados perigosos.

Devido ao elevado consumo de produtos químicos na anodização, a geração de resíduos de embalagens é elevada. O Decreto-Lei n.º 366-A/97, de 20 de Dezembro, estabelece os princípios e as normas aplicáveis à gestão de embalagens e resíduos de embalagens, com vista à prevenção da produção desses resíduos, reutilização de embalagens usadas, à reciclagem e outras formas de valorização de resíduos de embalagens e consequentemente redução da sua eliminação final, entre outros.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 366-A/97, de 20 de Dezembro, embalagens são todos e quaisquer produtos feitos de materiais de qualquer natureza utilizados para conter, proteger, movimentar, manusear, entregar e apresentar mercadorias.

Em consequência da elevada quantidade de lamas de alumínio geradas por uma linha de anodização existe, já desde alguns anos, a preocupação de efectuar o tratamento mais adequado a este tipo de resíduo. Na Tabela III.4. apresenta-se uma estimativa da quantidade de resíduos de lamas de alumínio gerados em Portugal, em 1998, expressos em lamas de ETAR com 75 % de humidade. Na Tabela III.4. aparecem *lamas geradas em anodização e lacagem*, porque não existem dados apenas referentes a lamas geradas em anodização. Normalmente, uma empresa com uma linha de anodização também possui lacagem e o tratamento dos efluentes é efectuado em conjunto. Neste tipo de procedimento devem apenas existir alguns cuidados nos banhos que contêm crómio, proveniente dos pré-tratamentos que antecedem a lacagem, não devem ser misturados com os restantes efluentes e no final do tratamento as lamas também não devem ser misturadas.

Tabela III.4. – Estimativa aproximada da quantidade de lamas provenientes de linhas de anodização e lacagem geradas em Portugal em 1998 (Delmas, 2000).

Origem	Quantidade
Perfis de alumínio tratado anualmente em Portugal	20 x 10 ⁶ m ²
Lamas geradas em anodização e lacagem	8.000 ton
Lamas geradas equivalentes em extrusão	2.000 ton
Lamas totais geradas	10.000 ton
Total de alumínio contido nas lamas	875 ton

As lamas são um tipo de resíduo bastante volumoso com custos de deposição elevados (a deposição deste resíduo não se efectua em Portugal) e que apresenta na sua composição

essencialmente alumínio, sódio, cálcio, estanho, sulfatos e água. Dos constituintes apresentados, aquele que está em maior quantidade é a água seguido do alumínio. A humidade é um factor bastante importante para a estabilização das lamas depois de prensadas e está presente em maior ou menor quantidade consoante o processo utilizado no tratamento dos efluentes provenientes da linha de produção. Quanto menor for a humidade presente nas lamas, menor volume terão, menor probabilidade de eventuais escorrências e maior estabilidade do resíduo.

Em 1996, na 5ª Conferência Nacional sobre a qualidade do Ambiente, um dos temas apresentados foi a Reciclagem de lamas de anodização de alumínio, sendo o estudo realizado pelo INETI e ITIME no âmbito do Projecto Comunitário Brite-Euram. O trabalho em causa tentou provar ser possível a produção de sulfato de alumínio a partir das lamas, a utilização da lama de anodização como coagulante de efluentes e a utilização das lamas de anodização modificadas como coagulantes no tratamento de efluentes industriais. Os testes efectuados para estas três aplicações utilizaram lama proveniente de duas empresas distintas, que utilizam ácido sulfúrico na anodização.

Outro projecto na área da reciclagem de lamas de anodização de alumínio, iniciado em 1994, tinha como objectivo a reutilização dos efluentes e lamas dos tratamentos de superfície do alumínio como matéria-prima noutras indústrias nomeadamente a reciclagem das lamas de anodização ao Processo Bayer de produção de alumina, a utilização das lamas no fabrico do papel, a avaliação das lamas de anodização como coagulante no tratamento de efluentes industriais e a valorização e transformação da lama (Delmas, 2000).

Em 2000, no XIII Congresso, no Porto, voltou a estar em destaque a reutilização de resíduos industriais. Os resíduos considerados foram as lamas resultantes dos tratamentos de anodização de alumínio e resíduos de corte e polimento de placas de ardósia, na forma de lamas de pó fino que se acumulam nas escombrelas de ardósia.

Dos referidos projectos conclui-se pela viabilidade, apenas, na introdução das lamas de alumínio em produtos cerâmicos e na sua utilização como coagulante no tratamento de efluentes domésticos. Algumas conclusões e discussões obtidas nestas actividades de reciclagem e reutilização das lamas de alumínio fazem-se em anexo de forma mais pormenorizada (Anexo E).

4. Emissões gasosas

As emissões gasosas provocadas por uma linha de anodização estão associadas apenas às tinas em que é necessária uma temperatura superior à temperatura ambiente para a realização do tratamento. Concretamente, é nas tinas de desengorduramento, decapagem, acetinagem e colmatação que se poderá verificar emissões gasosas, uma vez que associado a estes banhos existem queimadores para fornecer a temperatura de trabalho necessária a cada um deles. É o Decreto-Lei n.º 352/90, de 9 de Novembro, que consagra os objectivos do sistema de protecção e controlo da qualidade do ar. No artigo 21º do capítulo IV do referido decreto estão definidas as descargas de poluentes atmosféricos industriais, onde é referido que todas as descargas têm que ser efectuadas por chaminés, sendo estas definidas como uma conduta de direcção ou controlo da exaustão de fumos ou aerossóis de estabelecimentos industriais.

As chaminés existentes em estabelecimentos industriais, nunca poderão ter uma altura inferior a 10 m, sendo concretamente calculada pela seguinte fórmula presente no referido decreto:

$$Ac = a + 1,5l \quad (3)$$

Onde,

- Ac* - Altura da chaminé, calculada a partir do nível do solo na respectiva base de implantação (m)
- a* - Altura da(s) estrutura(s) próxima(s), medida a partir do nível do solo na base da chaminé (m)
- l* - Menor dimensão (altura ou largura) da(s) estrutura(s) próxima(s) (m)

Está claramente expresso no Decreto-Lei n.º 352/90, de 9 de Novembro, a proibição da queima de qualquer tipo de resíduos urbanos, industriais e tóxicos ou perigosos a céu aberto. Estão ainda previstas taxas como instrumentos de prevenção e melhoria da qualidade do ar.

A Portaria n.º 286/93, de 12 de Março, fixa os valores limite e os valores guia no ambiente para o dióxido de enxofre, partículas em suspensão, dióxido de azoto e monóxido de carbono, o valor limite para o chumbo e os valores guia para o ozono. No anexo IV da referida Portaria encontram-se os valores limite de emissão de poluentes, expressos em mg/m³ N, a que ficam sujeitas as fontes fixas de todos os estabelecimentos industriais. Entretanto este decreto foi actualizado pelo Decreto-Lei n.º 276/99, de 23 de Julho, que define as linhas de orientação da

política de gestão da qualidade do ar e transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 96/62/CE, do Conselho, de 27 de Setembro, relativa à avaliação e gestão da qualidade do ar. Os artigos 4º e 5º deste diploma que dizem respeito à fixação dos valores limites e dos limiares de alerta para o ar ambiente e os critérios e técnicas para a fixação dos valores limite e dos limiares de alerta, respectivamente, foram apenas executados com a publicação do Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril.

Para além das emissões ao nível da atmosfera ambiente existem também emissões na atmosfera de trabalho que devem ser controladas. A norma NP 1796:1988 destina-se a fixar os valores limites de exposição para substâncias nocivas presentes no ar dos locais de trabalho com vista a salvaguardar a saúde dos trabalhadores. Aplica-se a todos os locais de trabalho onde se verifique a libertação de substâncias nocivas resultantes dos processos de trabalho. De acordo com a norma citada apresenta-se na Tabela III.5. os valores limite de exposição para algumas das substâncias presentes numa linha de anodização.

Tabela III.5. – Valores limite de exposição (VLE) para gases, vapores e partículas tóxicas presentes numa linha de anodização (NP 1796:1988).

Substância	VLE (mg/m ³)
Ácido Sulfúrico	2
Hidróxido de sódio	2
Amoníaco	18
Níquel (compostos solúveis expressos em Ni)	0,1
Alumínio (metal e óxido)	10
Alumínio (sais solúveis)	2

5. Segurança, higiene e saúde no trabalho

A segurança e saúde dos trabalhadores nos locais de trabalho estão consagradas na Directiva n.º 92/58/CEE, de 24 de Junho, já transposta para o quadro normativo português através do Decreto-Lei n.º 141/95, de 14 de Junho, e da Portaria n.º 1456-A/95, de 11 de Dezembro. Estes diplomas decorrem do Decreto-Lei n.º 441/91, de 14 de Novembro, que estabelece o regime jurídico do enquadramento da segurança, higiene e saúde no trabalho. Este documento aplica-se a todos os ramos de actividade, nos sectores público, privado ou cooperativo e social

e veio reconhecer claramente dois direitos fundamentais: o direito à saúde no local de trabalho e o direito à participação dos trabalhadores e seus representantes na prevenção dos riscos profissionais, na protecção da saúde e na promoção do seu bem-estar físico, mental e social. Apenas com a publicação dos Decretos-Lei n.º 26/94, de 1 de Fevereiro, e 7/95, de 29 de Março, é que ficou definido o regime de organização e funcionamento das actividades Saúde, Higiene e Segurança no Trabalho (SHST). Assim ficaram completamente definidas as funções dos serviços e as obrigações quer dos empregadores quer dos trabalhadores. Estes decretos foram alterados, estando actualmente em vigor o Decreto-Lei n.º 109/2000 de 30 de Junho.

Uma efectiva gestão da Segurança e Saúde é a chave para a prevenção, quer de acidentes de trabalho, quer de doenças profissionais. Um sistema específico de segurança e saúde inclui (Gonçalves, 2000):

- Uma definição clara por parte dos responsáveis de uma política de Segurança e Saúde para a empresa que abranja: selecção de pessoal, equipamentos e materiais, processo e organização, forma como o trabalho deve ser executado, o enquadramento legal, produtos e subprodutos;
- Um processo de avaliação específico de certos riscos e práticas nos locais de trabalho;
- Existência de adequadas medidas preventivas para controlar certas condições e práticas perigosas;
- A introdução do planeamento das medidas na gestão normal da empresa;
- Um sistema de formação do pessoal em práticas de trabalho seguras;
- Acompanhamento e revisão destas práticas de trabalho;
- Um sistema de comunicação efectiva entre todos quantos estão envolvidos nos diversos níveis de gestão.

5.1. Segurança industrial

A modernização da indústria portuguesa, a sua desejável diversificação e internacionalização, não pode assentar apenas na aquisição de novos e modernos equipamentos e no investimento em novas unidades produtivas. A indústria portuguesa tem de basear o seu desenvolvimento, primordialmente, em factores de ordem qualitativa, à semelhança das suas congéneres europeias. Estes factores qualitativos de desenvolvimento, também chamados factores

dinâmicos de competitividade, como sejam a inovação e o desenvolvimento tecnológico, a qualidade e o design industrial, recursos humanos devidamente qualificados e especializados, e uma boa imagem de marca, são essenciais para que Portugal possa enfrentar com sucesso a concorrência do mercado interno europeu (Gomes, 1994).

De facto, com as questões de segurança industrial pretende-se que as indústrias sejam capazes de responder a desafios que não são do que lutar contra os acidentes de trabalho, mas conseguindo atingir a origem, as causas dos acidentes e não apenas remediar situações. Os acidentes surgem como resultados de desequilíbrio entre homens, máquinas e equipamentos e o meio fabril (Serrano, 1994). A Lei n.º 100/97, de 13 de Setembro, estabelece o regime jurídico dos acidentes de trabalho e das doenças profissionais. No artigo 6.º, do n.º 1 da referida Lei define-se acidente de trabalho aquele que se verifique no local e tempo de trabalho e produza directa ou indirectamente lesão corporal, perturbação funcional ou doença que resulte redução da capacidade de trabalho ou de ganho ou a morte. No n.º 2 do mesmo artigo são consideradas algumas extensões à definição de acidente de trabalho, são também considerados acidente de trabalho determinados acidentes que possam ocorrer fora do local ou tempo de trabalho e na ida para o local de trabalho ou no regresso deste. No Decreto-Lei n.º 143/99, de 30 de Abril também está patente a definição de acidentes de trabalho. O referido decreto regulamenta a Lei n.º 100/97, de 13 de Setembro.

5.2. Acidentes de trabalho

A Lei n.º 100/97, de 13 de Setembro, define acidente de trabalho conforme já exposto no ponto 5.1. Em determinados casos o acidente de trabalho pode ser descaracterizado, o que significa que é retirada, legalmente, a protecção do trabalhador em caso de acidente. Segundo o artigo 7.º da referida Lei, esta descaracterização ocorre quando é:

- Provocado dolosamente;
- Proveniente de um acto ou omissão, por parte do sinistrado, sem causa justificativa;
- Proveniente de negligência grosseira do sinistrado;
- Originado por falta grave ou indesculpável da vítima;
- Originado pela incapacidade permanente ou acidental do uso da razão da vítima;
- Proveniente de caso de força maior.

Os acidentes de trabalho podem ter várias causas, desde causas humanas (faltas de atenção, descuidos, etc.), causas técnicas ou materiais (deficiente protecção de máquinas, avarias súbitas, mau estado do equipamento, etc.) até causas fortuitas ou seja provocadas por factores casuais (AIMinho, 1998). No seio de uma empresa aquilo que realmente deve prevalecer é a procura de medidas eficazes de prevenção dos acidentes de trabalho. Para a definição e implementação destas medidas deve ser efectuada a análise de riscos. Segundo Miguel (2002), a análise de riscos tem como objectivo o levantamento de todos os factores do sistema de trabalho Homem/Máquina/Ambiente que podem causar acidentes. A estatística é o método mais frequente para efectuar análise de riscos, permitindo obter um conhecimento efectivo da sinistralidade laboral e a consequente definição de prioridades no controlo dos diferentes riscos.

5.3. Prevenção e protecção contra incêndios

As instalações de combate a incêndios apresentam-se como um meio de salvaguardar a perda de bens humanos e materiais, que vulgarmente se verifica neste tipo de acidentes, conduzindo quase sempre a danos catastróficos, que na maioria dos casos poderiam ser atenuados ou mesmo evitados se logo no seu início o incêndio fosse combatido eficazmente. Os incêndios provocam anualmente nas empresas enormes prejuízos matérias e muitas vítimas quer por queimaduras e ferimentos, quer, sobretudo, por intoxicação. Assim sendo, é necessário assegurar medidas visando impedir que o fogo se declare ou, quando tal acontece, impedir a sua propagação, providenciando todos os meios materiais e humanos susceptíveis de controlar rapidamente um incêndio (Miguel, 2002).

Um incêndio envolve reacções químicas fortemente exotérmicas, que libertam calor, entre uma substância combustível e os comburentes. Este tipo de reacção é caracterizada pela rápida oxidação de combustível pelo comburente e pela sua ocorrência descontrolada, quer no espaço quer no tempo. Uma substância combustível é aquela que é susceptível de dar início à reacção de combustão, na presença de um comburente. Um potencial combustível pode ser qualquer material formado principalmente por carbono e hidrogénio. O oxigénio do ar é o principal constituinte que pode actuar como comburente. O combustível e o comburente não são suficientes para que se dê início a uma combustão, é ainda necessária a energia de activação, a qual representa a energia mínima necessária para se iniciar a reacção e que é

fornecida pela fonte de inflamação. Estes três factores constituem o que se costuma designar por triângulo do fogo, Figura III.1. (AIMinho, 1998; Miguel, 2002).

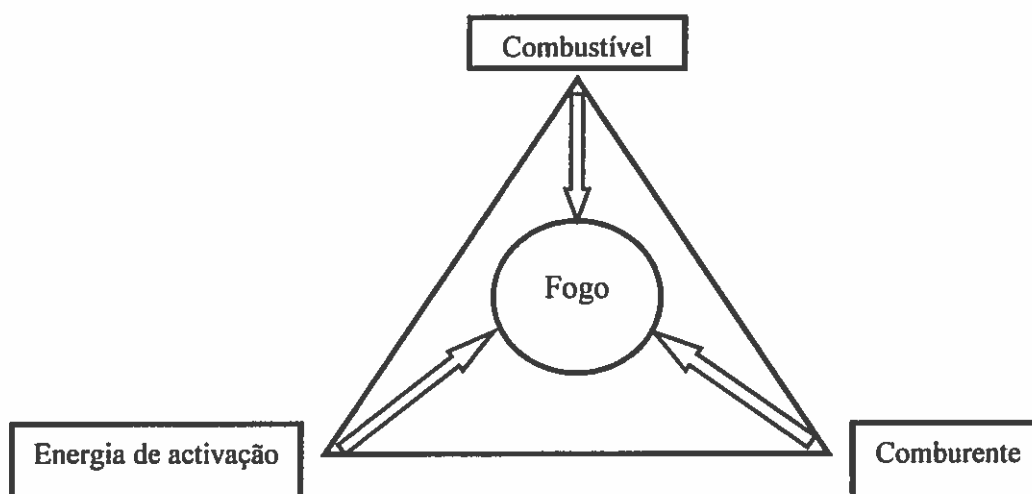


Figura III.1. – Triângulo do fogo (Miguel, 2002).

5.3.1. Líquidos inflamáveis

Quando se fala em combustão de líquidos inflamáveis é necessário ter em atenção que, na realidade, o que ocorre é a combustão dos gases libertados pelo líquido. Para que a combustão ocorra, é necessário que o líquido liberte vapores suficientes para que a percentagem de mistura (vapor/ar), seja tal, que atinja o domínio de inflamabilidade (AIMinho, 1998). O ponto de inflamação é a temperatura para a qual a tensão de vapor do líquido se torna suficientemente elevada de modo a que os vapores emitidos formem com o ar uma mistura inflamável, mas insuficiente, para que a combustão, uma vez iniciada, prossiga por ela própria (Miguel, 2002).

Segundo a Portaria n.º 732-A/96, de 11 de Dezembro, considera-se:

- Extremamente inflamáveis: substâncias e preparações líquidas, cujo ponto de inflamação é extremamente baixo e cujo ponto de ebulição é baixo e substâncias e preparações gasosas que, à temperatura e pressão normais, são inflamáveis ao ar;
- Facilmente inflamáveis:
 - Substâncias e preparações que podem aquecer até ao ponto de inflamação em contacto com o ar, a uma temperatura normal, sem emprego de energia; ou
 - Substâncias e preparações no estado líquido, cujo ponto de inflamação é muito baixo; ou

- Substâncias e preparações que, em contacto com a água ou ar húmido, libertam gases extremamente inflamáveis em quantidades perigosas.

