



POTENCIAL DE RECUPERAÇÃO DO VIDRO CONTIDO NO REJEITADO PESADO DO TMB

Angela Leonardo Máximo

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente

Júri

Presidente: Professor Doutor António Jorge Gonçalves de Sousa (IST-UTL DECivil)

Orientadora: Professora Doutora Maria Teresa da Cruz Carvalho (IST-UTL DECivil)

Co-Orientadora: Engenheira Nilmara Russo Braz dos Santos Dias (IST-UTL DECivil)

Vogal: Professora Doutora Ana Isabel Espinha da Silveira (FCT-UNL)

Julho de 2013

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho através do seu conhecimento e colaboração, ou simplesmente pelo seu entusiasmo, os mais sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar agradeço à Prof.^a Maria Teresa Carvalho e à Eng.^a Nilmara Dias que, para além de me orientaram todo o trabalho de uma forma extraordinária, sempre com a maior disponibilidade, motivação e exigência, são coordenadora e investigadora, respectivamente, do projecto RecGlass onde se insere esta dissertação. A dissertação resultou de um trabalho conjunto com a coordenadora Maria Teresa Carvalho e a investigadora Nilmara Dias, assim como com o investigador Nuno Belo. Pela capacidade de trabalho, comportamento ético e incentivo que me transmitiram, muito obrigada. O trabalho laboratorial contou com a preciosa ajuda do técnico de laboratório Carlos Paulo Costa a quem também agradeço muito. Ao professor Jorge Sousa um agradecimento especial por todos os esclarecimentos dados na área de estatística.

Os meus sinceros agradecimentos à Sociedade Ponto Verde (SPV) pelo financiamento essencial ao desenvolvimento do projecto de onde surgiu a presente dissertação.

Às Sras. Engenheiras Ana Teresa e Joana Frazão (TRATOLIXO), Sra. Eng.^a Sara Geraldo (VALNOR) e Sr. Eng.^o Paulo Roque (VIDROCICLO), todos parceiros do projecto, os meus sinceros agradecimentos pois foram essenciais para o bom desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também aos Srs. Engenheiros Joel Braga (SULDOURO), Rui Batista (RESIESTRELA), Diana Catalino (AMARSUL), João Rita (VALORLIS) e a todos os restantes que aqui não foram mencionados mas contribuíram directa ou indirectamente para o desenvolvimento deste trabalho através do tempo disponibilizado em esclarecimento de dúvidas e visitas técnicas guiadas nas instalações que me permitiu, a mim, e a toda a equipa de investigação, conhecer de perto cada processo.

À Dra. Ana Sofia Vaz da APA, os maiores agradecimentos, para além de nos esclarecer dúvidas em reunião e por email, nos forneceu um relatório de gestão de resíduos em Portugal o qual foi tomado como base para o desenvolvimento de boa parte deste trabalho.

Por último, mas não menos importante, gostaria de agradecer ao David por todo o carinho e paciência e aos meus maravilhosos pais, irmã, sobrinhos e amigos por todo o apoio que me deram nos momentos altos e baixos.

RESUMO

Apesar do grande esforço que tem sido feito na promoção da deposição selectiva, o aumento da taxa de recuperação do vidro pode estar dependente do desenvolvimento de soluções técnicas e processos que permitam a sua recuperação a partir dos resíduos indiferenciados.

No tratamento de resíduos sólidos urbanos existe sempre a produção de refugos. Em estudos anteriores foi feita uma análise ao refugo designado de “rejeitado pesado” proveniente de duas instalações de TMB (Tratamento Mecânico Biológico) de resíduos indiferenciados pertencentes aos sistemas TRATOLIXO e VALNOR, onde se constatou que o teor em humidade variava de 4 a 22% e o teor em vidro era significativo – 33 a 83%.

A presente dissertação teve como objectivo principal o estudo do potencial de recuperação do vidro contido no rejeitado pesado do TMB das duas instalações mencionadas e das restantes quatro instalações em operação no ano de 2012 em Portugal – AMARSUL, RESIESTRELA, SULDOURO e VALORLIS.

Foram estudadas as diferenças e semelhanças no processamento em todas as instalações e foi executada uma análise laboratorial do teor em humidade, de granulometria e de composição em amostras provenientes da linha de rejeitado pesado das instalações da AMARSUL, RESIESTRELA, SULDOURO e VALORLIS seguindo a mesma metodologia de análise usada nos estudos anteriores referidos. Observou-se que o rejeitado pesado das instalações estudadas apresenta teores de humidade que variam de 3 a 13%, um calibre que pode alcançar os 80 mm e um teor significativo em vidro - 41 a 67%. Pode-se afirmar que para a maior parte das instalações o vidro concentra-se acima dos 5,6mm.

