



Universidade de Aveiro Departamento de Ambiente e Ordenamento
2016

**Elisabete Santos
Oliveira**

**Diagnóstico ambiental de uma empresa de
produção de alumínio secundário**



Universidade de Aveiro Departamento de Ambiente e Ordenamento
2016

**Elisabete Santos
Oliveira**

**Diagnóstico ambiental de uma empresa de
produção de alumínio secundário**

o júri

Presidente

Professora Doutora Maria Isabel Aparício Paulo Fernandes Capela,
Professora Associada, Departamento de Ambiente e Ordenamento da
Universidade de Aveiro

Vogal

Doutor Ricardo Jorge Nogueira Dos Santos,
Investigador Auxiliar, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Vogal

Professora Doutora Maria Isabel da Silva Nunes,
Professora Auxiliar, Departamento de Ambiente e Ordenamento da
Universidade de Aveiro

agradecimentos

Agradeço à professora Isabel Nunes e à Eng^a. Ana Gonçalves por toda a paciência e dedicação.

Agradeço a todos os colegas da Quimialmel que me acompanharam neste desafio e me ajudaram a vencê-lo.

Agradeço ao meu namorado por ter estado sempre comigo, em todos os momentos e me dar força para vencer.

Agradeço à minha família por estarem sempre comigo.

palavras-chave

Alumínio secundário; Processo produtivo; Diagnóstico Ambiental; Relatório Ambiental;

resumo

A descoberta do processo de produção de alumínio primário revolucionou a indústria, sendo este introduzindo nos mais diversos produtos, que após utilizados são considerados resíduos, podendo ser reaproveitados através da sua reciclagem para a fabricação de alumínio secundário. Este é um processo muito mais económico e vantajoso para as empresas, pois apenas é necessário 5% do total da energia consumida para a produção de alumínio primário. A sua produção engloba a triagem e o pré-tratamento da sucata, a fusão e refinação do metal originando o lingote de alumínio secundário. Do processo de produção resultam resíduos sólidos (e.g. escórias salinas), emissões gasosas e águas residuais.

A Quimialmel - Químicos e Minerais, Lda. iniciou no passado ano de 2015 a atividade de produção de lingote de alumínio secundário. Uma vez que esta é considerada como uma atividade PCIP, pelo Anexo I do Decreto-lei 127/2013, é necessário a obtenção de uma licença ambiental. No decorrer deste processo foi proposto um estágio cujo objetivo residiu em realizar um diagnóstico ambiental desta empresa, identificando e caracterizando os diferentes fluxos materiais e de energia do processo de produção.

Assim, a produção de uma tonelada de lingotes de alumínio necessita em média de 1228 kg de sucata, cerca de 91 kg de sal, 68 m³ (@ 1 bar e temperatura da rede) de gás natural e 92 m³ (@ 14-16 bar e -185°C) de oxigénio. Do processo resultam cerca de 226 kg escórias salinas por tonelada de lingotes produzida e estima-se que sejam emitidos cerca de 86 kg CO₂. Também é gerado um efluente gasoso, cuja composição cumpre os valores limite de emissão, sendo que a emissão de dioxinas e furanos corresponde a uma massa média de 3,81E-04 kg I-TEQ/ton lingotes de alumínio.

keywords

Secondary aluminum, production process, environmental diagnosis, environmental report

abstract

The discovery of primary aluminium production process revolutionized the industry. This element has being introduced in a wide variety of products, which at the end-of-life are classified as waste materials. However, they can be recycled into the secondary aluminium production. This process is a much more economical and profitable for the companies, because it's only required 5% of the total energy consumed for the primary aluminium production. Secondary aluminium production comprises: the sorting and pre-treatment of the scrap, melting, metal refining and moulding (ingots). From the production process there is solid wastes stream (e.g. salt slags), gaseous emissions and wastewater.

The Quimialmel – Químicos e Minerais, Lda. has started last year 2015 the secondary aluminium ingot production activity. By Annex I of DL 127/2013 this activity is classified as an IPPC, thus it is required an environmental license. During this process, it was proposed an internship aiming to do an environmental diagnosis of the factory, identifying and characterizing the different material and energy flows in the production process.

The production of an aluminium ingot ton requires on average 1228 kg of scrap, about 91 kg of salt, 68 m³ (@ 1 bar and grid temperature) of natural gas and 92 m³ (@ 14-16 bar and -185°C) of oxygen. From the process it is generated around 226 kg salt slags per ton of ingots produced and an estimate of 86 kg CO₂ emissions. The flue gas was also characterized and fulfil the emission limit values; the average emission of dioxins and furans is 3.81E-04 kg I-EQT / ton aluminium ingots.

Índice

Capítulo I: Introdução	1
1 Motivação e relevância do tema	3
2 Objetivos do trabalho e estrutura do relatório	4
Capítulo II: Estado da arte dos processos de produção de alumínio	5
1 Introdução	7
2 Alumínio primário	7
3 Alumínio secundário	13
3.1 Matéria-prima	16
3.2 Processo de produção	18
3.3 Fluxos de saída decorrentes do processo de produção	25
4 Conclusão	28
Capítulo III: Quimialmel – Químicos e Minerais, Lda.	29
1 Introdução	31
2 Caracterização da empresa	31
3 Enquadramento legislativo ambiental	33
4 Processo de produção de lingotes de alumínio secundário	35
5 Sistemas de controlo da poluição	39
6 Conclusão	40
Capítulo IV: Diagnóstico Ambiental	41
1 Introdução	43
2 Metodologia	43
3 Inventário	45
3.1 Matérias-primas e produto acabado	47
3.2 Consumíveis	48
3.3 Energia	49
3.4 Emissões	50
3.5 Ruído	52
4 Tratamento de dados	53
4.1 Produto acabado	54
4.2 Matérias-primas	55
4.3 Consumíveis	56
4.3.1 Sal	56
4.3.2 Agente de limpeza	57
4.3.3 Oxigénio	57
4.3.4 Azoto	58
4.4 Energia	60

4.4.1	Eletricidade	60
4.4.2	Gás natural	61
4.4.3	Comparação dos fluxos energéticos	62
4.5	Emissões.....	63
4.5.1	Efluente gasoso	63
4.5.2	Águas residuais	65
4.5.3	Resíduos sólidos.....	65
4.5.3.1	Pó dos filtros	65
4.5.3.2	Escórias salinas	66
4.5.3.3	Escória de afinação	67
5	Análise de fluxo de materiais e de energia.....	69
6	Conclusão	70
Capítulo V: Considerações finais		73
1	Considerações finais	75
2	Sugestões para trabalho futuro	77
Referências Bibliográficas.....		79
Anexo I – Legislação aplicável aos resíduos na Quimialmel – Químicos e Minerais, Lda.....		85

Índice de Figuras

Figura 1 – Tempo de vida do alumínio nos diversos setores de utilização (European Aluminium Association & Organisation of European Aluminium Refiners And Remelters, 2006).	8
Figura 2 – Consumo de alumínio primário no mundo entre 2011-2013 (European Aluminium, 2015a).	9
Figura 3 – Principais destinos dos produtos de alumínio na Europa, no ano de 2011 (European Aluminium, 2015a).	9
Figura 4 – Esquematização do processo de produção de alumínio primário.	10
Figura 5 – Distribuição geográfica da produção mundial de: (a) bauxite, (b) alumina e (c) alumínio em 2010 (Nappi, 2013).	11
Figura 6 – Esquematização do processo de Bayer (Filtration + Separation, 2016).	11
Figura 7 – Esquematização do processo de Hall-Heroult (Davyson).	12
Figura 8 – Produtores de alumínio secundário e os respetivos clientes (adaptado de (European Aluminium Association & Organisation of European Aluminium Refiners And Remelters, 2006).	14
Figura 9 – Quantidade de sucata de alumínio reciclado por setor de atividade (Wallace, 2011).	16
Figura 10 – Esquematização do processo de produção de alumínio secundário.	18
Figura 11 – (a) Forno reverberatório (Insertec, 2014) e (b) forno rotativo (Melting Solutions, 2014).	22
Figura 12 – Diagrama do ciclo de vida do alumínio (adaptado de European Aluminium Association & Organisation of European Aluminium Refiners And Remelters, 2006).	24
Figura 13 – Organigrama da Quimialmel - Químicos e Minerais, Lda. (Quimialmel, 2015)	32
Figura 14 – Diagrama do processo produtivo de fundição de metais não ferrosos, com indicação dos locais de produção de emissões gasosas, águas residuais e resíduos.	38
Figura 15 – Fluxograma das diferentes etapas da metodologia de trabalho.	44
Figura 16 – Fluxos de entrada e de saída do processo de produção de lingotes de alumínio secundário na Quimialmel.	45
Figura 17 – Locais de medição do ruído nas imediações da Quimialmel.	53
Figura 18 – Produção mensal de lingotes de alumínio secundário na Quimialmel.	54
Figura 19 – Consumo mensal do total de matéria-prima por tonelada de lingotes de alumínio produzida.	55
Figura 20 – Consumo mensal de sal por tonelada de lingotes de alumínio produzida.	56

Figura 21 – Consumo mensal de agente de limpeza por tonelada de lingotes de alumínio produzida.	57
Figura 22 – Consumo mensal de oxigénio por tonelada de lingotes de alumínio produzida.	58
Figura 23 – Consumo de azoto por tonelada de lingotes de alumínio produzida.....	59
Figura 24 – Consumo mensal de eletricidade por tonelada de lingotes de alumínio produzida.	61
Figura 25 – Consumo mensal de gás natural por tonelada de lingotes de alumínio produzida.	61
Figura 26 – Comparação dos consumos energéticos do processo de produção de alumínio secundário na Quimialmel.	62
Figura 27 – Produção mensal de pó dos filtros por tonelada de lingotes de alumínio produzida.	66
Figura 28 – Produção mensal de escórias salinas por tonelada de lingotes de alumínio produzida.	67
Figura 29 – Produção mensal de escórias de afinação por tonelada de lingotes de alumínio produzida.	68
Figura 30 – Fluxograma de alguns dos quantitativos (kg/ton Al) associados ao processo de produção lingotes de alumínio secundário na Quimialmel.	69

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Inventário do consumo de sucata e da produção de lingotes de alumínio secundário na Quimialmel durante o período de estudo.	47
Tabela 2 – Inventário dos consumos de sal, agente de limpeza e oxigénio no processo de produção de alumínio secundário na Quimialmel durante o período de estudo.	48
Tabela 3 – Inventário do consumo de azoto no processo de produção de alumínio secundário na Quimialmel durante o período de estudo.	49
Tabela 4 – Inventário do consumo mensal de energia no processo de produção de alumínio secundário na Quimialmel durante o período de estudo.	49
Tabela 5 – Inventário da concentração de gases medida em outubro de 2015 e abril de 2016 (IDAD, 2016, IDAD, 2015, IDAD, 2016a, IDAD, 2015a).	50
Tabela 6 – Inventário da quantidade mensal de resíduos sólidos gerados no processo de produção de alumínio secundário na Quimialmel durante o período de estudo.	51
Tabela 7 – Parâmetros de caracterização da água residual descartada pela Quimialmel.	52
Tabela 8 – Consumo mensal de sucata por tonelada de lingotes de alumínio produzida.	55
Tabela 9 – Quantidade mensal de sal consumido por tonelada de lingotes de alumínio produzida.	56
Tabela 10 – Quantidade mensal de agente de limpeza consumido por tonelada de lingotes de alumínio produzida.	57
Tabela 11 – Volume mensal de oxigénio consumido por tonelada de lingotes de alumínio produzida.	57
Tabela 12 – Volume de azoto consumido por tonelada de lingotes de alumínio produzida.	59
Tabela 13 – Consumo mensal de eletricidade por tonelada de lingotes de alumínio produzida.	60
Tabela 14 – Consumo mensal de gás natural por tonelada de lingotes de alumínio produzida.	61
Tabela 15 – Valores médios do efluente gasoso registado nas medições na Quimialmel e dados da base de dados ecoinvent Version 2.	64
Tabela 16 – Produção mensal de pó dos filtros por tonelada de lingotes de alumínio produzida.	66
Tabela 17 – Produção mensal de escórias salinas por tonelada de lingotes de alumínio produzida.	66
Tabela 18 – Produção mensal de escórias de afinação por tonelada de lingotes de alumínio produzida.	68

Nomenclatura

AdRA	.....	Águas da Região de Aveiro
Al	.....	Alumínio
APA	.....	Agência Portuguesa do Ambiente
$C_{\text{poluente no gás}}$	.....	Concentração de poluente no efluente gasoso
kg	.....	quilograma
m	.....	massa
n	.....	nº de moles
P	.....	Pressão
PCIP	.....	Prevenção e Controlo Integrado da Poluição
PDA	.....	Plano de Desempenho Ambiental
$Q_{\text{efluente gasoso}}$	.....	Caudal de efluente gasoso
R	.....	Constante universal dos gases perfeitos
RAA	.....	Relatório Ambiental Anual
SAP	.....	Services, Applications and Products
T	.....	Temperatura
ton	.....	tonelada
V	.....	Volume
VLE	.....	Valor Limite de Emissão

Capítulo I: Introdução

Subíndice

1. Motivação e relevância do tema
2. Objetivos do trabalho e estrutura do relatório

1 Motivação e relevância do tema

Vários foram os marcos importantes que aconteceram na indústria mundial e que permitiram grandes alterações. Um deles foi a revolução industrial nos séculos XVIII e XIX que permitiu um desenvolvimento acelerado por parte das indústrias. Este desenvolvimento fez com que a poluição ambiental causada pelo Homem aumentasse de forma considerável e descontrolada, levando a que as empresas começassem a pensar na reformulação dos seus sistemas de produção e no controlo da poluição (Moro, Pandolfo, Moro, Barbacovi, & Tagliari, 2015). A revolução industrial provocou também alterações nos mercados de produtos, originando um mercado globalizado, mais competitivo e centrado na relação preço-qualidade dos bens.

A preocupação ambiental sobre as diversas vertentes (ar, água, solo, resíduos, biota, etc.) trouxe consigo um aumento da legislação inerente à área, obrigando as empresas a cumpri-la, sem que estas diminuam a qualidade dos produtos e os mantenham a preços competitivos, uma vez que é a economia o centro do desenvolvimento.

Por outro lado, o surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável, têm provocado um aumento da pressão sobre as indústrias no sentido de que estas demonstrem o seu desempenho ambiental e o melhorarem, implementando novas estratégias de prevenção da poluição.

A Empresa *Quimialmel – Químicos e Minerais, Lda.*, situada no concelho de Albergaria-a-Velha, além do comércio por grosso de matérias-primas, desenvolve o armazenamento e tratamento de resíduos e mais recentemente iniciou a fundição de metais não ferrosos, mais precisamente, a produção de alumínio secundário. No decorrer do licenciamento ambiental desta nova atividade foi proposto um estágio curricular visando a realização de um diagnóstico ambiental da unidade industrial, com vista à elaboração de uma proposta de relatório ambiental.

2 Objetivos do trabalho e estrutura do relatório

O presente trabalho teve como objetivo a elaboração de uma proposta de relatório ambiental da atividade da Quimialmel, Lda. dedicada à produção de alumínio secundário. Para tal foi necessário levar a cabo a inventariação dos fluxos de materiais de entrada e saída (e.g. consumos de água, energia, combustíveis, resíduos gerados, emissões gasosas e líquidas, etc.), da referida unidade industrial.

O presente relatório de estágio encontra-se dividido em cinco capítulos. No presente capítulo, é feito o enquadramento do tema, apresentado o objetivo do estágio e a estrutura do relatório.

O segundo capítulo diz respeito ao estado da arte, onde são apresentados alguns conceitos fundamentais da temática do alumínio, as matérias-primas utilizadas, uma breve descrição do processo produtivo de alumínio primário e secundário, bem como os fluxos associados à produção de alumínio secundário.

A descrição da empresa onde foi realizado o estágio, as tarefas desempenhadas na entidade acolhedora pela autora deste trabalho, o enquadramento ambiental legal bem como uma descrição do processo produtivo são apresentados no terceiro capítulo.

No quarto capítulo é apresentada a metodologia seguida para o cumprimento dos objetivos propostos, o tratamento dos dados recolhidos e os indicadores obtidos.

As considerações finais sobre o desempenho ambiental da unidade de produção de alumínio secundário são apresentadas no capítulo cinco.

Capítulo II: Estado da arte dos **processos de produção de alumínio**

Subíndice

1. Introdução
2. Alumínio primário
3. Alumínio secundário
 - 3.1. Matéria-prima
 - 3.2. Processo de produção
 - 3.3. Fluxos de saída decorrentes do processo de produção
4. Conclusão

1 Introdução

O alumínio é o terceiro metal mais abundante na crosta terrestre sendo que este não se encontra disponível sob a forma isolada e tal como o conhecemos mas sim agregado a outros materiais como argilas. É um metal atualmente muito utilizado para os mais variados fins e pode ser obtido sob forma primária ou secundária.

O alumínio primário é aquele que é obtido diretamente a partir do minério de bauxite. A sua produção engloba a extração do minério (óxido de alumínio hidratado – bauxite) que pelo processo de Bayer dá origem à alumina. Esta por sua vez é reduzida electroliticamente a alumínio pelo processo designado de Hall-Heroult. O produto obtido é refinado e origina o alumínio primário que posteriormente é comercializado.

Com o aumento da aplicabilidade e utilização deste metal, a quantidade de resíduos gerada contendo alumínio aumentou significativamente. A evolução tecnológica associada ao conceito de reciclar permitiu desenvolver uma técnica para a produção de alumínio secundário. Assim, este tem origem na fusão dos resíduos de alumínio gerados, quer novos ou velhos, com as vantagens de que apenas é necessária 5% da energia total da produção do alumínio primário, e ainda que as características do metal secundário não se alteram relativamente ao primário.

Neste capítulo é caracterizado cada tipo de alumínio bem como o respetivo processo de produção.

2 Alumínio primário

A Terra é constituída por uma diversidade de elementos químicos, da qual faz parte o alumínio (Al). Este é o terceiro elemento químico mais abundante na crosta terrestre com uma abundância de cerca 8% e pode ser encontrado em pedras, argilas, no solo e vegetação combinado com oxigénio e outros elementos (European Aluminium, 2015a).

O processo de obtenção de alumínio foi descoberto em finais do século XIX através da descoberta simultânea de Charles Martin Hall (Estados Unidos da América) e Louis Toussaint Héroult (França). É um material extremamente versátil e valioso, com propriedades únicas que potenciam a sua vasta aplicabilidade. Física, química e

mecanicamente comporta-se como outros metais, tais como é o caso do aço, latão, cobre, zinco, chumbo ou titânio (European Aluminium, 2015a).

O alumínio é um metal pouco denso com um peso específico de $2,7 \text{ g/cm}^3$ (cerca de 1/3 do peso específico do aço), resistente e com um baixo ponto de fusão ($\sim 660 \text{ }^\circ\text{C}$) (European Aluminium, 2015a). O alumínio apresenta uma estrutura cristalina na forma sólida e quando passa ao estado líquido fica na forma amorfa (Aluminum Association, 2011). Este metal que se encontra presente nos mais diversos materiais com um tempo de vida variado (e.g. as embalagens de alumínio têm um tempo de vida de cerca de meio ano, enquanto que o alumínio presente nos edifícios pode ter um tempo de residência médio de cerca de 50 anos (Figura 1) (European Aluminium Association & Organisation of European Aluminium Refiners And Remelters, 2006).

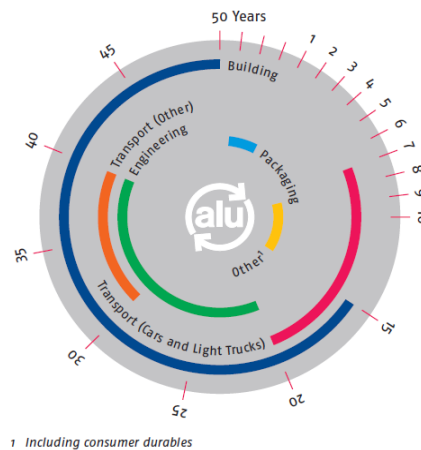


Figura 1 – Tempo de vida do alumínio nos diversos setores de utilização (European Aluminium Association & Organisation of European Aluminium Refiners And Remelters, 2006).

Outras especificidades que tornam o alumínio tão especial são a sua capacidade de condução de calor e de eletricidade, a completa impermeabilidade, a boa reflexão da luz e ainda a possibilidade de reciclagem total, com gastos energéticos muito inferiores à sua produção primária, e ainda a garantia que todas as suas características se mantêm inalteradas. Também muito importante é a sua elevada resistência à corrosão. Aquando da fundição deste metal, é criado um revestimento de óxido de alumínio que atua como proteção para evitar a sua corrosão. O óxido formado pode ser melhorado através de técnicas de tratamento de superfícies tais como a anodização, a pintura ou a lacagem (European Aluminium, 2015a).

A descoberta do alumínio e de todas as suas particularidades impulsionou muitos países para o desenvolvimento de novos produtos onde este era integrado. Segundo dados de 2012 da *European Aluminium* (European Aluminium, 2015a), a China liderou o mercado

de produção primário de alumínio com 45%, seguindo-se a Comunidade dos Estados Independentes (CIS), a América do Norte e a Europa.

A China é simultaneamente o principal produtor de alumínio primário e o principal consumidor do mesmo, cifrando-se o consumo neste país de cerca de 23 mil toneladas de alumínio primário consumido no ano de 2013 (Figura 2). No entanto, a Europa e a Ásia também são responsáveis por uma grande fatia do consumo deste metal (European Aluminium, 2015a).

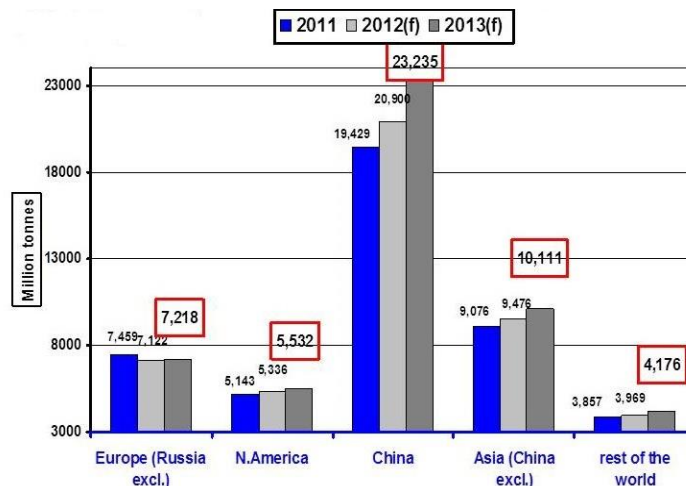


Figura 2 – Consumo de alumínio primário no mundo entre 2011-2013 (European Aluminium, 2015a).

Em 2011, a Europa (com a exclusão da Rússia) consumiu 7459 milhões de toneladas de alumínio primário, que em conjunto com o alumínio secundário foi usado em diversos setores de atividade. A Figura 3 indica que o principal destino foi o mercado dos transportes seguido do da construção civil (European Aluminium, 2015a).

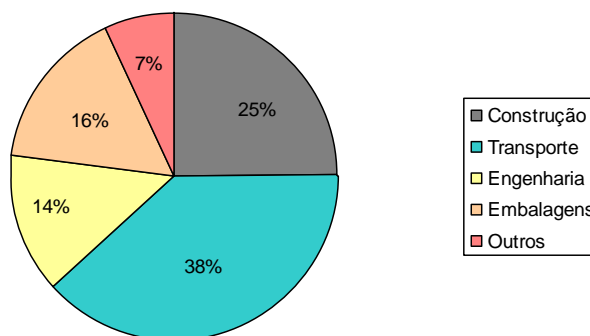


Figura 3 – Principais destinos dos produtos de alumínio na Europa, no ano de 2011 (European Aluminium, 2015a).

Portugal não possui indústrias de produção de alumínio primário, mas já existem algumas a fazer a reciclagem deste metal (e. g. Quimialmel – Químicos e Minerais, Lda., Recial). Para as atividades em que necessita de alumínio primário, Portugal importa de outros países.

Processo de produção

Alumínio primário diz respeito ao alumínio obtido diretamente a partir do minério extraído que é refinado e reduzido electroliticamente até ficar na forma de alumínio elementar (US Environmental Protection Agency, 1995).