5.3.2. Combustíveis inflamáveis

A combustão dos sólidos pode ocorrer de duas formas: por pirólise, em que o corpo sólido por efeito de calor emite vapores de decomposição do produto e em que esses vapores são combustíveis, assim este tipo de combustão transforma-se numa combustão de gases; por brasas, ou seja, a combustão dá-se praticamente sem chamas mas com forte emissão de radiações (AIMinho, 1998).

As substâncias sólidas que normalmente se encontram nos estabelecimentos industriais e que podem ser combustíveis são de variados tipos podendo encontrar-se nos mais variados locais, como por exemplo, madeira, papel, cartão, carvão, etc. (Miguel, 2002).

5.3.3. Gases

Segundo Miguel (2002), os gases classificam-se em dois grupos: inflamáveis e não inflamáveis. Os gases inflamáveis são, geralmente, definidos como substâncias que no estado gasoso, à temperatura ambiente e à pressão atmosférica normal, sofrem combustão no ar. Os gases não inflamáveis podem ainda ser subdivididos em duas classes distintas, há os que intervêm como comburentes e, por isso, apresentam riscos do ponto de vista de incêndio e há os que se designam por inertes e podem ser utilizados para evitar ou extinguir incêndios.

Existem quatro factores importantes no que se refere às possibilidades de inflamação de um combustível gasoso (AIMinho, 1998):

- A relação entre a quantidade de combustível e o ar;
- A concentração de oxigénio no ar, visto esta poder variar em meios confinados;
- A temperatura;
- Eventualmente a pressão.

5.3.4. Classes de fogo

Os fogos estão divididos em quatro classes, porque quando se propaga um incêndio há sempre combustão de materiais. Como as características destes são diferentes, dão origem a fogos

com características distintas. Segundo a norma portuguesa NP EN 2:1993 as classes de fogos são as seguintes, Figura III.2., classificadas segundo o tipo de combustível:

Classe A – fogos de materiais sólidos, geralmente de natureza orgânica, que se dão, normalmente com formação de brasas;

Classe B – fogos de líquidos ou sólidos inflamáveis;

Classe C – fogos de gases;

Classe D – fogos de metais.

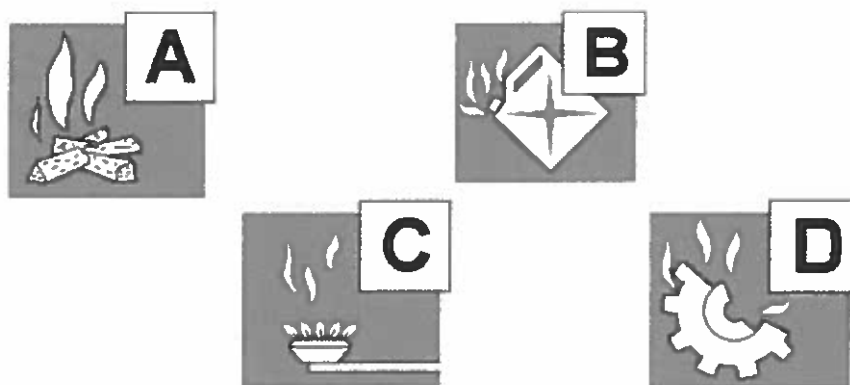


Figura III.2. – Símbolos das classes de fogos (NP EN 2:1993).

Um produto extintor será caracterizado não só pelo tipo de fogo que se destina a combater, mas também pela possibilidade de ser, ou não, utilizado com instalações eléctricas em tensão. Por exemplo, a água em jacto, tal como a espuma, não poderá ser utilizada em instalações eléctricas de tensão (AIMinho, 1998). Na Tabela III.6. apresentam-se as substâncias extintoras mais adequadas às diferentes classes de fogos.

Tabela III.6. – Substâncias extintoras mais adequadas às diferentes classes de fogos (Miguel, 2002).

Classes de Fogos	Agente Extintor							
	Água em jacto	Água pulverizada	Espuma física	Pó normal	Pó polivalente	Pós especiais	CO ₂	Halons
A	⬡	△	⬡	○	⬡	○	○	○
B	○	□ sol. líq.	⬡	△	⬡	○	⬡	⬡
C	○	○	○	⬡	⬡	○	□	⬡
D	●	●	●	●	●	□	●	●

Legenda: △ excelente ⬡ bom □ aceitável ○ não conveniente ● inaceitável

A norma portuguesa NP 3064:1988 refere-se à eficácia mínima dos extintores e à área a proteger em função do tipo de risco associado. Contudo, não basta ter os meios à disposição, é necessário saber utilizá-los correctamente, caso contrário a sua eficácia não se verificará. Na Figura III.3. apresentam-se situações incorrectas e correctas na utilização de extintores.

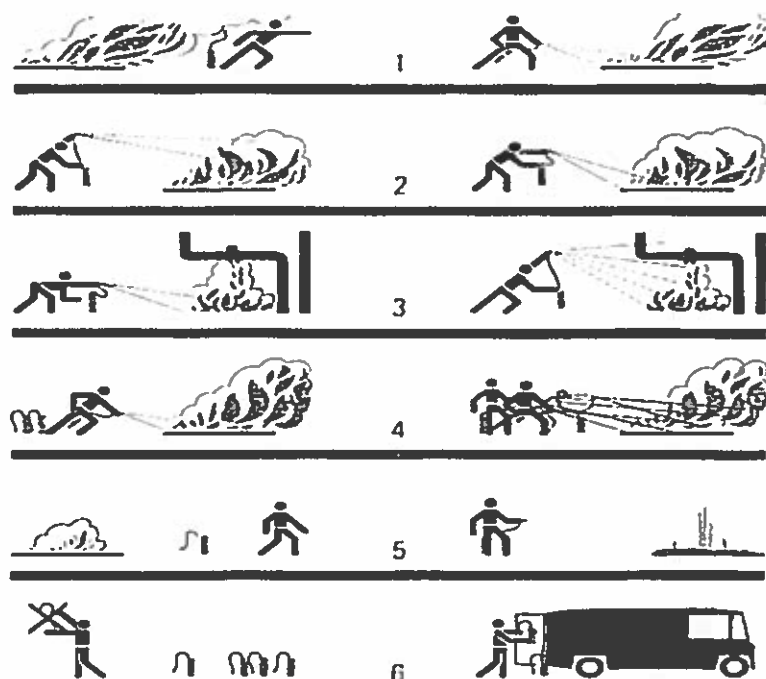


Figura III.3. – Utilização de extintores (Miguel, 2002).

- 1 – Fazer a aproximação do fogo, sempre no sentido do vento ou da tiragem normal do edifício.
- 2 – Atacar o fogo dirigindo o jacto do extintor à base das chamas.
- 3 – Contudo, em líquidos derramados de canalizações, manobrar o jacto do extintor de cima para baixo.
- 4 – Assegurar um número suficiente de extintores e de pessoas para os utilizar.
- 5 – Prever as possibilidades de reignição.
- 6 – Enviar o extintor descarregado ao serviço competente, que providenciará a respectiva recarga.

5.4. Riscos dos produtos químicos perigosos

Os produtos químicos englobam as substâncias e preparações químicas que segundo a Portaria n.º 732-A/96, de 11 de Dezembro, podem definir-se como substâncias: os elementos químicos e seus compostos no seu estado natural, ou obtidos por qualquer processo de produção, contendo qualquer aditivo necessário para preservar a estabilidade do produto ou

qualquer impureza derivada do processo de produção, com excepção de qualquer solvente que possa ser separado sem afectar a estabilidade da substância nem alterar a sua composição; como preparações: as misturas ou soluções compostas por duas ou mais substâncias. Segundo o anexo VI da referida Portaria os produtos químicos são classificados com base em:

Propriedades físico-químicas:	Explosivos
	Comburentes
	Inflamáveis
	Facilmente inflamáveis
Propriedades toxicológicas:	Extremamente inflamáveis
	Tóxicos
	Muito tóxicos
	Nocivos
	Corrosivos
	Irritantes
Efeitos específicos na saúde humana:	Sensibilizantes
	Os que provocam efeitos graves para a saúde em caso de exposição prolongada
	Carcinogénicos
	Mutagénicos
Efeitos no ambiente:	Com efeitos tóxicos na reprodução
	Perigosos para o ambiente aquático
	Perigosos para o ambiente não aquático

No artigo 3º da Portaria n.º 732-A/96, de 11 de Dezembro, é definida a perigosidade das substâncias ou preparações consoante a categoria, conforme apresentado na Tabela III.7.

Em termos de utilização de substâncias ou preparações perigosas pode referir-se o Decreto-Lei n.º 164/2001, de 23 de Maio, que transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 96/82/CE, do Conselho, de 9 de Dezembro, que tem como objectivo a prevenção de acidentes graves que envolvam substâncias perigosas e a limitação das suas consequências para o homem e para o ambiente.

Tabela III.7. – Perigosidade das substâncias ou preparações de produtos químicos perigosos consoante a categoria (Portaria n.º 732-A/96, de 11 de Dezembro).

Categoria	Definição
Explosivas	Substâncias e preparações sólidas, líquidas, pastosas ou gelatinosas que podem reagir exotermicamente e com uma rápida libertação de gases, mesmo sem a intervenção do oxigénio do ar, e que em determinadas condições de ensaio, detonam, deflagram rapidamente ou, sob o efeito do calor, explodem em caso de confinamento parcial.
Comburentes	Substâncias e preparações que, em contacto com outras substâncias, especialmente com substâncias inflamáveis, apresentam uma reacção fortemente exotérmica.
Extremamente inflamáveis	Substâncias e preparações líquidas, cujo ponto de inflamação é extremamente baixo e cujo ponto de ebulição é baixo e substâncias e preparações gasosas que, à temperatura e pressão normais, são inflamáveis ao ar.
Facilmente inflamáveis	Substâncias e preparações que podem aquecer até ao ponto de inflamação em contacto com o ar, a uma temperatura normal, sem emprego de energia.
	Substâncias e preparações no estado sólido, que se podem inflamar facilmente por breve contacto com uma fonte de inflamação e que continuam a arder ou a consumir-se após a retirada da fonte de inflamação.
	Substâncias e preparações no estado líquido, cujo ponto de inflamação é muito baixo.
	Substâncias e preparações que, em contacto com a água ou ar húmido, libertam gases extremamente inflamáveis em quantidades perigosas.
Inflamáveis	Substâncias e preparações líquidas cujo ponto de inflamação é baixo.
Muito tóxicas	Substâncias e preparações que, quando inaladas, ingeridas ou absorvidas através da pele, mesmo em muito pequena quantidade, podem causar a morte ou riscos de afecções agudas ou crónicas.
Tóxicas	Substâncias e preparações que, quando inaladas, ingeridas ou absorvidas através da pele, mesmo em pequena quantidade, podem causar a morte ou riscos de afecções agudas ou crónicas.
Nocivas	Substâncias e preparações que, quando inaladas, ingeridas ou absorvidas através da pele, podem causar a morte ou riscos de afecções agudas ou crónicas.
Corrosivas	Substâncias e preparações que, em contacto com tecidos vivos, podem exercer sobre estes uma acção destrutiva.
Irritantes	Substâncias e preparações não corrosivas que, em contacto directo, prolongado ou repetido com a pele ou com as mucosas, podem provocar uma reacção inflamatória.
Sensibilizantes	Substâncias e preparações que por inalação ou penetração cutânea, podem causar uma reacção de hipersensibilização tal que uma exposição posterior à substância ou à preparação produza efeitos nefastos característicos.
Cancerígenas	Substâncias e preparações que, por inalação, ingestão ou penetração cutânea, podem provocar o cancro ou aumentar a sua incidência.
Mutagénicas	Substâncias e preparações que, por inalação, ingestão ou penetração cutânea, podem produzir efeitos genéticos hereditários ou aumentar a sua frequência.
Tóxicas para a reprodução	Substâncias e preparações que, por inalação, ingestão ou penetração cutânea, podem causar ou aumentar a frequência de efeitos prejudiciais não hereditários na progenitura ou atentar às funções ou capacidades reprodutoras masculinas ou femininas.
Perigosas para o ambiente	Substâncias e preparações que, se presentes no ambiente, representam ou podem representar um risco imediato ou diferido para um ou mais compartimentos do ambiente.

No anexo I do Decreto-Lei n.º 164/2001, de 23 de Maio, estão estabelecidas as quantidades de substâncias perigosas permitidas: as quantidades a considerar para efeitos da aplicação dos artigos são as quantidades máximas presentes ou susceptíveis de estar presentes em qualquer momento no estabelecimento, instalação ou área de armazenagem. As substâncias perigosas presentes num estabelecimento apenas em quantidade igual ou inferior a 2 % da quantidade de limiar indicada não são tomadas em consideração para efeitos do cálculo da quantidade

total presente se estiverem localizadas de forma a não poder desencadear um acidente grave noutro ponto do local.

5.4.1. Riscos de explosão e de incêndio

Devido às características físico-químicas dos produtos químicos, podem desencadear-se incêndios e explosões quando da presença de substâncias inflamáveis, explosivas e comburentes. Em consequência do desprendimento de calor devido à incompatibilidade química de algumas substâncias pode dar-se a inflamação ou explosão dos reagentes e dos produtos da reacção libertando matérias muito tóxicas (Franco, 1999).

Para proteger os trabalhadores contra os danos provocados pela utilização de produtos químicos inflamáveis e explosivos deve-se proceder de acordo com as acções descritas na Tabela III.8.

Tabela III.8. – Acções para protecção dos trabalhadores contra os danos provocados pela utilização de produtos químicos inflamáveis e explosivos (Franco, 1999).

Acções de protecção
Actuar ao nível da concepção e métodos de funcionamento das instalações, de maneira a eliminar vapores, gases ou poeiras inflamáveis, e adoptar procedimentos correctos de evacuação;
Eliminar ou controlar as fontes de ignição, com especial incidência nas medidas destinadas a evitar descargas electrostáticas, sobretudo nas operações de transfega;
Efectuar a separação das instalações e/ou processos em que se utilizem produtos químicos inflamáveis das zonas de armazenagem e dos locais onde estejam presentes pessoas;
Instalar dispositivos para detectar aumentos de pressão nos recipientes e de sistemas automáticos de redução de gases, destinados a evitar explosões;
Reduzir ao mínimo as quantidades presentes no local de trabalho e separar os produtos químicos incompatíveis entre si;
Utilizar vestuário e equipamento adequado, como por exemplo, ferramentas que não produzam chispas sobretudo quando se trabalha com material inflamável a baixa temperatura;
Medir as atmosferas inflamáveis, para as quais existem detectores para avaliar a sua perigosidade;
Fechar sempre os recipientes que contêm produtos inflamáveis, pois os seus vapores e todo o líquido ardem facilmente se na sua proximidade existe um foco de ignição;
Atender à incompatibilidade de certos produtos químicos com a água, pois podem libertar-se produtos inflamáveis (Anexo F);
Manter os produtos químicos oxidantes afastados dos inflamáveis e combustíveis, devido à sua reactividade e à sua tendência a gerar calor (Anexo F);
Conceber vias de acesso adequadas à zona de armazenagem;
Instalar sinalização de segurança adequada e introduzir equipamento apropriado na detecção e/ou extinção de incêndios, que deve estar sempre em bom estado de funcionamento e de fácil acesso;
Instalar dispositivos eléctricos que devem ser antideflagrantes e com ligação à terra;
Proibir fumar.

5.4.2. Riscos de irritação e de queimaduras por contacto

São as substâncias irritantes e corrosivas que provocam este tipo de riscos, cuja acção sobre o organismo se manifesta localmente mediante irritação forte com reacções inflamatórias da pele e das mucosas ou destruição dos tecidos com os quais estão em contacto directo.

Para a prevenção destes riscos deve-se (Franco, 1999):

- Fechar sempre os recipientes, depois de extraída a quantidade necessária, pois em caso de derrame de produtos corrosivos podem ocorrer acidentes graves;
- Colocar os produtos corrosivos separados, e em recipientes de pequena capacidade o mais perto possível do solo, com bacias de retenção para que se retenham possíveis derrames;
- Instalar duches de emergência e “lava-olhos” para minimizar as consequências resultantes de projecções e salpicos em operações manuais;
- Evitar manipular produtos químicos irritantes ou corrosivos, sem equipamento de protecção individual adequado;
- Lavar a cara e as mãos depois da utilização.

5.4.3. Riscos de intoxicação

A exposição dos trabalhadores à acção contaminante dos produtos químicos perigosos pode provocar intoxicações agudas ou crónicas, quando da penetração no organismo por inalação, absorção cutânea e/ou ingestão. As intoxicações podem manifestar-se de maneira diferente provocando diferentes efeitos (Franco, 1999). Segundo o mesmo autor, para controlar os riscos de intoxicações em consequência da exposição dos trabalhadores aos produtos químicos perigosos deve-se agir de acordo com determinadas acções preventivas conforme as descritas na Tabela III.9.

5.4.4. Riscos para o ambiente

Estes são caracterizados como os riscos potenciais de indústrias que produzem, transportam, armazenam e eliminam resíduos de produtos químicos perigosos, provocando contaminação do meio ambiente (ar, água, solo, fauna e flora).

Tabela III.9. – Acções preventivas para controlar os riscos de intoxicações em consequência da exposição a produtos químicos perigosos (Franco, 1999).

Acções preventivas para controlar riscos de intoxicações
Actuar ao nível da concepção e métodos de funcionamento das instalações;
Modificar e corrigir o processo produtivo, impedindo a formação do contaminante, nomeadamente trabalhando em meios isolados;
Substituir uma substância tóxica por outra menos tóxica;
Automatizar o processo para evitar a manipulação directa do contaminante;
Introduzir ventilação geral e/ou extracção localizada adequadas;
Alterar a organização do trabalho, diminuindo o tempo de exposição aos contaminantes químicos, e reduzir a um mínimo absolutamente necessário o número de trabalhadores expostos;
Introduzir equipamentos e sistemas de trabalho que, em caso de fugas, permitam detectá-las rapidamente e circunscrever a área contaminada;
Armazenar os produtos tóxicos em locais bem ventilados;
Proibir comer, beber e fumar em zonas contaminadas;
Usar equipamento de protecção individual, até que os riscos sejam eliminados ou reduzidos a níveis inofensivos para a saúde dos trabalhadores, ou ainda como complemento da protecção colectiva.