Com a entrada em operação de novas instalações de TMB é estimado que serão produzidas mais de 48.000 toneladas de vidro em 2014 proveniente da massa total de rejeitado pesado de todas as instalações. Apesar de este refugo não ser aceite pelas indústrias recicladoras dada a contaminação que apresenta, o quantitativo de vidro contido neste fluxo pode justificar a adopção de soluções conducentes à sua recuperação. O calibre, a densidade, a opacidade e a forma são algumas propriedades discriminatórias entre o vidro e alguns contaminantes, algumas delas já analisadas em estudos anteriores ou exploradas nas instalações de TMB aplicadas a outros materiais ou na indústria de descontaminação de vidro.

Concluiu-se ainda neste estudo que as características do rejeitado pesado são fortemente influenciadas pelo processamento na instalação de TMB pelo que alterações nesse processamento poderão gerar um rejeitado pesado com características que facilitem a recuperação do vidro contido neste.

Resíduos Sólidos Urbanos, recuperação de vidro, instalações de TMB, rejeitado pesado de TMB

ABSTRACT

Despite the environmental awareness that has been carried out on selective solid waste deposition, it seems that the recovery of glass is reliant on development of technical solutions and processes that allowed the recovery of this material from mixed solid waste.

The production of rejects is unavoidable in the solid waste treatment. In a recent work, using as sample the heavy residual fraction refused by two Portuguese Mechanical and Biological Treatment (MBT) plants - TRATOLIXO and VALNOR, it was found a significant content in glass (33 to 83%) with a variable moisture content (4 a 22%).

The present thesis had, as main objective, the study of the potential for recovery of glass from the heavy residual fraction refused by the two Portuguese MBT plant mentioned before and by the remaining four plants in operation in 2012 - AMARSUL, RESIESTRELA, SULDOURO and VALORLIS.

It was studied the differences and the similarities of the MBT processing of all plants and it was analysed the heavy residual fraction from AMARSUL, RESIESTRELA, SULDOURO and VALORLIS following the same methodology of analysis from previous studies.

The heavy residual fraction from these MBT plants presented a moisture content that varies from 3 to 22%, a particle size can reach 80 mm and a significant glass content – 41 to 67%. Despite that, the content of other components reveals also high whereby this material flow is not accepted by Mechanical Recovery Facilities (MRF).

It has been estimated, that the commissioning of 8 new MBT plants until 2014, would produces more than 48,000 thousands of glass from all Portuguese MBT plants. Even though this residual fraction isn't being accepted by glass MRF facilities due to its contamination, the quantitative of glass contained in the material flow can justify solutions that conducive to its recovery. The particle size, the opacity and the shape are some of the discriminatory properties between glass and some contaminants, some of them were already analysed in previous studies or already used in glass MRF.

In this study it was, also, concluded that the heavy residual fraction characteristics are heavily influenced by the MBT processing, whereby, changes in that processing can produces a heavy refused fraction with specific characteristics that will facilitate the recovery of the glass contained within it.

Municipal Solid Waste, glass recovery, MBT plants, MBT heavy residual fraction

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ABREVIATURAS.....	XI
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. RSU EM PORTUGAL E NA EUROPA	1
1.2. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO.....	2
1.3. PRINCIPAIS AGENTES ENVOLVIDOS NA GESTÃO DE RESÍDUOS A NÍVEL NACIONAL 6	
1.4. RECICLAGEM DE VIDRO – RELEVÂNCIA E SITUAÇÃO NACIONAL.....	9
1.5. TMB DE RSU – RELEVÂNCIA E SITUAÇÃO NACIONAL	12
1.6. RECUPERAÇÃO DE VIDRO NO TMB DE RESÍDUOS INDIFERENCIADOS.....	15
1.7. MOTIVAÇÃO E OBJECTIVO	16
1.8. METODOLOGIA GERAL E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	18
2. ESTADO DA ARTE	19
2.1. TAXAS DE RECOLHA SELECTIVA DE VIDRO	19
2.1.1. Estudos nacionais.....	19
2.1.2. Estudos internacionais	20
2.2. TRATAMENTO MECÂNICO BIOLÓGICO DE RESÍDUOS INDIFERENCIADOS.....	24
2.2.1. Pré-Tratamento Mecânico	25
2.2.2. Tratamento Biológico.....	26
2.2.3. Afinação.....	28
2.3. RECUPERAÇÃO DE RE NO TMB DE RESÍDUOS INDIFERENCIADOS	29
2.3.1. Resíduos de embalagem.....	29
2.3.2. RE de vidro contido no rejeitado pesado	30
3. METODOLOGIA.....	35
3.1. INSTALAÇÕES DE TMB DE RSU ACTUALMENTE EM FUNCIONAMENTO.....	35
3.2. CARACTERÍSTICAS DO TMBr.....	36
3.3. ESTIMAÇÃO DO QUANTITATIVO DE VIDRO CONTIDO NO REJEITADO PESADO DAS INSTALAÇÕES DE TMB EM OPERAÇÃO EM 2014	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1. ANÁLISE DAS INSTALAÇÕES.....	39
4.1.1. Instalações de TMB de RSU actualmente em funcionamento.....	39
4.1.2. Fluxos de saída das instalações	42
4.1.3. Processamento dos RSU	43
4.2. ANÁLISE DO TMBr	48
4.2.1. Humidade	48
4.2.2. Análise Granulométrica	49
4.2.3. Análise de composição.....	50
4.2.4. Distribuição por classe granulométrica dos materiais	52