A produção de alumínio primário compreende quatro fases (US Environmental Protection Agency, 1995): (i) a extração do minério de bauxite, (ii) o processo Bayer no qual se digere o minério de bauxite para a obtenção da alumina, (iii) o processo de Hall-Heroult onde por uma redução eletrolítica a alumina é convertida em alumínio, e por fim (iv) a fase de refinação do alumínio fundido, originando o alumínio primário. A Figura 4 ilustra esquematicamente o processo referido.

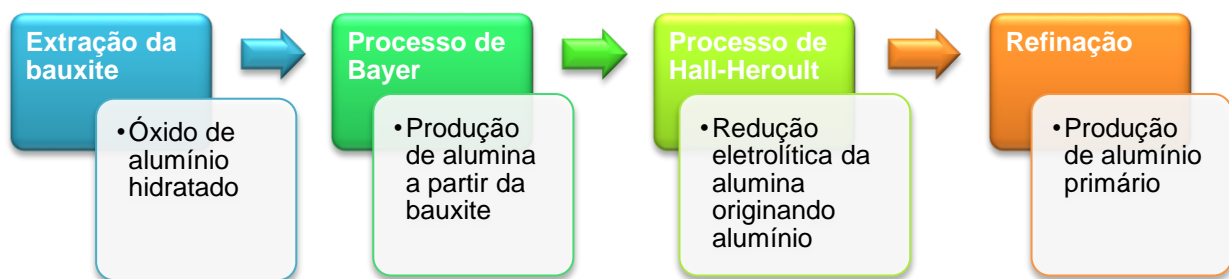


Figura 4 – Esquemática do processo de produção de alumínio primário.

A primeira fase do processo é a extração do minério de bauxite, um óxido de alumínio hidratado com cerca de 30 a 50% de alumina (Al_2O_3) e algum teor em ferro, silício e titânio. Os grandes depósitos de minério de bauxite encontram-se principalmente na Austrália, Brasil, China e Indonésia (Figura 5). A extração deste minério provoca grandes impactes como modificações nos habitats, desflorestação, uso de elevadas quantidades de energia (com origem fóssil na maioria dos casos) e geração de elevadas quantidades de resíduos uma vez que em média são necessários 4 a 5 toneladas de bauxite para produzir cerca de 2 toneladas de alumina que, por sua vez originam apenas cerca de 1 tonelada de alumínio primário. Todavia têm sido feitos grandes esforços para reduzir estes impactes, nomeadamente a gestão adequada dos resíduos gerados, a

requerificação dos espaços após o final da exploração e a diminuição da quantidade de energia gasta no processo (Aluminum Association, 2011).

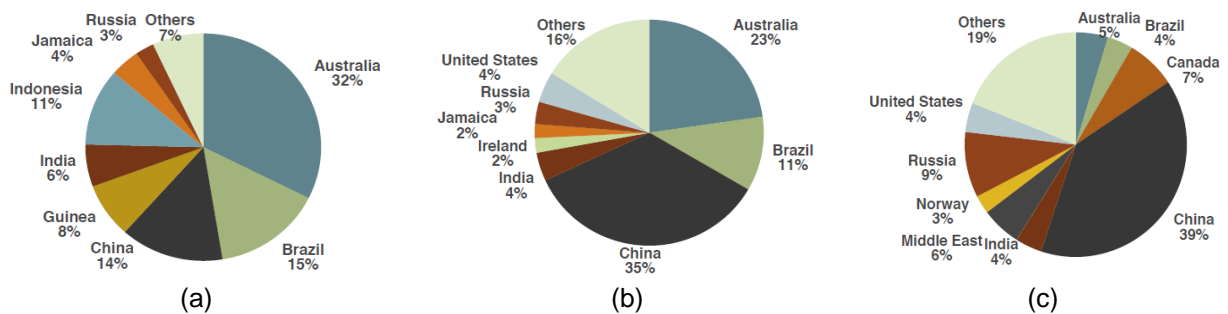


Figura 5 – Distribuição geográfica da produção mundial de: (a) bauxite, (b) alumina e (c) alumínio em 2010 (Nappi, 2013).

Após a extração do minério, segue-se a refinação da alumina através do processo de Bayer, processo padrão que consiste na obtenção da alumina a partir da digestão do minério de bauxite a altas temperaturas com soda cáustica (Figura 6) (Agência Europeia do Ambiente, 2013).

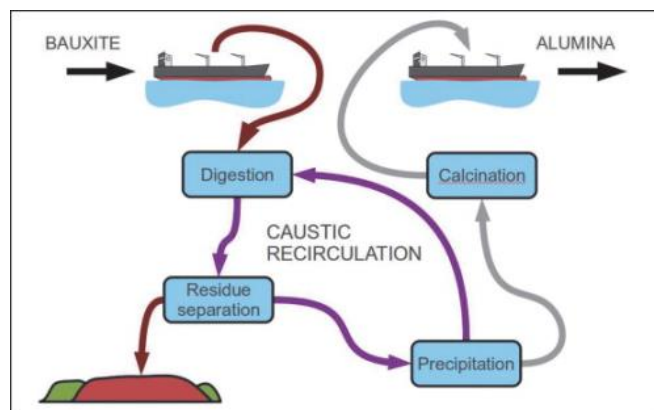


Figura 6 – Esquemática do processo de Bayer (Filtration + Separation, 2016).

A bauxite extraída é seca, moída visando o aumento da área de superfície de contacto de modo a facilitar o processo de digestão (The International Aluminium Institute, 2012) e misturada numa solução pré-aquecida de hidróxido de sódio para ser digerida. Da digestão resulta uma solução de aluminato de sódio (NaAl_2OH) e uma lama vermelha (resíduo da bauxite) que é posteriormente retirada com a ajuda de agente floculante no tanque de sedimentação (US Environmental Protection Agency, 1995). São geradas cerca de 3,2 toneladas de lama vermelha por cada tonelada de alumínio produzido (Grimes, Donaldson, & Gomez, 2008). O hidróxido de sódio utilizado na digestão é

reciclado internamente (European Aluminium, 2015a). A solução de aluminato é então processada dando origem aos cristais de alumina (US Environmental Protection Agency, 1995). Os principais países onde é feita a extração da bauxite, são também os principais produtores de alumina, nomeadamente a China, o Brasil e a Austrália (Figura 5).

Os cristais de alumina prosseguem para a fase seguinte, o processo de Hall-Heroult, que corresponde a um processo eletrolítico onde são usadas células de aço revestidas com carbono (Agência Europeia do Ambiente, 2013), sendo que os elétrodos de carbono funcionam como ânodos e o revestimento em carbono das células como cátodo num banho de criolita (Na_3AlF_6). Este banho funciona como eletrólito e solvente da alumina e encontra-se ilustrado na Figura 7 (US Environmental Protection Agency, 1995). O alumínio forma-se no cátodo permanecendo neste abaixo da superfície do banho de criolita, sendo posteriormente removido em intervalos de tempo definidos (Agência Europeia do Ambiente, 2013). A reação química de redução eletrolítica da alumina traduz-se pelo seguinte esquema reacional (US Environmental Protection Agency, 1995):

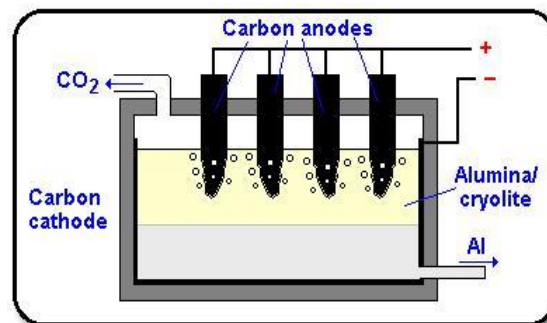


Figura 7 – Esquemática do processo de Hall-Heroult (Davyson).

Atualmente, são usados dois tipos de ânodos: os pré-cozidos e os de Soederberg. Os primeiros, e tal como o nome indica, consistem em ânodos previamente cozidos na instalação de fabrico em fornos próprios. Os ânodos de Soederberg são sintetizados dentro da célula eletrolítica aproveitando o calor libertado pelo processo em causa. Apesar desta última tecnologia parecer a mais eficiente, tal não é verdade e tem sido gradualmente eliminada devido às elevadas emissões gasosas durante a sua formação (Aluminum Association, 2011).

A fase final do processo diz respeito à refinação do alumínio primário onde são removidas as impurezas tais como sódio, partículas de óxido de cálcio e hidrogénio através da injeção de uma corrente de gás sobre o metal fundido. Este gás é posteriormente tratado consoante a sua composição química no final do processo (Agência Europeia do Ambiente, 2013). Após refinado o alumínio primário encontra-se em condições de ir para o mercado para ser comercializado.

Note-se que as diversas fases que compõem a produção de alumínio primário normalmente realizam-se em locais distintos, sendo que as refinarias de alumina localizam-se mais perto das minas de extração da bauxite (European Aluminium, 2015a).

3 Alumínio secundário

Desde o início da produção do alumínio primário que existiu também o seu processo de reciclagem. O alumínio reciclado, ou também designado de alumínio secundário representa cerca de 1/3 do total de alumínio consumido mundialmente, uma vez que para a sua produção requer apenas 5% da energia necessária para a produção do alumínio primário, verificando-se assim elevadas poupanças energéticas (Wallace, 2011). Estima-se que a energia necessária para a produção deste material se encontre entre os 6 e os 10 MJ/kg, com uma eficiência média do processo de 60-80%, isto é, da totalidade de resíduo de alumínio colocado no forno, a conversão em lingotes de alumínio secundário corresponde a 60-80% (Grimes et al., 2008).

Recapitulando, o termo alumínio secundário refere-se ao alumínio que foi produzido por reciclagem da sucata de alumínio com origem em diversos locais, como as sobras de produção de peças novas, aparas das máquinas e produtos de alumínio em fim de vida (Wallace, 2011).

Desde a década de 40 que a Europa e a América do Norte foram gerando resíduos de alumínio suficientes para o desenvolvimento da indústria de reciclagem deste produto. Com a crise energética na década de 70, o Japão acabou com as indústrias de produção de alumínio primário passando a dedicar-se somente à reciclagem do mesmo, sendo que esta tem vindo a tomar uma grande expressão também em alguns países como a Rússia, a Índia e a China. No caso específico da China, e devido ao baixo custo da mão-de-obra, tem aumentado o fluxo de sucata para a produção de alumínio secundário da Europa para este país (Wallace, 2011).

Como ilustra a Figura 8, existem dois tipos de produtores de alumínio secundário (Figura 8) (European Aluminium, 2015a):

- **Refinadores** – empresas produtoras de ligas fundidas e alumínio desoxidado a partir de sucata velha e nova. Os produtos são alumínio na forma fundida (alumínio líquido) ou na forma de lingotes.
- **Refundidores** – empresas produtoras de ligas forjadas a partir principalmente de sucata forjada limpa e classificada obtendo-se como produto alumínio secundário na forma de lajes de alumínio (lingotes de laminagem), tarugos de alumínio (lingotes de extrusão) ou de ligas de alumínio com elevado teor de pureza.

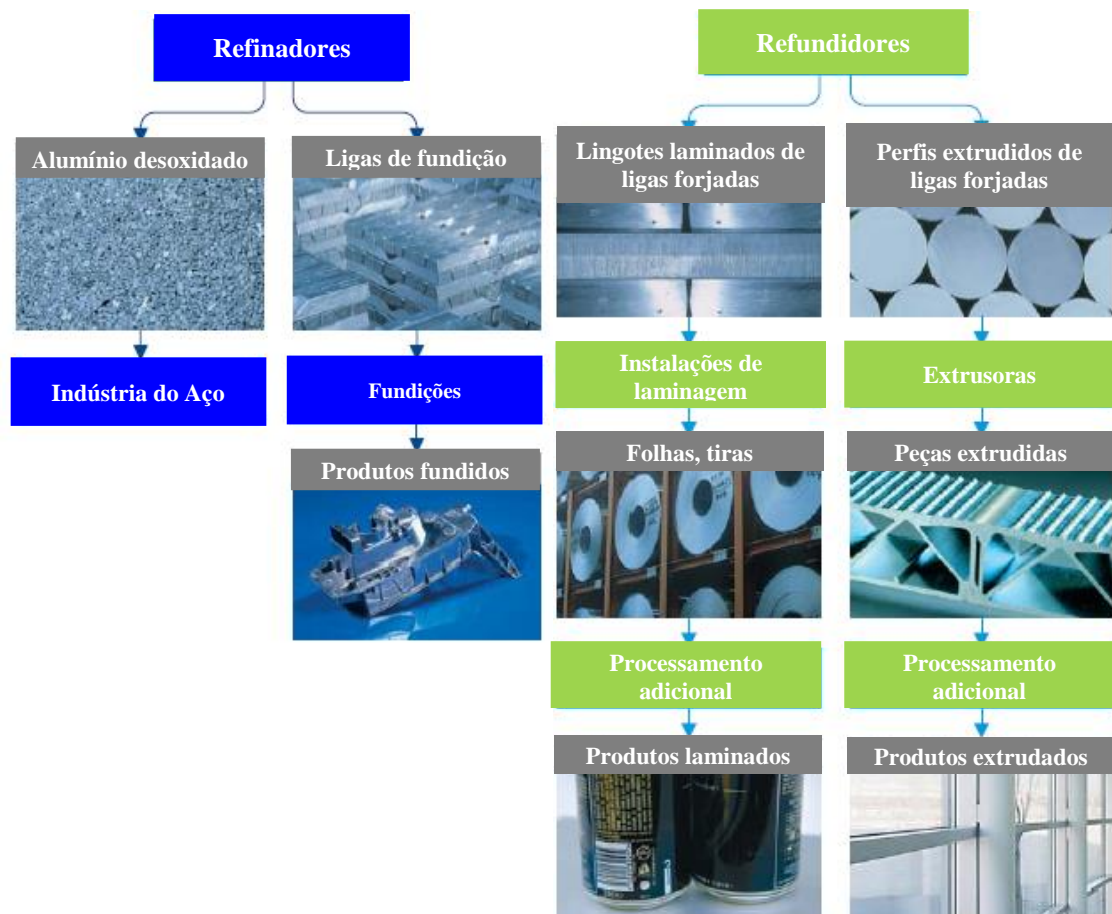


Figura 8 – Produtores de alumínio secundário e os respetivos clientes (adaptado de (European Aluminium Association & Organisation of European Aluminium Refiners And Remelters, 2006).

Os produtos obtidos pelos produtores de alumínio secundário são (European Aluminium, 2015a):

- Ligas de alumínio fundidas – ligas obtidas pelo vazamento do metal fundido no interior de um molde de acordo com os requisitos específicos do cliente. São tipicamente destinadas à indústria automóvel, à indústria de engenharia mecânica e elétrica e ainda à indústria de embalagens de equipamentos domésticos, sendo o seu fornecimento garantido pelos refinadores.
- Ligas de alumínio forjadas – ligas de alumínio fundidas e posteriormente trabalhadas originando produtos semi-fabricados na forma de chapas laminadas, folhas ou perfis extrudidos, processados posteriormente para utilização na indústria automóvel, na construção civil e no embalamento, sendo o seu fornecimento garantido pelos refundidores.
- Alumínio desoxidado - produto de alumínio ao qual foi removido o oxigénio livre a partir do aço líquido.

Atualmente, o número de empresas dedicadas à produção de alumínio secundário comparativamente com a produção de alumínio primário tem aumentado significativamente, sendo cada vez mais comum a utilização do alumínio secundário em diversas aplicações. (Wallace, 2011).

O setor dos transportes é o mais relevante no que diz respeito a incorporação de alumínio secundário. Em 2007, cerca de 30% das ligas fundidas e forjadas foram introduzidas em diversos meios de transporte. A pressão por parte dos governos e as preocupações ambientais na produção de veículos com emissões cada vez mais reduzidas têm levado a um aumento da introdução de alumínio secundário neste setor. Outra atividade económica muito importante, consumidora de cerca de 12% do alumínio e que foi impulsionadora da reciclagem do mesmo, é a indústria de embalagens de alumínio. Desde 1970 que a lata de alumínio tem sido o rosto da reciclagem do mesmo, não só pela comercialização intensiva do produto, mas também pelo seu curto tempo de vida, levando o público em geral a tomar consciência do valor deste metal no seu fim de vida (Wallace, 2011).

3.1 Matéria-prima

Como já foi referido anteriormente, a produção de alumínio secundário a partir de sucata tem vindo a tomar um papel importante no seio das atividades económicas. É portanto necessário perceber de onde provem a sucata de alumínio. Os setores de atividade que mais contribuem para a produção de resíduos metálicos de alumínio são os transportes e a indústria de embalagem, tal como é possível visualizar na Figura 9.

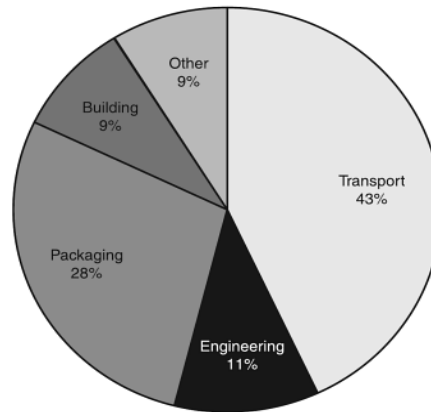


Figura 9 – Quantidade de sucata de alumínio reciclado por setor de atividade (Wallace, 2011).

A capacidade de reciclagem e o rendimento de aproveitamento da sucata de alumínio é definida tendo em conta as seguintes situações (Wallace, 2011):

- A sucata é composta por uma única liga, por exemplo (AlSi₅Cu) – permite saber a composição química da sucata após a fusão;
- A sucata apresenta-se contaminada – a presença de outros compostos metálicos na sucata altera a composição química da mesma após a sua fusão, podendo inviabilizar a liga produzida em termos das especificações legais; a sua produção pode resultar em maiores impactes ambientais;
- A sucata contém componentes perigosos, por exemplo, embalagens que, caso se encontrem fechadas, podem provocar explosões levando à perda de vidas;
- A sucata é apropriada para ser descarregada diretamente no forno de fundição ou necessita de um pré-processamento primeiramente.

A sucata de alumínio como fonte de matéria-prima de alumínio secundário inclui, entre outras, as sobras das produções de novos materiais, as aparas do processamento do material e impurezas geradas no processo de fusão (escórias de alumínio), também

conhecida por sucata “nova”, ou ainda produtos de alumínio usados em fim de vida, denominada de sucata “velha” (US Environmental Protection Agency, 1995).

A sucata pode ser agrupada em diversas categorias consoante a sua composição química, sendo esta que ditará o seu encaminhamento para o produtor de alumínio secundário respetivo (Wallace, 2011).

Segundo a norma europeia EN 13920-1 a 13901-16, a sucata de alumínio e de ligas de alumínio pode ser classificada nas várias tipologias, nomeadamente (European Aluminium, 2015a), sendo alguns exemplos:

- Sucata a partir de fios e cabos;
- Sucata constituída por uma única liga forjada;
- Sucata constituída por duas ou mais ligas forjadas da mesma série;
- Sucata constituída por peças fundidas;
- Sucata constituída por materiais não-ferrosos a partir da moagem;
- Sucata com origem em processos destinados a processos de separação de alumínio;
- Sucata proveniente de processos de separação de alumínio de não ferrosos;
- Sucata de materiais moídos;
- Sucata constituída por latas de bebidas de alumínio usadas;
- Sucata proveniente de radiadores de alumínio-cobre;
- Sucata constituída por aparas mistas de duas ou mais ligas;
- Sucata de embalagens de alumínio em fim de vida;
- Sucata constituída por escumas, impurezas, derrames ou elementos metálicos.

No que diz respeito à sucata proveniente das sobras resultantes da produção de novos materiais, esta apresenta uma enorme vantagem como matéria-prima uma vez que pode ser facilmente separada e geralmente não apresenta contaminantes tornando a fase de pré-processamento mais simples. De referir ainda que na maioria das situações, os resíduos desta categoria que chegam às instalações de reciclagem não apresentam qualquer tipo de revestimento, aumentando portanto o rendimento da produção das ligas (Wallace, 2011).

As aparas têm como principal origem o processamento de peças fundidas ou forjadas, apresentando-se sempre contaminadas com óleos e alguma humidade. Antes do processo de fusão, estes devem ser retirados para garantir uma recuperação do alumínio de modo eficiente (Wallace, 2011).

Outra tipologia de resíduo metálico usado na produção de alumínio secundário classificado como sucata “nova” diz respeito às escórias de alumínio geradas durante a fusão dos lingotes de alumínio (primário ou secundário) para a fabricação de novos produtos (US Environmental Protection Agency, 1995). Estas escórias são constituídas essencialmente por alumínio metálico e óxidos de alumínio, e podem ser classificadas como um resíduo perigoso caso sejam expostas à água, uma vez que pode ocorrer a libertação de alguns gases, tais como o amoníaco. No entanto, dependendo do tipo de liga utilizada e dos compostos extras adicionados, a composição das escórias pode ser bastante variável influenciando assim o seu rendimento na fusão da mesma. Pelo que já existem indústrias especializadas no processamento das escórias de alumínio. (Wallace, 2011).

Por fim, a sucata proveniente de produtos em fim de vida, ou seja, a sucata “velha”, inclui resíduos de materiais com duração de algumas semanas ou de alguns anos, no caso dos automóveis por exemplo, cerca de 12 anos. Estes resíduos têm origem em várias fontes e inevitavelmente encontram-se contaminados com outros produtos, tais como tintas, vernizes, óleos, entre outros, o que obriga primeiramente a uma triagem e pré-tratamento dos mesmos antes de seguirem para a fusão (Wallace, 2011).

3.2 Processo de produção

O processo de produção do alumínio secundário pode ser dividido em quatro etapas: a receção do resíduo metálico, o pré-tratamento, a fusão/refinação e a produção dos lingotes de alumínio secundário (US Environmental Protection Agency, 1995). A figura seguinte esquematiza estas etapas.



Figura 10 – Esquematização do processo de produção de alumínio secundário.

A primeira etapa da produção de alumínio secundário é respeitante à receção da matéria-prima necessária ao processo. Nesta fase inicial é feita uma seleção de todo o

material que entra na unidade industrial tendo em conta principalmente potenciais materiais perigosos que possam existir (Wallace, 2011).

Segue-se a fase de pré-tratamento, iniciada pela triagem dos resíduos onde podem ser removidos contaminantes tais como outros metais, óleos, plásticos, tintas, etc. Depois da triagem podem ser aplicadas várias técnicas de processamento e de limpeza da matéria-prima, preparando-a para a fusão. Algumas dessas técnicas são a limpeza, como por exemplo: a mecânica, com solvente, a pirometalúrgica e a hidrometalúrgica (Eastern Research Group Inc., 2001).

A limpeza mecânica é uma técnica física baseada na trituração do resíduo metálico em pedaços de menores dimensões, com recurso, por exemplo, a moinhos de martelo, melhorando assim a eficiência de recuperação do alumínio nas etapas subsequentes e de retirada dos componentes indesejáveis (US Environmental Protection Agency, 1995).

Com o objetivo de retirar óleos e gorduras, a sucata de alumínio pode ser sujeita a uma limpeza com um solvente apropriado, especialmente quando a fusão da mesma é feita em fornos elétricos (Eastern Research Group Inc., 2001).

A limpeza pirometalúrgica baseia-se na utilização do calor para separar o alumínio de outros metais e contaminantes. Esta técnica inclui processos como a torrefação, a sudorese ou mesmo uma técnica catalítica. O processo de torrefação caracteriza-se pelo aquecimento do alumínio contaminado por compostos orgânicos em secadores rotativos a elevadas temperaturas de forma a vaporizar ou mesmo carbonizar esses compostos sem que se atinjam temperaturas que levem à fusão do alumínio. A sudorese envolve o aquecimento da sucata de alumínio contaminada com outros metais a uma temperatura superior à de fusão do alumínio mas inferior à dos restantes constituintes. Isto é, por exemplo, pelo processo de sudorese é possível recuperar alumínio presente num resíduo metálico com elevado teor em ferro através do aquecimento do resíduo a temperaturas superiores a 650°C (temperatura de fusão do Al), mas inferiores à temperatura de fusão do ferro. Desta forma, o alumínio existente bem como outros materiais que fundem a temperaturas inferiores derretem e são recolhidos em moldes ou em recipientes, e os materiais com elevado ponto de fusão como o ferro e os derivados da oxidação ocorrida durante a sudorese são removidos regularmente da fornalha (Eastern Research Group Inc., 2001). Existe ainda a técnica catalítica usada na limpeza das escórias de alumínio resultantes da fusão do mesmo. Este resíduo é também uma das matérias-primas passíveis de ser utilizada na produção de alumínio secundário, sendo necessário adicionar ao processo de limpeza uma mistura de

sal/criolite que reduz a tensão superficial do alumínio aumentando assim a taxa de recuperação do mesmo (US Environmental Protection Agency, 1995).