Segundo Franco (1999), devem ser introduzidas medidas com o objectivo de identificar, avaliar e desenvolver procedimentos que reduzam os impactes ambientais associados à utilização dos produtos químicos, nomeadamente:

- Armazenar adequadamente;
- Reduzir o consumo de matérias-primas;
- Diminuir o volume dos resíduos gasosos, líquidos e sólidos;
- Tratar e/ou eliminar de modo adequado as embalagens e os recipientes que contêm resíduos perigosos;
- Transportar os produtos químicos perigosos de acordo com a legislação (Portaria n.º 1196-C/97, de 24 de Novembro).

5.5. Risco de choque eléctrico

O contínuo incremento no uso da energia eléctrica que se tem verificado, desde o começo da sua utilização com fins industriais, origina um aumento de acidentes. Os riscos mais comuns são os físicos: incêndios e explosões; e os fisiológicos: choque eléctrico, queimaduras e intoxicações. Os riscos físicos estão associados ao calor e ao arco eléctrico que a corrente eléctrica pode produzir em determinadas condições. Os riscos fisiológicos estão associados ao comportamento do corpo humano, quando ele é percorrido pela corrente eléctrica ou quando é exposto a um arco eléctrico (faísca). No efeito da corrente eléctrica sobre o organismo são de importância decisiva os seguintes parâmetros: intensidade da corrente, duração do efeito,

percurso da corrente, frequência e variação brusca da corrente e humidade da pele (AIMinho, 1998). Para que se previnam acidentes relacionados com esta matéria são necessárias medidas de protecção como (AIMinho, 1998):

- Interposição de uma distância de segurança entre condutores nus e peças sob tensão e os utilizadores;
- As peças em tensão deverão estar protegidas com coberturas, encapsulamentos, redes, etc;
- Dever-se-ão escolher os condutores com resistência a acções mecânicas, térmicas, corrosão, ambientes húmidos, etc., conforme os riscos do local onde vão ser instalados;
- Ligação à terra das estruturas metálicas dos equipamentos;
- Controlo da tensão de efeito. As tensões que se formam entre as partes exteriores dos equipamentos e o solo, por defeito do sistema, deverão ser acompanhadas por um corte automático da tensão da instalação;
- Controladores permanentes de isolamento que emitem sinais luminosos e sonoros sempre que a tensão de defeito seja ultrapassada.

5.6. Sinalização de segurança

A sinalização de segurança tem como objectivo chamar a atenção, de uma forma rápida e clara para objectivos e situações susceptíveis de provocar determinados perigos. Não dispensa, em caso algum, a aplicação de medidas de protecção impostas por diplomas legais, só devendo ser utilizada para dar indicações relacionadas com a segurança, e a sua eficácia depende em particular da informação completa e permanentemente renovada que for dispensada a todas as pessoas que dela possam tirar proveito (AIMinho, 1998). Para além desta dependência, a eficácia da sinalização de segurança não deve ser posta em causa por localização incorrecta, número insuficiente ou em excesso, mau estado de conservação ou de funcionamento. Garantindo o mesmo grau de eficácia, pode optar-se entre vários tipos de sinalização ou utilizá-los simultaneamente (Franco *et al.*, 1999).

O Decreto-Lei n.º 441/91, de 14 de Novembro, estabelece os princípios gerais de promoção da segurança, higiene e saúde no trabalho, prevê que tais princípios sejam concretizados, designadamente, através da transposição para o direito interno de directivas comunitárias. De

acordo com esta orientação, o Decreto-Lei n.º 141/95, de 14 de Junho, transpõe para o direito interno a Directiva n.º 92/58/CEE, de 24 de Junho, relativa às prescrições mínimas para a sinalização de segurança e de saúde no trabalho. Segundo o Decreto-Lei n.º 141/95, de 14 de Junho, é o empregador que deve garantir a existência de sinalização de segurança, sempre que esses riscos não puderem ser evitados ou suficientemente diminuídos com meios técnicos de protecção colectiva ou com medidas, métodos ou processos de organização do trabalho. É ainda de referir que a colocação e utilização da sinalização de segurança deverá ter em conta a avaliação de riscos a que se refere o artigo 8º do Decreto-Lei n.º 441/91, de 14 de Novembro. É a Portaria n.º 1456-A/95, de 11 de Dezembro, que regulamenta as prescrições mínimas de colocação e utilização da sinalização de segurança e de saúde no trabalho (Anexo G).

A sinalização de segurança pode ser dividida em dois tipos de sinalização: sinalização permanente e sinalização acidental, artigos 6º e 7º respectivamente do Decreto-Lei n.º 141/95, de 14 de Junho.

A sinalização permanente inclui segundo o Decreto-Lei n.º 141/95, de 14 de Junho:

- As placas de proibição, aviso e obrigação;
- As placas de localização e identificação dos meios de salvamento e de socorro;
- As placas e cores de segurança destinadas a localizar e identificar o material e equipamento de combate a incêndios;
- As placas e cores de segurança destinadas a indicar o risco de choque contra obstáculos e a queda de pessoas;
- As placas e rotulagens de recipientes e tubagens;
- A marcação, com cor de segurança, de vias de circulação.

A sinalização acidental deve ter uma utilização restringida ao tempo estritamente necessário (Decreto-Lei n.º 141/95, de 14 de Junho):

- Os sinais luminosos ou acústicos, ou as comunicações verbais destinadas a chamar a atenção para acontecimentos perigosos, a chamar as pessoas para uma acção específica ou a facilitar a evacuação de emergência de pessoas;
- Os sinais gestuais ou as comunicações verbais destinadas a orientar as pessoas que efectuam manobras que impliquem riscos ou perigos.

Na sinalização permanente referiu-se inúmeras vezes a palavra placa que significa o sinal que combina uma forma geométrica, cores e um símbolo ou pictograma, visando fornecer uma indicação cuja visibilidade deva ser garantida por iluminação adequada.

5.6. Rotulagem e fichas de dados de segurança

A informação aos trabalhadores sobre os riscos dos produtos químicos perigosos presentes nos locais de trabalho constitui um ponto-chave para a actuação preventiva. Assim, para uma eficaz e completa informação, há que rotular correctamente as embalagens dos produtos químicos e ter acesso às fichas de dados de segurança. São fichas técnicas que tratam dos diferentes aspectos preventivos e/ou de emergência, comportando informações essenciais e detalhadas sobre a identificação dos produtos, a sua classificação, os perigos que apresentam, as precauções a tomar e os procedimentos a seguir em matéria de segurança (Franco, 1999).

5.6.1. Rotulagem

Segundo o Decreto-Lei n.º 330-A/98, de 2 de Novembro, o rótulo, cujo exemplo de aplicação se mostra na Figura III.4., deve conter as seguintes informações redigidas em língua portuguesa:

- Nome da substância ou designação comercial da preparação;
- Origem da substância ou preparação (nome e morada completa do fabricante, importador ou distribuidor);
- Símbolos e indicações de perigo que apresenta o uso da substância ou da preparação;
- Frases R indicando os riscos específicos que derivam dos perigos que apresenta o uso da substância (Anexo H);
- Frases S indicando os conselhos de prudência relativamente ao uso da substância (Anexo H);
- Número CE, quando atribuído;

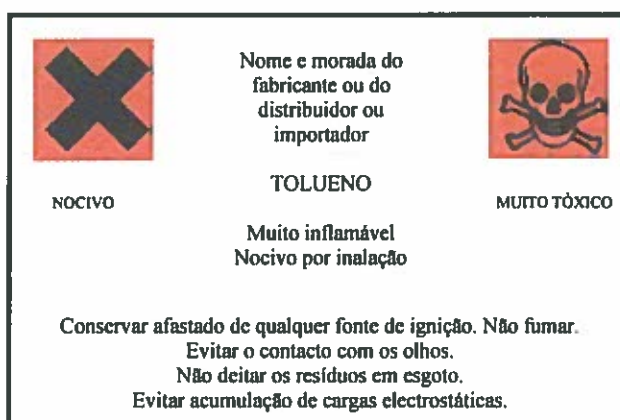



Figura III.4. – Exemplo de rótulo que deve constar nas embalagens de produtos químicos perigosos (Ribeiro, 2000).

- Indicação “rotulagem CE”, obrigatória para as substâncias incluídas no anexo I da Portaria n.º 732-A/96, de 11 de Dezembro.

Os símbolos e as indicações de perigo que devem constar no rótulo são apresentadas na Tabela III.10.

Tabela III.10. – Símbolos de perigosidade que devem ser impressos na rotulagem das substâncias e preparações químicas perigosas (Ribeiro, 2000)

Símbolo	Significado	Descrição dos riscos	Medidas preventivas
	Tóxico (T) Muito tóxico (T+)	Substâncias e preparações tóxicas e nocivas que apresentam, mesmo em pequenas quantidades, um perigo para a saúde. Se a gravidade do efeito sobre a saúde se manifestar com quantidades muito pequenas, o produto é assinalado pelo símbolo tóxico.	Para evitar todo e qualquer contacto com a pele, utilizar meios de protecção: luvas, viseiras, fatos-macacos, etc. Trabalhar de preferência no exterior ou num local bem arejado.
	Nocivo (Xn)	Estes produtos penetram no organismo por inalação, por ingestão, ou através da pele.	Boa higiene: lavar as mãos e nunca comer nem fumar durante a utilização. Os produtos sob a forma de aerossol são mais perigosos (inalação). Guardar fora do alcance das crianças.
	Facilmente inflamável (F) Extremamente inflamável (F+)	(F) Os produtos facilmente inflamáveis incendeiam-se na presença de uma chama, de uma fonte de calor (superfície quente) ou de uma faúlha. (F+) Os produtos extremamente inflamáveis incendeiam-se sob a acção de uma fonte de energia (chama, faúlha, etc.), mesmo abaixo de 0 °C.	Armazenar os produtos em local bem arejado. Nunca utilizar junto de uma fonte de calor, de uma superfície quente ou na proximidade de faúlhas ou de uma chama nua. Proibir fumar.
	Irritante (Xi)	O contacto repetido com produtos irritantes provoca reacções inflamatórias da pele e das mucosas.	Utilizar sempre luvas e óculos de protecção. A higiene é fundamental: depois da utilização, lavar bem a cara e as mãos. Os produtos corrosivos sob a forma de aerossol são perigosos.
	Explosivo (E)	A explosão é uma combustão extremamente rápida; depende das características do produto, da temperatura (fonte de calor), do contacto com outros produtos (reacções, choques, etc.).	Evitar o sobreaquecimento e os choques, proteger contra as radiações solares. Nunca colocar na proximidade de fontes de calor, de lâmpadas, de radiadores, etc. Proibir fumar.
	Perigoso para o ambiente (N)	Substâncias: Muito tóxicas para os organismos aquáticos. Tóxicas para a fauna. Perigosas para a camada de ozono.	Eliminar o produto ou os seus restos como se de um resíduo perigoso se tratasse. Evitar a contaminação de meio ambiente através de uma armazenagem adequada.

5.6.2. Fichas de dados de segurança

As fichas de dados de segurança devem facultar informações necessárias para a tomada de medidas convenientes nomeadamente no que diz respeito à protecção da saúde e da

segurança, quer nos locais de trabalho, quer aos utilizadores, como também no que se refere ao ambiente (Anexo I).

A informação das fichas de dados de segurança deve ser compatível e complementar à do rótulo. Assim, segundo a Portaria n.º 732-A/96, de 11 de Dezembro, uma ficha de dados de segurança deve conter:

- Identificação da substância perigosa;
- Identificação da sociedade/empresa;
- Identificação dos perigos;
- Primeiros socorros;
- Medidas de combate a incêndios;
- Medidas a tomar em caso de fugas acidentais;
- Manuseamento e armazenagem;
- Controlo da exposição/protecção individual;
- Propriedades físico-químicas;
- Estabilidade e reactividade;
- Informação toxicológica;
- Informação ecológica;
- Questões relativas à eliminação;
- Indicações relativas ao transporte;
- Informação sobre regulamentação;
- Outras informações.

A rotulagem e as fichas de dados de segurança não resolvem totalmente o problema da perigosidade das substâncias e preparações químicas perigosas. É necessário informar e formar os trabalhadores sobre os métodos seguros de trabalho, ou seja, desenvolver acções formativas e elaborar, por escrito, procedimentos de trabalho para que os trabalhadores, além de conhecerem os perigos, actuem de maneira segura (Franco, 1999).

5.7. Equipamentos de protecção individual

O Decreto-Lei n.º 348/93, de 1 de Outubro, transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 89/656/CEE, do Conselho, de 30 de Novembro, relativa às prescrições mínimas de

segurança e de saúde dos trabalhadores na utilização de equipamentos de protecção individual (EPI's). Segundo o referido diploma, os equipamentos de protecção individual devem ser utilizados quando os riscos existentes não puderem ser evitados ou suficientemente limitados por meios técnicos de protecção colectiva ou por medidas, métodos ou processos de organização do trabalho. Define-se EPI como todo o equipamento destinado a ser utilizado pelo trabalhador, com vista à protecção contra um ou mais riscos susceptíveis de ameaçar a segurança e a saúde no local de trabalho (AIMinho, 1998). Na Tabela III.11. são apresentados EPI's mais comuns nas operações que envolvem o processo de anodização. O facto dos EPI's só deverem ser utilizados na impossibilidade de medidas de ordem geral deve-se devido ao facto da sua utilização exigir do trabalhador um sobreesforço no desempenho das suas funções, quer pelo peso, quer ainda pelo desconforto geral que podem provocar (Miguel, 2002).

Tabela III.11. – Equipamentos de protecção individual mais utilizados nas operações que envolvem o processo de anodização (AIMinho, 1998; Miguel, 2002).

Protecção	Equipamento	Características
Protecção dos olhos e da face	Óculos; Viseiras; Capuzes.	Os óculos devem proteger os olhos contra corpos estranhos (poeiras e fragmentos), projecção de substâncias perigosas (ácidos e bases) e radiações perigosas (ultravioletas e infravermelhas). A protecção ocular não deverá limitar o campo de visão, a sua armação deverá ser confortável, as lentes opticamente neutras, resistir à abrasão, choques e produtos químicos e resistir às lavagens. As viseiras de protecção para além de protegerem a face também protegem os olhos, são muito utilizadas em trabalhos de soldadura devido aos raios ultravioletas e à protecção de partículas incandescentes. Os capuzes para além da face protegem os olhos e o crânio, devem ser utilizados em operações de decapagem por jacto de arcaia, protecção de líquidos corrosivos e calores intensos.
Protecção das vias respiratórias	Aparelhos filtrantes, com filtros para partículas ou para gases ou ainda combinados; Aparelhos isolantes. (Figura III.5.)	Estes aparelhos visam proteger os trabalhadores contra as substâncias perigosas e prevenir a deficiência em oxigénio. Como substâncias perigosas consideram-se os gases, os vapores, poeiras corrosivas, tóxicas e cancerígenas e microrganismos. Os aparelhos filtrantes são sistemas que aspiram o ar ambiente, filtrando-o das substâncias nocivas através dos filtros. Os aparelhos isolantes são alimentados com ar respirável que não é proveniente da atmosfera ambiente.
Protecção das mãos e braços	Luvas; Braçadeiras; Palmas e dedeiras.	As luvas a utilizar devem estar adaptadas aos riscos presentes, nomeadamente: mecânicos, térmicos, químicos e microbiológicos, radiações e eléctricos.
Protecção dos pés	Sapatos de segurança (Figura III.6.)	Estes equipamentos visam proteger os pés contra acções mecânicas, químicas e físicas, tais como choques, quedas de objectos, substâncias quentes e corrosivas, calor, etc. Devem ainda dispor de abertura fácil, serem antiderrapantes e de manutenção fácil.
Protecção do corpo	Roupas (Figura III.7.)	As roupas de protecção devem garantir protecção das seguintes situações: grande intensidade de calor, possibilidade de contacto com temperaturas elevadas, frio intenso, substâncias perigosas, risco de corte e humidade. O material de confecção das roupas de protecção depende da utilização a que se destina.

De acordo com o quadro normativo todo o equipamento de protecção individual deve:

- Estar conforme as normas aplicáveis à sua concepção e fabrico em matéria de segurança e saúde;
- Ser adequado aos riscos a prevenir e às condições existentes no local de trabalho, sem implicar por si só um aumento do risco;
- Atender às exigências ergonómicas e da saúde do trabalhador;
- Ser adequado ao utilizador.

As Figuras III.5., III.6. e III.7., apresentadas a seguir, indicam alguns exemplos de equipamento de protecção individual, referidos na Tabela III.6.



Figura III.5. – EPI: máscara com filtro **Figura III.6.** – EPI: bota de para protecção das vias respiratórias segurança (Miguel, 2002).
(Rodrigues *et al.*, 1999).



Figura III.7. – EPI: fato para protecção química (Miguel, 2002).

A Portaria n.º 988/93, de 6 de Outubro, dá execução ao disposto no artigo 7º do Decreto-Lei n.º 348/93, de 1 de Outubro. A Tabela III.12. é um esquema indicativo para o inventário dos riscos com vista à utilização de protecção individual, presente no anexo I da referida Portaria.

Tabela III.12. – Esquema indicativo para o inventário dos riscos com vista à utilização de protecção individual (Portaria n.º 988/93, de 6 de Outubro).

Partes do Corpo	Riscos																	
	Físicos							Químicos					Biológicos					
	Mecânicos				Térmicos		Radiações			Aerossóis		Líquidos		Bactérias patogénicas	Vírus patogénicos	Fungos produtores de micoses	Antigénicos biológicos não microbianos	
	Quedas de grande altura	Choques, golpes, impactes, compressões	Perfurações, cortes, abrasões	Vibrações	Escorregadelas, quedas ao mesmo nível	Calor, chamas	Frio	Eléctricos	Não ionizantes	Ionizantes	Ruído	Poeiras, fibras	Fumos					Névoas
Cabeça	Crânio																	
	Ouvidos																	
	Olhos																	
	Vias respiratórias																	
	Rosto																	
Cabeça inteira																		
superiores	Mão																	
	Braço																	
inferiores	Pé																	
	Perna																	
LIVRES	Pele																	
	Tronco abdómen																	
	Via parentérica																	
	Corpo inteiro																	

6. Sistemas de ventilação

Os sistemas de ventilação localizada têm por objectivo a protecção dos trabalhadores expostos contra todos os riscos associados à inalação de gases, vapores e/ou aerossóis nocivos, emitidos e disseminados na atmosfera dos locais de trabalho, nos quais se utilizam soluções de produtos químicos em tanques abertos (Rodrigues *et al.*, 1999).