4.3. QUANTITATIVO DE VIDRO CONTIDO NO TMB _r DAS INSTALAÇÕES PORTUGUESAS	54
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
5.1. QUANTITATIVO DE VIDRO CONTIDO NO TMB _r DAS INSTALAÇÕES PORTUGUESAS - DISCUSSÃO	57
5.2. DESCONTAMINAÇÃO DO VIDRO	57
5.2.1. Influência do processamento nas características do TMB _r – possíveis alterações no processo de TMB	58
5.2.2. Propriedades físicas discriminatórias entre o vidro e alguns contaminantes	59
6. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXOS	71
I. Metodologia usada na análise laboratorial do TMB _r	73
II. Resultados das caracterizações para cada sub-amostra analisada	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1-1 - RSU depositados em aterro por país em 1995, 2003 e 2011 (EUROSTAT, 2013)	1
Fig. 1-2 - Destino de resíduos sólidos urbanos nos diferentes países europeus em 2011. Fonte: (EUROSTAT, 2013).....	2
Fig. 1-3 – Principais agentes envolvidos na gestão de resíduos ao nível nacional.....	6
Fig. 1-4 - Responsabilidades dos intervenientes do Sistema Integrado de Gestão de Resíduos Urbanos de Embalagens (SPV, 2012).	8
Fig. 1-5 – Evolução do quantitativo de embalagens de vidro colocadas no mercado e retomadas declaradas à SPV e respectiva taxa de retoma desde 1998 (SPV, 2012).	9
Fig. 1-6 – Taxas de retoma de resíduos de vidro de embalagem no ano 2011 nos diferentes países europeus (FEVE, 2013).....	10
Fig. 1-7– Diagrama de fluxo de sólidos do TMB simplificado. Adaptado de (Enviros Consulting Limited, 2007).....	14
Fig. 1-8 - Localização geográfica das zonas das instalações de TMB de resíduos indiferenciados em operação em 2012.....	17
Fig. 2-1 - Diagramas simplificados de instalações de TMB aeróbio e anaeróbio.	24
Fig. 2-2 – Alguns processos e equipamentos usados usualmente no Pré-Tratamento Mecânico: A) Abre-sacos B) Cabine de triagem manual C) Separador por correntes de <i>Foucault</i> D) Triador óptico E) Separador Balístico F) Crivo rotativo	26
Fig. 2-3 - Processos e equipamento usados usualmente no tratamento biológico: A) Compostagem em túneis B) Compostagem em silos C) Digestor à direita e gasómetro à esquerda	27
Fig. 2-4 - Alguns processos e equipamento usados usualmente na afinação: A) Crivo B) Mesa densimétrica	28
Fig. 2-5 – Metas europeias e taxa de retoma do vidro, plástico, P/C, metal e madeira contidos nos RE em 2011 com e sem o contributo do TMB. Fonte: (SPV, 2012; Embopar, 2013 e Directiva 2004/12/CE)	29
Fig. 2-6 – Análise da composição do rejeitado pesado da TRATOLIXO e da VALNOR (Dias, 2011; Dias, et al., 2011b).	31
Fig. 3-1 – Preparação das amostras. A) Homogeneização. B) Divisão no divisor Jones. C) Divisão por quarteamento. D) Secagem na estufa. E) Crivagem mecânica. F) Análise de composição manual. Adaptado de (Dias, et al., 2013).....	37
Fig. 4-1 - Distribuição granulométrica do TMB de cada instalação	49
Fig. 4-2 – Composição total do TMB de cada instalação	50
Fig. 4-3 – Teor em vidro nos RSU vs teor em vidro no TMB	51
Fig. 4-4 - Distribuição granulométrica do vidro para todas as instalações	52
Fig. 4-5 - Distribuição granulométrica das pedras para todas as instalações	53
Fig. 4-6 - Distribuição granulométrica de “outros” para todas as instalações.....	53
Fig. 5-1 – Distribuição granulométrica das classes vidro, pedras e “outros” contidas no TMB de cada instalação.....	60
Fig. 5-2 – Composição da fracção supra 5,6mm do TMB de cada instalação e rendimento em peso (η) da fracção supra 5,6mm da classe vidro, pedras e outros.	61
Fig. II-1- Distribuição granulométrica de todas as subamostras analisadas - análise de repetibilidade-AMARSUL	75
Fig. II-2- Distribuição granulométrica de todas as subamostras analisadas - análise de repetibilidade-RESIESTRELA.....	76
Fig. II-3- Distribuição granulométrica de todas as subamostras analisadas - análise de repetibilidade-SULDOURO	77
Fig. II-4- Distribuição granulométrica de todas as subamostras analisadas - análise de repetibilidade-TRATOLIXO (Dias, 2011).....	78
Fig. II-5- Distribuição granulométrica de todas as subamostras analisadas - análise de repetibilidade-VALNOR (Dias, et al., 2011b)	79
Fig. II-6- Distribuição granulométrica de todas as subamostras analisadas - análise de repetibilidade-VALORLIS	80