A limpeza da sucata de alumínio designada hidrometalúrgica consiste na utilização de água em processos de separação por lixiviação ou por densidade. A lixiviação é uma técnica usada para remover o alumínio presente nas impurezas (escumas com baixo teor em elementos metálicos), escórias salinas (subproduto com origem na adição de um fluxo de sal (mistura de sódio e cloreto de potássio essencialmente) para a cobertura do metal fundido para evitar a oxidação, aumentar o rendimento e aumentar a eficiência térmica no forno) e nas escumas ou também designadas de “*skimmings*” (composto metálico que contém alumínio e alguns óxidos) resultante da raspagem da superfície do alumínio fundido dentro do forno de afinação (European Aluminium, 2015b). Primeiramente os resíduos metálicos são colocados em contacto com a água permitindo a remoção dos contaminantes solúveis, transferindo-os para o lixiviado formado. De seguida, são novamente lavados para retirar sólidos finos e alguns sais que não dissolveram. Por fim, o material remanescente é peneirado, seco e sujeito à separação magnética para remover os compostos ferrosos (US Environmental Protection Agency, 1995)

A separação por densidade é uma outra técnica igualmente utilizada e que se baseia na recuperação do alumínio de sucatas, e baseia-se na separação do material por diferença de densidades num meio com uma densidade superior à do alumínio, e inferior à dos outros metais. Assim, os materiais mais densos afundam e os mais leves flutuam e são retirados (Wallace, 2011).

Dependendo do tipo de matéria-prima que entra na instalação, as diferentes técnicas de pré-tratamento podem ser todas aplicadas ou não, bem como pode haver variações na sequência de aplicação (Wallace, 2011).

Na fase do pré-tratamento podem ainda ser aplicadas outras técnicas à sucata de alumínio, tais como o enfardamento que permite diminuir o volume de material e facilita o seu manuseamento (Wallace, 2011). Concluída a fase de pré-tratamento, a matéria-prima é introduzida no forno dando desta forma início ao processo de fusão do alumínio.

Esta etapa tem por objetivo o derretimento do metal, bem como a remoção de impurezas através da adição de alguns compostos (refinação). Estes formam com os outros constituintes da sucata uma barreira que impede a oxidação do alumínio fundido (US Environmental Protection Agency, 1995). A fusão de alumínio secundário pode ocorrer em diversos tipos de fornos, sendo a seleção destes determinada pelo teor de óxido, o

conteúdo de impurezas, a dimensão da sucata e a frequência de alteração dos requisitos relativos à composição da liga. (European Aluminium Association & Organisation of European Aluminium Refiners And Remelters, 2006).

Os fornos revérberos (mais utilizados pelos refundidores) ou de indução são utilizados para a sucata menos contaminada. Para os resíduos de alumínio com um elevado grau de contaminação podem ser utilizados fornos rotativos (mais utilizados pelos refinadores) ou fornos inclinados ou horizontais (Agência Europeia do Ambiente, 2013). Na maioria das unidades industriais é usado o processo descontínuo para as fases de fundição e refinação do alumínio secundário. Neste caso é usado um forno reverberatório para a fusão do metal e remoção de impurezas geradas durante o processo (carregamento da sucata, fusão do metal, retirada do magnésio) e um ou mais fornos de afinação para a preparação da liga final e vazamento da mesma em moldes ou em lingotes (adição de agentes de liga, remoção das “*skimmings*”, vazamento do metal fundido) (US Environmental Protection Agency, 1995).

O forno reverberatório (vide Figura 11) é constituído por uma zona de fusão fechada por um teto curvo revestido com tijolo em que o calor da chama sobe até ao topo da câmara de fusão e é refletido provocando a fusão do metal.

Grande parte dos resíduos metálicos que servem de base para a produção de alumínio secundário contêm um teor de magnésio superior ao permitido nas ligas, sendo portanto necessário removê-lo durante o processo de fusão. Este processo de “remoção” de magnésio ou também designado de “*demagging*” pode reduzir o elemento na carga fundida de 0,5% para 0,1% (US Environmental Protection Agency, 1995) e pode ser realizado por diferentes técnicas tais como a cloração, ou por processos eletroquímicos (Davis, 1993).

O processo mais usado é o de cloração que consiste na injeção de cloro gasoso sob pressão na corrente de metal fundido, removendo o magnésio sob a forma de escórias de cloreto de magnésio. No entanto, é também possível a utilização de outros agentes de cloração tais como o cloreto de alumínio ou compostos orgânicos clorados. A remoção do magnésio pode também ser feita através da injeção de fluoreto de alumínio, gerando escórias de fluoreto de magnésio (US Environmental Protection Agency, 1995).

Outra etapa do processo de fusão, que ocorre ainda dentro do forno reverberatório é a desgaseificação que tem como objetivo a remoção dos gases que ficam aprisionados no alumínio. Uma corrente de gás inerte (e.g. azoto) sob pressão é feita passar sob a

superfície fundida do alumínio arrastando consigo os gases que se encontram aprisionados (US Environmental Protection Agency, 1995).

Como foi referido anteriormente, o alumínio fundido segue para o forno de afinação onde ocorre a etapa de refinação, para que este (a liga) contenha as especificações pretendidas pelo cliente. Para tal é necessário adicionar agentes de liga, tais como silício, zinco, cobre, magnésio, entre outros. Para que se conheça a quantidade de agentes a adicionar é necessário fazer uma análise prévia à carga de resíduo de alumínio a fundir, e após a adição dos agentes, uma nova análise à carga fundida. Isto é um processo iterativo que termina quando a carga de alumínio fundida atinge as especificações pretendidas. Após a fusão e refinação do metal, são retiradas da superfície do material fundido as escórias e outros materiais sólidos gerados ao longo do processo. O alumínio fundido é arrefecido e posteriormente vazado para moldes (lingoteiras) (US Environmental Protection Agency, 1995).



(a)



(b)

Figura 11 – (a) Forno reverberatório (Insertec, 2014) e **(b) forno rotativo** (Melting Solutions, 2014).

Outra tipologia de forno utilizada nas indústrias de alumínio é o forno rotativo (vide Figura 11). Este é composto por um recipiente cilíndrico horizontal onde a carga de metal a fundir entra no forno em contacto com uma corrente salina e é aquecida por um queimador existente numa das extremidades do forno (Joint Research Centre, 2014). O queimador pode ser alimentado a gás natural ou com outro tipo de combustível combinado com ar ou oxigénio puro para que o calor gerado seja o necessário para o processo, sendo o rácio utilizado um fator de controlo da atmosfera dentro do forno. O forno possui ainda um mecanismo que permite o seu posicionamento vertical ou num determinado ângulo de inclinação para que seja possível o seu carregamento (Joint Research Centre, 2014). Durante o processo de fusão, o forno vai sendo rodado lentamente para que a transferência de calor se faça de forma uniforme evitando o

sobreaquecimento do revestimento refratário e promovendo uma agitação constante do metal dentro do forno, permitindo desta forma aumentar o rendimento do processo. O fluxo salino é composto por uma mistura de cloreto de sódio (NaCl), de cloreto de potássio (KCl) e alguns fluoretos (Na_3AlF_6 , NaF, KF, CaF_2 e MgF_2), e a sua adição ao processo de fusão tem como principal objetivo atuar como uma barreira entre o alumínio fundido, que se encontra no estado líquido, e o oxigénio da atmosfera impedido a oxidação do metal. A sua adição é feita no início do processo e pode corresponder entre 20 a 65% da carga adicionada ao forno (Gasik & Mazur, 2003). Do processo de fusão resulta para além do produto pretendido, as designadas escórias salinas compostas alumínio, óxidos insolúveis e sais, que têm de ser tratadas antes de serem direcionadas para o seu destino final. Em alguns países já existem indústrias dedicadas ao processamento destas escórias para permitirem a sua reutilização (Wallace, 2011).

Nas etapas de fusão e refinação utilizando sucata menos contaminada com o intuito de produzir ligas com maior resistência e dureza podem ser usados os fornos de indução. A produção desta tipologia de ligas consiste na mistura de alumínio com agentes de endurecimento, tais como manganês e silício, num forno de indução elétrica. As etapas que compõem o processo são o carregamento da sucata, a adição dos agentes de endurecimento, a remoção de sólidos que se formam sobre o alumínio fundido e o vazamento (US Environmental Protection Agency, 1995).

Na Figura 12 pode ser visualizado um resumo do percurso geral do alumínio destacando a sua reciclagem.

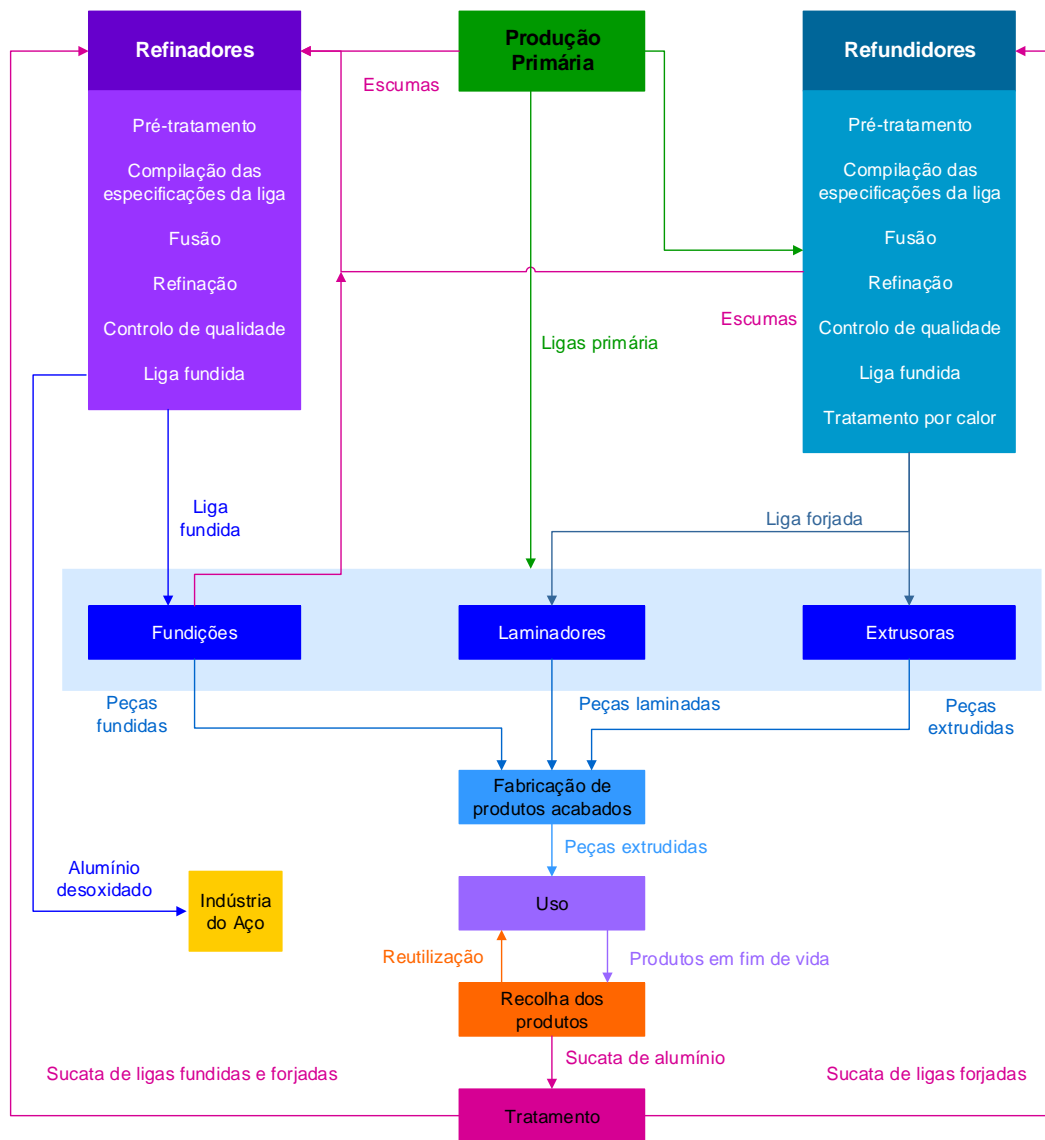


Figura 12 – Diagrama do ciclo de vida do alumínio (adaptado de European Aluminium Association & Organisation of European Aluminium Refiners And Remelters, 2006).

Observando a Figura 12, salienta-se a entrada de alumínio primário na produção de ligas de alumínio forjadas, bem como a adição das escumas resultantes da produção primária e secundária do metal na fabricação de ligas de alumínio fundidas. Ainda, e como já foi referido anteriormente, os refinadores utilizam sucata mais contaminada podendo esta ser proveniente de ligas fundidas e forjadas, ao contrário do que acontece com os refundidores que apenas utilizam sucata de ligas de alumínio forjadas com um nível de pureza superior.

3.3 Fluxos de saída decorrentes do processo de produção

O processo de produção de alumínio secundário tem associado a produção de resíduos sólidos, e efluentes líquidos e gasosos, sendo que a quantidade produzida é influenciada pela fase do processo em causa. É possível identificar em cada uma das fases as fontes de emissão e a sua relevância (US Environmental Protection Agency, 1995).

As etapas de pré-tratamento, a trituração e a triagem da sucata podem originar a emissão de partículas metálicas e não metálicas. As técnicas pirometalúrgicas têm associadas as emissões de partículas (incluindo as de alumínio oxidado), alguns compostos orgânicos voláteis (COV), e outros gases, dependendo da composição da sucata, tais como cloretos, fluoretos ou óxidos de enxofre. O controlo destas emissões pode ser feito recorrendo a lavadores húmidos, a filtros de mangas (para a remoção de partículas) e a câmara de pós-combustão (“*afterburner*”), onde os COV não queimados são convertidos em dióxido de carbono e vapor de água. Nos fornos de sudorese, as emissões variam de acordo com a composição da sucata alimentada, podendo haver a libertação de gases com contaminantes orgânicos devido à combustão incompleta, ou com produtos da oxidação de contaminantes de magnésio e de zinco. Nas técnicas de hidrometalúrgia podem ocorrer emissões de partículas e a geração de um resíduo sólido durante o processo de secagem da sucata, resultado da queima de material carbonáceo (US Environmental Protection Agency, 1995).

A etapa de fusão e refinação do alumínio é a que apresenta as maiores emissões gasosas e produção de resíduos sólidos, sendo estes influenciados pelo tipo de forno utilizado. A utilização de um forno revérbero é responsável por uma fatia significativa das emissões de partículas e gases na produção de alumínio secundário. Do local de carga (para o forno) do metal a fundir resultam emissões de partículas orgânicas e inorgânicas, COV não queimados e dióxido de carbono. Do forno resultam gases constituídos por monóxido de carbono, dióxido de carbono, e alguns óxidos como o óxido de azoto (US Environmental Protection Agency, 1995). Quando são utilizados os fornos rotativos, o principal resíduo gerado são as escórias salinas, sendo a sua quantidade dependente do agente fundente utilizado, bem como da quantidade necessária para a fusão. No entanto por cada tonelada de alumínio secundário produzido pode formar-se cerca de 500 kg de escória salina (Pereira, 2003).

Em Portugal, nas últimas décadas, foram acumuladas em locais sem qualquer tipo de proteção e tratamento uma grande quantidade de escórias salinas sem tratamento. Todavia, do ponto de vista ambiental o processo de produção de alumínio secundário

apenas se encontra concluído com a gestão dos resíduos produzidos pelo mesmo. Estes resíduos não se limitam às escórias salinas provenientes da fusão do alumínio mas também às escórias de afinação resultante da correção da liga aquando da sua afinação (Pereira, 2003).

A escória salina é um subproduto com valor económico que corresponde a uma mistura de óxidos (de alumínio, de elementos de liga: Si, Cu, Fe, Zn, etc.), fundentes (sais), gases e algum metal, sendo que o teor de cada componente vai depender da quantidade de fluxo salino utilizado (Pereira, 2003 e Tsakiridis, 2012).

As escórias salinas de alumínio são um resíduo perigoso classificado pelo Catálogo Europeu de Resíduos Perigosos como altamente inflamável (H3-A), irritante (H4), nocivo (H5) e lixiviável (H13) pelo que, a sua gestão pode ser um problema caso não seja feita adequadamente. As principais preocupações com a sua deposição no solo prendem-se com: (i) a lixiviação de iões metálicos tóxicos para as águas subterrâneas, provocando a poluição das mesmas, e (ii) a elevada reatividade com a água ou mesmo com a humidade do ar provocando a formação e libertação de gases odoríferos tóxicos, nocivos e explosivos tais como o NH_3 , o CH_4 , o PH_3 , o H_2 e o H_2S (Tsakiridis, 2012).

As escórias são constituídas maioritariamente por NaCl, com alguns teores de outros compostos, nomeadamente alumina, magnésio e quartzo e formam-se principalmente devido a (Pereira, 2003):

- À presença de óxidos e materiais inertes nas sucatas;
- Às reações químicas entre o alumínio e a atmosfera envolvente dentro do forno especialmente com o oxigénio originando Al_2O_3 ;
- À adição de materiais durante a fusão e a afinação do metal fundido, como por exemplo sais que protegem o metal da oxidação e aumentam a recuperação do alumínio metálico.

Atualmente já existem empresas dedicadas ao tratamento e aproveitamento deste resíduo na Europa, nos Estados Unidos e no Canadá (Tsakiridis, 2012). Concretamente na Europa, entre outros, o grupo BEFESA situado em Espanha dedica-se à produção de alumínio primário e secundário bem como ao tratamento das escórias salinas, realizando a recuperação do sal. O processo utilizado na empresa compreende as seguintes etapas (BEFESA, 2016. e Tsakiridis, 2012):

1. Trituração mecânica, cujo objetivo principal é a extração do alumínio metálico presente no resíduo e em segundo lugar, a redução do tamanho das partículas para garantir a dissolução completa dos sais;
2. Dissolução, onde o material previamente triturado é misturado em água para que ocorra a dissolução dos sais. Deste processo resultam duas fases que são separadas por filtração sob vácuo;
3. Cristalização, onde ocorre a separação dos sais da água por evaporação e posterior condensação dos vapores gerados, obtendo-se uma mistura de sal de NaCl e KCl e um condensado. O sal obtido pode ser novamente introduzido na indústria do alumínio secundário.

Ainda na etapa de fusão, o processo de redução do teor de magnésio, da liga de alumínio, era no passado a fonte de emissões de todo o processo de produção do alumínio secundário. As emissões eram sobretudo de cloro e dependiam da quantidade de magnésio. Como já foi referido na Capítulo 3.2, a remoção de magnésio pode ser realizada com cloro ou com fluoreto de alumínio, mas ambos geram emissões gasosas com propriedades corrosivas (US Environmental Protection Agency, 1995):

- Cloro - resulta escórias de cloreto de magnésio e cloreto de alumínio formados pela temperatura elevada no forno devido ao excesso de cloro utilizado. O cloreto de alumínio condensa quando arrefece, e uma vez que é higroscópico, quando combinado com a água origina o ácido clorídrico, que tal como o cloreto de alumínio são irritantes e corrosivos.
- Fluoreto de alumínio - o magnésio é removido na forma de fluoreto de magnésio. O processo ocorre com a utilização em excesso do fluoreto de alumínio que, combinado com o hidrogénio, origina fluoreto de hidrogénio. Deste processo resultam emissões de fluoreto de alumínio, de magnésio e de hidrogénio. No entanto, estas emissões de gases ácidos são inferiores às observadas quando se utiliza o cloro.

O conhecimento de todos os fluxos de saída, bem como os de entrada do processo de produção de alumínio secundário permite a realização de um diagnóstico ambiental do mesmo.

4 Conclusão

O alumínio é um material cada vez mais utilizado nas mais diferentes áreas pelas suas características únicas. Inicialmente a sua obtenção era primária através da extração do minério de bauxite. Atualmente, e com o desenvolvimento da tecnologia desenvolveu-se um processo de produção de alumínio secundário através da fusão dos resíduos de alumínio. Este tornou-se relativamente mais vantajoso na medida em que apenas é necessária 5% da energia utilizada na produção do alumínio primário para a obtenção do secundário.

A produção dos lingotes de alumínio secundário para estar concluída requer o conhecimento e tratamento dos diversos fluxos de saída associados ao processo, nomeadamente os gases libertados e os resíduos sólidos gerados (e.g. escórias salinas).

Capítulo III: Quimialmel – Químicos e Minerais, Lda.

Subíndice

1. Introdução
2. Caracterização da empresa
3. Enquadramento legislativo ambiental
4. Processo de produção de lingotes de alumínio secundário
5. Sistemas de controlo da poluição
6. Conclusão

1 Introdução

A Quimialmel – Químicos e Minerais, Lda. faz parte de um grupo empresarial cuja sede se localiza em Espanha. Esta empresa dedica-se ao comércio de matérias-primas para as mais diversas áreas, tais como a cerâmica, a alimentação animal, entre outras, e desempenha também funções como gestora global de resíduos.

No passado ano 2015 iniciou uma nova atividade de fusão de resíduos de alumínio para a produção de lingotes alumínio secundário. Decorrente do licenciamento industrial, i.e., com vista ao cumprimento das obrigações legais, assim como numa perspetiva de melhoria constante, a empresa implementou um diagnóstico ambiental ao processo produtivo, bem como uma análise de fluxos materiais e de energia consumida.

Neste capítulo é apresentada uma caracterização da empresa, o seu enquadramento legal em matéria de ambiente e a apresentação do processo de produção dos lingotes de alumínio, bem como os sistemas de controlo de poluição associados. O enfoque dado a esta atividade da empresa prende-se com os objetivos pré-estabelecidos para o presente trabalho de estágio.

2 Caracterização da empresa

O grupo "QUOX CORPORATION" formou-se há 35 anos com a comercialização de diversas matérias-primas, desenvolvendo atualmente várias atividades nomeadamente a comercialização de produtos químicos, minerais e matérias-primas bem como a gestão de resíduos (atividade onde se insere o presente estágio) onde a Quimialmel - Químicos e Minerais, Lda. se enquadra. A empresa foi fundada em 1993, localiza-se nas freguesias de Albergaria-a-Velha e Valmaior, no concelho de Albergaria-a-Velha e as suas instalações encontram-se divididas em três edifícios: (i) o armazém das mercadorias onde se encontram também as instalações administrativas, (ii) o armazém de fabricação de produtos químicos auxiliares para uso industrial, e o (iii) armazém alocado à gestão dos resíduos (onde se encontra o processo de produção de alumínio secundário). Em termos administrativos, a entidade empresarial encontra-se organizada segundo organigrama da Figura 13.