Podem ser utilizadas duas técnicas de ventilação, conjunta ou separadamente, consoante o grau de risco e as condições técnicas da situação considerada (Rodrigues *et al.*, 1999):

1. A ventilação por aspiração localizada dos poluentes;
2. A ventilação geral das instalações por diluição dos poluentes.

Analise a primeira técnica:

Segundo Rodrigues *et al.* (1999), este tipo de ventilação consiste em captar poluentes o mais próximo possível do seu ponto de emissão, ou antes de penetrarem na zona respiratória dos trabalhadores, ou de serem disseminados por toda a atmosfera da instalação. Esta solução deve ser adoptada prioritariamente sempre que exista uma quantidade significativa de poluentes emitidos e quando as fontes de poluição são fixas. De acordo com as técnicas adoptadas, distinguem-se os dispositivos de captação envolvente, como mostra a Figura III.8., as hottes ilustradas na Figura III.9., os dispositivos de aspiração lateral de acordo com a Figura III.10. e os sistemas de insuflação e aspiração de ar como se pode observar na Figura III.11. Um dispositivo de captação envolvente é um dispositivo que assegura a protecção contra os poluentes emitidos pela totalidade do tanque e apresenta, no máximo, duas entradas, estando as outras totalmente fechadas. Uma hotte realiza a aspiração dos poluentes na parte superior do banho cobrindo todo o tanque e apresenta 3 ou 4 lados abertos. Devem considerar-se como tanques de aspiração lateral, todos os tanques, nos quais a aspiração se faz por meio de dispositivos de captação que não estão instalados por baixo de todo o tanque e no qual a direcção dos movimentos de ar, nos dispositivos de captação, é praticamente horizontal. O princípio de um dispositivo de aspiração e insuflação de ar consiste em dispor de um ou mais jactos de ar numa das extremidades do tanque para conduzir os poluentes para a outra extremidade, munida de um dispositivo de aspiração.

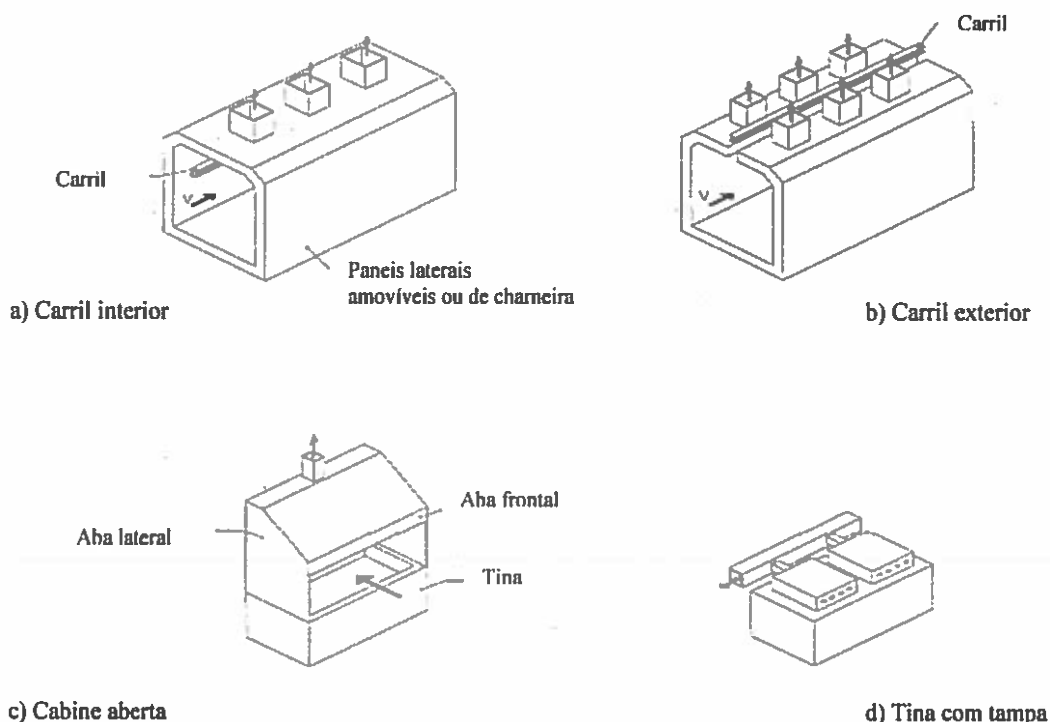


Figura III.8. – Dispositivos de captação envolvente (Rodrigues *et al.*, 1999).

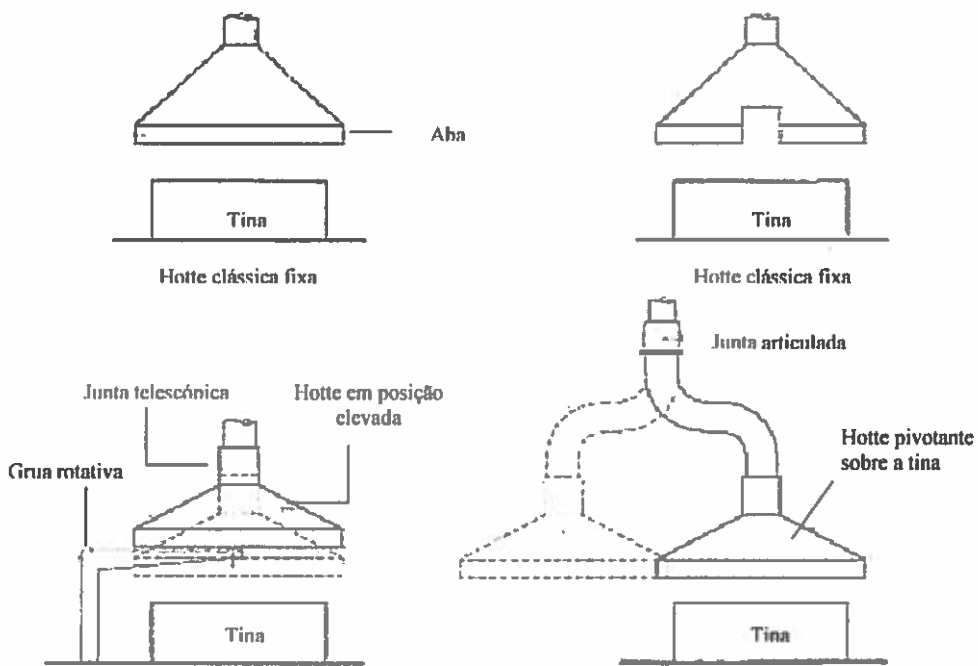


Figura III.9. – Dispositivo de aspiração por hotte – situações típicas (Rodrigues *et al.*, 1999).

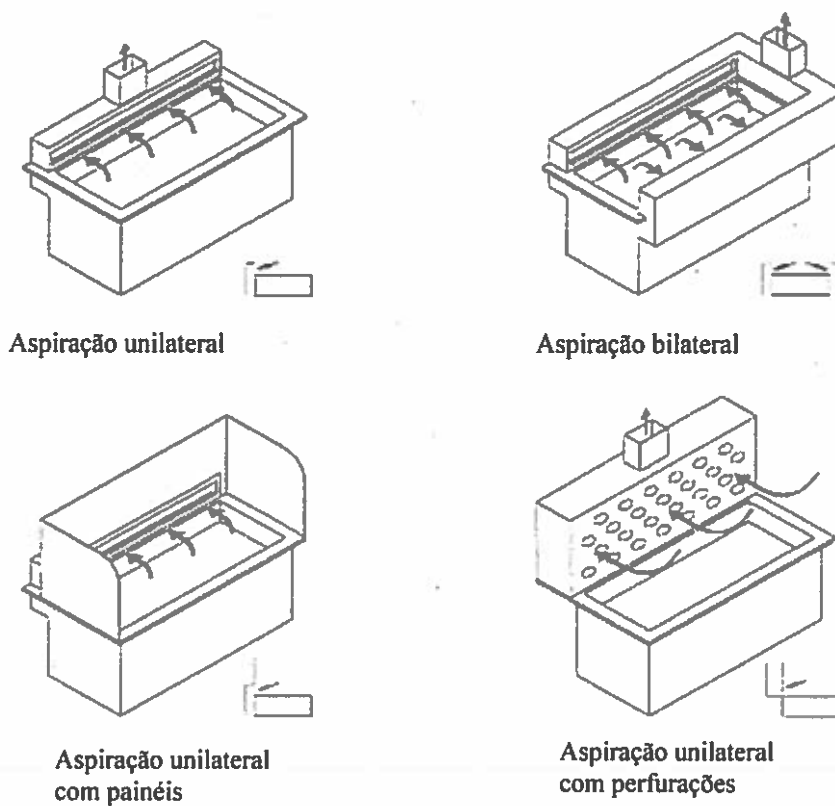


Figura III.10. – Dispositivos de aspiração lateral: unilateral e bilateral (Rodrigues *et al.*, 1999).

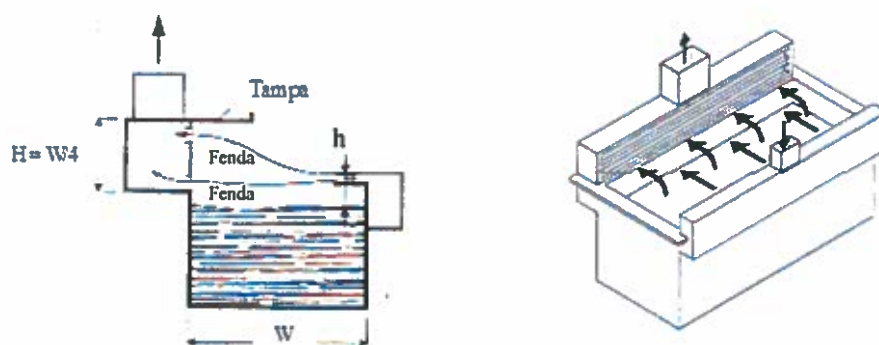


Figura III.11. – Dispositivos de aspiração e insuflação de ar (Rodrigues *et al.*, 1999).

Quanto à segunda técnica:

A ventilação geral consiste no fornecimento de ar não contaminado em quantidade suficiente para diluir os poluentes emitidos, de maneira que os seus teores no ambiente fiquem abaixo dos valores limite de exposição. Como tal, admite um certo nível de poluição nos locais de trabalho, pelo que esta técnica apenas deve ser adaptada aos locais de trabalho onde existam fontes de poluição mal controladas (disseminação importante de pequenas fontes de poluição), ou quando os poluentes têm um baixo nível de toxicidade e são emitidos com baixo débito (Rodrigues *et al.*, 1999).

Capítulo IV – Caso Prático

Alumínios Ibérica, Lda.

Neste capítulo abordar-se uma vertente mais prática sobre tratamentos de superfície, no caso concreto: a anodização. Para tanto, recorre-se a uma empresa portuguesa em franco desenvolvimento.

1. Apresentação da empresa

Fundada em 1989, a *Alumínios Ibérica, Lda.* iniciaria as suas actividades logo no ano seguinte nas instalações que ainda hoje ocupa, no Lugar de Santa Marta, freguesia de Lago, concelho de Amares. Ao longo dos anos da sua existência, desenvolveu a sua actividade ocupando hoje um lugar de algum destaque no sector da anodização e termolacagem de alumínio onde está inserida, com uma quota de cerca de 3 % de um mercado estimado em 75.000 ton/ano. A empresa *Alumínios Ibérica, Lda.* tem actualmente um total de 48 trabalhadores (30 homens e 18 mulheres) distribuídos por cada uma das secções do estabelecimento. O regime de funcionamento corresponde a um único turno.

2. Anodização na *Alumínios Ibérica, Lda.*

O alumínio trabalhado na empresa consiste primordialmente nas ligas de Al-Mg-Si, dado apresentarem elevada resistência à corrosão. As suspensões utilizadas, tendo a função de suporte, são de liga de alumínio. A linha de anodização presente na *Alumínios Ibérica, Lda.*, patente na Figura IV.1., é composta por 17 tinas, correspondentes aos diversos tratamentos e às diferentes águas de lavagem pelos quais o alumínio



Figura IV.1. – Linha de anodização na empresa *Alumínios Ibérica, Lda.*

tem de passar, para ser anodizado. Cada uma daquelas tinas tem uma função diferente, e o tratamento em questão é efectuado segundo a ordem apresentada na Tabela IV.1.

Tabela IV.1. – Função e capacidade das tinas que compõem a linha de anodização na empresa *Alumínios Ibérica, Lda.*

Tina	Função	Capacidade (m ³)
1	Desengorduramento	14
2	Decapagem	14
3	Acetinagem	14
4	Lavagem	14
5	Lavagem	14
6	Neutralização	14
7	Lavagem	14
8	Anodização I	20
9	Anodização II	20
10	Lavagem	20
11	Coloração Electrolítica	Banho Desactivado
12	Coloração Electrolítica	14
13	Lavagem	14
14	Lavagem	14
15	Lavagem com água desmineralizada	14
16	Tina vazia	14
17	Colmatação	20

Conforme se pode concluir pela análise da Tabela IV.1., a empresa possui duas tinas de anodização para que não se verifique estrangulamento de material devido ao tempo necessário de tratamento neste banho. Das duas tinas de coloração electrolítica existentes uma delas está desactivada.

Como explicado no Capítulo II, os produtos químicos utilizados nos diferentes tratamentos podem variar. Apresenta-se na Tabela IV.2. os produtos utilizados em cada etapa pela *Alumínios Ibérica, Lda.* e o seu respectivo consumo. Alguns dos produtos químicos apresentados são designados pelo nome comercial e são normalmente compostos por uma mistura de produtos.

Tabela IV.2. – Produtos químicos utilizados na *Alumínios Ibérica, Lda.* e o seu respectivo consumo, em 2002.

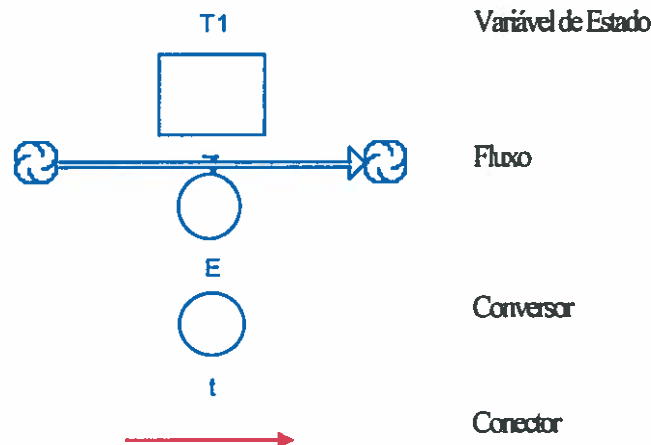
Banho	Produtos químicos	Consumo (Kg/ano)	Característica
Desengorduramento	P3 Almeco 18	1.483	Alcalino
Decapagem	Soda Cáustica	3.340	Alcalina
Acetinagem	Soda Cáustica	15.860	Alcalina
	Synergic	3.127	
	Systosat	1.820	
Neutralização	Ácido Sulfúrico	1.377	Ácida
	Novox Al	470	
Anodização	Ácido Sulfúrico	20.880 (para uma tina)	Ácida
Coloração Electrolítica	Sulfato de Estanho	300	Gama dos Bronzes
	Ácido Sulfúrico	50	
	P3 Almecolor S	240	
Colmatação	Gardo H	1.603	Colmatação com água em ebulição
	Amoníaco	48	
Desmineralizador	Soda Cáustica	693	-
	Ácido Clorídrico	702	

3. Simulação da produção diária de alumínio anodizado

Tendo em conta a descrição da linha de anodização atrás referida, foi realizado, no âmbito da disciplina de Técnicas de Simulação Numérica, um trabalho que teve por objectivo a simulação da produção diária da anodização da *Alumínios Ibérica, Lda.* A simulação foi efectuada em dois programas *Stella* e *Matlab*. O *Stella* é baseado em programação pictórica, simples e com um poder de cálculo inferior ao *Matlab*. Este último é um sistema interactivo para a execução de cálculos científicos e de engenharia, suportado por *software* sofisticado baseado em cálculo matricial. A modelação foi apresentada em duas ferramentas distintas, tendo sido, ambas, objecto de aprendizagem na disciplina. A linha de anodização da empresa é operada manualmente e o processo é descontínuo, levando à geração de perdas no sistema ao longo do dia, quer em termos de matérias-primas, quer na diminuição do produto acabado. Assim sendo, com a modelação do processo, estas perdas são em grande parte diminuídas significativamente, optimizando-se desta forma a produção.

3.1. Modelo *Stella* – Metodologia e descrição

Para a conceptualização do modelo representado em *Stella* foram usados apenas quatro pictogramas para a sua descrição:



Do processo de anodização utilizado pela empresa *Alumínios Ibérica, Lda.* foram removidas, por uma questão de simplificação, as tinas que dizem respeito às águas de lavagem. Trata-se de tinas que não consomem produtos químicos e não se transferindo nada destes banhos para a superfície do alumínio, não teriam influência no objectivo da simulação. Sendo assim, estão representadas apenas oito tinas e não as dezassete referidas na Tabela IV.1.

Para cada tina foram representadas quatro variáveis de estado que dizem respeito ao volume ($V_1...V_{17}$), à concentração de trabalho necessária para obtenção da sua função ($T_1...T_{17}$), ao número de perfis de entrada em cada tina ($Np_1...Np_{17}$) e ao tempo de permanência (*Tempo de permanência*_{1...Tempo de permanência}₁₇). Os índices das variáveis foram mantidos com a mesma numeração para facilitar a identificação dos respectivos banhos de tratamento.