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1-1 - Instalações de TMB alimentadas com resíduos indiferenciados existentes em Portugal estando em funcionamento, em construção ou previstas.....	13
Tabela 2-1 – Distribuição granulométrica e composição da amostra de rejeitado pesado da instalação TRATOLIXO.....	31
Tabela 2-2 - Distribuição granulométrica e composição da amostra de rejeitado pesado da instalação VALNOR.....	32
Tabela 4-1 - Listagem das instalações que foram casos de estudo neste trabalho e informações gerais respectivas relativas ao ano 2011.....	40
Tabela 4-2 - Percentagem dos fluxos de saída relativamente à alimentação das CVO. Resultados em %.....	42
Tabela 4-3 – Algumas características do TM que diferem de instalação para instalação.....	44
Tabela 4-4 - Algumas características do TB e da afinação que diferem de instalação para instalação.....	46
Tabela 4-5 – Principais características de processamento relevantes para as características do TMBr.....	47
Tabela 4-6- Teor em humidade para cada instalação de TMB estudada.....	48
Tabela 4-7 – Vidro contido no TMBr das instalações estudadas (Dias et al., 2012).....	54
Tabela 4-8 – Capacidade nominal das instalações de TMB em operação em 2014 e valores de alimentação efectiva das instalações em operação em 2012.....	55
Tabela II-1- Análise granulométrica de repetibilidade da amostra- AMARSUL.....	75
Tabela II-2- Análise granulométrica de repetibilidade da amostra RESIESTRELA.....	76
Tabela II-3- Análise granulométrica de repetibilidade da amostra SULDOURO.....	77
Tabela II-4 -Análise granulométrica de repetibilidade da amostra TRATOLIXO (Dias, 2011).....	78
Tabela II-5- Análise granulométrica de repetibilidade da amostra VALNOR (Dias, et al., 2011b).....	79
Tabela II-6- Análise granulométrica de repetibilidade da amostra VALORLIS.....	80
Tabela II-7- Composição total de cada instalação de TMB.....	81
Tabela II-8- Composição por fracção granulométrica por instalação. 1) AMARSUL, 2) RESIESTRELA, 3)SULDOURO, 4)TRATOLIXO (Dias, 2011), 5)VALNOR (Dias, et al., 2011b) e 6)VALORLIS.....	81
Tabela II-9- Análise dos resultados da percentagem em peso de cada material e seu teor para cada instalação. 1) AMARSUL, 2)RESIESTRELA, 3)SULDOURO, 4)TRATOLIXO, 5)VALNOR e 6)VALORLIS.....	84

QUADROS

Quadro 1-1 - Metas de reciclagem constantes na Directiva 2004/12/CE e taxas reais. Fonte: (RECIPAC, 2012).....	4
Quadro 1-2 – Resultados dos indicadores referentes a resíduos de embalagem e respectivas metas previstas no PERSU II no ano 2011. Fonte: (APA, 2013).....	4
Quadro 1-3- Metas estabelecidas no Decreto-Lei nº183/2009.....	5
Quadro 1-4 - Resultados de alguns indicadores referidos no PERSU II (APA & ERSAR, 2011; APA, 2013),.....	5
Quadro 2-1 - Técnicas usadas no processamento de resíduos (adaptado de (Enviros Consulting Limited, 2007)).....	25
Quadro 2-2 - Técnicas de afinação. Adaptado de (Enviros Consulting Limited, 2007).....	28
Quadro 2-3 - Especificações técnicas para a retoma de resíduos de embalagens de vidro na indústria vidreira. Fonte: Regulamento N. o 1179/2012 da Comissão Europeia.....	32
Quadro 2-4 - Especificações técnicas para a retoma de resíduos de embalagens de vidro. Fonte: SPV, 2012.....	33

ABREVIATURAS

AI - Análise de imagem

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

AS – AMARSUL

CE – Comunidade Europeia

CDR – Combustível derivado de resíduos

CV – Coeficiente de Variação

CVO – Central de Valorização Orgânica

EC – Estação de Compostagem

EGF – Empresa Geral do Fomento

EGSRA – Associação de Empresas Gestoras de Sistemas de Resíduos

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

IF – Índice de forma

IC – Índice de circularidade

IST- Instituto Superior Técnico

MAMAOT - Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território

P/C – Papel/Cartão

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PERSU – Plano Estratégico de Resíduos Sólidos Urbanos

PET – Politereflato de Etileno

PPRU – Plano de Prevenção de Resíduos Urbanos

RE- Resíduos de Embalagens

RE - RESIESTRELA

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos Indiferenciados

RUB- Resíduos Urbanos Biodegradáveis

SD - SULDOURO

SMAUT – Sistema Municipal e Autárquico de Gestão de Resíduos

SPV – Sociedade Ponto Verde

TB – Tratamento Biológico

TL – TRATOLIXO do Ecoparque de trajouce

TM – Pré-Tratamento Mecânico

TMBr – Rejeitado pesado de Tratamento Mecânico Biológico.