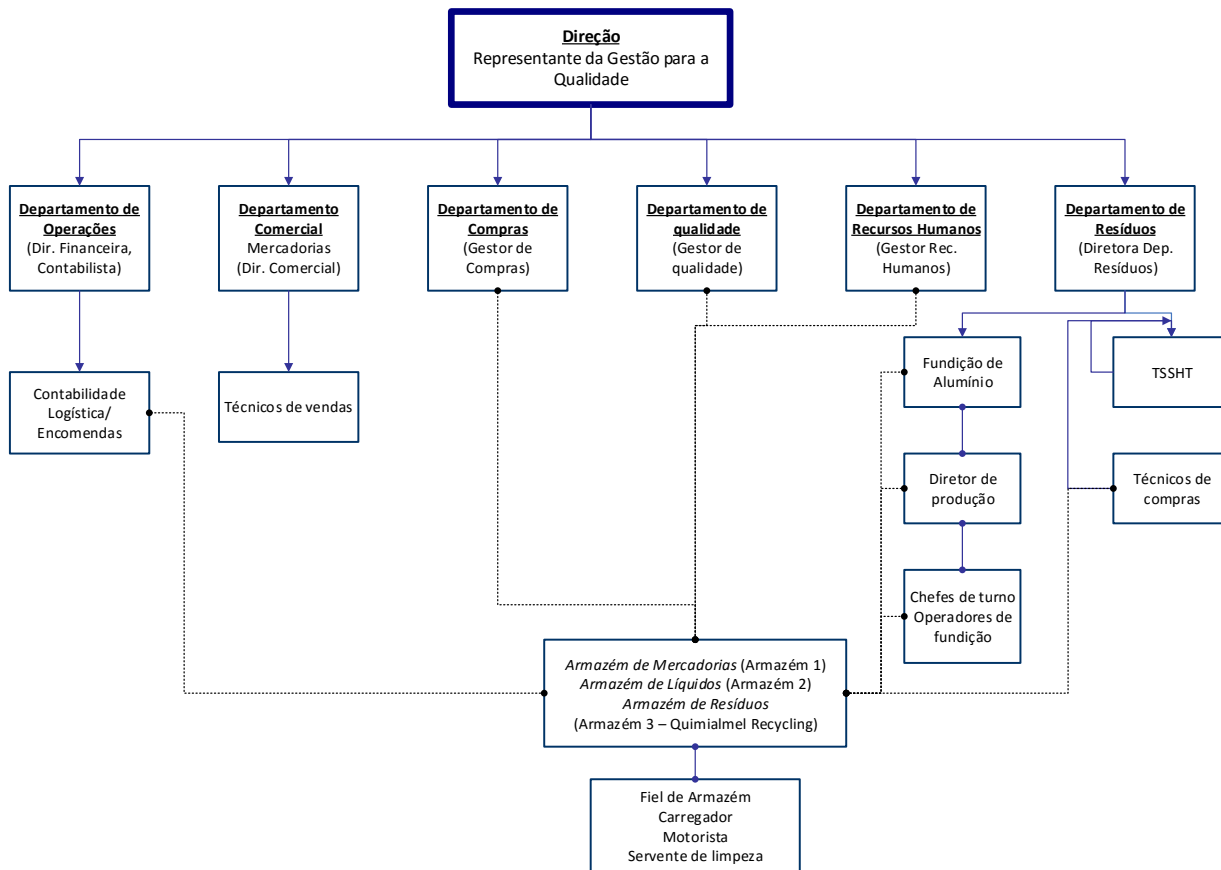


Figura 13 – Organograma da Quimialmel - Químicos e Minerais, Lda. (Quimialmel, 2015)

A Quimialmel é considerada uma gestora global de resíduos (industriais) uma vez que desenvolve atividades de tratamento e armazenamento de resíduos perigosos e não perigosos (essencialmente valorização), na sua maioria resíduos metálicos. Estes podem seguir 3 destinos, nomeadamente a exportação, o encaminhamento para os operadores licenciados em Portugal, e ainda a preparação do material (triagem manual, trituração e compactação) para a nova atividade iniciada, a produção secundária de lingotes de alumínio em 2015 a partir de resíduos.

Durante o período de estágio várias foram as atividades desenvolvidas que contribuíram para uma melhor compreensão e conhecimento do processo, tais como a familiarização com o tipo de material que é utilizado para a produção dos lingotes e o registo das quantidades adquiridas pela entidade empresarial no programa SAP (Services, Applications and Products), a análise química das amostras (provete) dos lingotes de alumínio num espectrómetro de emissão ótica, e ainda o registo no sistema informático da quantidade de material que foi fundido e a que originou, gás, oxigénio, árgon, azoto, eletricidade e escórias salinas. Dado que a Quimialmel é uma gestora global de resíduos industriais, o registo no software SAP das quantidades recebidas, por exemplo cobre,

ferro, plásticos, papel, entre outros resíduos, foi também da responsabilidade da autora deste trabalho.

3 Enquadramento legislativo ambiental

A Quimialmel, devido a todas as atividades que desenvolve quer no comércio de produtos químicos, quer na gestão de resíduos está abrangida por uma série de diplomas legais na área do ambiente. Tendo como principal enfoque a nova atividade de produção de lingotes de alumínio secundário, é necessário conhecer os principais decretos-lei abrangidos por esta.

O surgimento do conceito de Prevenção e Controlo Integrados da Poluição (PCIP) na Diretiva nº 2008/1/CE trouxe novas perspetivas de mudança às técnicas tradicionais de controlo e combate da poluição e o reconhecimento de uma abordagem conjunta do controlo da mesma. Esta diretiva engloba todas as atividades industriais potenciadoras de uma poluição significativa e que são definidas consoante a natureza e/ou a capacidade de produção da instalação. Assim, todas as unidades industriais que desenvolvam atividades PCIP são obrigadas a possuírem uma Licença Ambiental, sendo no caso português emitida pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA).

O Decreto-lei nº 127/2013, de 30 de agosto, que transpôs para direito interno a Diretiva 2010/75/EU relativa às Emissões Industriais estabelece, entre outros objetivos, o Regime de Emissões Industriais aplicável à PCIP.

A mais recente atividade da Quimialmel é abrangida pelo supra mencionado decreto-lei. De acordo com o Anexo I, deste diploma legal, a produção de lingotes de alumínio secundário a partir dos resíduos de alumínio enquadra-se na alínea 2.5 b) “Fusão e ligas de metais não ferrosos, incluindo produtos de valorização e operação de fundições de materiais não ferrosos com uma capacidade de fusão superior a 4 ton por dia de chumbo e de cádmio ou a 20 ton por dia de todos os outros metais”, uma vez que a capacidade instalada é de 34 ton por dia.

No âmbito dos deveres de comunicação das empresas que desenvolvem atividades PCIP, e que portanto necessitam de uma licença ambiental têm a obrigatoriedade de apresentar anualmente um Relatório Ambiental Anual (RAA) e um Plano de Desempenho Ambiental (PDA) à autoridade responsável (i.e. à APA). O RAA tem como objetivos o acompanhamento anual do desempenho ambiental das instalações, a demonstração do cumprimento da licença emitida e a apresentação dos sucessos e

dificuldades encontrados para atingir as metas presentes no PDA, devendo este ser enviado anualmente à APA em papel e em formato digital. O relatório é referente ao ano civil anterior e deve estar organizado da seguinte forma:

1. Âmbito;
2. Ponto de situação relativamente às condições gerais de operação;
3. Ponto de situação relativamente à gestão de recursos (matérias-primas, água e energia);
4. Ponto de situação relativamente aos sistemas de drenagem, tratamento e controlo e pontos de emissão (quando aplicável);
5. Ponto de situação relativamente à monitorização e cumprimento dos Valores Limite de Emissão (VLE) associados à licença ambiental, com a apresentação da informação de forma sistematizada e ilustração gráfica da evolução dos resultados das monitorizações efetuadas;
6. Síntese das emergências verificadas no último ano e subseqüentes ações corretivas implementadas;
7. Síntese das reclamações apresentadas;
8. Ponto de situação relativamente à execução das metas do PDA previstas para esse ano.

No entanto, ao abrigo do Decreto-lei 151-B de 2013, e tendo em conta os estudos realizados aquando do pedido de licenciamento, a capacidade instalada na empresa é inferior à produção de 40 ton por dia, pelo que a mesma se encontra isenta da realização da Avaliação de Impacte Ambiental para a obtenção da Licença Ambiental.

Ao abrigo do Decreto-lei nº 147/2008, a exploração de instalações sujeitas a licenças ambientais com atividades PCIP encontram-se abrangidas pelo regime de responsabilidade ambiental. A nova atividade da Quimialmel é assim abrangida por este diploma legal.

Estima-se um consumo energético anual de 636 tep (toneladas equivalentes de petróleo) no processo produtivo de produção de alumínio secundário, na Quimialmel. Assim, esta estimativa é, superior aos 500 tep estabelecidos no artigo 2 do Decreto-lei 71/2008 de 15 de abril, pelo que, ao abrigo deste diploma legal, a instalação industrial deverá ser considerada uma consumidora intensiva de energia.

Tal como já foi referido no Capítulo II, a produção de alumínio secundário gera efluentes gasosos, pelo que a sua monitorização e controlo estão estabelecidos no Decreto-lei 78/2004 de 3 de abril. Os valores limite de emissão dos poluentes para a atmosfera, bem como os limiares mássicos mínimos e máximos encontram-se definidos na Portaria 675/2009 e 676/2009 de 23 de junho.

Além destes diplomas, a Quimialmel também se encontra abrangidos por outros no que diz respeito à gestão de resíduos (e.g. Decreto-lei 73/2011 de 17 de junho) e ao movimento transfronteiriço dos mesmos. O Anexo I apresenta todos os diplomas legais na área dos resíduos a que a empresa se encontra abrangida.

Existem ainda outros diplomas legais abrangidos pela Quimialmel no que diz respeito aos diversos produtos associados à fundição, tais como o aumento da captação de água, a colocação do depósito de oxigénio, a definição da altura da chaminé, entre outros.

4 Processo de produção de lingotes de alumínio secundário

O processo de produção dos lingotes de alumínio secundário instalado na Quimialmel engloba três fases (vide Figura 14):

1. Pré-tratamento
2. Fundição dos resíduos
3. Armazenamento e expedição dos lingotes

O processo de fundição de resíduos metálicos de alumínio inicia-se com a fase de chegada e pré-tratamento dos resíduos, onde estão englobadas as operações de separação manual, trituração e compactação. Do final desta triagem, o resíduo preparado para a fusão é armazenado em “boxes” (espaço delimitado normalmente por divisórias amovíveis em betão armado) a granel ou embalado consoante as características do mesmo, como por exemplo, o grau de contaminação com outras substâncias. A unidade de fundição pode também receber resíduos que já se encontrem triados e empacotados, podendo estes ser encaminhados diretamente para a fase de fusão.

Após o devido acondicionamento dos resíduos, estes são dirigidos para a segunda fase do processo, a fusão através de carrinhos vibratórios. Um carrinho vibratório parece-se com um contentor de grandes dimensões com vibradores, colocado sobre uma estrutura móvel que se desloca sobre carris. O carregamento deste pode ser feito por pás e/ou por empilhadores, dependendo do tipo de carga a transportar (a granel ou embalada). O carrinho possui uma balança incorporada onde é feita a pesagem do material ($\pm 40\text{kg}$ de incerteza). Num dos topos, o carrinho possui uma abertura em forma de canal que entra no forno e por onde é descarregado o resíduo a fundir, através da vibração de forma a evitar perdas de material e a permitir que a descarga seja rápida. Desta forma, são também minimizadas as perdas de calor por parte do forno.

Os resíduos de alumínio são fundidos num forno rotativo entre os $650\text{-}700^{\circ}\text{C}$ alimentado a gás natural com uma capacidade de carga de resíduos de 8 ton. De acordo com as estimativas realizadas aquando da instalação do processo na empresa, o rendimento do processo é próximo de 80%. O referido forno corresponde a uma estrutura cilíndrica em chapa de aço carbono, com apenas uma porta numa das extremidades por onde é feito o carregamento e o vazamento do metal derretido bem como a retirada das escórias salinas resultantes do processo. Por este motivo, o processo de fundição é descontínuo no tempo. A estrutura cilíndrica encontra-se apoiada num eixo rotativo na parte lateral da mesma sendo o interior do forno refratário. A carga que é introduzida no forno corresponde ao resíduo metálico de alumínio e a outras matérias-primas como sais (sal de cloreto de sódio e de cloreto de potássio), necessários para evitar a oxidação do alumínio fundido e também promover a separação dentro do forno dos contaminantes do alumínio, absorvendo-o. Da adição dos sais resultam as escórias salinas, que após a fusão da carga introduzida no forno e o seu vazamento para os canais, têm de ser retiradas, sendo colocadas num contentor metálico. Estas são pesadas numa balança com uma incerteza de 0,5 kg.

O material líquido fundido é despejado em canais de meia cana e segue para o forno de afinação, onde se efetua a refinação do metal fundido. Este forno, com uma capacidade para 12 ton, atinge temperaturas que rondam os $700\text{-}750^{\circ}\text{C}$, temperatura ideal para o posterior vazamento nas lingoteiras. O forno de afinação é utilizado para preparar a liga de alumínio pretendida adicionando alguns elementos de liga, caso seja necessário, como por exemplo o silício. A homogeneização do material no interior deste forno é conseguida pela adição de azoto gasoso na parte inferior do forno de afinação através de um sistema de “rolhas porosas”; devido à diferença de densidades, o azoto ascende pelo metal fundido e promove a mistura. Este sistema de homogeneização é uma alternativa eficaz ao sistema mecânico de pás dentro do forno.

De forma a verificar se a liga apresenta as características desejadas é retirada, do forno de afinação, uma amostra do material, o que é designada de provete. A amostra é posteriormente analisada num espectrómetro ótico existente na unidade de forma a verificar o cumprimento das especificações exigidas para a liga produzida. Caso se verifique o cumprimento, o alumínio fundido é vertido para as lingoteiras. Caso contrário é fundido novamente.

Porém, antes desta operação de vazamento, procede-se à desgaseificação do material, isto é, a remoção do hidrogénio que eventualmente possa ter ficado aprisionado no alumínio, com o objetivo de produzir ligas com maior qualidade, e ainda são retiradas as escórias, designadas futuramente de escórias de afinação, que correspondem à camada superior que se forma sobre o metal fundido protegendo-o da oxidação. O hidrogénio presente encontra-se dissolvido e provém da exposição do metal à humidade atmosférica, a hidrocarbonetos ou a outros compostos presentes. A sua remoção é feita no forno de afinação no qual o azoto gasoso introduzido por ação de um meio poroso, para além de garantir a homogeneização da mistura, induz a formação de bolhas que retêm o hidrogénio, adsorvendo-o. As bolhas ascendem à superfície e são libertadas para a atmosfera. As escórias são retiradas com a ajuda da adição de um “agente de limpeza”, e são pesadas na mesma balança que as escórias salinas.

Após o vazamento do metal é necessário proceder ao arrefecimento do mesmo recorrendo a água e ar. Os procedimentos de enchimento, arrefecimento e desmoldagem das lingoteiras podem ser feitos de forma sucessiva e repetida no tempo controlando o movimento das mesmas.

A última fase do processamento do alumínio secundário corresponde ao armazenamento e expedição dos lingotes. Os lingotes de alumínio produzidos são armazenados no interior da instalação industrial de acordo com os lotes de produção e as especificações do material produzido. De salientar ainda, que devido à produção se realizar de forma descontínua no tempo, para cada lote de produção é inserida num programa computacional os dados relativos a: data de produção, tipologia e quantidade do resíduo fundido, quantidade e tipologia do produto final e quantidade de resíduos de produção gerados.

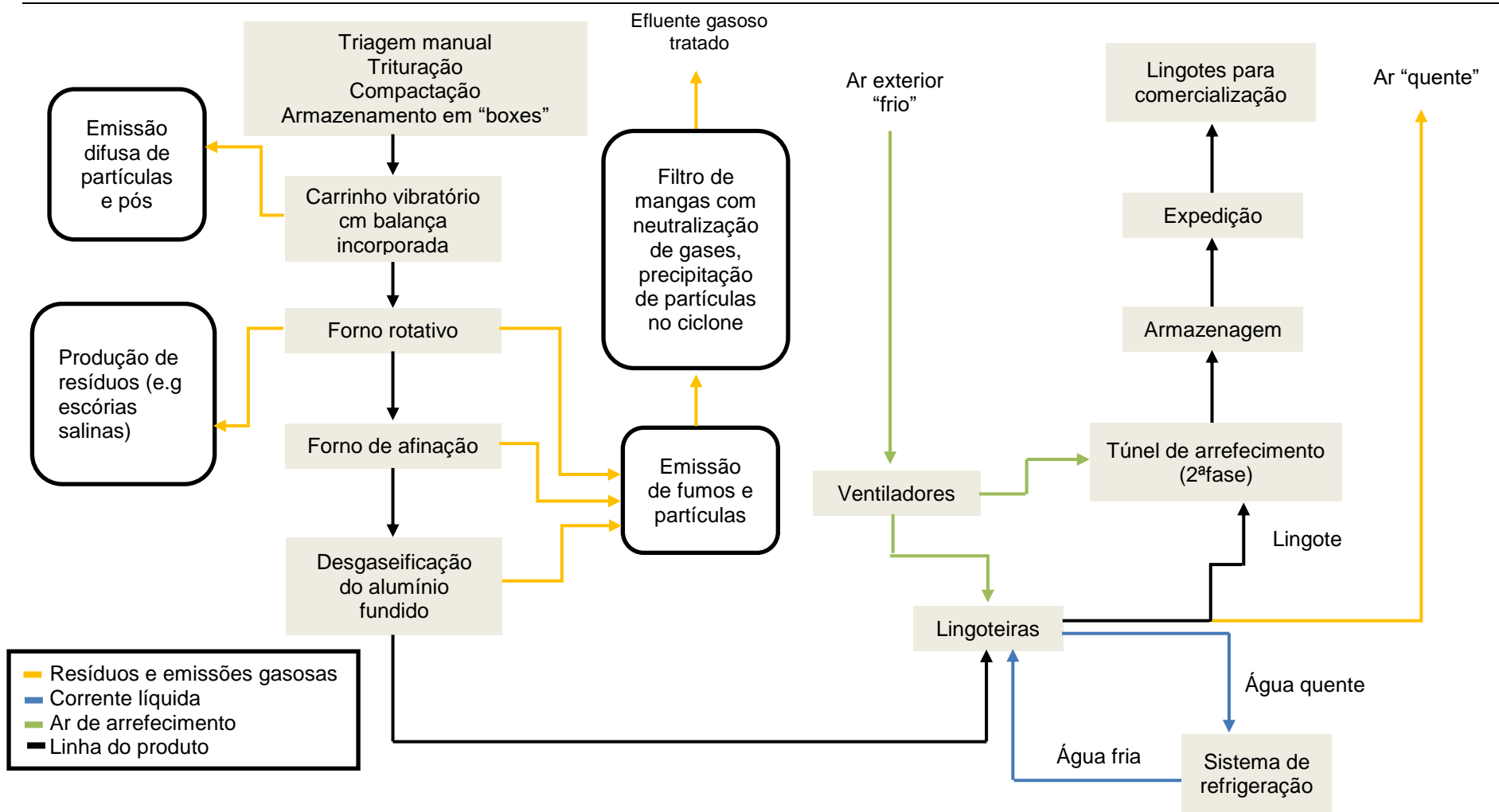


Figura 14 – Diagrama do processo produtivo de fundição de metais não ferrosos, com indicação dos locais de produção de emissões gasosas, águas residuais e resíduos.

5 Sistemas de controlo da poluição

O processamento de resíduos metais não ferrosos origina efluentes gasosos, águas residuais e resíduos sólidos que devem ser devidamente tratados.

No que diz respeito aos efluentes gasosos, estes provêm principalmente dos fornos. A emissão de gases e partículas pode ser observada logo no início do processo quando é feita a carga da sucata no carrinho vibratório uma vez que existe a possibilidade de haver libertação de material particulado. Aquando da entrada da carga no forno, ao abri-lo libertam-se poluentes, tais como poeiras, compostos orgânicos voláteis (COV), óxidos de azoto, entre outros.

Os gases emitidos pelo forno rotativo e de afinação são encaminhados para um sistema de tratamento de gases, constituído por um ciclone onde são retidas as partículas de maiores dimensões e um filtro de mangas (em série). O efluente gasoso atravessa as mangas desse filtro, onde no final forma o chamado bolo de filtração, que deve ser periodicamente retirado, sendo acionado para tal o ciclo de limpeza usando ar comprimido. A injeção de ar comprimido faz com que as partículas se descolem do filtro, e são posteriormente armazenadas num *big bag*. As partículas têm o estatuto de resíduo sólido. A jusante deste sistema de despoeiramento existe um sistema de neutralização de gases com cal, o que permite o aprisionamento de compostos como o SO_x e eliminação de eventuais compostos que possam existir como compostos de cloro e dioxinas. No final, o efluente tratado é encaminhado para a atmosfera por meio de uma chaminé.

As partículas removidas do efluente gasoso, aqui designadas por pó dos filtros (ciclone + filtro de mangas), são posteriormente encaminhadas para um operador adequado. Até ao momento o destino dado tem sido um aterro para resíduos perigosos uma vez que ainda não se procedeu à caracterização e classificação do mesmo.

No que diz respeito a resíduos sólidos, para além do material particulado retido pelos sistemas de despoeiramento, existe também a produção de escórias salinas. Estas resultam da fusão da sucata de alumínio juntamente com o agente salino fundente adicionado, e são classificadas com o código LER (Lista Europeia de Resíduos) 10 03 08* (Escórias salinas da produção secundária) como um resíduo perigoso.

Do processo resultam também as águas residuais do arrefecimento dos lingotes. Atualmente, a empresa não dispõe de um sistema de tratamento das mesmas, sendo que estas são descarregadas no coletor municipal.

Uma outra fonte de poluição associada ao processo de produção de alumínio secundário diz respeito ao ruído. Este não é um fluxo nem de entrada nem de saída do processo e está diretamente relacionado com a exposição dos operadores ao mesmo.

6 Conclusão

No passado ano de 2015 a Quimialmel iniciou uma nova atividade ligada à área de gestão de resíduos, a produção de lingotes de alumínio secundário a partir de sucata de alumínio. Como gestores de resíduos e com o início desta nova atividade, vários são os diplomas legais em que a empresa se encontra abrangida.

A produção de alumínio secundário é considerada no Anexo I do Decreto-lei 127/2013 como uma atividade PCIP, e portanto o seu desenvolvimento requer para além da licença de exploração, uma licença ambiental com a elaboração anual de um relatório ambiental. Para tal é necessário o conhecimento do processo de fabrico bem como a realização de um diagnóstico ambiental do mesmo.

O processo de produção divide-se em 3 grandes fases, a compra e o pré-tratamento da sucata de alumínio, a fusão do material e por fim o seu armazenamento e comercialização. O conhecimento das diversas etapas permite identificar os fluxos de materiais associados a este processo produtivo e a sua quantificação, permitindo conhecer o impacte ambiental desta atividade.

Capítulo IV: Diagnóstico Ambiental

Subíndice

1. Introdução
2. Metodologia
3. Inventário da informação
 - 3.1. Matérias-primas e produto acabado
 - 3.2. Consumíveis
 - 3.3. Energia
 - 3.4. Emissões
 - 3.5. Ruído
4. Tratamento de dados
 - 4.1. Produto acabado
 - 4.2. Matérias-primas
 - 4.3. Consumíveis
 - 4.4. Energia
 - 4.5. Emissões
5. Análise de fluxo de materiais e de energia
6. Conclusão

1 Introdução

O cálculo de indicadores (de produção, de consumo, de emissões) relativos a uma atividade permite avaliar de um modo quantitativo a eficiência dessa atividade e desenvolver planos de ação que visem a sua otimização.

No caso específico da atividade da Quimialmel dedicada à produção de alumínio secundário, a determinação dos referidos indicadores requer um conhecimento mais aprofundado dos diferentes fluxos de materiais e de energia associados ao processo de produção. Esta informação é igualmente útil e fundamental para a realização do diagnóstico ambiental, objetivo primeiro deste estágio.

Neste capítulo é apresentada a metodologia de trabalho adotada para alcançar o objetivo proposto para este estágio, bem como os resultados/indicadores obtidos.

2 Metodologia

Ao longo do período de estágio foram desenvolvidas várias atividades que serviram de apoio para a realização do diagnóstico ambiental do processo de produção do alumínio secundário. Os resultados do diagnóstico ambiental permitiram a posterior a elaboração de uma proposta de RAA.

Inicialmente, foi realizada uma visita (guiada) às instalações visando a familiarização com o processo produtivo, bem como com os diversos fluxos associados. Com isto foi possível elaborar uma listagem da informação necessária para a inventariação dos fluxos de entrada e de saída do processo. Para tal foi necessário recorrer ao arquivo da empresa, mais precisamente às folhas de registo das produções, às faturas, a relatórios de caracterização de emissões, etc.

Após a fase de inventário, os dados foram tratados, tendo sido calculados indicadores de desempenho ambiental, usando como unidade de referência “uma tonelada de lingotes de alumínio produzida”. Uma análise destes indicadores permitiu identificar eventuais situações críticas do processo. Além disso, alguns dos indicadores foram comparados com os disponíveis (do processo de produção de alumínio secundário) na base de dados ecoinvent Version 2.

Finalmente foi redigida uma proposta do RAA, onde consta informação obtida nas etapas anteriores desta metodologia de trabalho.

A Figura 15 esquematiza as diferentes etapas realizadas para o cumprimento dos objetivos do presente estágio.