Os fluxos, os conversores e os conectores aplicados a cada variável foram os necessários para que a descrição do processo fabril se aproxime o mais possível da realidade. Sendo assim, para a variável *volume* existe um fluxo de entrada de água e um fluxo de saída. A entrada representa a quantidade de água necessária para manter o volume constante no interior da tina. A saída representa a quantidade de água que se perde por evaporação e arrastamento associada à quantidade de perfis que passam na tina. Para a variável que tem definida a concentração óptima de trabalho, estão associados um fluxo de entrada, um fluxo de saída e um conversor com o respectivo conector a cada um dos fluxos. Os fluxos são referentes à entrada e saída de produtos químicos. A entrada de produto químico tem ser igual à saída para que se mantenha a concentração de trabalho, sendo a saída influenciada pelo tempo de permanência dos perfis no interior da tina, uma vez que o produto perde-se por incorporação na superfície do alumínio.

Quanto à variável que diz respeito ao *número de perfis*, a simulação é iniciada com zero perfis no interior de cada tina, sendo o fluxo de entrada um determinado número imposto (vinte). A saída do número de perfis para a próxima tina vai depender de uma outra variável de estado *Tempo de permanência*, que efectua a passagem dos perfis para a próxima tina. É necessário ter em conta se essa tina já está vazia, para que possa receber o próximo carregamento, e se os perfis já permaneceram o tempo necessário, para receber o tratamento da tina anterior.

Este procedimento, explicado de uma forma genérica, foi aplicado a todas as tinas que compõem a linha de anodização. O intuito desta forma de simulação é o de que os perfis apenas estejam submersos nas tinas o tempo exacto para cada etapa de tratamento de forma a não se verificarem perdas de produtos químicos e defeitos no material.

Os tempos de permanência e as concentrações de trabalho necessárias ao processo são as recomendadas pelo Guia Prático de Anodização (APAL, 1995), para que se obtenha um produto final de qualidade e com as especificações de espessura recomendadas para a arquitectura de construção.

É de salientar que as tinas 8 e 9 são iguais. Assim foram acopladas como se se tratasse de uma única tina, ficando representada pelo número 8. A sua capacidade, quer em termos de volume, quer em termos de suporte do número de perfis foi aumentada para o dobro como se efectivamente estivessem as duas de forma individual. Refira-se ainda que a variável de estado correspondente à tina 8 foi convertida num *conveyor* com a finalidade de efectuar a passagem de perfis para a tina seguinte de forma discreta e não contínua, como vinha a ocorrer nos passos anteriores, isto porque o tempo de permanência nesta tina é superior ao da tina seguinte. Se este procedimento não fosse efectuado, iria verificar-se uma acumulação de perfis na tina 8.

3.1.1. Equações desenvolvidas no modelo

A variação do volume em ordem ao tempo é dada por:

$$V(t) = V(t - dt) + (EA - E) \times dt \quad (1)$$

Onde,

EA - Entrada de água (L)

E - Saída de água por evaporação e arrastamento (L)

É importante referir que a saída de água é calculada através da multiplicação de um factor de perda pelo número de perfis. As unidades do factor de perda são L/perfil.

A variação da concentração em ordem ao tempo é dada por:

$$T(t) = T(t - dt) + (C - SPQ) \times dt \quad (2)$$

Onde,

- T - Concentração de trabalho que a tina deve ter (g/L)
- C - Entrada de produto químico por unidade de tempo (Kg/h)
- SPQ - Saída de produto químico (Kg/h)

A saída de produto químico é calculada com base num factor numérico que corresponde ao produto impregnado na superfície do perfil, que é multiplicado pelo tempo de permanência e pelo número de perfis. O valor calculado é dividido pelo volume e por unidade de tempo. Assim, as unidades são produto gasto por perfil por unidade de tempo (hora).

A variação do número de perfis em ordem ao tempo é dada por:

$$Np(t) = Np(t - dt) + (Ep_1 + Ep_2) \times dt \quad (3)$$

Onde,

- Np - Número de perfis
- Ep_1 - Entrada de perfis na tina
- Ep_2 - Saída de perfis que irão ser a entrada na tina seguinte

A variação do tempo de permanência em ordem ao tempo é dada por:

$$\text{Tempo de permanência}(t) = \text{Tempo de permanência}(t - dt) + (X_1 - X_2) \times dt \quad (4)$$

Onde,

- X_1 - Representa a entrada de perfis se não houver nada no interior da tina
- X_2 - Representa a saída de perfis se já tiverem completado o tempo necessário para

efectuar o tratamento

3.1.2. Resultados e discussão

Com a simulação efectuada conseguiu-se obter o objectivo pretendido, tendo-se concretizado na totalidade a simulação de uma linha de produção para um dia de trabalho (8 horas).

Nos gráficos que se seguem, ver Figuras IV.2. e IV.3., pode-se visualizar a entrada do número de perfis e a respectiva necessidade de produtos químicos para as tinas de desengorduramento, decapagem, acetinagem e neutralização num período de duas horas para uma entrada inicial de vinte perfis. Variáveis como a entrada de perfis, e o período de tempo visualizado nos gráficos podem ser alteradas. Assim consegue-se obter diferentes compromissos de trabalho. O número de perfis que pode ser introduzido na primeira tina pode atingir um máximo de 30, uma vez que a sua dimensão não permite a entrada de um maior número. Nas Figuras IV.2. e IV.3. a entrada foi efectuada com 20 perfis.

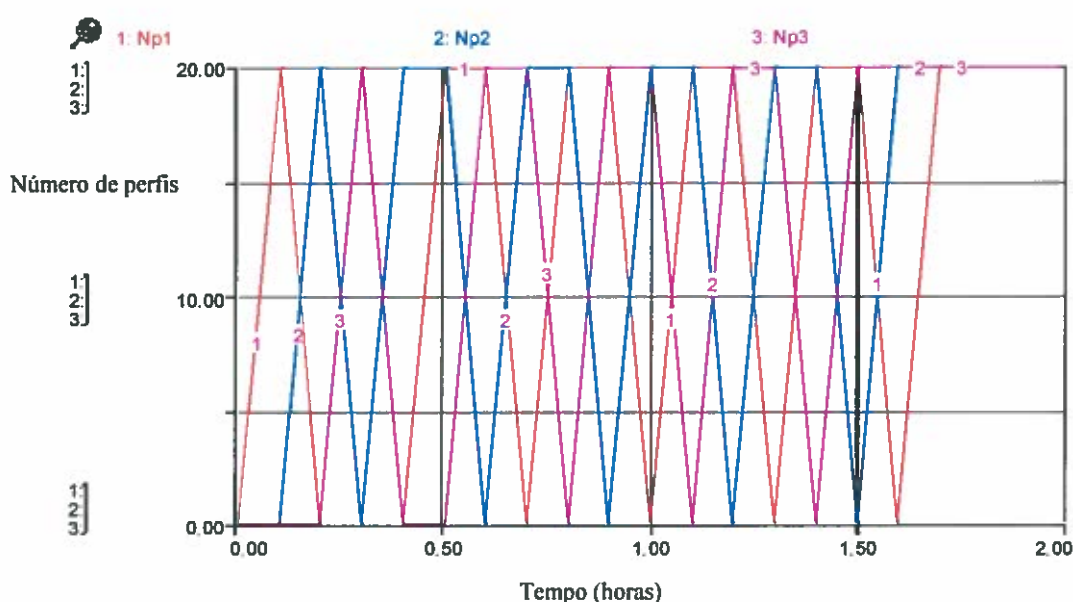


Figura IV.2. – Variação do número de perfis ao longo do tempo, obtidos na simulação *Stella*, com uma entrada inicial de 20 perfis.

Na Figura IV.2. é possível visualizar a entrada gradual dos perfis, ou seja, a passagem de perfis de uma tina para a outra após terem sido submetidos ao tratamento de cada etapa. As linhas 1, 2 e 3 na Figura IV.2. correspondem aos três primeiros banhos de tratamento. Como

seria de esperar a linha 3 apenas aparece depois de ter existido perfis nas tinas anteriores, ou seja, depois de, graficamente, ter aparecido a linha 1 e 2.

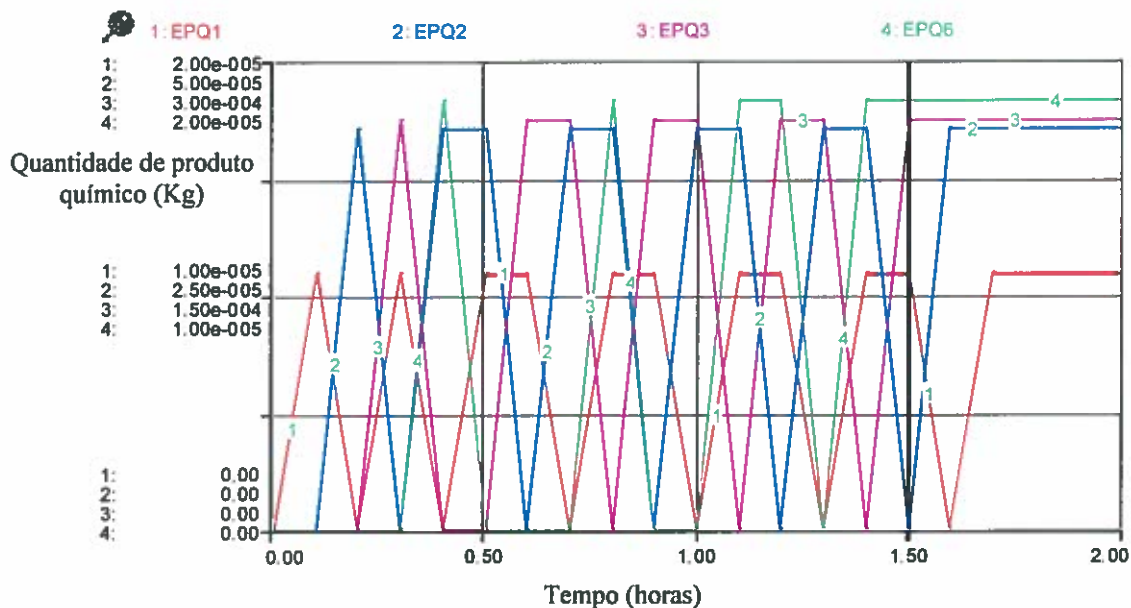


Figura IV.3. – Necessidade de produtos químicos ao longo do tempo, obtida na simulação *Stella*, assumindo uma entrada inicial de 20 perfis.

Na Figura IV.3. é possível analisar a necessidade de produtos químicos para que as operações sejam efectuadas com sucesso. De acordo com as Figuras IV.2. e IV.3. a necessidade de produtos químicos em cada tina é zero quando não existem perfis submersos nas tinas. Por mais pequena que seja a necessidade, o programa calcula automaticamente a quantidade de produtos químicos que deve ser adicionada. Assim, se a linha de anodização da empresa *Alumínios Ibérica, Lda.* fosse automática e programada de forma semelhante ao que aqui se apresenta, os produtos químicos seriam adicionados à linha de forma automática sem que se gerassem perdas e garantindo, ao longo do tempo, concentrações de trabalho constantes.

Na Figura IV.4. apresenta-se a produção efectiva de perfis ao longo das oito horas de laboração normal da linha. De acordo com a Figura IV.4. produz-se ao fim de um dia de trabalho, que corresponde a oito horas, 320 perfis anodizados, com uma entrada inicial de apenas dez perfis na primeira tina. A curva que representa os perfis anodizados aumenta gradualmente, em forma de escada, ao longo do tempo. O primeiro patamar que corresponde a zero perfis é o maior em comprimento, o que significa que corresponde a um maior período

de tempo, que é precisamente o tempo necessário para que os primeiros dez perfis que entraram na linha cheguem ao fim do processo.

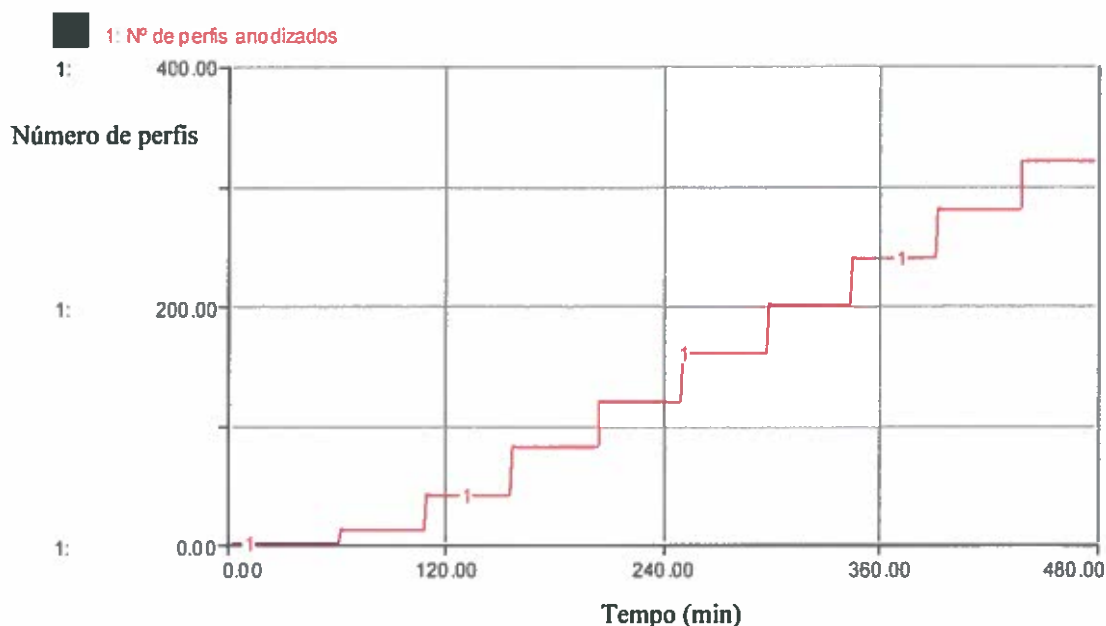


Figura IV.4. – Produção efectiva em oito horas de trabalho na simulação *Stella*.

Através deste tipo de procedimentos é possível obterem-se inúmeras vantagens para uma indústria que realize este tipo de tratamento. De entre elas pode-se referir:

- Uma maximização da produção;
- Um melhor controlo das quantidades de produtos químicos consumidos;
- Menor desperdício de água;
- Uma melhor qualidade do produto final.

Tendo em conta que actualmente a competição de mercado é cada vez mais elevada, a qualidade dos produtos é mais exigente, interessa a qualquer indústria que a sua produção e qualidade aumente de forma a satisfazer a procura. Desta forma, é crucial a utilização de ferramentas avançadas que permitam controlar processos de produção com a eficiência desejada.

3.2. Modelo *Matlab* – Descrição e discussão

Após ter sido concretizado o modelo em *Stella*, procurou-se passar desta linguagem pictórica para a linguagem programada em *Matlab*. No entanto, verificaram-se dúvidas acrescidas devido à complexidade do programa em causa.

No desenvolvimento deste modelo simplificaram-se alguns dos componentes introduzidos na programação em *Stella*. Não foram incluídas na simulação a entrada e saída de produtos, químicos uma vez que estes nunca foram limitantes no processo de produção. Serviam para controlar o consumo de recursos e para que na prática apenas fossem acrescentadas as quantidades estritamente necessárias aos banhos.

No decorrer da simulação foram criados vários ciclos que correspondiam, portanto, ao tempo decorrido, à passagem de perfis de umas tinas para outras e ao tempo de permanência em cada tina. Tendo em conta a acumulação verificada na tina 8, tal como já se tinha verificado no desenvolvimento da simulação em *Stella*, foi criado um ciclo específico para esta situação. Neste caso procedeu-se de forma idêntica à simulação anterior, a tina 8 representa as duas tinas de anodização da empresa.

Na Figura IV.5. pode visualizar-se a variação dos perfis em cada tina ao longo das oito horas de laboração. Estão representadas sete escalas que correspondem às sete tinas, pode-se verificar espaços intermédios que correspondem aos momentos em que ainda não passou o tempo suficiente para entrada de perfis na tina seguinte, ou aos em que ainda não decorreu o tratamento durante o tempo necessário para que chegasse ao fim da linha. Por exemplo, nos primeiros setenta minutos não se verifica entrada de perfis na última tina e nem se poderia verificar, uma vez que ainda não decorreu o tempo necessário para que os primeiros perfis chegassem ao fim da linha.

É importante referir que a tina 12 que corresponde à coloração electrolítica foi, em ambas as simulações, sempre tida em conta, ou seja, foi considerada parte integrante do processo, o que na realidade não tem que acontecer. A coloração é apenas realizada quando for, por parte do cliente, expressamente requerido.

De acordo com a Figura IV.5. é possível perceber a passagem gradual dos perfis de umas tinas para as outras consoante o tempo de tratamento necessário em cada etapa. Das sete escalas apresentadas na Figura IV.5. duas delas atingem o valor de 40, correspondendo às tinas de anodização e colmatação, que são as de maior dimensão, podendo, desta forma, conter submersos no seu interior um maior número de perfis que as restantes tinas. Embora não seja possível visualizar na Figura IV.5., os cálculos efectuados pelo programa permitem

obter, ao fim de oito horas, o número total de perfis anodizados que corresponde, tal como na simulação em *Stella*, a 320 perfis, assumindo uma entrada inicial de 10 perfis.

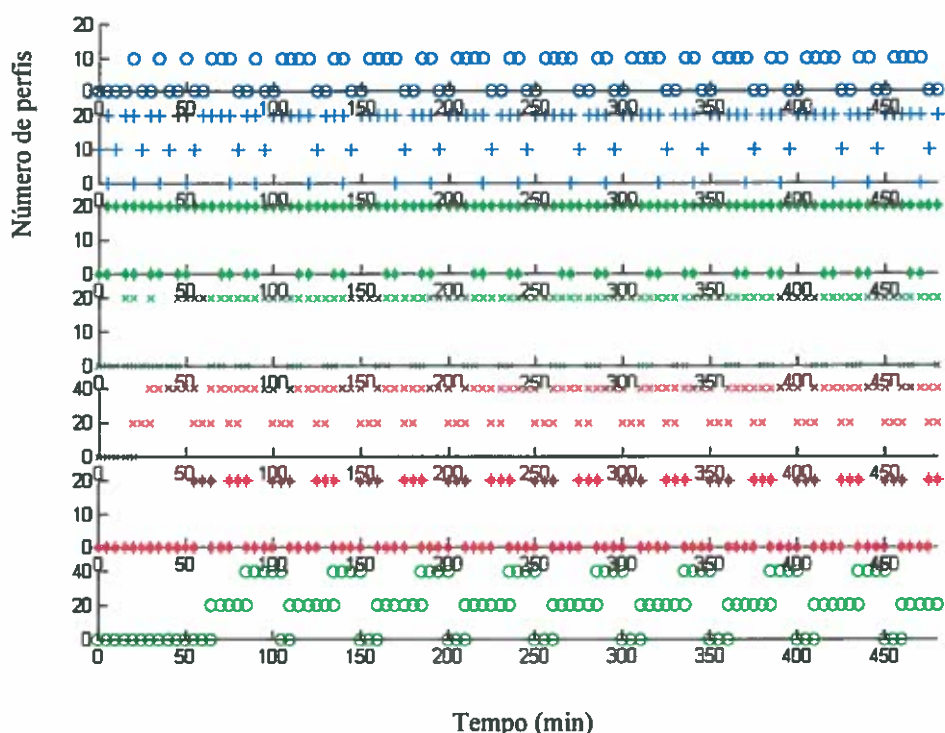


Figura IV.5. – Variação do número de perfis em cada tina, ao longo do tempo, na simulação *Matlab*.