SPV – Sociedade Ponto Verde

VC – Valor de Contrapartida

VIC – Valor de Informação Complementar

VIM- Valor de Informação e Motivação

VL – VALORLIS

VN - VALNOR

1. INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica e o crescimento industrial e comercial têm-se feito acompanhar de uma avultada produção de resíduos. Por ter os mais baixos custos económicos em termos de exploração e capital investido, o aterro foi desde sempre um destino preferencial para estes resíduos (Renou, et al., 2008). No entanto, é uma solução totalmente insustentável, os custos de deposição em aterro são menores apenas a curto prazo. Posteriormente, esta solução traz elevados impactes ambientais negativos ao nível socioeconómico, como a ocupação do solo, o perigo e/ou a percepção do perigo para a saúde pública e elevados custos económicos associados aos danos causados no meio ambiente. A produção de gás metano e de lixiviados (Conselho da União Europeia, 1999; Bayard, et al., 2010) causam uma elevada poluição atmosférica, dos solos e de recursos hídricos. A destruição destes recursos naturais torna-se mais alarmante em países como os europeus, com escassas fontes de matéria-prima virgem (European Commission, 2010).

1.1. RSU EM PORTUGAL E NA EUROPA

A Fig. 1-1 apresenta o total de RSU enviados para aterro nos países da Europa (EU27) em 3 períodos de tempo diferentes. Os totais variam consideravelmente de país para país, o que reflecte diferenças na organização da gestão dos resíduos (EUROSTAT, 2013). Como pode ser visto na mesma figura, houve um aumento significativo na deposição de resíduos sólidos em aterro em Portugal até 2003, mas recentemente, em 2011, verificou-se uma diminuição, provavelmente, fruto de uma melhoria na gestão de resíduos ou fruto da crise económica que o país atravessa que leva à redução do consumo e conseqüentemente à redução da produção de resíduos.

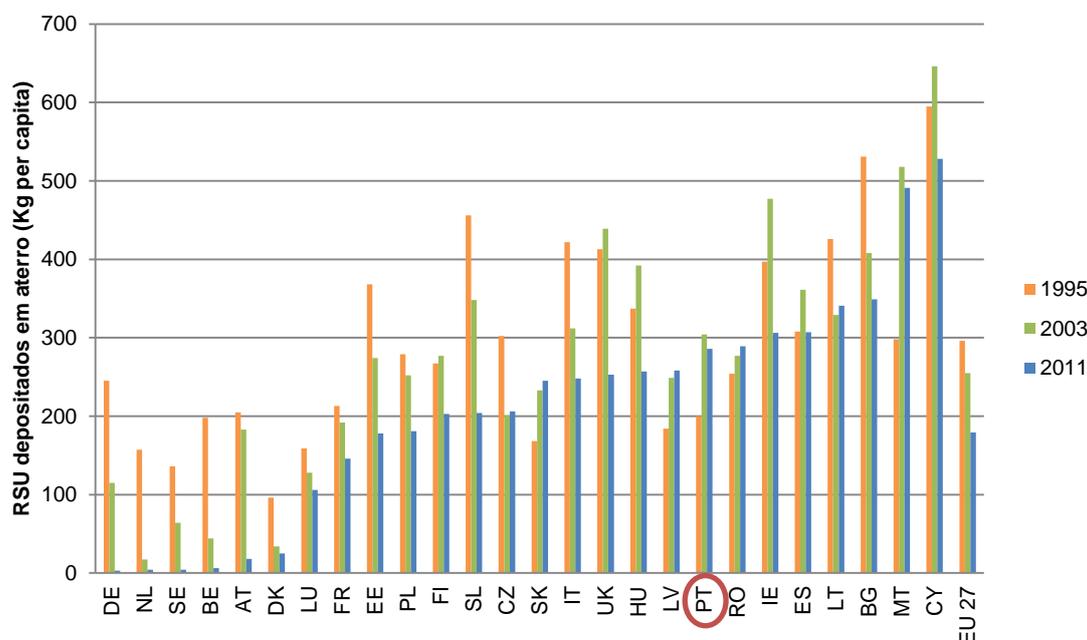


Fig. 1-1 - RSU depositados em aterro por país em 1995, 2003 e 2011 (EUROSTAT, 2013)

Em relação ao destino dos resíduos, Portugal encontra-se entre os países com maior percentagem de resíduos que segue para aterro e com menor percentagem de reciclagem (Fig. 1-2).