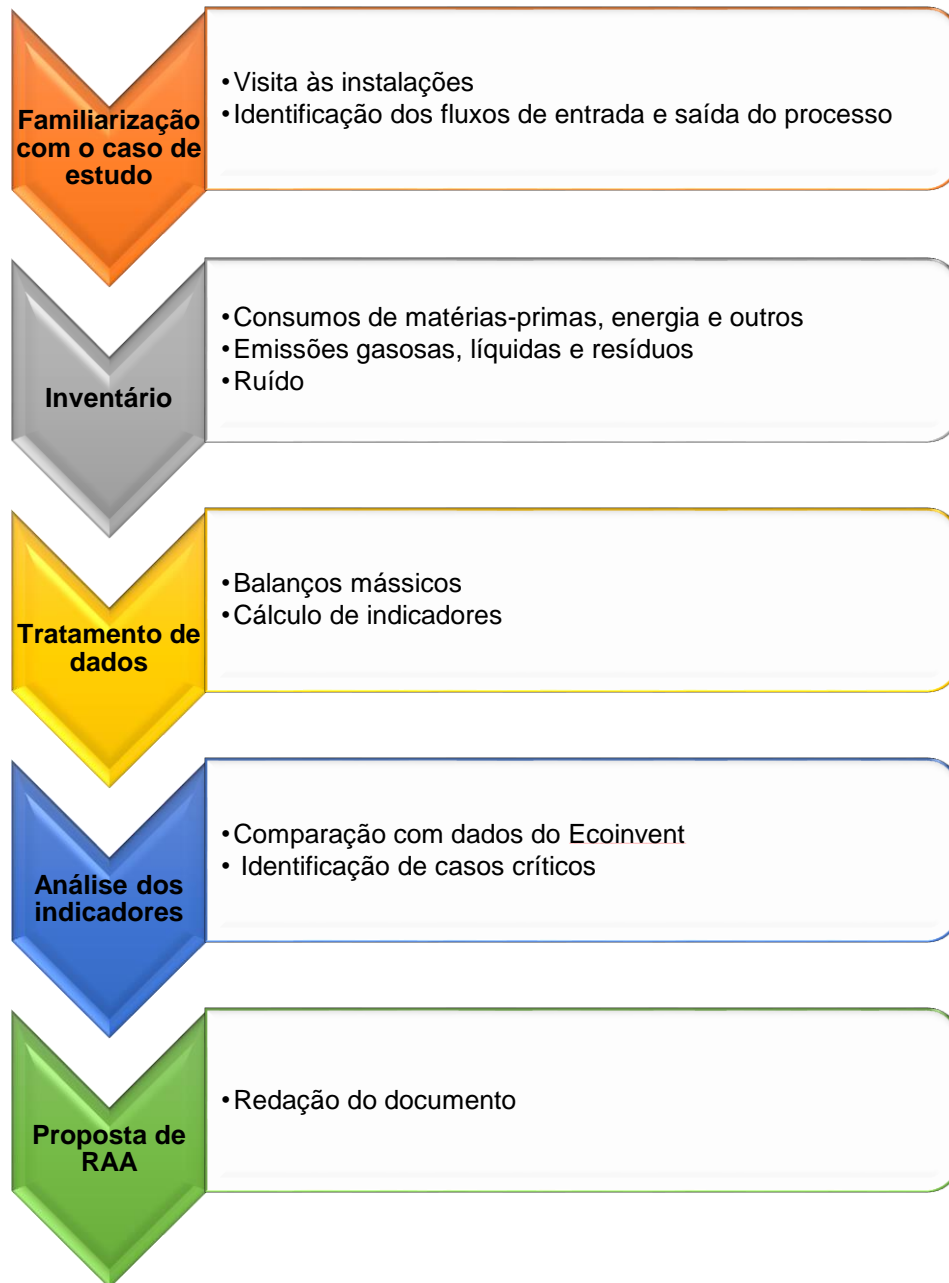


Figura 15 – Fluxograma das diferentes etapas da metodologia de trabalho.

A atividade de fundição de metais não ferrosos é muito recente na empresa, pelo que foi considerado como período de estudo o início do desenvolvimento da atividade (mês de setembro) até ao final do mês de abril de 2016.

3 Inventário

No decorrer da visita ao processo de produção de alumínio secundário, foram identificados os fluxos de materiais e de energia que se encontram resumidos na Figura 16.



Figura 16 – Fluxos de entrada e de saída do processo de produção de lingotes de alumínio secundário na Quimialmel.

De forma a inventariar os quantitativos dos materiais e energia constantes na Figura 16, começou-se por consultar as folhas de registo de produção, onde são registadas as quantidades de matéria-prima adicionadas no forno em cada “batelada”, bem como a de sal e de agente de limpeza. Os consumos de gás natural, eletricidade e azoto foram obtidos a partir das faturas dos fornecedores.

No que diz respeito ao consumo de oxigénio, este foi quantificado através dos registos dos colaboradores nas folhas de registo de produção. Uma outra forma de obtenção do consumo deste gás seria recorrer à faturação. No entanto, esta forma não foi considerada a mais adequada uma vez que as faturas não são mensais nem têm uma periodicidade regular, pois o abastecimento do depósito de oxigénio é feito consoante as necessidades, sendo que este nunca fica completamente vazio.

A água utilizada no arrefecimento dos lingotes circula em circuito fechado. Esta provém de um furo existente na instalação, que também abastece outra das atividades da empresa. A água é armazenada em 2 depósitos de aço inoxidável que estão ligados ao

sistema de lingotagem. Periodicamente faz-se a reposição da água que se perde por evaporação. A quantificação da água consumida neste processo ainda não está a ser realizada.

Os fluxos de saída do processo compreendem a água residual resultante do vazamento dos depósitos de água para reposição da mesma em alturas de manutenção, os resíduos sólidos gerados (escórias salinas e pó dos filtros), bem como um efluente gasoso.

As escórias salinas têm origem no forno rotativo e o seu carácter salino provém do sal adicionado no processo de fusão. A contabilização das quantidades geradas foi feita através da consulta das folhas de registo da produção. A mesma fonte foi usada na inventariação das partículas (pó dos filtros) provenientes do sistema de tratamento (despoeiramento) do efluente gasoso.

Existe ainda outro fluxo de resíduos sólidos, não representado na Figura 16, respeitante às escórias provenientes do forno de afinação. Estas têm um teor em alumínio muito superior às geradas (escórias salinas) no forno rotativo, pelo que são reaproveitadas nas fusões seguintes. Assim, este material nunca sai do processo, no entanto foi quantificado neste trabalho para que se conheça a quantidade média produzida por tonelada de alumínio.

No que diz respeito ao efluente gasoso gerado, os dados referentes à sua caracterização química foram obtidos nos relatórios emitidos pelo Instituto do Ambiente e Desenvolvimento (IDAD), em dezembro de 2015 e abril de 2016. Este instituto, acreditado, foi contratado pela Quimialmel para caracterizar o referido efluente gasoso.

Esta caracterização incidiu sobre os compostos: óxidos de azoto (NO_x), monóxido de carbono (CO), carbono orgânico total (COT), dióxido de enxofre (SO₂), partículas, fluoretos, ácido clorídrico (HCl), dioxinas e furanos.

O dióxido de carbono (CO₂) não foi monitorizado, mas estimou-se a sua emissão (vide Subcapítulo 4.5.1) através da estequiometria da reação de combustão do gás natural, principal fonte de CO₂ do processo.

O ruído foi também considerado neste estudo. O armazém onde se realiza o processo de produção dos lingotes de alumínio alberga também a etapa de pré-tratamento da sucata. Ao nível da saúde dos trabalhadores foi, até ao momento, realizada uma avaliação do ruído na secção de triagem e trituração do material. Porém, existem outras secções da unidade fabril que devem ser avaliadas quanto aos níveis de ruído, como

por exemplo a zona dos fornos. Neste sentido, foi solicitada esta medição junto da pessoa responsável.

Relativamente às medições de ruído nas imediações da unidade fabril, estas foram realizadas a 7 de abril e 3 de maio de 2016 pela empresa MONITAR na União das freguesias de Albergaria-a-Velha e Valmaior. Os resultados encontram-se no Subcapítulo 3.5.

Nos próximos subcapítulos são apresentados os dados inventariados no curso deste trabalho de estágio.

3.1 Matérias-primas e produto acabado

O alumínio é o principal fluxo do processo produtivo, entrando sob a forma de sucata e saindo sob a forma de lingotes. A Tabela 1 apresenta as quantidades mensais de sucata processada e de lingotes produzidos. Os montantes de sucata que constam na referida tabela, correspondem à que deu entrada no forno, e não a que foi processada na etapa de pré-tratamento (separação). Os resíduos triados nesta etapa, e classificados como inadequados para o processo de produção de alumínio, seguem outro destino de valorização.

Tabela 1 – Inventário do consumo de sucata e da produção de lingotes de alumínio secundário na Quimialmel durante o período de estudo.

		2015				2016			
		set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr
Matéria-prima (kg/mês)	Sucata	263048	401993	417957	178651	354913	515658	696078	675008
	Si	11075	19776	26274	7297	31407	17855	37490	43214
	Cu	0	35	86	1286	576	3051	1056	1157
	Mg	116	139	126	98	357	70	193	375
	Fe	481	527	583	0	1394	160	660	701
	Total	278696	431794	452818	191470	397719	550820	751690	736262
Lingote de Al (kg/mês)	250154	372805	371606	156157	338799	429563	559844	562903	

Além do alumínio, as ligas produzidas pela Quimialmel contêm agentes de liga. Dependendo dos requisitos solicitados pelo cliente, estes agentes de liga podem ser o silício, o cobre, o magnésio e o ferro.

O silício é adicionado em todas as ligas, ao invés dos restantes agentes que apenas são adicionados quando necessário, como é o caso do magnésio, que na maioria das situações, a sua adição só acontece na liga $AlSi_{10}MgFe$.

Salienta-se ainda que, como já foi referido no subcapítulo anterior, as escórias de afinação são reaproveitadas nas fusões seguintes, pelo que a linha da Tabela 1 referente ao total de matéria-prima adicionada contempla-as. A quantificação mensal destas escórias é apresentada no Subcapítulo 3.4.

Analisando a Tabela 1 verifica-se que a quantidade de material que entra é superior à quantidade de lingotes de alumínio produzida. Isto deve-se a várias razões, nomeadamente a uma parte do alumínio que oxida e volatiliza, uma porção sai do processo sob a forma de escória, e ainda pode existir algum material incrustado na sucata de alumínio que quando adicionado ao forno não funde e sai nas escórias salinas. Um exemplo de contaminante da sucata é o ferro, que funde a uma temperatura superior à temperatura de fusão do alumínio (650°C).

Além das matérias-primas, existem outros consumíveis necessários ao processo em causa: o seu consumo é apresentado no subcapítulo seguinte.

3.2 Consumíveis

Além da sucata, no processo de produção de alumínio secundário é usado sal, oxigénio, um agente de limpeza e azoto. Nas Tabelas 2 e 3 encontram-se os montantes mensais consumidos destes produtos durante o período de estudo.

Tabela 2 – Inventário dos consumos de sal, agente de limpeza e oxigénio no processo de produção de alumínio secundário na Quimialmel durante o período de estudo.

	2015				2016			
	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr
Sal (kg/mês)	23024	32875	36542	14535	24923	42487	54983	49402
Agente de limpeza (kg/mês)	245	503	481	127	256	440	560	531
Oxigénio (m³/mês)*	18797	23959	26616	9901	24740	28533	34969	37162

*Nas condições de pressão de 14 a 16 bar e temperatura de -185°C

Nota: o sal juntamente com a sucata que não fundiu durante a etapa de fusão, formam as designadas escórias salinas. O ferro incrustado na sucata é um desses exemplos, e já foi referido anteriormente.

O registo da quantidade de agente de limpeza adicionado na etapa da fusão nem sempre foi realizado corretamente e com a periodicidade desejável. O oxigénio é utilizado como comburente no forno rotativo.

O azoto é o gás utilizado no forno de afinação para realizar a desgaseificação do metal fundido, antes de este ser vazado para as lingoteiras. O consumo deste gás foi obtido

através da consulta das faturas do fornecedor. Todavia, ao contrário do que acontece com os outros fluxos de materiais inventariados neste trabalho, o azoto apresenta uma periodicidade não mensal. O fornecimento deste gás é feito através de um conjunto de garrafas cujo volume é sempre o mesmo (112,8 m³), e uma vez que não existe um registo de troca quando estão vazias, assumiu-se que após o pedido de um conjunto de garrafas, estas eram consumidas até ao dia anterior à chegada das próximas. Pelo que, os dados aqui apresentados (vide Tabela 3) são uma estimativa da realidade, podendo estar sobrevalorizados.

Tabela 3 – Inventário do consumo de azoto no processo de produção de alumínio secundário na Quimialmel durante o período de estudo.

	2015					2016						
	02/09 - 29/09	30/09 - 12/10	13/10 - 5/11	6/11 - 30/11	1/12 - 28/12	29/12 - 18/01	19/01 - 04/02	05/02 - 23/02	24/02 - 07/03	08/03 - 28/03	29/03 - 11/04	12/04 - 18/04
m ³ /mês*	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8

*Nas condições de pressão de 200 bar e temperatura ambiente

Um outro consumível do processo de produção de alumínio secundário na Quimialmel é a água. Esta, como já referido anteriormente, é utilizada no arrefecimento dos lingotes, circulando em circuito fechado dentro de dois depósitos existentes na unidade fabril. Devido à temperatura a que se encontra o alumínio durante a etapa de vazamento, alguma da água sofre evaporação, sendo portanto necessária a sua reposição. Uma vez que apenas existe um contador de água que quantifica o volume total de água consumido nas várias atividades da empresa, não há registos do volume repost no processo, logo não foi possível contabilizar apenas a quantidade gasta na fundição.

3.3 Energia

Os consumos mensais de energia elétrica e gás natural encontram-se na tabela seguinte.

Tabela 4 – Inventário do consumo mensal de energia no processo de produção de alumínio secundário na Quimialmel durante o período de estudo.

		2015				2016			
		set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr
Gás natural	Eletricidade (kWh/mês)	28072	35248	37712	13685	31946	34313	47395	44264
	(*m ³ /mês)	220666	299589	310085	116353	291095	337444	413948	433808
	(kWh/mês)	24792	35173	35826	17646	34769	44633	49529	49478

*Nas condições de pressão 1 bar e temperatura da rede

Note-se que o consumo de eletricidade não é exclusivo do processo de fundição, estando também aqui considerado o consumo referente ao pré-tratamento da sucata (trituração). Com os contadores de energia elétrica instalados atualmente na unidade fabril não é possível obter a informação mais detalhada sobre os consumos.

O gás natural é o combustível utilizado no forno de fusão e de afinação. Como foi referido anteriormente, os seus consumos, em unidades de metros cúbicos e kWh foram obtidos nas faturas do fornecedor. Porém, no mês de outubro 2015 o consumo, excecionalmente, veio apenas expresso em kWh. Devido à falta de dados para a conversão de unidades (de kWh para m³), optou-se por, apenas para esse mês, usar o volume consumido aquele registado nas folhas de produção, referente apenas ao forno rotativo.

Na Tabela 4 optou-se por apresentar o consumo de gás natural não só em m³ mas também em kWh. Deste modo é possível comparar os consumos das duas formas de energia do processo, i.e. da eletricidade e do gás natural.

Do processo de produção, além de lingotes de alumínio secundário resultam outros fluxos de saída nomeadamente, as emissões que englobam os três estados da matéria, gasosas, sólidas e líquidas.

3.4 Emissões

A caracterização do efluente gasoso foi realizada por uma entidade externa duas vezes no período sob avaliação. Na Tabela 5 encontram-se os resultados dessa caracterização.

Tabela 5 – Inventário da concentração de gases medida em outubro de 2015 e abril de 2016 (IDAD, 2016, IDAD, 2015, IDAD, 2016a, IDAD, 2015a).

Parâmetro	out/15	abr/16	VLE
NOx (mg/Nm ³ gás seco)	15	11	500
CO (mg/Nm ³ gás seco)	93	103	- - -
COT (mg/Nm ³ gás seco)	7,5	6,2	200
SO ₂ (mg/Nm ³ gás seco)	14	10	500
Partículas (mg/Nm ³ gás seco)	6,3	51	150
Fluoretos (mg/Nm ³ gás seco)	3,1	0,3	5
HCl (mg/Nm ³ gás seco)	3	2,1	30
Dioxinas/furanos (I-TEQ ¹ ng/Nm ³ gás seco)	0,0195	0,0176	0,1

¹ Indicador de Toxicidade Equivalente

Apesar de ambas as medições de efluente gasoso terem sido realizadas durante a produção da mesma liga, os materiais fundidos podem ter variado, e ainda sendo amostras pontuais, os valores podem não ser representativos da média emitida diariamente. No entanto, para efeitos legais, a Quimialmel apenas se encontra obrigada a uma monitorização dos efluentes gasosos 2 vezes por ano, de forma a confirmar o cumprimento dos Valores Limite de Emissão (VLE).

A caracterização do efluente gasoso foi realizada durante a produção da liga de alumínio que utiliza os materiais mais contaminados e, por isso, com menor rendimento sendo que os valores registados se encontram abaixo do VLE.

Os quantitativos de resíduos sólidos decorrentes do processo encontram-se na tabela seguinte.

Tabela 6 – Inventário da quantidade mensal de resíduos sólidos gerados no processo de produção de alumínio secundário na Quimialmel durante o período de estudo.

	2015				2016			
	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr
Pó dos filtros (kg/mês)	703	---	5279	3610	1239	7061	10150	10609
Escória salina (kg/mês)	47599	76052	78821	42731	62863	117319	134732	128737
Escória de afinação (kg/mês)	3976	9324	7792	4138	9072	14026	16213	15807

A limpeza do filtro de mangas e do reservatório do ciclone é feita em média uma vez por dia, mas visto que os dados da sua produção foram obtidas nas folhas de registo, e nem sempre as quantidades registadas foram registadas corretamente, os valores apresentados na tabela anterior são uma aproximação do valor real. No mês de outubro de 2015, não foi registada a produção deste resíduo sólido.

Para além da emissão de gases e dos resíduos sólidos gerados, a produção de lingotes de alumínio secundário irá gerar água residual. Uma vez que esta circula em circuito fechado, e a dada altura, que se prevê seja aquando da paragem para manutenção, será descarregada no coletor municipal, foram solicitadas análises junto da entidade LUSÁGUA, afim de verificar se necessita de um pré-tratamento antes do seu envio para a rede pública. Devido a questões de tempo e ao facto de a análise a alguns parâmetros ser subcontratada, o relatório ainda não se encontra disponível no momento da redação deste documento. No entanto, a caracterização de alguns parâmetros foi possível conhecer, e encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 – Parâmetros de caracterização da água residual descartada pela Quimialmel.

Parâmetro	Resultado	Unidade	Valor limite de emissão
Cheiro (Residual)	Não detetável	Diluição 1:20	
Cor	Não visível	Diluição 1:20	
Cloro residual_livre	0,1	mg Cl ₂ /l	1,0
Cloro residual_total	0,1	mg/l	
pH	7,7	Escala de Sorensen	5,5, - 9,5
CQO	40	mg O ₂ /l	1000
Temperatura (interior depósito grande)	52,6	°C	30
Temperatura (interior depósito pequeno)	36,3	°C	30

A amostra analisada corresponde a uma amostra composta recolhida em três momentos do dia, correspondentes ao final de cada vazamento do metal do fornos para as lingoteiras.

Os dados existentes até ao momento, juntamente com a análise dos metais que futuramente estará disponível, permitirá uma caracterização mais completa da água residual, bem como a verificação se a mesma cumpre ou não os critérios de descarga no coletor municipal.

De salientar o caso da temperatura, uma vez que os dados da mesma registados na Quimialmel dizem respeito ao interior dos depósitos, não se conhecendo a temperatura a que esta é descarregada. Pelo que a comparação com o VLE não é possível. No entanto, a empresa pondera brevemente a instalação de um sistema de agitação dentro dos depósitos para ajudar na diminuição da temperatura e evitar deposição de algum metal, nomeadamente algum ferro devido ao teor elevado deste constituinte presente na água da região.

3.5 Ruído

Como foi mencionado anteriormente, a medição de ruído no interior da instalação foi realizada no âmbito do controlo da Higiene, Saúde e Segurança no Trabalho, não sendo objeto do RAA.

Relativamente ao ruído nas imediações da unidade fabril, os locais de amostragem encontram-se representados na Figura 17, sendo que a verificação do cumprimento do critério de exposição ao ruído foi realizada tendo em conta o Regulamento Geral do Ruído e a classificação das áreas envolventes à Quimialmel pelo Plano Diretor Municipal

de Albergaria. Este último classifica de zona mista a área envolvente ao recetor sensível - R1, e zona não definida a área envolvente ao recetor sensível - R2 (MONITAR: Engenharia do Ambiente, 2016).

Os locais de amostragem foram definidos tendo em conta a população mais exposta ao ruído proveniente da atividade em questão, e a maior proximidade dos recetores sensíveis.



Figura 17 – Locais de medição do ruído nas imediações da Quimialmel.

O relatório produzido pela MONITAR permite concluir que na zona de análise R1, durante o período diurno (7:00 – 20:00) o ruído emitido é influenciado principalmente por algumas indústrias ruidosas mais próximas e pelo tráfego rodoviário. Para a zona R2 verifica-se que a principal fonte de ruído diz respeito ao tráfego rodoviário que circula na EN1, sendo esta também a principal fonte em ambos os locais de medição no período entardecer (20:00 – 23:00) e noturno (23:00 – 07:00).

Inventariados os dados de consumos e emissões, foi possível determinar os indicadores que permitiram a caracterização do processo de produção em estudo.

4 Tratamento de dados

Os indicadores que caracterizam o processo de produção de alumínio foram calculados, tendo como unidade de referência a produção de uma tonelada de lingotes alumínio, aqui expresso de forma simplificada por “ton Al”.

No inventário realizado foram tidos em conta todos os fluxos de entrada e de saída do processo. No entanto, alguns dos parâmetros caracterizados/inventariados no Capítulo 3 não foram objeto de cálculo de indicadores, como é o caso do ruído, da água e da água residual.

O ruído, devido à sua especificidade, não é um parâmetro com o qual se possa calcular um indicador com a unidade de referência pré-estabelecida.

No caso da água, devido à falta de informação dos consumos não é possível o cálculo de respetivo indicador. Uma situação análoga se passa com as águas residuais, que até à data não existem dados de produção da mesma. No entanto ao nível da sua caracterização e cumprimento dos valores limite de descarga, o tema será abordado no Subcapítulo 4.5.2.

4.1 Produto acabado

A produção mensal de lingotes de alumínio durante o período em estudo pode ser visualizada na Figura 18.

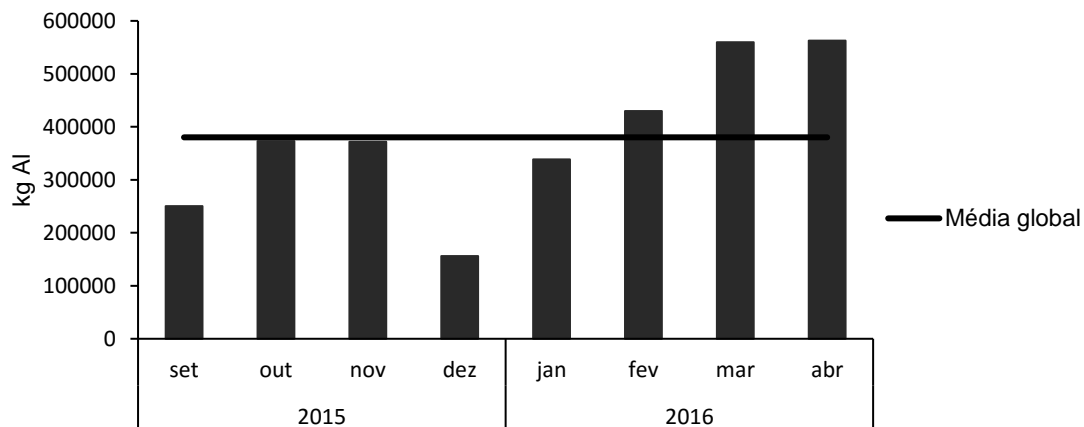


Figura 18 – Produção mensal de lingotes de alumínio secundário na Quimialmel.