Na Figura IV.6. são apresentados os perfis ao longo das oito horas de serviço. A diferença deste gráfico para o anterior é que neste a visualização dos perfis não é apresentada por tina de forma individual, mas em conjunto. A linha de cor azul emprega dois caracteres, bolas e sinal mais (o, +) que correspondem aos banhos de desgorduramento e decapagem, respectivamente. Esta linha representa inicialmente a entrada de perfis na linha (10 perfis). Os perfis vão, à medida que entram, passando, progressivamente, do desgorduramento para a decapagem. Estes caracteres aparecem muito próximos uma vez que o tempo de permanência na primeira tina é pequeno, 5 minutos. Na linha dos vinte perfis aparecem as cores e os caracteres correspondentes a todas as tintas de tratamento, uma vez que com o passar do tempo há possibilidade do processo ir decorrendo gradualmente. Na última linha, correspondente aos 40 perfis, apenas aparecem dois caracteres, um a verde e outro a vermelho (+ e o), que representam os banhos de anodização e colmatação, respectivamente. Apenas estes dois banhos podiam aparecer na linha correspondente aos 40 perfis, porque as restantes tintas apenas podem conter uma máxima de 30 perfis. Conforme se pode verificar, aparecem em primeiro lugar os caracteres verdes e só depois os vermelhos.

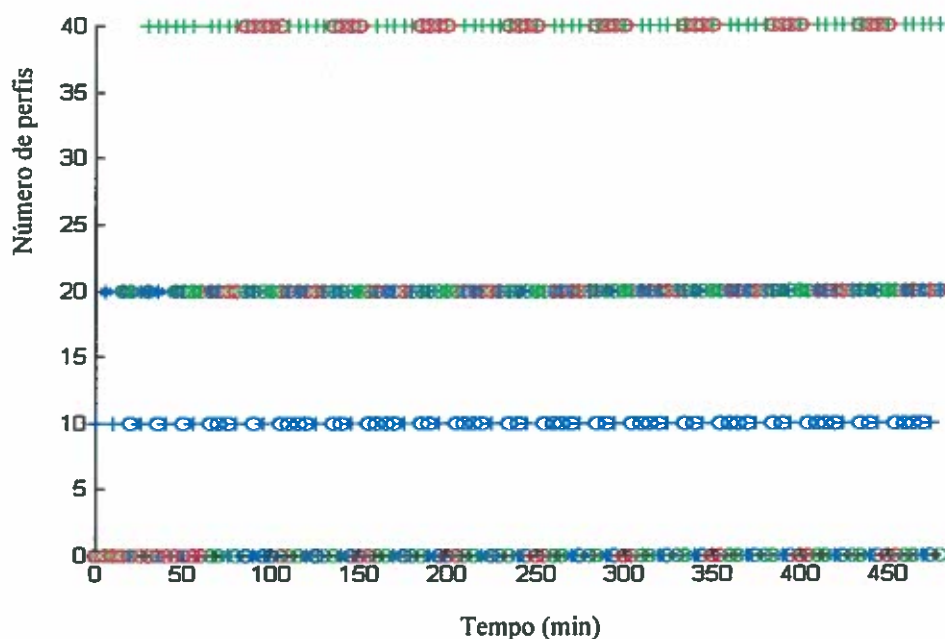


Figura IV.6. – Número total de perfis ao fim de oito horas de trabalho na simulação *Matlab*.

Alguns dos procedimentos executados no *Matlab* precisariam, eventualmente, de ajustes, porque se se fizer variar a entrada de perfis, a simulação nas duas ferramentas de programação não permite chegar, exactamente, ao mesmo resultado, verificando-se uma pequena variação.

4. Qualidade e Ambiente

4.1. Política de qualidade e ambiente

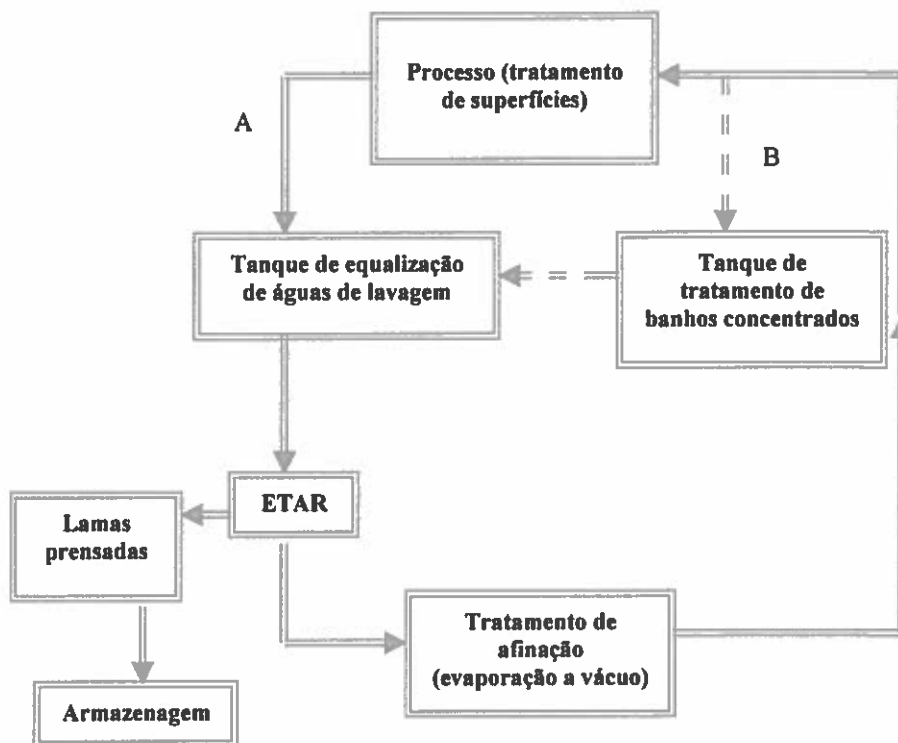
A *Alumínios Ibérica, Lda.* é uma empresa certificada, tendo sido o processo de certificação efectuado de forma integrada – qualidade e ambiente. Os princípios da Política de Qualidade e Ambiente são:

- Produzir de acordo com as necessidades promovendo a protecção do ambiente e respeitando a regulamentação e legislação;
- Fomentar o aperfeiçoamento e progresso implementando medidas de protecção ambiental e garantindo a qualidade dos produtos;
- Aplicar tecnologia actualizada no fabrico;
- Formar adequadamente os trabalhadores focalizando a sensibilização para a qualidade e protecção do ambiente.

4.2. Efluentes líquidos

Devido à geração de efluente industrial, a *Alumínios Ibérica, Lda.* possui um sistema de tratamento implementado e em funcionamento, que pressupõe uma reutilização integral das águas residuais conforme representado na Figura IV.7. O tratamento dos efluentes realiza-se de forma contínua e automática, mediante um dispositivo de controlo e doseamento dos reagentes necessários à eliminação dos produtos tóxicos.

O consumo de água numa linha de anodização é elevado, como já se referiu no ponto 1. do Capítulo III, em termos da preparação dos banhos de tratamento e em termos das águas de lavagem. Na Tabela IV.3.



A – processos contínuos – tratamento de águas pouco concentradas

B – processos intermitentes – tratamento descontínuo, efluentes concentrados

Figura IV.7. – Estratégia da *Alumínios Ibérica, Lda.* relativamente à reutilização da água tratada para o processo produtivo.

apresenta-se o consumo anual de água na *Alumínios Ibérica, Lda.*, quer no que se refere à preparação dos banhos de tratamento, quer à adição efectuada quando necessário devido às perdas por evaporação e arrastamento, como também no que se refere às águas de lavagem.

A *Alumínios Ibérica, Lda.* possui uma ETAR própria para efectuar o tratamento dos seus efluentes. A água residual do processo proveniente das tinas de lavagem é armazenada num tanque conjuntamente com o banho de acetinado onde é promovida a homogeneização destas águas. Este efluente é dirigido para o tanque de pré-neutralização para ajuste de pH, o tratamento destas águas é processado de forma contínua. Os restantes banhos concentrados são armazenados em grandes contentores e tratados de forma descontínua.

Tabela IV.3. – Consumo anual de água no processo anodização na *Alumínios Ibérica, Lda.* em 2002.

Tina	Preparação do banho (L/ano)	Adição (L/ano)	Total (L/ano)
Desengorduramento (1)	4.667	184.800	189.467
Decapagem (2)	14.000	184.800	198.800
Acetinagem (3)	27.020	277.200	304.220
Lavagem (4)	-	-	728.000
Lavagem (5)	-	-	728.000
Neutralização (6)	3.940	-	3.940
Lavagem (7)	-	-	728.000
Anodização I (8)	80.000	-	80.000
Anodização II (9)	80.000	-	80.000
Lavagem (10)	-	-	¹
Coloração Electrolítica (12)	-	6.000	6.000
Lavagem (13)	-	-	¹
Lavagem (14)	-	-	¹
Lavagem com água desmineralizada (15)	-	-	98.000
Colmatagem (17)	240.000	528.000	768.000
Desmineralizador	-	-	34.368
Total			3.946.795

São evitadas variações bruscas de concentrações, não sendo, por isso, lançadas directamente na linha de tratamento as soluções concentradas. Os tanques de armazenamento dos concentrados, cujo aspecto geral se pode observar na Figura IV.8., estão equipados com bombas de pequeno caudal, para a sua diluição nos efluentes contínuos, previamente armazenados e homogeneizados.



Figura IV.8. – Tanques de concentrados da *Alumínios Ibérica, Lda.* para o armazenamento das soluções de tratamento.

Como a maioria das águas de lavagem tem um carácter ácido, é adicionado o banho de acetinado, composto essencialmente por soda cáustica, promovendo, desta forma, o controlo de pH utilizando um banho de tratamento e reduzindo o consumo de produto químico necessário ao ajuste.

¹ Estas lavagens são efectuadas em cascata, sendo abastecidas pela última lavagem.

Do tanque de pré-neutralização o efluente passa para o tanque de neutralização tendo por função o ajuste rigoroso de pH, sendo adicionado automaticamente ácido (H_2SO_4) ou soda consoante a necessidade. A leitura de pH é realizada por meio de sondas incorporadas nos tanques de pré-neutralização e de neutralização. Seguidamente, o efluente é submetido à operação de floculação, tendo por função a formação de flocos e precipitação de impurezas. O efluente é então decantado, levando à separação das matérias sólidas da água tratada. A lama que se encontra no fundo do decantador é enviada para um filtro-prensa para que a sua humidade seja reduzida, equipamentos que se podem observar na Figura IV.9. A água tratada proveniente do decantador é ainda submetida a um tratamento, destilação a vácuo, também designado processo *Vacudest* (Anexo J), efectuado por um moderno aparelho totalmente automatizando, tendo autonomia para funcionar 24 horas por dia. A água tratada no final de todo o processo é reencaminhada novamente para a linha de fabrico.



Figura IV.9. – Decantador e filtro-prensa utilizados na *Alumínios Ibérica, Lda.* como equipamento integrante da ETAR.

A empresa *Alumínios Ibérica, Lda.* não realiza apenas anodização de perfis de alumínio para construção, tendo também como actividade a termolacagem, que se realiza em duas linhas de fabrico distintas. A termolacagem consiste no revestimento das superfícies por pintura electrostática com tinta em pó termoendurecível. Antes da aplicação da tinta à que preparar a superfície para evitar o seu destacamento posterior. O pré-tratamento da superfície faz-se por imersão em banhos químicos onde se procede ao seu desgorduramento e cromatação em solução de ácido crómico de baixa concentração. Todo o efluente tratado pela *Alumínios Ibérica, Lda.* corresponde não só ao proveniente da anodização, como também das linhas de lacagem. A lama proveniente do tratamento do efluente que contém crómio não é misturada com as restantes lamas, devido às características deste elemento. A ETAR da empresa está preparada para promover a redução do crómio.

4.3. Consumos de gás e energia

Segundo a *Alumínios Ibérica, Lda.*, a empresa consome anualmente 76.648,63 kg de gás e 1.566.377,76 kWh de energia eléctrica (consumos referentes a 2002). É de referir que os banhos que consomem gás são os que necessitam de aquecimento para que atinjam a temperatura de trabalho (desengorduramento, decapagem, acetinagem e colmatação). O consumo eléctrico está associado à ponte rolante, que transporta os bastidores ao longo do processo, ao funcionamento das bombas e em maior quantidade aos rectificadores de corrente dos banhos de anodização (Anexo L).

4.4. Emissões atmosféricas

As emissões provocadas pela linha de anodização dizem respeito aos queimadores associados aos banhos já referidos no ponto 4.3. A Tabela IV.4. apresenta as emissões de óxidos de azoto, compostos orgânicos voláteis e monóxido de carbono.

Tabela IV.4. – Emissão de poluentes atmosféricos na *Alumínios Ibérica, Lda.*, no primeiro trimestre de 2002 (INEGI, 2002).

	Banho				Valores limite legais (Portaria n.º 286/93, de 12 de Março)
	Desengorduramento	Decapagem	Acetinado	Colmatação	
Caudal (m ³ /h)	80	270	110	330	
NO _x (mg/m ³ N)	118	90	123	116	1.500
COV's (mg/m ³ N)	0,4	1	0,2	1	50
CO (mg/m ³ N)	9	8	0	0	1.000

Analisando os valores da Tabela IV.4., pode-se constatar que a *Alumínios Ibérica, Lda.* cumpre a legislação no que respeita às emissões. A linha de anodização, no interior das instalações, está equipada com um sistema de aspiração central, devido à libertação de gases das tinas de tratamento, conforme se pode visualizar na Figura IV.10. Os gases captados são conduzidos para um lavador de gases, no qual também passam os efluentes gasosos provenientes dos queimadores antes de serem libertadas para a atmosfera.

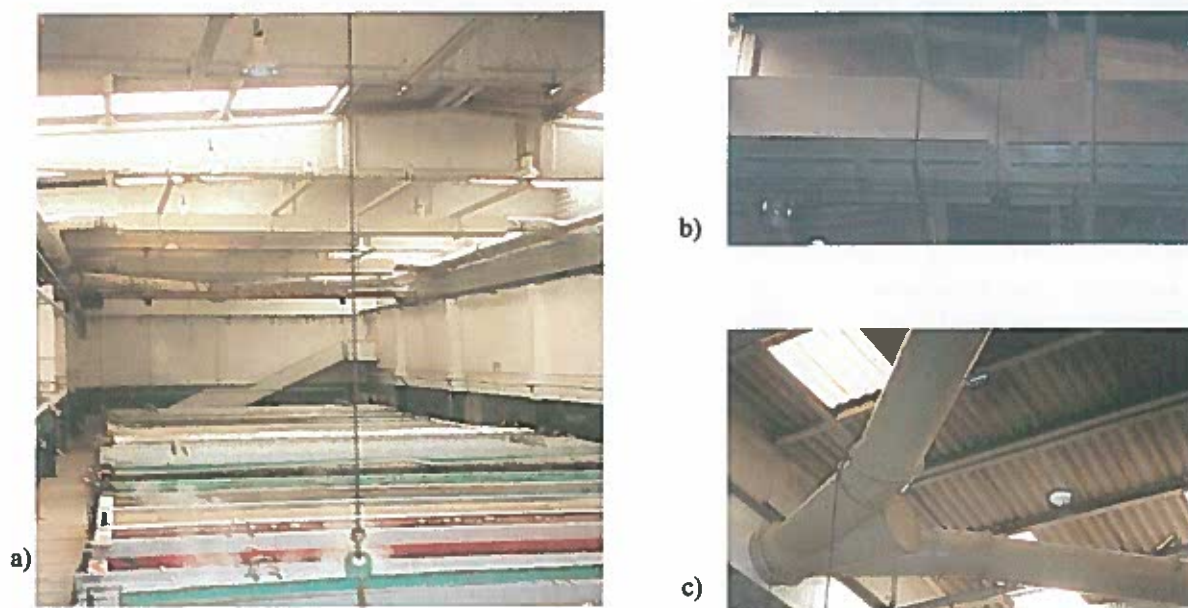


Figura IV.10. – Perspectiva geral, a), e em pormenor, b) e c), da *Alumínios Ibérica, Lda.*

4.5. Geração de resíduos

As quantidades de resíduos da *Alumínios Ibérica, Lda.*, referentes ao ano de 2002, provenientes da linha de anodização estão quantificadas nas Tabelas IV.5. e IV.6.

Tabela IV.5. – Resíduos de embalagem de produtos químicos produzidos na linha de anodização da *Alumínios Ibérica, Lda.*, em 2002.

Produto químico	Resíduo de embalagem/ano	Unidade
P3 Almeco 18	60 sacos	25 kg
Soda cáustica	797 sacos	25 kg
Synergic	3 contentores	1.000 kg
Systosat	52 sacos	35 kg
Ácido sulfúrico	380 bilhas	115 kg
Novox Al	19 sacos	25 kg
Sulfato de estanho	22 latas	25 kg
P3 Almecolor S	26 sacos	20 kg
Gardo H	64 sacos	25 kg
Amoníaco	11 bilhas	5 L

Tabela IV.6. – Resíduos banais e lamas provenientes da ETAR da empresa *Alumínios Ibérica, Lda.*, em 2002.