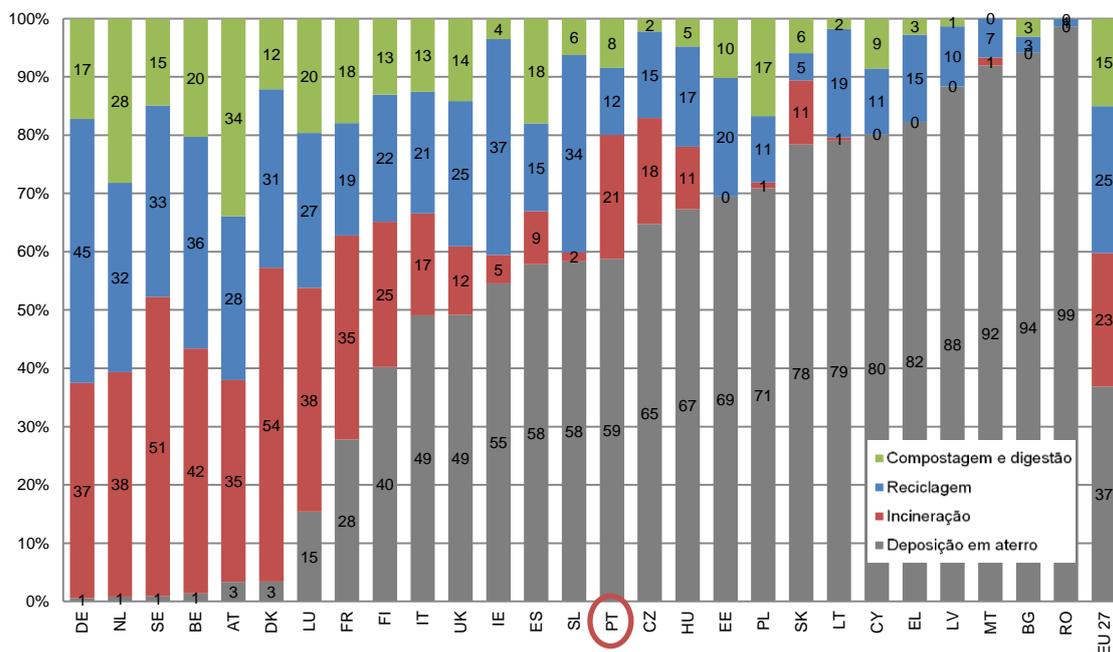


Fig. 1-2 - Destino de resíduos sólidos urbanos nos diferentes países europeus em 2011. Fonte: (EUROSTAT, 2013)

Segundo dados de 2011 fornecidos pela EUROESTAT, 37% dos resíduos sólidos urbanos (RSU) da EU27 ainda são enviados para aterro sanitário. Países como Portugal, Espanha, Itália enviam para aterro mais de 50% dos RSU e ainda há situações mais críticas como Roménia, Bulgária e Lituânia que enviam para aterro mais de 80% dos RSU. Verifica-se ainda que apenas 35% dos RSU são encaminhados para reciclagem ou valorização orgânica na EU27. Em Portugal essa percentagem é de apenas 20%.

1.2. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO

A União Europeia regula a gestão de resíduos baseando-se normalmente em termos de princípios, padrões mínimos e objectivos que devem ser atingidos (Christensaaen, 2011). Como princípios a EU tem a subsidiariedade, responsabilidade alargada do produtor e a hierarquia dos resíduos.

A Directiva 2008/98/CE, actualmente transposta no Decreto-Lei n.º 73/2011, define claramente a hierarquia dos resíduos onde é estabelecido o tipo de tratamento e o seu destino final preferencial de forma a minimizar os seus impactes ambientais. De acordo com a hierarquia, gerir da melhor forma os resíduos passa em primeiro lugar pela sua prevenção. A actuação na fonte preserva recursos naturais e energéticos necessários para o manuseamento e processamento dos resíduos. Quando a produção não pode ser reduzida, deve haver uma actuação na reutilização e, posteriormente, na reciclagem. A valorização energética e orgânica devem ser ainda privilegiadas à deposição directa

em aterro. A política da Comunidade Europeia (CE) e também as directivas nacionais apresentam metas de valorização e reciclagem de resíduos de embalagem cada vez mais exigentes de modo a dar cumprimento a esta hierarquia. O Decreto-Lei n.º 73/2011 introduz também o mecanismo da responsabilidade alargada do produtor. Os produtores iniciais dos resíduos ou detentores devem, em conformidade com os princípios da hierarquia de gestão de resíduos, assegurar o tratamento dos resíduos, podendo para o efeito recorrer a uma entidade licenciada responsável por sistemas de gestão de fluxos específicos de resíduos.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 73/2011, até 12 de Dezembro de 2013 devem ser elaborados programas de prevenção de resíduos, que devem conter as medidas e os objectivos de prevenção, existentes e previstos, bem como indicadores e valores de referência qualitativos ou quantitativos específicos adequados às medidas de prevenção. Desta forma é possível garantir o acompanhamento e a avaliação dos progressos da implementação das referidas medidas.