Ao longo do período de estudo verifica-se uma grande oscilação da produção mensal de lingote de alumínio, destacando-se um aumento da mesma nos meses de março e abril. Uma vez que se trata de uma atividade muito recente, nos primeiros meses de laboração vários aspetos tiveram que ser ajustados, nomeadamente o tempo de produção era bastante superior, originando uma produção mensal bastante inferior. A produção no mês de dezembro é a menor, porque a unidade fabril laborou apenas metade do mês.

4.2 Matérias-primas

O fluxo de entrada mais importante (em termos quantitativos) neste processo diz respeito às matérias-primas, e engloba a sucata de alumínio, nova e velha, bem como alguns elementos de liga adicionados no forno de afinação. Na Tabela 8 e Figura 19 encontram-se os valores médios mensais (em quilogramas) consumidos de resíduo introduzido no forno bem como a média global por tonelada de lingote produzido. Os valores apresentados na tabela correspondem à totalidade de matéria-prima fundida, à sucata de alumínio e ao agente de liga comum a todas as ligas, o silício.

Tabela 8 – Consumo mensal de sucata por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

	2015				2016				Média ± σ
	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	
Total matéria-prima (kg/ton Al)	1114	1158	1219	1226	1174	1282	1343	1308	1228±79
Sucata de alumínio (kg/ton Al)	1052	1078	1125	1144	1048	1200	1243	1199	1136±74
Silício (kg/ton Al)	44	53	71	47	93	42	67	77	62±18

Analisando a Figura 19 observa-se que ao longo do período analisado não existe grande oscilação na quantidade média de sucata fundida. Destaque-se apenas os meses de fevereiro, março e abril, onde o valor médio excede a média global, o que pode ser justificado pela utilização de sucata de alumínio velha ou com mais impurezas, que apresenta um menor rendimento e uma maior necessidade de consumo de material.

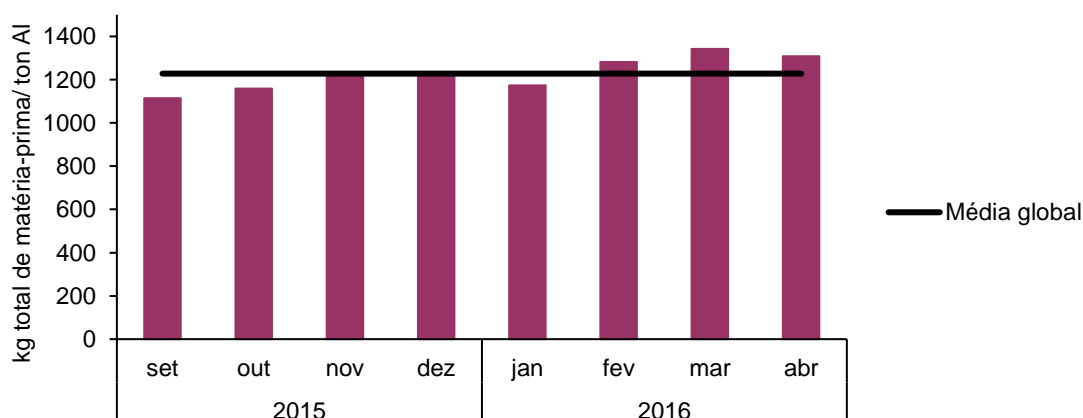


Figura 19 – Consumo mensal do total de matéria-prima por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

Assim, para produzir uma tonelada de lingotes de alumínio, é necessário fundir em média cerca de 1228 kg de sucata metálica não ferrosa.

4.3 Consumíveis

Neste Subcapítulo 4.3 são apresentados, separadamente, os indicadores referentes aos consumíveis do processo (sal, agente de limpeza, oxigénio e azoto).

4.3.1 Sal

O sal é utilizado como adjuvante na fusão do metal. Na Tabela 9 e na Figura 20 encontram-se resumidos os quantitativos mensais de sal adicionado no forno por tonelada de lingote de alumínio produzida.

Tabela 9 – Quantidade mensal de sal consumido por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

	2015				2016				Média ± σ
	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	
kg/ton Al	92	88	98	93	74	99	98	88	91±8

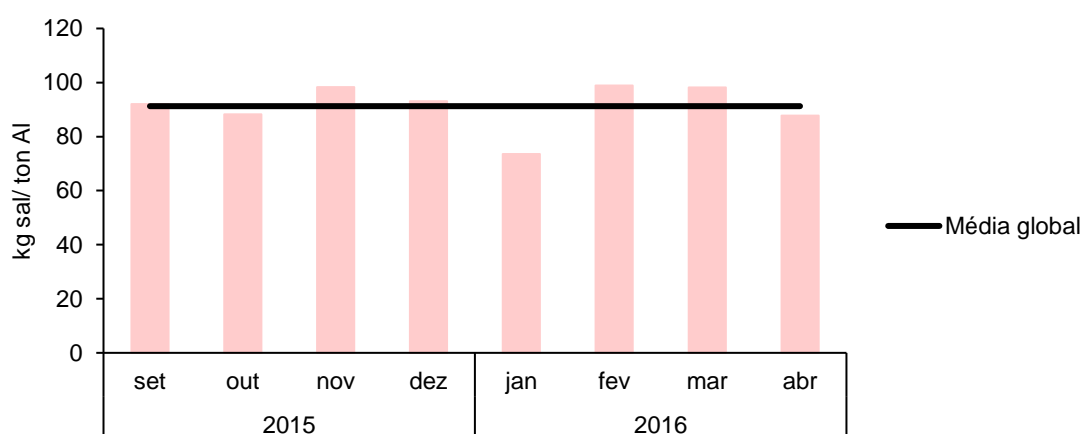


Figura 20 – Consumo mensal de sal por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

À semelhança do observado com a sucata de alumínio, o consumo de sal não apresenta grandes flutuações ao longo do tempo, porém destaca-se o mês de janeiro onde o seu consumo foi significativamente inferior. A adição de sal depende do tipo de sucata processada bem como da respetiva quantidade, ou seja, a utilização de sucata de alumínio nova e mais limpa necessita de uma menor adição de sal. Esta poderá ser a justificação para as flutuações observadas na figura anterior.

4.3.2 Agente de limpeza

O agente de limpeza é utilizado para ajudar a remover as escórias no forno de afinação. Atendendo ao número de registos conseguidos na inventariação da quantidade de agente de limpeza adicionado na etapa da fusão, os dados apresentados na Tabela 10 e Figura 21 são uma aproximação da realidade.

Tabela 10 – Quantidade mensal de agente de limpeza consumido por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

	2015				2016				Média ± σ
	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	
kg/ton Al	1,0	1,3	1,3	0,8	0,8	1,0	1,0	0,9	1,0±0,2

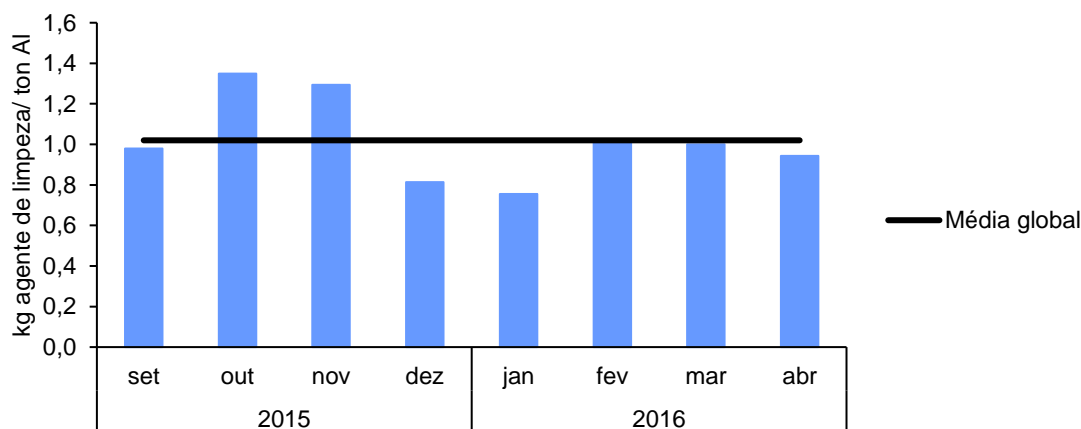


Figura 21 – Consumo mensal de agente de limpeza por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

Apesar da amostra de dados ser reduzida estima-se um consumo médio de 1,0 kg de agente de limpeza por tonelada de lingotes produzida.

4.3.3 Oxigénio

O oxigénio é utilizado no forno rotativo basculante, e à semelhança do que acontece com o agente de limpeza, o registo do consumo deste gás por “batelada” nem sempre foi efetuado corretamente pelos operadores, pelo que os valores apresentados na Tabela 11 e na Figura 22 são uma aproximação do valor real.

Tabela 11 – Volume mensal de oxigénio consumido por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

	2015				2016				Média ± σ
	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	
m ³ /ton Al	112	95	101	88	94	80	85	79	92±11

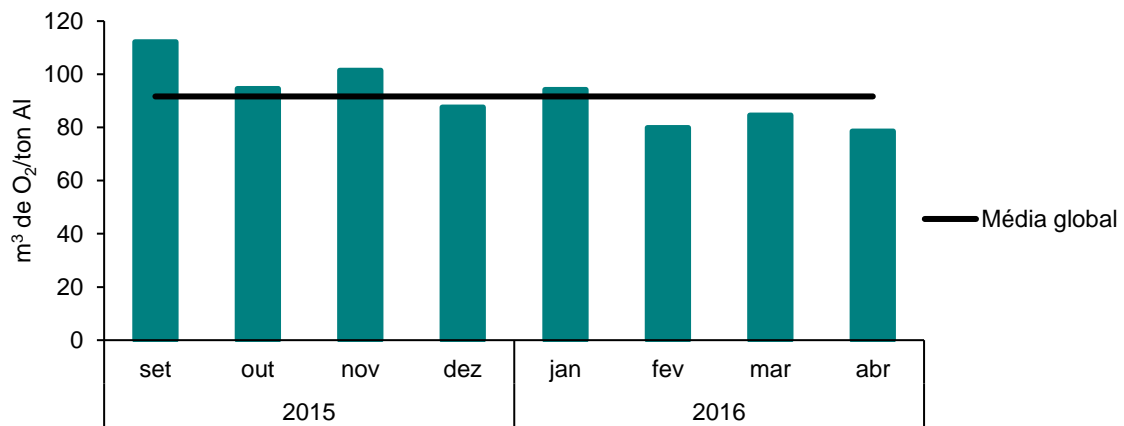


Figura 22 – Consumo mensal de oxigênio por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

O consumo de oxigênio é influenciado pelo tipo de sucata processada no forno, pela duração de cada fusão, pelo tempo necessário para o aquecimento do forno aquando do arranque em cada início de semana e pelo tempo gasto na picagem do mesmo após cada produção para retirada de alguma escória que fica presa nas paredes do forno. Deste modo, o seu consumo não varia linearmente com a produção de lingotes. Todavia, verifica-se que o consumo médio deste gás apresenta uma ligeira tendência de diminuição ao longo do período em análise, sendo o valor médio de 92 m³ por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

Para efeitos de apresentação do fluxo de material de oxigênio no Capítulo 5, é necessário converter o volume consumido para massa. Junto do fornecedor do produto obteve-se a informação de que 1 m³ de O₂ corresponde a 1,342 kg O₂. Assim, por cada tonelada de lingote de alumínio produzida são consumidos 123 kg O₂.

4.3.4 Azoto

O azoto é o gás utilizado no forno de afinação para realizar a desgaseificação do metal fundido, antes de este ser vazado para as lingoteiras. Os consumos médios deste gás por tonelada de lingotes de alumínio produzida, nos diferentes intervalos de tempo, encontram-se na Tabela 12 e na Figura 23.

Tabela 12 – Volume de azoto consumido por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

	2015					2016								Média ± σ
	02/09 - 29/09	30/09 - 12/10	13/10 - 5/11	6/11 - 30/11	1/12 - 28/12	29/12 - 18/01	19/01 - 04/02	05/02 - 23/02	24/02 - 07/03	08/03 - 28/03	29/03 - 11/04	12/04 - 18/04	19/04 - 03/05	
m³ N₂	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8	112,8±0
ton Al	230	169	282	313	156	221	205	228	209	376	272	149	300	239
Média (m³/ton Al)	0,49	0,67	0,40	0,36	0,72	0,51	0,55	0,49	0,54	0,30	0,41	0,76	0,38	0,51±0,14

Atendendo à especificidade do registo deste consumível, foi necessário inventariar os quantitativos de lingotes produzidos nos períodos correspondentes aos da faturação de azoto. Essa informação consta na Tabela 12.

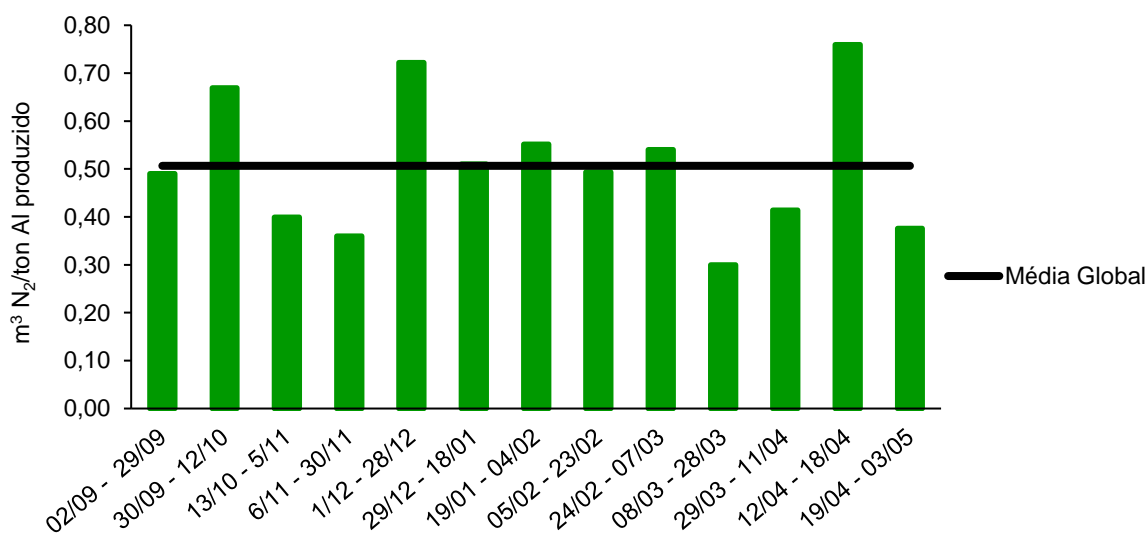


Figura 23 – Consumo de azoto por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

Da análise da Figura 23 verifica-se que o consumo de azoto é bastante irregular ao longo do período de análise sendo o seu valor médio de 0,51 m³ por tonelada de lingotes de alumínio produzido. Não existe uma explicação plausível para as flutuações de consumo observadas, podendo o tipo de registo usado para análise um dos motivos.

Tal como para o oxigénio, a título de colocar o consumo deste material no fluxograma seguinte do Capítulo 5, e tendo em conta a informação obtida junto do fornecedor de que 1 m³ de azoto corresponde a 1,188 kg azoto, por tonelada de lingotes de alumínio produzida são consumidos 0,61 kg de azoto.

4.4 Energia

No que diz respeito aos fluxos energéticos, foi considerada a eletricidade e o gás natural, sendo cada um analisado em separado e posteriormente comparados.

4.4.1 Eletricidade

Como foi referido no Capítulo 3, o consumo de eletricidade foi obtido nas faturas e conhecendo a produção mensal da fundição determinou-se o consumo médio mensal de eletricidade por tonelada de lingotes produzida (Tabela 13).

Tabela 13 – Consumo mensal de eletricidade por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

	2015				2016				Média ± σ
	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	
kWh/ton Al	99	94	96	113	103	104	88	88	98±8,4

O consumo de eletricidade aqui apresentado engloba todo o armazém, nomeadamente a área de pré-tratamento da sucata. Pelo que aquando do funcionamento da trituradora, o consumo de eletricidade aumenta, provocando um incremento no valor médio por cada tonelada de lingote produzido.

À semelhança do que se verificou nos fluxos anteriormente analisados, o consumo médio de eletricidade não apresenta grandes flutuações ao longo do tempo de estudo com um valor médio de 98 kWh/ton Al, constatando-se uma ligeiro decréscimo nos meses de março e abril.

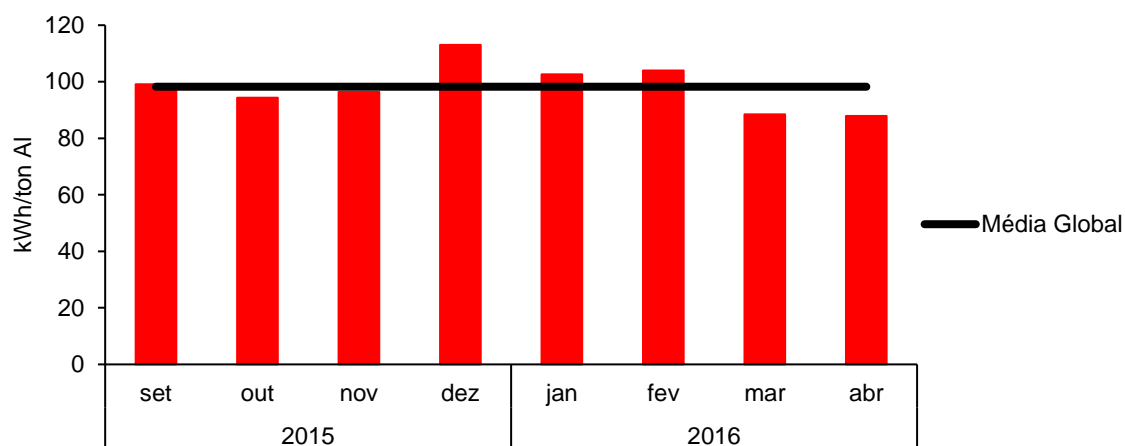


Figura 24 – Consumo mensal de eletricidade por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

É ainda, de referir que, ao contrário do que acontece com o gás natural (discutido no subcapítulo seguinte) ou com outros fluxos de materiais, a tipologia de sucata processada no forno não exerce influência sobre o consumo de eletricidade.

4.4.2 Gás natural

O gás natural é o combustível utilizado nos fornos sendo o seu consumo mensal por tonelada de lingotes produzida representado na Tabela 14 e

Figura 25.

Tabela 14 – Consumo mensal de gás natural por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

	2015				2016				Média ± σ
	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	
m³/ton Al	75	64	72	63	73	66	62	66	68±5
kWh/ton Al	882	804	834	745	859	786	739	771	803±52

Em média, o consumo de gás natural por tonelada de lingotes produzida é cerca de 68 m³.

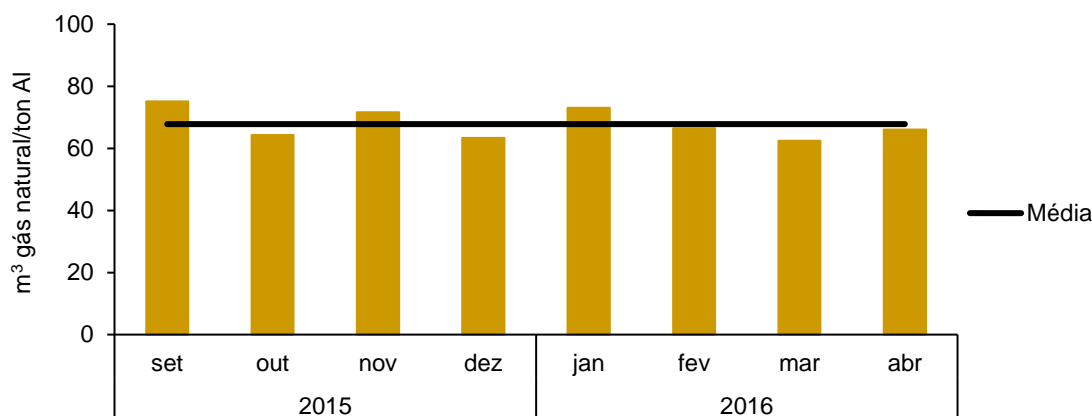


Figura 25 – Consumo mensal de gás natural por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

A semelhança do oxigénio, o consumo de gás natural é influenciado pelo tipo de sucata introduzida no forno, pois em algumas situações é necessário aumentar ligeiramente a temperatura do forno durante algum tempo para que a fusão da mesma seja mais eficiente. Outro fator que pode provocar um maior consumo deste produto diz respeito à temperatura ambiente na instalação fabril. Para valores de temperatura inferiores, as dissipações de calor do forno são maiores e com isso o consumo de gás natural incrementa para manter a temperatura dentro do forno.

4.4.3 Comparação dos fluxos energéticos

No que concerne aos consumos de eletricidade e de gás natural, estes podem ser comparados, em unidades de kWh, na figura seguinte.

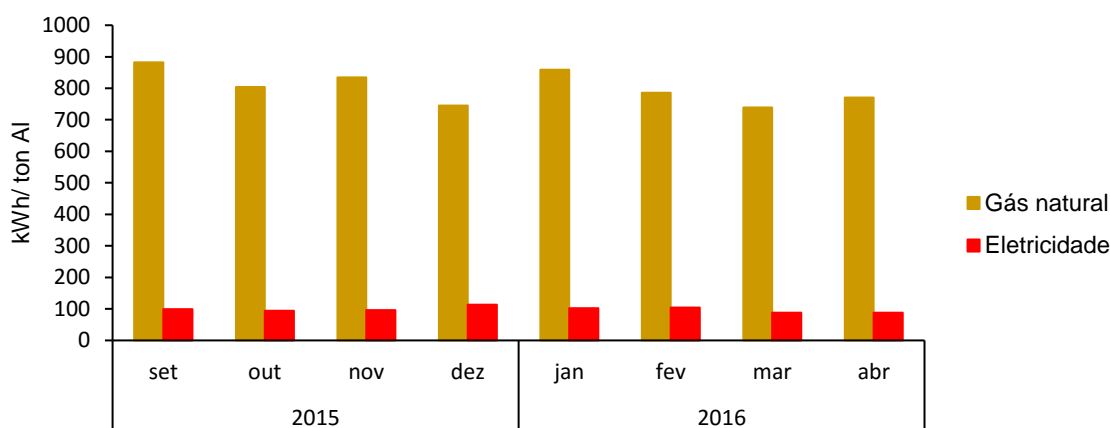


Figura 26 – Comparação dos consumos energéticos do processo de produção de alumínio secundário na Quimialmel.

Analisando os dois fluxos de energia utilizados no processo, conclui-se que o de gás natural é muito superior ao da eletricidade, uma vez que este é o combustível utilizado

para a realização da queima nos fornos (rotativo e de afinação). Não esquecer que o indicador de eletricidade apresentado contabiliza toda a eletricidade consumida no armazém de resíduos, e portanto, a implementação de contadores nos equipamentos da fundição, ou na máquina trituradora associada à fase de pré-tratamento permitiria avaliar o consumo deste fluxo de forma mais discriminada.

4.5 Emissões

Do processo de produção de alumínio secundário resultam emissões de gases de combustão, de águas residuais e de resíduos sólidos. Os indicadores ambientais referentes a estas emissões são apresentados nos subcapítulos seguintes.

4.5.1 Efluente gasoso

Com os valores apresentados na Tabela 5 calculou-se a concentração média de cada poluente, que foi considerada como sendo representativa do efluente gasoso do processo de produção em estudo. As emissões dos poluentes por tonelada de lingote de alumínio encontram-se na

Tabela 15.

A conversão de mg de poluente/Nm³ gás seco para kg de poluente/ton Al produzida foi realizada usando a equação seguinte

$$\left[\frac{\text{kg poluente}}{\text{ton Al}} \right] = C_{\text{poluente no gás}} \left[\frac{\text{mg poluente}}{\text{Nm}^3 \text{ gás seco}} \right] \times Q_{\text{efluente gasoso}} \left[\frac{\text{Nm}^3 \text{ gás seco}}{\text{h}} \right] \times \frac{1}{\text{Produção lingotes}} \times \left[\frac{\text{h}}{\text{ton Al}} \right] \times \frac{10^{-6} \text{ kg}}{\text{mg}} \quad (2)$$

Onde:

- $C_{\text{poluente no gás}}$ corresponde à concentração de poluente no efluente gasoso (vide Tabela 5);
- $Q_{\text{efluente gasoso}}$ é o caudal de efluente gasoso (seco e nas condições PTN); neste caso tem o valor de 30786 Nm³/h;
- Produção de lingotes corresponde à que foi realizada no período em que se realizaram as amostragens, sendo o valor de 12 ton/8h.