Resíduo	Quantidade kg/ano	
	Anodização	ETAR
Papel/cartão	6.801,60	-
Lama	-	226.910 ¹

Quanto aos resíduos de embalagem dos produtos químicos, apresentados na Tabela IV.5., a *Alumínios Ibérica, Lda.*, armazena-os até que nova entrega de produto seja realizada, uma vez que os fornecedores retomam todas as embalagens usadas. Quanto ao papel/cartão e plástico referidos na Tabela IV.6., a empresa procede à sua valorização entregando-os a uma outra empresa devidamente acreditada para o efeito.

A lama proveniente da ETAR é, sem dúvida, o resíduo mais problemático gerado pela empresa. No início da sua laboração a *Alumínios Ibérica, Lda.* armazenava toda a lama gerada na ETAR. O seu armazenamento era efectuado em *bigbags* e colocados num local apenas destinado para o efeito, no interior das suas instalações, sob as melhores condições de estabilidade, tendo uma drenagem à volta de toda a área de armazenamento, para que possíveis escorrências fossem encaminhadas directamente para a ETAR. O armazenamento era efectuado no interior da empresa, uma vez que não existe, em Portugal, autorização de deposição deste tipo de resíduo. Depois de ter armazenada uma quantidade bastante significativa de lamas, a *Alumínios Ibérica, Lda.* começa a proceder à expedição deste resíduos para Espanha. Este tipo de procedimento tornou-se num grande encargo do ponto de vista económico. A empresa, não satisfeita com este destino final, entrou em 1997, como participante no consórcio que levou a cabo o projecto de investigação, entretanto terminado, inertização das lamas derivadas do tratamento físico-químico de efluentes galvânicos, por introdução em materiais cerâmicos (ECOCERAM). O projecto foi encerrado, como já dito, tendo-se concluído que é possível a introdução com sucesso das lamas em materiais cerâmicos, ficando ainda em aberto um espaço para melhoramentos.

¹ A quantidade apresentada de lamas diz respeito à quantidade total produzida na ETAR da *Alumínios Ibérica, Lda.*, ou seja, esta quantidade também é originada pelos efluentes provenientes das duas linhas de termolacagem e não exclusivamente da anodização. Nesta quantidade não está incluída a lama originada a partir dos efluentes que contém crómio.

Sendo assim, alguns dos participantes do projecto ECOCERAM mantiveram-se em contacto com o intuito de conseguirem alcançar possíveis melhoramentos, mantendo como base os estudos do projecto anterior. Tratou-se então da Universidade de Aveiro, a TecMinho – Associação Universidade Empresa para o Desenvolvimento, a C.F. Duarte & F.os, Lda., a *Alumínios Ibérica, Lda.* e a Fábrica de Serração e Cerâmica Amaro de Macedo, Lda., que tentaram dar continuidade ao projecto anterior e no ano 2000 conseguiram obter resultados satisfatórios com uma adição de lamas de 2 %. Quanto à resistência à compressão do produto cozido não se verificou diferença significativa conforme se pode verificar na Tabela IV.7., no produto seco a conclusão foi a mesma. A Tabela IV.8. diz respeito ao teste de ecotoxicologia realizado como uma das conclusões necessárias para ser determinada a viabilidade do processo. Em termos de ecotoxicologia o produto é perfeitamente inerte.

Tabela IV.7. – Dados da resistência à compressão (N/cm^2) do produto cozido com introdução de lamas da *Alumínio Ibérica, Lda.*, em 2000.

% Adição de lamas	N.º de tijolos	Média (μ)	Desvio padrão (σ)
0 (anterior)	6	142	38
2 (agora)	8	132	25

Tabela IV.8. – Dados ecotoxicológicos referentes à introdução de lamas da *Alumínios Ibérica, Lda.* em produtos cerâmicos, em 2000.

% Adição de lamas	pH	Cr ⁶⁺ (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Pb (mg/L)	Resultado
0 (anterior)	9,4	0,04	88	< 0,06	Inerte
2 (agora)	9,6	0,04	97	< 0,06	Inerte

Uma vez que não se verificou alteração significativa das propriedades mecânicas e que o produto com incorporação é inerte, concluiu-se pela viabilidade da operação. Contudo, como se verificou um ligeiro branqueamento dos tijolos, ainda se sugeriu uma redução da percentagem de incorporação de lamas para 1 a 1,5 %.

Finalmente, sendo possível a introdução de lamas de alumínio em tijolos sem que a qualidade destes fosse alterada, a *Alumínios Ibérica, Lda.* fornece, actualmente, as suas lamas a uma empresa, funcionando estas como matéria-prima para o fabrico de tijolos. Do ponto de vista económico os gastos associados, por parte da *Alumínios Ibérica, Lda.*, a este procedimento

em relação à expedição para Espanha foram reduzidos para metade para além dos benefícios verificados em relação ao ambiente, tendo em consideração que as lamas já não são depositadas em aterro, mas sim utilizadas como matéria-prima para um outro processo produtivo.

4.6. Higiene e segurança

Na *Alumínios Ibérica, Lda.* o equipamento de produção, dado o seu grau de modernização, possui dispositivos próprios e eficientes que garantem toda a protecção e segurança dos seus utilizadores. O equipamento e produtos de utilização mais cuidada dispõem de um conjunto de instruções afixadas e de fácil leitura para os utilizadores.

Todos os locais de trabalho estão dotados da necessária sinalização de segurança em conformidade com o Decreto-Lei n.º141/95, de 14 de Junho, nomeadamente no que respeita à proibição de fumar ou foguear, perigo de electrocussão, indicação do posto de primeiros socorros, etc. Todos os produtos utilizados no estabelecimento estão acompanhados das respectivas fichas de dados de segurança (Anexo M), as quais estão disponíveis e são do conhecimento de todos os trabalhadores do estabelecimento.

O pessoal operário é periodicamente sujeito a formação e alteração de tarefas, tendo adequada formação sobre os cuidados a ter no manuseamento do equipamento produtivo e também sobre a forma como reagir e actuar na eventualidade de qualquer acidente. A formação dos trabalhadores é fundamental para o seu próprio desempenho, como para a actividade industrial. A informação e formação são um dos princípios gerais estabelecidos no Decreto-Lei n.º 441/91, de 14 de Novembro.

Os locais de armazenamento dos produtos químicos utilizados no processo de anodização são bem arejados e ventilados. A manipulação desses produtos é feita por pessoal com formação para o efeito, que dispõem de vestuário e de sistemas de protecção adequados.

O reservatório superficial de armazenamento de gás é arrefecido por meio de um chuveiro que assegura um banho uniforme em toda a superfície. No recinto de armazenagem estão afixados avisos de proibição de fumar e colocados extintores de pó químico seco. Os acessos do reservatório estão protegidos contra qualquer manipulação de pessoas estranhas, de acordo

com a legislação em vigor. O gás armazenado no depósito exterior é utilizado pelo estabelecimento, através de uma rede de distribuição própria, nos queimadores existentes na linha de anodização.

As tubagens de gás estão devidamente afastadas das instalações de electricidade e das tubagens de água. A tubagem está protegida contra a corrosão e estão instaladas válvulas de corte geral na entrada do edifício e válvulas de corte nos ramais. Os dispositivos de corte estão montados em locais bem visíveis e de fácil acesso.

Os produtos utilizados nos processos de anodização são essencialmente compostos ácidos; em particular ácido sulfúrico que requer sérias precauções de manipulação. Os trabalhadores que manuseiam esses produtos usam obrigatoriamente óculos de protecção, luvas, avental, botas e roupa apropriada e sempre que acabam a sua manipulação lavam as mãos.

Na linha de anodização existe um sistema de aspiração de vapores associado a um lavador de gases, de modo a evitar que os mesmos sejam inalados pelos operadores das linhas.

Todas as áreas têm boas condições de ventilação e iluminação e estão estruturalmente concebidas de modo a obter o máximo de segurança e funcionalidade. Na zona da linha de anodização existem estrados de madeira sobrelevados para utilização dos trabalhadores. Os pavimentos desta zona estão convenientemente impermeabilizados.

5. Exemplo prático de cálculo

Reciclagem da água sobre resinas de permuta iónica: Desmineralização

As necessidades de água numa linha de anodização originam consumos muito elevados, como já foi referido no ponto 1. do Capítulo III. Consequentemente os custos associados a este consumo são também obviamente elevados. A desmineralização surge como um meio de redução do recurso água, para além de produzir água desmineralizada necessária na última lavagem que precede a colmatação e na própria colmatação. Esta necessidade de água ultra pura no processo deve-se à presença de determinados iões que interferem no processo, podendo na pior situação não colmatar os poros da camada anódica.

5.1. Funcionamento das resinas

As resinas de permuta iónica são geralmente produtos de alto peso molecular constituídos por um núcleo totalmente insolúvel e quimicamente inerte e por certos radicais ionizados móveis e susceptíveis de permutar com outros iões com a mesma carga.

Os permutadores de catiões são constituídos por moléculas RH, o ião H pode permutar com outro catião, o intercâmbio pode ser representado pela seguinte equação:



Onde,

- RH - Resina catiónica
- Na^+ - Catião de sódio
- RNa - Resina catiónica permutada
- H^+ - Hidrogénio

Os permutadores de aniões são constituídos por moléculas ROH onde o radical OH pode permutar com aniões. O intercâmbio pode ser representado pela equação seguinte:



Onde,

- ROH - Resina aniónica
- Cl^- - Anião cloro
- RCl - Resina aniónica permutada
- OH^- - Hidroxilo

Quando as resinas esgotam o seu potencial de intercâmbio, o mesmo é dizer quando não há mais iões H^+ ou OH^- disponíveis para permuta, é necessário proceder à sua regeneração. Nesta situação irá produzir-se as reacções inversas de (5) e (6). As resinas catiónicas regeneram-se com ácido e as aniónicas com uma base, conforme as equações que se seguem:



Onde,

- HCl - Ácido clorídrico
- RNa - Resina catiónica permutada
- NaCl - Cloreto de sódio
- RH - Resina catiónica



Onde,

- NaOH - Hidróxido de sódio
- RCl - Resina aniónica permutada
- NaCl - Cloreto de sódio
- ROH - Resina aniónica

As resinas de permuta iónica numa instalação de anodização são utilizadas, como já foi referido, para produzir água desmineralizada para alimentação da última água de lavagem e para a etapa de colmatação. Não têm utilização para a regeneração dos banhos concentrados, uma vez que a carga poluente destes banhos é elevada resultando na saturação rápida das resinas. Este facto implicaria frequentes regenerações traduzindo-se num elevado consumo de reagentes e numa elevada geração de efluentes. Por outro lado, os banhos concentrados da anodização têm um carácter muito ácido ou muito alcalino podendo levar à destruição das resinas. A água a tratar num desmineralizador não deve ter pH inferior a 4 nem superior a 9. O tratamento dos banhos concentrados deve ser efectuado por via química como foi referido no Capítulo II.

5.2. Determinação da economia gerada pela utilização de um desmineralizador

Neste ponto calcula-se a redução dos custos do consumo de água por utilização de um desmineralizador. Os dados utilizados para os cálculos são valores reais fornecidos pela empresa *Alumínios Ibérica, Lda.* já apresentada neste Capítulo. É feita a comparação com os custos que a empresa teria se não tivesse sido instalado um desmineralizador e finalmente será calculado o retorno do investimento por aquisição do referido equipamento.

O desmineralizador utilizado na *Alumínios Ibérica, Lda.* possui um grupo hidropneumático, um filtro misto e duas colunas desmineralizadoras, uma catiónica e outra aniónica conforme

se pode observar na Figura IV.11. O grupo pneumático alimenta o filtro de carvão e sílica com alto poder clarificante a fim de eliminar fungos microscópicos e impurezas químicas tais como cloro e detergentes. Após o filtro, o fluido atravessa as colunas desmineralizadoras detentoras das resinas, que permitem obter água quimicamente pura com uma condutividade entre 0,05 μS e 20 μS .



Figura IV.11. – Desmineralizador (<http://www.aquaquimica.pt/AQ/Listref/Solis/Doc/solis.htm>).

Dados:

Custo do equipamento: 21.350 €

Produção horária: 4 m^3/h

Custo da água: 1,73 €/m³

Horas de trabalho da linha: 8 horas

A linha de anodização da *Alumínios Ibérica, Lda.* trabalha 22 dias por mês e todos os meses do ano, o desmineralizador funciona sempre que a linha de produção trabalha.

Cálculo da quantidade de água desmineralizada produzida pelo desmineralizador da empresa:

$$4 \text{ m}^3/\text{h} \times 8 \text{ h/dia} \times 22 \text{ dias/mês} \times 12 \text{ meses/ano} = 8.448 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Esta quantidade de água produzida pelo desmineralizador abastece a última lavagem antes da colmatação e a colmatação. Na empresa, esta água de lavagem ainda alimenta em cascata as lavagens 10, 13 e 14, (Tabela IV.3.). Na falta do desmineralizador, a quantidade de água produzida teria de ser consumida, provavelmente com recurso à água de rede, uma vez que outro tipo de captação poderia não garantir a qualidade de água necessária ao processo. Esta quantidade de água à empresa custaria:

$$8.448 \text{ m}^3/\text{ano} \times 1,73 \text{ €/m}^3 = 14.615,04 \text{ €/ano}$$

Para além do custo apresentado, se esta quantidade de água não fosse reciclada era necessário tratá-la, o que se traduziria em maiores custos e em prejuízos para o meio ambiente caso o seu destino fosse a descarga.

Os desmineralizadores apresentam também custos, não só o custo da sua aquisição, mas também os custos de regeneração das resinas e os custos de energia devido ao seu funcionamento necessitar de recorrer a bombas.

Na Tabela IV.9. apresenta-se o consumo de água durante a regeneração das resinas.

Tabela IV.9. – Consumo de água afecto à regeneração do desmineralizar da *Alumínios Ibérica, Lda.*, em 2002.

Caudais ¹ (L/h)	Tempo (min)	Consumo (L)
788	10	131,3
1.152	20	384,0
2.800	12	560,0
1.500	10	250,0
827	40	551,3
3.000	35	1.750,0
Total		3.626,6

Como a regeneração é efectuada sete vezes por ano, o total de água consumida nesta fase é:

$$7 \text{ vezes/ano} \times 3.626,6 \text{ L} = 25.386,2 \text{ L/ano} \approx 25,4 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$\text{Custo da regeneração} = 25,4 \text{ m}^3/\text{ano} \times 1,73 \text{ €/m}^3 \approx 44 \text{ €/ano}$$

Cálculo do consumo de reagentes:

Hidróxido de sódio a 25 % = 75 L/regeneração

Quantidade consumida de NaOH: $75 \times 7 = 525 \text{ L/ano}$

Ácido clorídrico a 30 % = 85 L/regeneração

Quantidade consumida de HCl: $85 \times 7 = 595 \text{ L/ano}$

Custo (NaOH) = 0,53 €/Kg

¹ Estes caudais correspondem às diferentes etapas de regeneração recomendadas no manual do equipamento como procedimento correcto para proceder à regeneração.

Custo (HCl) = 0,27 €/Kg

$\rho_{\text{NaOH}} = 1,32 \text{ g/cm}^3$

$\rho_{\text{HCl}} = 1,18 \text{ g/cm}^3$

Quantidade em Kg consumida de NaOH: $525 \text{ L/ano} \times 1,32 \text{ g/cm}^3 = 693 \text{ Kg/ano}$

Quantidade em Kg consumida de HCl: $595 \text{ L/ano} \times 1,18 \text{ g/cm}^3 = 702,1 \text{ Kg/ano}$

Custo associado ao consumo de reagentes:

$$(693 \text{ Kg/ano} \times 0,53 \text{ €/Kg}) + (702,1 \text{ Kg/ano} \times 0,27 \text{ €/Kg}) = 556,90 \text{ €/ano}$$

Para além das resinas, o desmineralizador possui um filtro, sobre o qual é promovida lavagem em contra corrente. Esta lavagem é efectuada 3 vezes por ano, sendo o consumo de água associado a esta lavagem de 3.000 L. Assim o custo é:

$$3 \text{ vezes/ano} \times 3 \text{ m}^3 \times 1,73 \text{ €/m}^3 = 15,75 \text{ €/ano}$$

Custo total (regeneração + lavagem do filtro + consumo de reagentes) =

$$= 44 \text{ €/ano} + 556,90 \text{ €/ano} + 15,75 \text{ €/ano} = 616,65 \text{ €/ano}$$

O desmineralizador consome energia eléctrica proveniente do funcionamento do grupo pneumático (bomba). A empresa estima que o consumo de energia é, em custos, igual aos gastos com o restante funcionamento do equipamento, ou seja, aproximadamente igual a 616,65 €/ano.

Cálculo para a amortização do equipamento:

Prevê-se que o equipamento tenha um tempo de vida útil de 5 anos, logo amortiza-se 20 % do custo do equipamento por ano durante estes cinco anos: $21.350 \text{ €} \times (1/5) = 4.270,00 \text{ €}$

Despesas anuais com o desmineralizador:

Custo de regeneração: 616,65 €/ano

Custo da força motriz: 616,65 €/ano

Valor de amortização:	4.270,00 €/ano
Total	5.503,30 €/ano

Obtém-se uma economia por ano de: $14.615,04 \text{ €/ano} - 5.503,30 \text{ €/ano} = 9.111,74 \text{ €/ano}$

Com esta economia anual, é fácil perceber a mais valia na utilização de um desmineralizador, para além do facto de não se efectuarem descargas de $8.448 \text{ m}^3/\text{ano}$, de não ter que tratar esta quantidade de efluente e porque se está a utilizar um recurso cada vez mais escasso, que é preciso poupar.

Assim, a utilização de um desmineralizador oferece como vantagens a:

- Economia de um grande volume de água;
- Diminuição da estação de tratamento de águas residuais;
- Produção em contínuo de água desmineralizada.

Capítulo V – Conclusões

A anodização é um processo electroquímico pelo qual a camada de óxido é aumentada artificialmente através da passagem de corrente eléctrica, num electrólito ácido, sendo o alumínio o ânodo. A composição do electrólito e os parâmetros de operação afectam o tipo, qualidade e propriedades do revestimento de óxido produzido. No entanto, a corrente eléctrica é o principal factor controlador do processo. Assim, os revestimentos de propriedades específicas podem ser obtidos através de uma escolha adequada desses parâmetros.