O Plano de Prevenção de Resíduos Urbanos (PPRU) 2009-2016, aprovado no Despacho nº3227/2010, de 22 de Fevereiro da Ministra do Ambiente, do Ordenamento do Território estabelece como medidas a redução da quantidade de resíduos produzidos e a redução da perigosidade dos resíduos. Apesar de estabelecidas algumas medidas, a meta intermédia estabelecida pelo PERSU (Plano Estratégico de Resíduos Sólidos Urbanos) para 2010 não foi cumprida, tendo-se produzido mais 64 mil toneladas do que o quantitativo estabelecido para o mesmo ano – 5073 mil toneladas (APA & ERSAR, 2012).

O fluxo específico de Resíduos de Embalagem (RE)¹ está actualmente regulamentado pela Directiva 2004/12/CE, que inclui medidas do princípio de prevenção e impõe novas metas para a valorização e reciclagem dos RE. O Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU II), aprovado pela Portaria n.º 187/2007, de 12 de Fevereiro, apresenta orientações estratégicas e objectivos claros para o cumprimento destas metas (APA & ERSAR, 2012).

O Quadro 1-1 resume as metas europeias de reciclagem para o ano 2011 e compara as mesmas com as taxas efectivas atingidas a nível nacional. Os valores relativos ao material vidro, metal, plástico e madeira foram obtidos através de correio electrónico com a AIVE CERV, FIMET, PLASTVAL e EMBAR uma vez que não estão actualmente disponíveis em outras fontes. Os valores de reciclagem de RE de madeira apresentados são relativos a 2010.

¹ O Decreto – Lei n.º 366-A/97 define resíduos de embalagem como “qualquer embalagem ou material de embalagem abrangido pela definição de resíduo adoptada na legislação em vigor aplicável nesta matéria, excluindo os resíduos de produção”.

Quadro 1-1 - Metas de reciclagem constantes na Directiva 2004/12/CE e taxas reais. Fonte: (RECIPAC, 2012)

Resíduos contidos nos RE	Real (%)	Meta (%)	ID (%)*
Totalidade	47,7	55,0	86,8
Vidro	59,7	60,0	99,5
Papel e cartão	71,0	60,0	118,3
Metais	71,0	50,0	142,0
Plásticos	24,8	22,5	110,2
Madeira	66,0	15,0	440,0

* ID - Índice de cumprimento, percentagem dada pelo peso real em relação ao peso indicado na meta.

Portugal ultrapassou as metas de reciclagem estabelecidas para 2011 para a maior parte dos RE. No entanto é a taxa de reciclagem do vidro contido no RE que, por apenas 0,3% continuou a não ser suficiente para atingir a meta estipulada.

O PERSU II estabelece metas nacionais para a reciclagem dos resíduos de embalagem. As metas do PERSU II tornam-se, em geral, mais ambiciosas que as metas europeias por considerarem apenas o quantitativo de embalagens retomadas e não o quantitativo colocado no mercado, que do ano 2010 para o ano 2011 decresceu. As metas e as efectivas quantias de RE retomados em 2011 são medidas em tonelagem e estão resumidas no Quadro 1-2.

Quadro 1-2 – Resultados dos indicadores referentes a resíduos de embalagem e respectivas metas previstas no PERSU II no ano 2011. Fonte: (APA, 2013)

Resíduos contidos nos RE	Real (t)	Meta (t)	ID (%)
Totalidade	392.704	490.881	80
Vidro	210.422	227.060	93
Papel/Cartão	110.308	173.158	64
Plástico	47.933	47.314	101
Metal	19.516	43.138	45
Madeira	4.525	211	2.141

É possível verificar que as metas das retomas dos resíduos de embalagem de plástico e de madeira foram atingidas, sendo que no último caso a meta foi largamente ultrapassada, por se encontrar subestimada e, simultaneamente, se verificar que a meta decresce ao longo dos anos, situação que não vai ao encontro do preconizado no PERSU II pois não estimula o aumento na retoma de material.

Os restantes resíduos de embalagens ficaram aquém das metas propostas para 2011, sendo que os valores que se encontram mais afastados dos objectivos definidos dizem respeito aos metais verificando-se um desvio em relação à meta de 45%.

No âmbito do disposto no n.º 1, são fixadas as seguintes metas a alcançar até 2020:

a) Um aumento mínimo global para 50 % em peso relativamente à preparação para a reutilização e a reciclagem de resíduos urbanos, incluindo o papel, o cartão, o plástico, o vidro, o metal, a madeira e os resíduos urbanos biodegradáveis;

Para além do fluxo específico de RE está também regulamentada a deposição de resíduos em aterros sanitários, neste caso, pela Directiva 1999/31/CE, de 26 de Abril que está actualmente transposta para o Decreto-Lei nº183/2009. O Quadro 1-3 apresenta as metas estabelecidas neste decreto relativamente aos RUB (Resíduos Urbanos Biodegradáveis).

Quadro 1-3- Metas estabelecidas no Decreto-Lei nº183/2009

Os RUB destinados a aterro devem ser reduzidos para (em relação à quantia produzida em 1995):	
Até Julho de 2013	50%
Até Julho de 2020	35%

Com o objectivo de desviar os RUB de aterro, Portugal já tinha em funcionamento instalações de TMB (Tratamento Mecânico Biológico). Para atingir as metas europeias, o PERSU II previa a instalação de novas unidades e houve, efectivamente, um esforço considerável nesse sentido.