De forma a complementar o diagnóstico ambiental, foi feito um estudo comparativo entre os dados obtidos na empresa e os disponíveis na base de dados ecoinvent Version 2. O processo usado desta base de dados é referente à produção de alumínio secundário, e os valores correspondem a médias de um período temporal entre 1995 e 2002, para a realidade europeia. A informação original constante na base de dados engloba os processos de construção das instalações de fusão bem como o transporte dos materiais até à fábrica. Para os usar como termo de comparação com os dados deste trabalho houve necessidade de excluir os referidos processos: os resultados encontram-se na tabela seguinte.

Tabela 15 – Valores médios do efluente gasoso registado nas medições na Quimialmel e dados da base de dados ecoinvent Version 2.

Parâmetros (kg/ton Al)	Quimialmel	ecoinvent version 2
NOx	2,67E-01	1,04E+00
CO	2,01E+00	6,88E-01
COT	1,41E-01	---
SO₂	2,46E-01	1,45E-01
Partículas	5,88E-01	9,98E-05
Fluoretos	3,49E-02	6,84E-09
HCl	5,23E-02	1,93E-02
Dioxinas/furanos	3,81E-04	1,56E-10

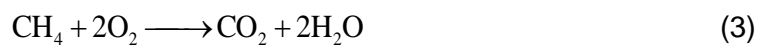
Da análise dos dados apresentados na

Tabela 15 conclui-se que existe uma diferença significativa entre os valores da Quimialmel e os do ecoinvent. Todavia, os valores da Quimialmel correspondem à média de apenas duas medições, e nas condições do processo mais adversas, i.e., pior qualidade da sucata, enquanto que os dados do ecoinvent são médias de 7 anos de medições de várias unidades fabris da Europa.

De destacar ainda as baixas emissões de NO_x podem dever-se à utilização de oxigénio, como comburente no forno rotativo, ao invés de ar atmosférico (composição média de 78% (v/v) de N₂, 21% (v/v) de O₂ e 1% (v/v) de outros gases minoritários). Desta forma garante-se uma combustão mais eficaz do material e uma diminuição das emissões de NO_x para a atmosfera.

Apesar do dióxido de carbono (CO₂) não ser um parâmetro de monitorização obrigatória no efluente da Quimialmel, ele é um gás com potencial efeito de estufa. Neste contexto, optou-se por estimar as emissões de CO₂ a partir da reação de combustão do gás natural, a sua principal fonte no processo de produção de alumínio secundário.

O gás natural é maioritariamente constituído por metano. A reação de combustão completa deste hidrocarboneto é dada pela equação seguinte.



Admitindo que o gás natural fornecido à Quimialmel é constituído por 70% (v/v) de metano (CH₄), a temperatura média de 20°C e à pressão de 1 bar², o número de moles necessárias por tonelada de lingotes produzida (ver dado da Tabela 14) é:

$$n_{\text{CH}_4} = \frac{PV}{RT} = \frac{10^5 \times 68 \times 0,7}{8,314 \times 293} = 1954 \text{ mol CH}_4 \quad (4)$$

De acordo com a estequiometria da Equação 3, uma mole de metano produz uma mole de CO₂, então a massa deste gás emitida por tonelada de lingotes de alumínio é:

$$m_{\text{CO}_2} = 1954 \times 44 \times 10^{-3} \cong 86 \text{ kg CO}_2 \quad (5)$$

Sendo que a massa molar do CO₂ é 44 g/mol.

² Nestas condições assume-se que o metano tem o comportamento de um gás perfeito.

Assim, uma estimativa grosseira das emissões de dióxido de carbono é 86 kg CO₂ por tonelada de lingotes. Caso a percentagem de metano no gás natural seja superior, as emissões de dióxido de carbono decorrentes da sua queima também serão superiores.

4.5.2 Águas residuais

O único efluente líquido resultante do processo de produção de lingotes de alumínio secundário são as águas residuais. Dos dados apresentados na Tabela 7 verifica-se que até ao momento os dados disponíveis encontram-se abaixo do valor limite de descarga no coletor municipal. Assim, a mesma pode ser descarregada sem um pré-tratamento prévio, sendo que a certeza desta afirmação só poderá ser comprovada com o relatório final da análise.

4.5.3 Resíduos sólidos

Do processo produtivo geram-se principalmente dois tipos de resíduos sólidos, o pó dos filtros constituído pelas partículas do efluente gasoso e as escórias salinas.

4.5.3.1 Pó dos filtros

Como já foi referido no início do Capítulo IV, o pó dos filtros resulta do sistema de despoeiramento existente na instalação para remoção de partículas. A composição do mesmo é desconhecida, uma vez que até ao momento ainda não foi realizada qualquer análise elementar ao material pela empresa. A remoção deste é feita em média 1 vez por dia, mas uma vez que os dados foram recolhidos junto das folhas de produção e nem sempre as quantidades foram registadas corretamente, os valores apresentados na Tabela 16 e Figura 27 são uma aproximação do valor real.

Tabela 16 – Produção mensal de pó dos filtros por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

	2015				2016				Média ± σ
	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	
kg/ton Al	3	---	14	23	4	16	18	19	14±8

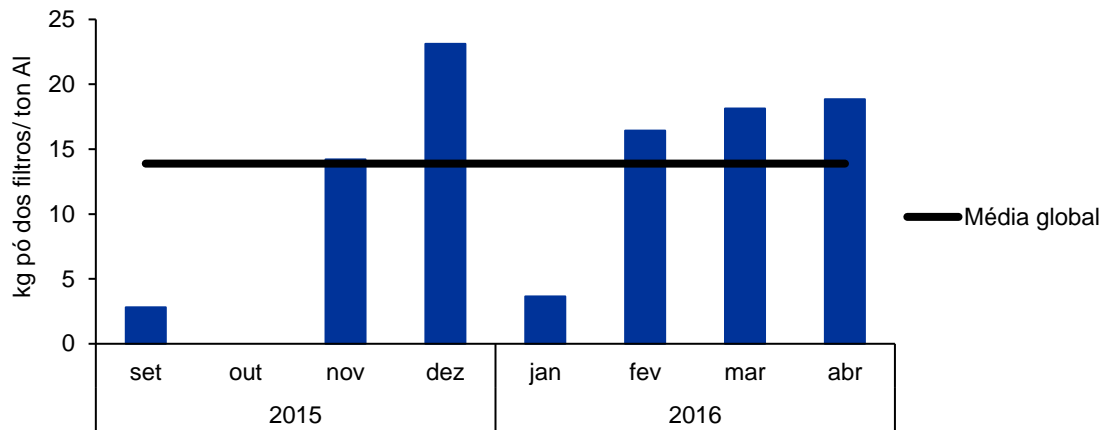


Figura 27 – Produção mensal de pó dos filtros por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

A produção de pó do sistema de despoeiramento do efluente gasoso apresenta flutuações muito significativas ao longo do tempo. O principal motivo para este facto é a falta de informação registada.

4.5.3.2 Escórias salinas

Dos resíduos sólidos gerados no processo, são as escórias salinas que representam a maior quantidade. A Tabela 17 e Figura 28 apresentam a produção deste resíduo por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

Tabela 17 – Produção mensal de escórias salinas por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

	2015				2016				Média ± σ
	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	
kg/ton Al	190	204	212	274	186	273	241	229	226 ± 34

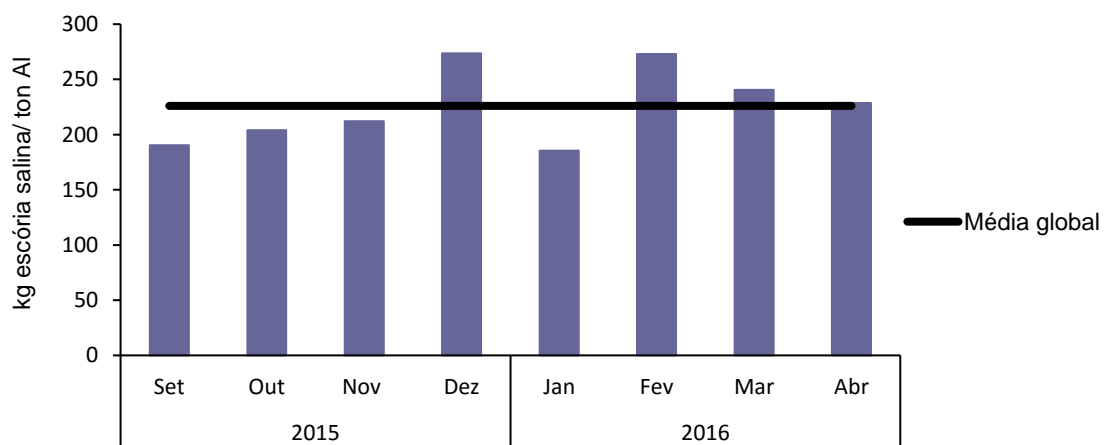


Figura 28 – Produção mensal de escórias salinas por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

A quantidade de escória salina produzida é diretamente influenciada pela quantidade de sal adicionado durante a fusão, que por sua vez depende da tipologia de materiais a fundir, ou seja, quanto maior for a quantidade de material contaminado processado, mais sal será necessário adicional e conseqüentemente haverá um incremento da produção de escórias no final do processo.

Para o período de tempo analisado, em média são produzidas 226 kg de escória salina por tonelada de lingotes de alumínio.

Do ponto de vista químico, estas escórias são constituídas por impurezas e contaminantes presentes na sucata fundida e sal. O seu tratamento é feito por uma empresa espanhola - BEFESA S.A. – que recupera o sal para voltar a ser usado. O tratamento destas escórias não é feito em Portugal por falta de oferta de empresas com a capacidade de valorização deste resíduo. Apesar de em Portugal existem os CIRVER (centros integrados de recuperação, valorização e eliminação de resíduos perigosos), centros apropriados para resíduos industriais perigosos, estes ainda não se encontram habilitados para proceder à valorização deste resíduo, tendo sido por isso necessário procurar outra alternativa.

4.5.3.3 Escória de afinação

Após a adição dos agentes de liga e antes do vazamento do metal fundido, é retirada a escória que se forma, produto que protege o alumínio da oxidação. Uma vez que o resíduo em causa possui um rendimento de cerca de 50% e de forma a evitar o seu encaminhamento para outras operações de valorização, este é novamente reaproveitado nas produções seguintes.

Apesar de ser um resíduo que não sai do processo, calculou-se a sua produção por tonelada de lingotes de alumínio (vide Tabela 18 e Figura 29).

Tabela 18 – Produção mensal de escórias de afinação por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

	2015				2016				Média ± σ
	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	
kg/ton Al	16	25	21	26	27	33	29	28	26 ± 5

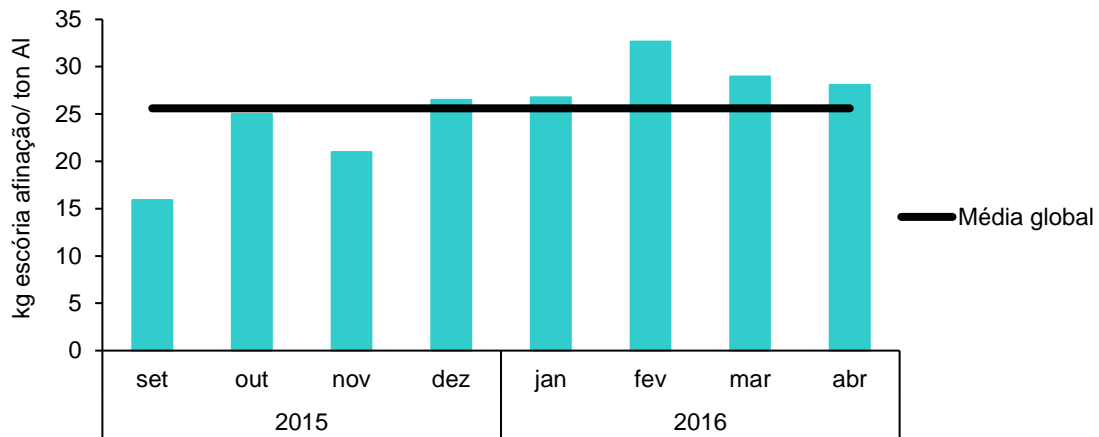


Figura 29 – Produção mensal de escórias de afinação por tonelada de lingotes de alumínio produzida.

Durante o período de tempo analisado verifica-se uma grande flutuação da produção de escórias de afinação. Este facto pode dever-se em parte à ausência de registo dos valores, principalmente no que diz respeito aos meses de 2015.

5 Análise de fluxo de materiais e de energia

Após a análise dos diferentes fluxos de materiais associados ao processo de produção, elaborou-se um fluxograma com alguns dos indicadores obtidos nos mesmos de forma a facilitar a visão mais holística da informação.

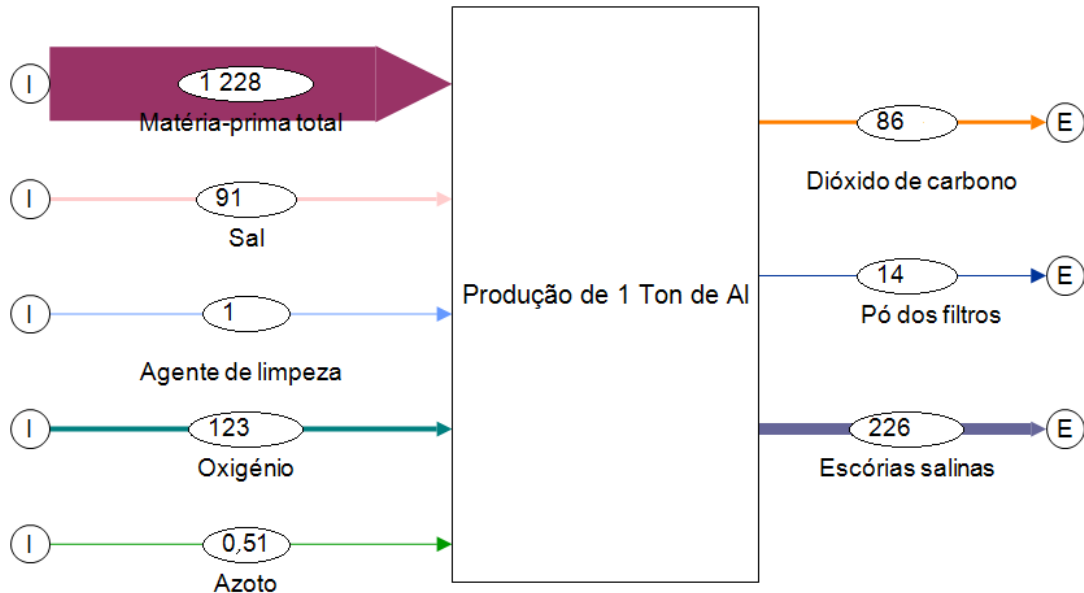


Figura 30 – Fluxograma de alguns dos quantitativos (kg/ton Al) associados ao processo de produção lingotes de alumínio secundário na Quimialmel.

Da análise global do processo de produção de lingote de alumínio na Quimialmel, os fluxos com maior importância dizem respeito à quantidade de sucata metálica não ferrosa fundida e à massa de escórias salinas produzidas por tonelada de alumínio.

Os fluxos energéticos não foram representados na Figura 30, não se tratando pois de fluxos de materiais. As escórias de afinação por sua vez também não foram incluídas uma vez que circulam em circuito fechado dentro do processo de produção de lingotes de alumínio secundário.

Pela figura anterior também é possível verificar que o rendimento deste processo de produção é cerca de 83%, sendo este valor muito próximo do estimado (80%) no projeto do processo. Fazendo um balanço entre os principais fluxos materiais sólidos de entrada (matéria-prima e sal) e saída (lingotes, pó dos filtros e escórias salinas), verifica-se que apenas existe uma diferença de 79 kg. Atendendo à precisão das balanças usadas (vide Capítulo III), pode considerar-se que este balanço mássico fecha.

6 Conclusão

A realização do diagnóstico ambiental necessitou da inventariação da informação com vista ao cálculo de indicadores que permitiram uma análise quantitativa do processo. No entanto verificou-se alguma falta de informação para alguns dos fluxos.

O principal fluxo de entrada do processo analisado diz respeito à sucata a fundir, sendo que para a produção de uma tonelada de lingotes de alumínio é necessário fundir aproximadamente 1228 kg de sucata. O material que não funde no forno de fusão sai do processo sob a forma de escórias salinas. Por tonelada de lingotes produzida geram-se cerca de 226 kg deste resíduo.

Após fundido, o material é encaminhado para o forno de afinação onde são adicionados os agentes de liga, e se procede à desgaseificação do metal utilizando azoto. Desta etapa do processo resultam as designadas escórias de afinação que são removidas com a ajuda do agente de limpeza. É gasto cerca de 1 kg deste consumível por tonelada de lingotes produzida.

Para além dos resíduos sólidos gerados, existe a libertação de um efluente gasoso, cujos parâmetros analisados se encontram abaixo dos VLE. Por outro lado, sendo o gás natural a principal fonte de CO₂ do processo, estimando-se a emissão de cerca de 86 kg CO₂ por tonelada de lingotes produzida.

A existência de um registo mais rigoroso e cuidado por parte dos colaboradores (e.g. pó dos filtros, consumo de azoto, escórias de afinação), bem como a existência de um contador de água para quantificação do seu consumo contribuiria para uma análise mais rigorosa destes materiais.

De forma a melhorar o desempenho ambiental da empresa, bem como contribuir para um melhor controlo ambiental e económico da atividade, poderiam ser adotadas medidas adicionais, nomeadamente:

- Esquematização do processo produtivo, nomeadamente as diferentes etapas com as respetivas temperaturas médias a que devem ser realizadas;
- Identificação no armazém de cada *box* de armazenamento da sucata;
- Criação de um forno de amostragem que permita analisar e caracterizar cada tipologia de sucata que entra na unidade fabril;

- Criação de um espaço só para a armazenagem dos lingotes, evitando a acumulação de pó e uma oxidação do alumínio;
- Caracterização do pó dos filtros com vista à classificação do resíduo em termos da sua perigosidade.

Capítulo V: Considerações finais

Subíndice

1. Considerações finais
2. Sugestões para trabalho futuro

1 Considerações finais

Desde os finais do século XIX que a descoberta do processo de produção do alumínio primário revolucionou a indústria, existindo assim a aplicação deste nos mais variados produtos. As suas características únicas, em especial a sua leveza fizeram com que muitos metais fossem substituídos pelo alumínio.

A produção do lingote de alumínio primário engloba a extração do minério de bauxite, o processo de Bayer, de Hall-Heroult e a refinação do metal fundido. Durante este processo geram-se alguns resíduos sendo o mais perigoso a lama vermelha que é encaminhada para tratamento.

Com o processo de produção de alumínio primário nasceu também o processo de reciclagem do mesmo através da fusão dos resíduos de alumínio, obtendo-se assim o alumínio secundário. A sua produção engloba a triagem e o pré-tratamento da sucata, a fusão e refinação do metal originando o lingote de alumínio secundário. Comparativamente com o primário, o alumínio secundário torna-se mais vantajoso na medida em que as suas propriedades mantêm-se inalteradas depois de refundido e a energia consumida para a produção de alumínio secundário corresponde apenas a 5% da necessária para a produção do lingote de alumínio primário.

Durante a produção do alumínio secundário são também gerados resíduos que devem seguir o encaminhamento adequado, sendo que aquando da utilização de um agente fundente salino para ajudar na fusão do metal formam-se as designadas escórias salinas. Estas são consideradas um resíduo perigoso, no entanto podem ser valorizadas através da recuperação do sal fundente.

Em Portugal não existem empresas dedicadas à produção de alumínio primário, mas já existem algumas que se dedicam à sua reciclagem, nomeadamente a empresa Quimialmel – Químicos e Minerais, Lda. Esta foi fundada em 1993 e desenvolve atividades na área do comércio de matérias-primas e da gestão global de resíduos. No passado ano de 2015 iniciou uma nova atividade de fusão de resíduos de alumínio para produção do lingote de alumínio secundário. Tendo em conta a classificação dos produtores de alumínio secundários pela *European Aluminium*, a empresa em questão é classificada como refinadora, uma vez que produz lingotes de alumínio a partir da fusão de sucata, nova e velha, com principal destino à indústria automóvel.

No decorrer da obtenção da licença ambiental para o desenvolvimento desta nova atividade, foi proposto um estágio curricular cujo objetivo foi o diagnóstico ambiental de uma empresa de produção de alumínio secundário enumerando e caracterizando os diferentes fluxos materiais e de energia do mesmo.

Assim, a produção de uma tonelada de lingote de alumínio necessita em média que sejam fundidos 1228 kg de sucata, juntamente com cerca de 91 kg de sal. É necessário consumir cerca de 68 m³ de gás e 92 m³ de O₂.

Do processo resulta, como resíduos sólidos em maior quantidade as escórias salinas, com um valor médio de 226 kg/ton Al. Tal como referido no Capítulo II, Pereira (2003) refere que em média por cada tonelada de lingotes produzida podem formar-se cerca de 500 kg de escória salina, dependendo da quantidade de agente fundente utilizado bem como de sucata. Assim, o indicador obtido para a Quimialmel é cerca de metade do aqui referido.

No que diz respeito ao efluente gasoso, os compostos com maior perigosidade e relevância nesta tipologia de indústria são as dioxinas e furanos, sendo que o valor emitido é muito baixo, cumprindo os VLE. Uma vez que se utiliza como combustível o gás natural, e sendo este a principal fonte de CO₂ no processo, estimou-se a sua quantidade, obtendo-se um valor de 86 kg de CO₂ por tonelada de lingote de alumínio produzida.

O processo de produção de lingotes de alumínio secundário na Quimialmel segue as etapas caracterizadas no estado da arte, sendo que a fase de “demagging” não é realizada. Todas as ligas produzidas pela empresa carecem de magnésio na sua composição, em menor ou maior quantidade (sendo necessário por vezes adicioná-lo) e portanto a remoção deste elemento nunca é realizada.

Ao longo do período de estágio foram desenvolvidas outras atividades que permitiram um conhecimento mais aprofundado do processo em causa, e ainda a constatação de que a Quimialmel tem trabalhando no sentido de implementar as melhores técnicas que contribuam para a melhoria contínua, investindo também na formação ambiental dos seus colaboradores.

2 Sugestões para trabalho futuro

No seguimento deste estágio, e com o intuito de melhorar continuamente o processo e diminuir os seus impactes ambientais, no futuro podem ser desenvolvidos outros trabalhos, nomeadamente a caracterização química do pó dos filtros resultante do sistema de despoeiramento instalado na Quimialmel. Até ao momento este é enviado para um aterro de resíduos perigosos por prevenção, no entanto a sua caracterização permitirá a escolha mais adequada para o seu destino.

Uma vez que o consumo energético da unidade de produção é bastante elevado, e no sentido de reaproveitar o calor dos gases de exaustão, um possível trabalho a desenvolver na unidade fabril seria um estudo técnico-económico para o aproveitamento da energia térmica. A energia reaproveitada poderia ser utilizada, por exemplo, para aquecimento das águas balneares ou ainda, no pré-aquecimento da sucata antes de esta ser introduzida no forno rotativo com instalação de uma estufa.

Referências Bibliográficas

- Agência Europeia do Ambiente. (2013). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013: Technical guidance to prepare national emission inventories. Dinamarca*. Retrieved from <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>
- Aluminum Association. (2011). Aluminum: The element of sustainability. *A North American Aluminum Industry Sustainability Report*, (September), 70. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Aluminum+:+The+Element+of+Sustainability#0>
- BEFESA. (n.d.). Befesa Aluminium :: Reciclaje de escorias salinas y SPL. Retrieved February 12, 2016, from <http://www.befesaaluminium.es/web/es/nuestros-procesos/detalle/Reciclaje-de-escorias-salinas-y-SPL/>
- Davis, J. R. (1993). *ASM specialty handbook: Aluminum and aluminum alloys*. ASM International. Retrieved from <https://books.google.com/books?id=Lskj5k3PSIcC&pgis=1>
- Davyson, S. (n.d.). Aluminium. Retrieved January 22, 2016, from <http://sam.davyson.com/as/physics/aluminium/site/index.html>
- Eastern Research Group Inc. (2001). *Preferred and alternative methods for estimating air emissions from secondary* (Vol. II).
- European Aluminium. (2015a). European aluminium. Retrieved December 4, 2015, from <http://www.european-aluminium.eu/>
- European Aluminium. (2015b). Recycling aluminium: A pathway to a sustainable economy.
- European Aluminium Association, & Organisation of European Aluminium Refiners And Remelters. (2006). Aluminium recycling in Europe: The road to high quality products. *European Aluminium Association*.
- Filtration + Separation. (2016). Alumina: Filtração no processo de produção de alumina. Retrieved January 22, 2016, from <http://www.filtsep.com/view/10392/alumina-filtration-in-the-alumina-production-process/>
- Gasik, M. M., & Mazur, V. I. (2003). Creation of master alloys for aluminium. In G. E. Totten & D. S. Mackenzie (Eds.), *Handbook of Aluminum: Volume 2: Alloy*

production and materials manufacturing (Vol. 2, pp. 125–126). Retrieved from <https://books.google.pt/books?id=XlmAKOjvnrgC>

Grimes, S., Donaldson, J., & Gomez, G. C. (2008). *Report on the Environmental Benefits of Recycling*.