O filme de óxido anódico produzido possui uma estrutura porosa e uma vez colmatado permite obter um excelente acabamento final. Pode-se dizer que com este processo:

- O aspecto da superfície é condicionado pelos tratamentos que antecedem a anodização, quer sejam mecânicos ou químicos, pelo que uma aplicação inadequada destes irá influenciar negativamente a qualidade do produto final;
- O revestimento anódico protege o alumínio actuando como uma barreira aos agentes corrosivos;
- Consegue-se proporcionar cores únicas e decorativas através da absorção de corantes e/ou de sais metálicos nos poros do revestimento anódico, para além de permitir um eficaz isolamento eléctrico.

Uma das questões ambientais que neste processo adquire real importância é o consumo de água e, por consequência, a geração de efluentes líquidos. Assim, as empresas devem caminhar no sentido de promover as lavagens em cascata e a regeneração de água, através de desmineralizadores. Quanto aos efluentes líquidos, depois de submetidos ao tratamento adequado, devem ser introduzidos novamente no processo, evitando, assim, a sobrecarga dos meios hídricos e/ou do solo por descargas desnecessárias. Este procedimento deve ser, por parte dos empresários, considerado uma mais valia, uma vez que o tratamento dos efluentes terá que ser sempre realizado, seja para descarga, seja para reutilização. A quantidade que for reutilizada traduzir-se-á assim em menores custos, nomeadamente ambientais. Associado ao tratamento dos efluentes líquidos encontra-se, inevitavelmente, a geração de lamas de alumínio que, actualmente, devido à utilização crescente do processo de anodização, representam uma dimensão significativa, como se pode concluir pela análise deste trabalho. A deposição de lamas de alumínio em aterro comporta elevados custos para os empresários, uma

vez que este resíduo tem que ser expedido para fora de Portugal. Este facto deu origem a que empresas e entidades de investigação se envolvessem em estudos sobre reciclagem e reutilização de lamas de alumínio. Das investigações resulta ser possível a introdução das lamas de alumínio em produtos cerâmicos, como também a sua utilização como coagulante no tratamento de efluentes domésticos.

O consumo energético numa instalação de anodização é elevado, dado que estas instalações necessitam de grandes quantidades de energia eléctrica e térmica para os diferentes processos electroquímicos, para aquecer uns banhos e manter outros à temperatura de trabalho. Trata-se de algo que tem que ser tido em conta.

As emissões atmosféricas geradas pela produção de alumínio anodizado são pouco significativas, o que permite cumprir a legislação. São pouco significativas devido à instalação de equipamentos como os lavadores de gases, cumprem a legislação porque a fiscalização também é quase inexistente.

Ao nível dos sistemas de segurança e higiene, uma linha de anodização estabelece um vínculo obrigatório de procedimentos entre o processo e os utilizadores. Este vínculo é reforçado quer pela perigosidade das substâncias químicas utilizadas, que representam riscos consideráveis quer para a segurança, quer para a saúde dos trabalhadores, posteriormente pelo risco de acidentes associado à operação e manutenção manuais da linha. A legislação existente já é suficientemente explícita e conclusiva, mas o seu cumprimento necessita de ser rigoroso e permanentemente vigiado para que os acidentes de trabalho diminuam consideravelmente.

A apresentação do caso prático *Alumínios Ibérica, Lda.* vem demonstrar a realidade industrial portuguesa na área da anodização. São salientadas as preocupações ambientais, nomeadamente ao nível do consumo de água, geração de efluentes líquidos e geração de lamas de alumínio. Esta empresa promove:

- A alimentação das águas de lavagem em cascata.
- Trata os efluentes em ETAR própria, voltando a reutilizá-los no processo. Esta reutilização é feita apenas para as águas de lavagem menos exigentes. Não significa isto, contudo, que a água reutilizada seja de baixa qualidade, pois esta é bastante razoável devido ao equipamento, *Vacudest*, instalado como tratamento de fim de linha, na ETAR.

- A reciclagem da água através de um desmineralizador associado à linha de anodização.

Quanto às lamas de alumínio geradas, estas são, desde meados do ano 2000, introduzidas como matéria-prima no fabrico de produtos cerâmicos como sejam os tijolos. A simulação da produção diária de alumínio anodizado permite concluir que é possível utilizar ferramentas de *software*, como o *Stella* e o *Matlab*, para transformar uma linha de anodização numa linha automática, diminuindo eventuais desperdícios de produtos químicos, e garantindo a qualidade do produto final, assegurando-se, desta forma as devidas concentrações e condições operacionais associadas a cada etapa de tratamento. A nossa indústria está ainda num estado incipiente no que diz respeito a este tipo de procedimentos. O modo de encarar a tecnologia, para que esta constitua um auxiliar precioso no processo de fabrico, originando maior eficácia e menores perdas, tem que mudar.

A reciclagem da água, efectuada na *Aluminios Ibérica, Lda.*, através de resinas de permuta iónica num desmineralizador, levada a cabo numa linha de anodização, gera vantagens, a diversos níveis:

- A diminuição dos custos associados ao consumo de água;
- A diminuição de efluentes líquidos a tratar;
- A diminuição da dimensão da estação de tratamento de efluentes;
- A produção de água desmineralizada necessária no processo de anodização.

Pode assim concluir-se que, o recurso à utilização de desmineralizadores, permite obter, apesar dos custos de investimento e de manutenção necessários ao equipamento, grandes benefícios económicos, saldando-se numa economia anual de cerca de 9.111,74 €.

Bibliografia

Adams, J. D. (1997). Powder Coating: The Dry Paint – Plating and Surface Finishing – Journal of the American Electroplaters and Surface Finishers Society. Inc.

AIMinho (1998). *Manual sobre Ambiente e Energia*. Braga. AIMinho.

AIMinho (1998). *Manual de Higiene, Segurança e Saúde*. Braga. AIMinho.

APAL (Associação Portuguesa de Anodização e Lacagem) (1995). Guia prático da Anodização. Aveiro, APAL.

Biestek, T., Weber, J. (1976). Electrolytic and chemical conversion coatings a concise survey of their production properties and testing. Portcullis Press Limited – Redhill. Wydawnictwa.

Brace, A.W. (1992). Anodic Coating defects – Their causes and cure – Technicopy books. Stonehouse, England.

Brace, A.W., Sheasby, P. G. (1979). The technology of anodizing aluminium – Technicopy books. Stonehouse, England.

Burkart, W. (1966). La pratique moderne du polissage et de l'avivage. Éditions B.P.I. Paris.

Chambino, T., Correia, A. (2000). Apresentação dos Resultados do Projecto: Valorização, como coagulante, das lamas resultantes das ETAR's de anodização e lacagem de alumínio. Lisboa.

Correia, M. M. C., Rodrigues, A. C. (2002). *Divulgação 11 – Segurança e Saúde no Trabalho – Notificações/Comunicações obrigatórias no domínio da SHST*. IDICT.

Decisão da Comissão 2001/118/CE, de 16 de Janeiro. *Altera a Decisão 2000/532/CE no que respeita à lista de resíduos*.

Decreto-Lei n.º 58/82, de 26 de Fevereiro. *Estabelece as normas de gestão da energia*.

Decreto-Lei n.º 352/90, de 9 de Novembro. *Estabelece o regime de protecção e controlo da qualidade do ar.*

Decreto-Lei n.º 441/91, de 14 de Novembro. *Aprova o regime jurídico do enquadramento da segurança, higiene e saúde no trabalho.*

Decreto-Lei n.º 348/93, de 1 de Outubro. *Transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 89/656/CEE, do Conselho, de 30 de Novembro, relativa às prescrições mínimas de segurança e de saúde para a utilização pelos trabalhadores de equipamentos de protecção individual no trabalho.*

Decreto-Lei n.º 26/94, de 1 de Fevereiro. *Estabelece o regime de organização e funcionamento das actividades de segurança, higiene e saúde no trabalho previstas no artigo 13º do Decreto-Lei n.º 441/91, de 14 de Novembro.*

Decreto-Lei n.º 82/95, de 22 de Abril. *Transpõe para a ordem jurídica interna várias directivas que alteram a Directiva n.º 67/548/CEE, do Conselho, de 27 de Julho, relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas respeitantes à classificação, embalagem e rotulagem de substâncias perigosas.*

Decreto-Lei n.º 141/95, de 14 de Junho. *Estabelece as prescrições mínimas para a sinalização de saúde no trabalho.*

Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de Setembro. *Estabelece as regras a que fica sujeita a gestão de resíduos.*

Decreto-Lei n.º 336-A/97, de 20 de Dezembro. *Estabelece os princípios e as normas aplicáveis à gestão de embalagens e resíduos de embalagens.*

Decreto-Lei n.º 118/98, de 7 de Maio. *Regulamento dos sistemas energéticos de climatização em edifícios.*

Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto. *Lei da qualidade da água. Estabelece as normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade da água em função dos seus principais usos.*

Decreto-Lei n.º 330-A/98, de 2 de Novembro. *Transpõe para o direito interno a Directiva 94/69/CE do Conselho, a Directiva 96/54/CE da Comissão, de 30 de Julho e a Directiva 96/56/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 3 de Setembro, que altera a Directiva 67/548/CE do Conselho, de 27 de Julho, relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas respeitantes à classificação, embalagem e rotulagem das substâncias perigosas.*

Decreto-Lei n.º 143/99, de 30 de Abril. *Regulamenta a Lei n.º 100/97, de 13 de Setembro no que respeita à reparação de danos emergentes de acidentes de trabalho.*

Decreto-Lei n.º 276/99, de 23 de Julho. *Estabelece as linhas de orientação da política de gestão da qualidade do ar.*

Decreto-Lei n.º 109/2000, de 30 de Junho. *Altera o Decreto-Lei n.º 26/94, de 1 de Fevereiro, alterado pelas Leis n.º 7/95, de 29 de Março e 118/99, de 11 de Agosto, que contém o regime organização e funcionamento das actividades de segurança, higiene e saúde no trabalho.*

Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de Novembro. *Aprova o regulamento geral do ruído.*

Decreto-Lei n.º 164/2001, de 23 de Maio. *Transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 96/82/CE, do Conselho, de 9 de Dezembro, no que se refere à prevenção de acidentes graves que envolvam substâncias perigosas.*

Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril. *Dá execução ao disposto no artigo 4º e artigo 5º do Decreto-Lei n.º 276/99.*

Delmas, F., Bartolomeu, F., Chambino, T., Gonçalves, L., Sota, L. (1996). *Reciclagem de lamas de anodização de alumínio – 5ª Conferência Nacional da Qualidade do Ambiente – Aveiro.*

Delmas, F. (2000). *Valorização de lamas com alumínio.* Lisboa.

Donald, S. C., Wilbur, R. V. (1962). *Physical metallurgy for engineers.* D.Van Nostrand Company, Inc. Princeton, New Jersey. New York.

Franco, M. H., Vieira, L., Guedes, A. B., Azevedo, J. (1999). *Divulgação 4 – Segurança e saúde no trabalho – Sinalização de segurança e saúde nos locais de trabalho*. IDICT.

Franco, M. H. (1999). *Divulgação 3 – Segurança e saúde no trabalho – Utilização de produtos químicos perigosos*. IDICT.

Gomes, J. F. P. (1994). *Meio ambiente e impacte ambiental*. IAPMEI.

Gonçalves, S. M. C. (2000). *Segurança, higiene e saúde no trabalho – Manual de procedimentos para PME's (Avaliação de riscos)*. AIMinho.

Guillais, J., Leroux, C. (1989). *Procédés électriques dans les traitements et revêtements de surface*. Pierre Daures. Electra.

IDICT (1996). *Segurança no estaleiro – Substâncias perigosas*. IDICT.

Indústria e Ambiente (4º trimestre, 2000). *Aspectos gerais no tratamento de águas*. Página 4.

King, R. G. (1988). *Surface treatment and finishing of aluminium*. Pergamon Press. Oxford.

Lei n.º 100/97, de 13 de Setembro. *Aprova o regime jurídico dos acidentes de trabalho e doenças profissionais*.

Miguel, A. S. S. R. (2002). *Manual de Higiene e Segurança do Trabalho*. Porto. Porto Editora.

Montgomery, David C. (1997). *Anodizing – Plating and surface finishing* – Journal of the American Electroplaters and Surface Finishers Society. Inc.

NP 1482:1985. *Alumínio anodizado – Características do revestimento dos produtos destinados à construção civil*.

NP 1796:1988. *HST – Fixa valores limites de exposição para substâncias nocivas presentes no ar dos locais de trabalho*.

NP 3064:1988. *Determina a eficácia mínima dos extintores e a área a proteger em função do tipo de risco associado.*

NP 2:1993. *Classifica as classes de fogos.*

OIT (2002). *Sistemas de gestão da segurança e saúde no trabalho – Directrizes práticas da OIT.* IDICT.

Página da APAL. [Em linha]. Disponível em <<http://www.apal.pt/normalização.html>>. [Consultado em 06/02/2003].

Página da Aquaquimica. [Em linha]. Disponível em <<http://www.aquaquimica.pt/AQ/Listref/Solis/Doc/solis.html>>. [Consultado em 31/03/2003].

Página da Cpacorantes. [Em linha]. Disponível em <<http://www.cpacorantes.com/anodizac/anodizac.com>>. [Consultado em 04/12/2002].

Página da Extrusal. [Em linha]. Disponível em <<http://www.extrusal.pt/por/alumínio-cont.html>>. [Consultado em 09/04/2003].

Página da Extrusal. [Em linha]. Disponível em <<http://www.extrusal.pt/boletim/03/pág.9.pdf>>. [Consultado em 06/02/2003].

Página da Extrusal. [Em linha]. Disponível em <<http://www.extrusal.pt/boletim/03/pág.14.pdf>>. [Consultado em 06/02/2003].

Página da Gestenvi. [Em linha]. Disponível em <<http://www.gestenvi.com/Efluentes/Vacudest/Vacudest.html>>. [Consultado em 06/03/2003].

Página da Imperiolatplast. [Em linha]. Disponível em <<http://www.imperiolatplast.hpg.ig.com.br/alumínio.htm>>. [Consultado em 09/04/2003].

Página da Javascript. [Em linha]. Disponível em <[http://www.javascript:Openlmg\('.../.../bitmaps/minerais/j/j0025.gif',bauxite',165,170\)>](http://www.javascript:Openlmg('.../.../bitmaps/minerais/j/j0025.gif',bauxite',165,170)>)>. [Consultado em 09/04/2003].

Página de Carlos Monezi. [Em linha]. Disponível em <http://www.meusitemackenzie.com.br/carlosmonezi/seminários/2_2002/extrusão_de_alumínio_23_10_2001.pdf>. [Consultado em 06/02/2003].

Paul, Swaraj (1986). Surface coatings. John Wiley and Sons. Chichester.

Pollack, A. (1964). Nettoyage et dégraissage des métaux. Librairie Desforges. Paris.

Portaria n.º 359/82, de 7 de Abril. *Regulamenta o Decreto-Lei n.º 58/82, de 26 de Outubro no que diz respeito à gestão do consumo de energia.*

Portaria n.º 286/93, de 12 de Março. *Fixa os valores limite e os valores guia no ambiente para o dióxido de enxofre, partículas em suspensão, dióxido de azoto e monóxido de carbono, o valor limite para o chumbo e os valores guia para o ozono. Actualizada de acordo com as alterações introduzidas pelas Portarias n.º 1058/94, de 2 de Dezembro, 125/97, de 21 de Fevereiro, e 399/97, de 18 de Junho, e pelo Decreto-Lei n.º 273/98, de 2 de Setembro.*

Portaria n.º 988/93, de 6 de Outubro. *Estabelece as prescrições mínimas de segurança e saúde dos trabalhadores na utilização de equipamentos de protecção individual.*

Portaria n.º 1030/93, de 14 de Outubro. *Estabelece normas relativas à descarga de águas residuais no meio receptor natural (água ou solo) de unidades industriais do sector dos tratamentos de superfície.*

Portaria n.º 1456-A/95, de 11 de Dezembro. *Aprova o regulamento para a notificação de substâncias químicas e para a rotulagem de substâncias perigosas.*

Portaria n.º 732-A/96, de 11 de Dezembro. *Regulamenta as prescrições mínimas de colocação e utilização da sinalização de segurança e saúde no trabalho.*

Portaria n.º 335/97, de 16 de Maio. *Fixa as regras a que fica sujeito o transporte de resíduos dentro do território nacional.*

Portaria n.º 1196-C/97, de 24 de Novembro. *Aprova o Regulamento Nacional de Transportes de Mercadorias por Estrada.*

Portaria n.º 792/98, de 22 de Setembro. *Aprova o modelo de mapa de registos de resíduos industriais.*

Relatório de ensaio para a determinação da concentração de poluentes atmosféricos gerados pela *Alumínios Ibérica, Lda.*, elaborado pelo INEGI.

Ribeiro, V. R. (2000). *Divulgação 7 – Segurança e saúde no trabalho – Reparação automóvel – Aparelhos de protecção respiratória em pintura.* IDICT.

Rodrigues, F., Sousa, J. P., Telo, E., Gonçalves, G., Aleixo, I., Vicente, F., Gonçalves, I. C. (1999). *Riscos dos processos de electrodeposição – Manual de prevenção.* IDICT.

Sarasola, I. S. (1980). *Galvanotecnia – técnica e procedimentos.* José O. Avila Montesó – Viladrau.

Schoener, G. (1987). *Developments in Electrolytic Coloring of Aluminium - Plating and Surface Finishing – Journal of the American Electroplaters and Surface Finishers Society.* Inc.

Serrano, M. B. (1994). *Segurança industrial.* IAPMEI.

Sousa, J., Martins, I., Delmas, F., Oliveira, M. (Setembro 2000). *Reutilização de resíduos industriais – XIII Congresso 2000 – Porto.*

Tecnologias do Ambiente (Novembro/Dezembro, 2000). *Tratamento de águas residuais por destilação a vácuo.* Página 21.

Varley, P. C. (1970). *The Technology of Aluminium and its alloys.* Newnes – Butterworths. London.

Vaugh, Mike (1987). *Anodizing Sailboat Masts - Plating and Surface Finishing – Journal of the American Electroplaters and Surface Finishers Society.* Inc.

Wernick, S., Pinner, R. (1962). *Les traitements de surface et la finition de l'aluminium et de ses alliages.* Eyrolles. Paris.

Wernick, S., Pinner, R., Sheasby, P. G. (1987). The surface treatment and finishing of aluminium and its alloys. Finishing Publications. Volume 1 e Volume 2.