IDAD. (2015a). *Medições nos Efluentes Gasosos: Chaminé do Forno (28 Outubro 2015)*.

IDAD. (2015b). *Medições nos Efluentes Gasosos: Chaminé do Forno (30 Outubro 2015)*.

IDAD. (2016). *Medições nos Efluentes Gasosos: Chaminé do Forno (22 Abril 2016)*.

Insertec. (2014). Aluminium Recycling Reverberatory Furnace. Retrieved January 14, 2016, from <http://www.insertec.biz/en/industrial-furnaces/aluminium-recycling-furnaces/reverberatory>

Joint Research Centre. (2014). *Best available techniques (BAT) reference document for the non-ferrous metals industries. European Commission*. Retrieved from http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/NFM_Final_Draft_10_2014.pdf

Melting Solutions. (2014). Tilting rotary furnaces. Retrieved January 22, 2016, from <http://www.meltingsolutions.com/tilting-rotary-furnace>

MONITAR: Engenharia do Ambiente. (2016). *Relatório de ensaio. Technology*.

Moro, P. D., Pandolfo, A., Moro, L. D., Barbacovi, N. E., & Tagliari, L. D. (2015). Diagnóstico ambiental de indústrias de fabricação de estruturas metálicas e esquadrias de metal de pequeno e médio porte. *Gestão & Produção*, 229–237. Retrieved from <http://www.scielo.br/pdf/gp/v22n1/0104-530X-gp-22-01-00229.pdf>

Nappi, C. (2013). *The global aluminium industry: 40 years from 1972. World Aluminum*.

Pereira, M. D. V. S. de A. A. (2003). *Optimização das condições de processamento para inertização de resíduos industriais de alumínio em matrizes cerâmicas estruturais*. Ecocla de Engenharia, Universidade do Minho.

Quimialmel. (2015). *Manual da Qualidade*.

The International Aluminium Institute. (2012). Mining and Refining – Process. Retrieved January 15, 2016, from <http://bauxite.world-aluminium.org/en/refining/process.html>

Tsakiridis, P. E. (2012). Aluminium salt slag characterization and utilization – A review. *Journal of Hazardous Materials*, 217-218, 1–10.

<http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.03.052>

US Environmental Protection Agency. (1995). *Compilation of air pollutant emission factors: Volume I: Stationary point and area sources*. Retrieved from http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/oldeditions/5th_edition/ap42_5thed_orig.pdf

Wallace, G. (2011). Production of secondary aluminium. In R. Lumley (Ed.), *Fundamentals of Aluminium Metallurgy: Production, Processing and Applications* (pp. 70–82). Oxford: Woodhead publishing. Retrieved from [https://books.google.pt/books?id=mXpwAgAAQBAJ&lpg=PP1&dq=fundamentals of aluminium metallurgy&hl=pt-PT&pg=PP1#v=onepage&q=fundamentals of aluminium metallurgy&f=false](https://books.google.pt/books?id=mXpwAgAAQBAJ&lpg=PP1&dq=fundamentals+of+aluminium+metallurgy&hl=pt-PT&pg=PP1#v=onepage&q=fundamentals+of+aluminium+metallurgy&f=false)

Anexo I – Legislação aplicável aos resíduos na Quimialmel – Químicos e Minerais, Lda.

<u>Legislação Portuguesa</u>
<u>Gestão de Resíduos</u>
<u>Decreto-Lei nº. 73/2011, de 17 de Junho – Republica o Decreto-Lei nº. 178/2006, de 5 de Setembro, transpondo para direito interno nacional a Directiva nº 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro, relativa a resíduos.</u>
<u>Lei nº. 54/2012, de 6 de Setembro – Define os meios de prevenção e combate ao furto e de rectação de metais não preciosos com valor comercial e prevê mecanismos adicionais e de reforço no âmbito da fiscalização da actividade de gestão de resíduos.</u>
<u>Decreto-Lei nº 198/2012, de 24 de Agosto – Estabelece medidas de controlo da emissão de facturas e outros documentos com relevância fiscal, define a forma da sua comunicação à Autoridade Tributária e Aduaneira e cria um incentivo de natureza fiscal à exigência daqueles documentos por adquirentes pessoas singulares.</u>
<u>SIRAPA</u>
<u>Portaria nº. 1408/2006, de 18 de Dezembro - Aprova o Regulamento de Funcionamento do Sistema Integrado de Registo Electrónico de Resíduos (SIRER).</u>
<u>Portaria nº. 320/2007, de 3 de Março - Altera a Portaria 1408/2007, de 23 de Março</u>
<u>Portaria nº 249-B/2008, de 31 de Março - Altera o prazo de preenchimento no SIRER dos dados do ano de 2007 para 31 de Março de 2009, fazendo coincidir com o prazo previsto para o preenchimento dos dados para 2008.</u>
<u>Portaria nº 72/2010, de 4 de Fevereiro - Estabelece as regras respeitantes à liquidação, pagamento e repercussão da taxa de gestão de resíduos e revoga a Portaria nº. 1407/2006, de 18 de Dezembro.</u>
<u>Despacho nº. 6844/2010, de 19 de Abril - Redução do valor da taxa de registo no SIRAPA aos aderentes a uma plataforma de negociação autorizada pela Agência Portuguesa do Ambiente.</u>
<u>Portaria n.º289/2015 de 17, de Setembro - Aprova o Regulamento de Funcionamento do Sistema Integrado de Registo Electrónico de Resíduos (SIRER), que estabelece os procedimentos de inscrição e registo bem como o regime de acesso e de utilização da plataforma e revoga a Portaria n.º 1408/2006, de 18 de Dezembro.</u>
<u>Embalagens e Resíduos de Embalagens</u>
<u>Decreto-Lei nº. 366-A/97, de 20 de Dezembro – Estabelece os princípios e as Normas aplicáveis à Gestão de Embalagens e Resíduos de Embalagens.</u>
<u>Portaria nº. 29-B/98, de 15 de Janeiro – Estabelece as Regras de funcionamento dos Sistemas de Consignação aplicáveis às Embalagens Reutilizáveis e às Embalagens Não Reutilizáveis.</u>

<u>Decreto-Lei nº. 407/98, de 21 de Dezembro – Estabelece as Regras Relativas aos Requisitos essenciais da Composição das Embalagens, designadamente os níveis de Concentração de Metais Pesados nas Embalagens</u>
<u>Decreto-Lei nº. 162/2000, de 27 de Julho – Altera os artg^{os} 4 e 6 do Decreto-Lei nº. 366-A/97, de 20 de Dezembro.</u>
<u>Despacho de 7 de Dezembro de 2004 – Licença da Sociedade Ponto Verde (SPV) para a actividade de gestão de resíduos de embalagens.</u>
<u>Decreto-Lei nº. 92/2006, de 25 de Maio – Altera o Decreto-Lei nº. 366-A/97.</u>
<u>Despacho nº 1647/2012, de 03 de Fevereiro – Prorrogação do prazo da licença concedida à Sociedade Ponto Verde (SPV) para a actividade de gestão de resíduos de embalagens.</u>
<u>Decreto-Lei nº 110/2013, de 02 de Agosto – Proceda à quinta alteração do Decreto-Lei nº. 366-A/97, de 20 de Dezembro, relativo a embalagens e resíduos de embalagens.</u>
<u>Resíduos de Construção e Demolição (RCD's)</u>
<u>Decreto-Lei nº. 46/2008, de 12 de Março – Aprova o Regime de Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD's).</u>
<u>Portaria nº 417/2008 de 11 de Junho – Aprova os modelos de guias de acompanhamento de resíduos para o transporte de resíduos de construção e demolição.</u>
<u>Portaria nº 40/2014, de 17 de Fevereiro – Estabelece as normas para a correta remoção dos materiais contendo amianto e para o acondicionamento, transporte e gestão dos respectivos resíduos de construção e demolição gerados, tendo em vista a protecção do ambiente e da saúde humana.</u>
<u>Despacho nº. 6844/2010, de 19 de Abril - Redução do valor da taxa de registo no SIRAPA aos aderentes a uma plataforma de negociação autorizada pela Agência Portuguesa do Ambiente.</u>
<u>Portaria n.º289/2015 de 17, de Setembro - Aprova o Regulamento de Funcionamento do Sistema Integrado de Registo Eletrónico de Resíduos (SIRER), que estabelece os procedimentos de inscrição e registo bem como o regime de acesso e de utilização da plataforma e revoga a Portaria n.º 1408/2006, de 18 de Dezembro.</u>
<u>Embalagens e Resíduos de Embalagens</u>
<u>Decreto-Lei nº. 366-A/97, de 20 de Dezembro – Estabelece os princípios e as Normas aplicáveis à Gestão de Embalagens e Resíduos de Embalagens.</u>
<u>Portaria nº. 29-B/98, de 15 de Janeiro – Estabelece as Regras de funcionamento dos Sistemas de Consignação aplicáveis às Embalagens Reutilizáveis e às Embalagens Não Reutilizáveis.</u>
<u>Decreto-Lei nº. 407/98, de 21 de Dezembro – Estabelece as Regras Relativas aos Requisitos essenciais da Composição das Embalagens, designadamente os níveis de Concentração de Metais Pesados nas Embalagens</u>
<u>Decreto-Lei nº. 162/2000, de 27 de Julho – Altera os artg^{os} 4 e 6 do Decreto-Lei nº. 366-A/97, de 20 de Dezembro.</u>
<u>Despacho de 7 de Dezembro de 2004 – Licença da Sociedade Ponto Verde (SPV) para a actividade de gestão de resíduos de embalagens.</u>
<u>Decreto-Lei nº. 92/2006, de 25 de Maio – Altera o Decreto-Lei nº. 366-A/97.</u>

<p><u>Despacho nº 1647/2012, de 03 de Fevereiro – Prorrogação do prazo da licença concedida à Sociedade Ponto Verde (SPV) para a actividade de gestão de resíduos de embalagens.</u></p>
<p><u>Decreto-Lei nº 110/2013, de 02 de Agosto – Procede à quinta alteração do Decreto-Lei nº. 366-A/97, de 20 de Dezembro, relativo a embalagens e resíduos de embalagens.</u></p>
<p style="text-align: center;"><u>Resíduos de Construção e Demolição (RCD's)</u></p>
<p><u>Decreto-Lei nº. 46/2008, de 12 de Março – Aprova o Regime de Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD's).</u></p>
<p><u>Portaria nº 417/2008 de 11 de Junho – Aprova os modelos de guias de acompanhamento de resíduos para o transporte de resíduos de construção e demolição.</u></p>
<p><u>Portaria nº 40/2014, de 17 de Fevereiro – Estabelece as normas para a correta remoção dos materiais contendo amianto e para o acondicionamento, transporte e gestão dos respectivos resíduos de construção e demolição gerados, tendo em vista a protecção do ambiente e da saúde humana.</u></p>
<p style="text-align: center;"><u>Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (REEE's)</u></p>
<p><u>Decreto-Lei nº 230/2004 de 10 de Dezembro – Estabelece o Regime Jurídico a que fica sujeita a Gestão de Resíduos de Equipamento Eléctrico e Electrónico (REEE's) – REVOGADO pelo Decreto-Lei nº 67/2014, de 07 de Maio.</u></p>
<p><u>Decreto-Lei nº. 174/2005 de 25 de Outubro – Altera o artº. 2 do Decreto-Lei nº. 230/2004 – REVOGADO pelo Decreto-Lei nº 67/2014, de 07 de Maio.</u></p>
<p><u>Despacho nº. 9062/2009, de 1 de Abril – Licença da AMB3E - Entidade gestora para a gestão de Resíduos de Equipamento Eléctrico e Electrónico (REEE's).</u></p>
<p><u>Despacho nº. 7807/2010, de 4 de Maio – Aprova a tabela de valores e prestações financeiras a que se refere o nº. 1 da cláusula 6ª da Licença da AMB3E.</u></p>
<p><u>Decreto-Lei nº. 132/2010, de 17 de Dezembro – Altera o Decreto-Lei nº 230/2004, de 10 de Dezembro e transpõe parcialmente a Directiva nº. 2008/112/CE, de 16 de Dezembro – REVOGADO pelo Decreto-Lei nº 67/2014, de 07 de Maio.</u></p>
<p><u>Despacho nº. 7807/2010, de 4 de Maio – Aprova a tabela de valores e prestações financeiras a que se refere o nº. 1 da cláusula 6ª da Licença da AMB3E.</u></p>
<p><u>Despacho nº 1516/2012, de 01 de Fevereiro - Prorrogação do prazo da licença concedida à Amb3E - Associação Portuguesa de Gestão de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos.</u></p>
<p><u>Decreto-Lei nº 79/2013, de 11 de Junho - Estabelece regras relativas à restrição da utilização de determinadas substâncias perigosas em equipamentos eléctricos e electrónicos (EEE) - REVOGADO parcialmente pelo Decreto-Lei nº 67/2014, de 07 de Maio.</u></p>
<p><u>Declaração de rectificação nº 35/2013, de 31 de Julho - Estabelece regras relativas à restrição da utilização de determinadas substâncias perigosas em equipamentos eléctricos e electrónicos.</u></p>

Decreto-Lei nº 67/2014, de 07 de Maio - Estabelece o Regime Jurídico a que fica sujeita a Gestão de Resíduos de Equipamento Eléctrico e Electrónico (REEE's), transpondo para o ordenamento nacional a Directiva 2012/19/UE, de 4 de Julho, relativa a resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos (REEE); revogando o Decreto-Lei nº 230/2004 de 10 de Dezembro e respectivas alterações.

Decreto-Lei n.º 119/2014, de 6 de Agosto - Procede à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 79/2013, de 11 de Junho, que estabelece regras relativas à restrição da utilização de determinadas substâncias perigosas em equipamentos eléctricos e electrónicos, transpondo as Directivas Delegadas n.os 2014/1/UE, 2014/2/UE, 2014/3/UE, 2014/4/UE, 2014/5/UE, 2014/6/UE, 2014/7/UE, 2014/8/UE, 2014/9/UE, 2014/10/UE, 2014/11/UE, 2014/12/UE, 2014/13/UE, 2014/14/UE, 2014/15/UE e 2014/16/UE, todas da Comissão, de 18 de Outubro de 2013, e as Directivas Delegadas n.os 2014/69/UE, 2014/70/UE, 2014/71/UE, 2014/72/UE, 2014/73/UE, 2014/74/UE, 2014/75/UE e 2014/76/UE, todas da Comissão, de 13 de Março de 2014.

Óleos Usados

Decreto-Lei nº 153/2003, de 11 de Julho – Estabelece o Regime Jurídico a que fica Sujeita a Gestão de Óleos Novos e Óleos Usados.

Despacho nº 9277/2004, de 10 de Maio – Relativo ao número de registo para a actividade de recolha e transporte rodoviário de óleos usados, revogado pelo Decreto-Lei nº. 178/2006, de 5 de Setembro.

Decreto-Lei nº. 267/2009, de 29 de Setembro – Estabelece o Regime Jurídico da Gestão de óleos Alimentares Usados.

Pilhas e Acumuladores

Decreto-Lei nº. 6/2009, de 6 de Janeiro – Estabelece o Regime de Colocação no Mercado de Pilhas e Acumuladores e o Regime de Recolha, Tratamento, Reciclagem e Eliminação dos Resíduos de Pilhas e Acumuladores.

Declaração de Rectificação nº. 18-A/2009, de 6 de Março – Rectifica o nº. 1 do artº. 18 do Decreto-Lei nº. 6/2009.

Decreto-Lei nº. 266/2009, de 29 de Setembro – Altera o Decreto-lei nº. 6/2009

Despacho n.º 1262/2010 (2ª Série), de 19 de Janeiro – Concessão à Amb3E – Associação Portuguesa de Gestão de Resíduos, de licença para a gestão de um sistema integrado de resíduos de pilhas e acumuladores.

Despacho n.º 3862/2010 (2ª Série), de 3 de Março – Concessão à ERP Portugal - Associação Gestora de Resíduos, de licença para a gestão de um sistema integrado de resíduos de pilhas e acumuladores.

Despacho n.º 3863/2010 (2ª Série), de 3 de Março – Concessão à ECOPIILHAS - Sociedade Gestora de Resíduos de Pilhas e Acumuladores, Lda., de licença para a gestão de um sistema integrado de resíduos de pilhas e acumuladores.

Despacho nº. 5186/2010, de 23 de Março – Concessão à GVB – Gestão e Valorização de Baterias, Lda, de licença para a gestão do sistema integrado de resíduos de baterias e acumuladores industriais e para veículos automóveis.

Despacho n.º 6245/2011 (2ª Série), de 11 de Abril – Tabela de valores da prestação financeira a suportar pela entidade ECOPIILHAS - Sociedade Gestora de Resíduos de Pilhas e Acumuladores, Lda., para o ano de 2011.

Despacho nº 6249/2013, de 14 de Maio - Valores de prestação financeira para 2013 a suportar pelos produtores de Pilhas e Acumuladores que integram a Amb3E.

Valorização Agrícola de Lamas

Decreto-Lei nº. 276/2009, de 2 de Outubro – Estabelece o Regime de Utilização de Lamas de Depuração em Solos Agrícolas.

Movimento Transfronteiriço de Resíduos

Decreto-Lei nº. 45/2008, de 11 de Março – Assegura a execução e o cumprimento das obrigações decorrentes da aplicação do Regulamento nº 1013/2008 relativo à Transferência de Resíduos e revoga o Decreto-Lei 296/95 de 17 de Novembro.

Portaria nº 242/2008 de 18 de Março – Estabelece as taxas a cobrar pela APA na apreciação dos procedimentos relativos à Notificação de Transferência de Resíduos, Importação, Exportação e Trânsito. Revoga a Portaria nº 830/2005 de 16 de Setembro.

Portaria nº 172/2012, de 24 de Maio – Altera a Portaria nº 242/2008, relativo as taxas a cobrar pela APA na apreciação dos procedimentos relativos à Notificação de Transferência de Resíduos, Importação, Exportação e Trânsito. Revoga a Portaria nº 830/2005 de 16 de Setembro.

Decreto-Lei nº 23/2013, de 15 de Fevereiro - Procede à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 45/2008, de 11 de Março, introduzindo procedimentos desmaterializados de envio das notificações e informações relativas às transferências de resíduos.

GESTÃO DE RESÍDUOS E MOVIMENTO TRANSFRONTEIRIÇO

Legislação Comunitária

Directiva 2006/12/CE, de 5 de Abril – Regras de gestão de resíduos

Regulamento nº. 1013/2006, de 14 de Junho – Estabelece os procedimentos e regimes de controlo relativos a transferências de resíduos, de acordo com a origem, o destino e o itinerário dessas transferências, o tipo de resíduos transferidos e o tipo de tratamento a aplicar aos resíduos no seu destino.

Regulamento nº. 1379/2007, de 26 de Novembro – Altera os Anexos I-A, I-B, VII e VIII do Regulamento nº. 1013/2006 de acordo com o progresso técnico e as modificações acordadas no âmbito da Convenção de Basileia.

Regulamento nº. 1418/2007, de 29 de Novembro – Relativo á exportação de determinados resíduos para fins de valorização, enumerados no Anexo III ou no Anexo III-A do Regulamento 1013/2006 para certos países não abrangidos pela decisão da OCDE sobre o controlo dos Movimentos Transfronteiriços de resíduos.

Regulamento nº. 669/2008, de 15 de Julho – Completa o Anexo I-C do Regulamento nº. 1013/2006.

Regulamento nº. 740/2008, de 29 de Julho – Altera o Regulamento nº. 1418/2007 relativo aos procedimentos a seguir relativamente à exportação de resíduos para determinados.

<u>Rectificação de 08 de Novembro de 2008 ao Regulamento nº. 1379/2007 - Altera os Anexos I-A, I-B VII e VIII do Regulamento nº. 1013/2006.</u>
<u>Rectificação de 28 de Novembro de 2008 ao Regulamento nº. 1013/2006 – Altera o ponto 15 do artigo 2º.</u>
<u>Directiva 2008/112/CE, de 16 de Dezembro – Gestão de Resíduos e revoga a Directiva 2006/12/CE, com efeitos a partir de 12 de Dezembro de 2010.</u>
<u>Rectificação de 14 de Fevereiro de 2009 ao Regulamento nº. 1379/2007- Altera os Anexos I-A, I-B VII e VIII do Regulamento nº. 1013/2006.</u>
<u>Rectificação de 25 de Fevereiro de 2009 ao Regulamento nº. 1379/2007, de - Altera os Anexos I-A, I-B VII e VIII do Regulamento nº. 1013/2006</u>
<u>Regulamento nº. 308/2009, de 15 de Abril – Altera os Anexos III-A e VII do Regulamento 1013/2006.</u>
<u>Regulamento nº. 967/2009, de 15 de Outubro - Altera o Regulamento nº. 1418/2007 relativo à exportação de determinados resíduos para fins de valorização, para certos Países não membros da OCDE.</u>
<u>Regulamento nº. 413/2010, de 12 de Maio – Altera os Anexos III, IV e V do Regulamento nº. 1013/2006, para ter em conta as alterações adoptadas pela Decisão C (2008) 156 de Conselho da OCDE.</u>
<u>Regulamento nº. 837/2010, de 23 de Setembro – Altera o Regulamento nº. 1418/2007, no que respeita à exportação de resíduos para certos Países Não OCDE (Andorra, China, Croácia, Índia e Libéria).</u>
<u>Regulamento nº. 333/2011, de 8 de Abril – Estabelece os critérios que permitem determinar para certos tipos de sucata metálica (alumínio e ferro e aço) em que momento deixam de constituir um resíduo, nos termos da Directiva nº 2008/98/CE, de 16 de Dezembro.</u>
<u>Regulamento nº. 661/2011, de 8 de Julho – Altera o Regulamento nº. 1418/2007, no que respeita à exportação de resíduos para certos Países Não OCDE (Bósnia e Herzegovina e Malásia).</u>

GESTÃO DE RESÍDUOS E MOVIMENTO TRANSFRONTEIRIÇO

<u>Legislação Comunitária</u>
<u>Regulamento nº. 664/2011, de 11 de Julho – Altera o Regulamento nº. 1013/2006, a fim de incluir determinadas misturas de resíduos no anexo III-A.</u>
<u>Regulamento nº. 135/2012, de 16 de Fevereiro - Altera o Regulamento nº. 1013/2006, relativo a transferências de resíduos, a fim de incluir determinados resíduos não classificados no respectivo anexo III-B.</u>
<u>Directiva 2012/19/UE, de 4 de Julho – Resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos (REEE)</u>
<u>Regulamento nº 1179/2012, de 10 de Dezembro de 2012, que estabelece os critérios para determinar em que momento o casco de vidro deixa de constituir um resíduo, nos termos da Directiva 2008/98/CE, de 16 de Dezembro.</u>
<u>Regulamento nº 57/2013, de 23 de Janeiro - Altera o Regulamento n.º 1418/2007, no que respeita à exportação de resíduos para fins de valorização para certos Países não OCDE (Malásia).</u>

Regulamento nº 255/2013, de 20 de Março, altera, para efeitos de adaptação ao progresso científico e técnico, os anexos I-C, VII e VIII do Regulamento (CE) n.1013/2006.

Regulamento nº 715/2013, de 25 de Julho de 2013, que estabelece os critérios para determinar em que momento a sucata de cobre deixa de constituir um resíduo, nos termos da Directiva 2008/98/CE, de 16 de Dezembro.