No Quadro 1-4 é possível observar que a deposição dos RUB em aterro não teve uma tendência monótona desde 2008 ao contrário da sua valorização, que tem vindo a aumentar. No entanto, como também é possível observar, estes resultados não foram suficientes para se atingir as metas intermediárias definidas pelo PERSU II.

Quadro 1-4 - Resultados de alguns indicadores referidos no PERSU II (APA & ERSAR, 2011; APA, 2013),

	RUB depositados em aterro			Valorização de RUB		
	Real (t)	Meta (t)	ID (%)*	Real (t)	Meta (t)	ID (%)
2007	-	-	N.a.	943.561	1.071.000	88
2008	1.864.868	1.570.000	78	946.494	1.226.000	74
2009	1.766.103	1.043.000	59	997.486	1.781.000	56
2010	1.866.605	937.000	50	1.039.605	1.904.000	55
2011	1.700.000	566.000	33	1.098.000	2.281.000	48

As fortes pressões legislativas ambientais fazem com que se procurem alternativas que permitam a valorização dos diferentes componentes dos resíduos, com o objectivo de cumprirem as metas impostas pelas directivas, preservar os recursos naturais, diminuir a emissão de gases de efeito estufa e proteger os solos e as águas subterrâneas de contaminações (Agência Portuguesa do Ambiente, 2011).

1.3. PRINCIPAIS AGENTES ENVOLVIDOS NA GESTÃO DE RESÍDUOS A NÍVEL NACIONAL

Os agentes envolvidos na gestão de resíduos seleccionam e aplicam técnicas, tecnologias e programas de gestão adequadas (Tchobanoglous, et al., 1993) e devem zelar, a curto e a longo prazo, por uma sociedade que procure evitar a geração de resíduos e que utilize os resíduos como um recurso. Simultaneamente, estes agentes devem seguir as normas e cumprir com as metas impostas pela Comunidade Europeia e ainda assegurar a sua viabilidade económica.

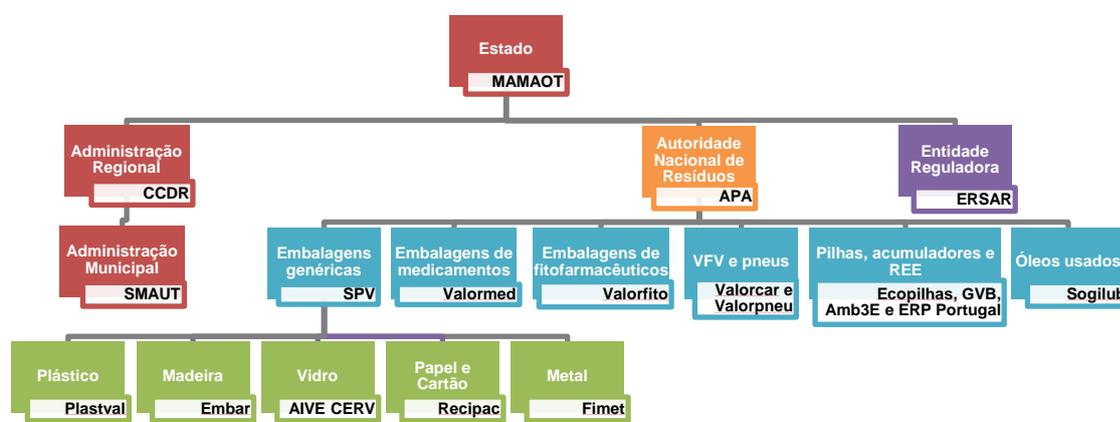


Fig. 1-3 – Principais agentes envolvidos na gestão de resíduos ao nível nacional

A gestão dos Resíduos Urbanos (RU) em Portugal Continental está actualmente a cargo de 23 Sistemas de Gestão de RU – **SMAUTS** (Sistemas Municipais e de Autarquias), 12 multimunicipais e 11 intermunicipais. Os sistemas multimunicipais são a Amcal e as empresas que pertencem ao grupo EGF (EGF, 2012). Os sistemas intermunicipais são a Ecolezíria e as empresas que pertencem ao grupo EGSRA (EGSRA, 2011).

A entidade reguladora da gestão de resíduos urbanos é a **ERSAR** (Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos) a qual visa defender os direitos dos consumidores utentes dos sistemas multimunicipais e intermunicipais, por um lado, e assegurar a sustentabilidade económica destes, por outro. Os instrumentos utilizados são a promoção da qualidade do serviço prestado pelas entidades gestoras e a garantia de tarifários socialmente aceitáveis (ERSAR, 2012).

A **APA** (Agência Portuguesa do Ambiente), enquanto Autoridade Nacional de Resíduos propõe, desenvolve e acompanha a gestão de políticas do ambiente e de desenvolvimento sustentável mediante o exercício de licenciamento, de emissão de normas técnicas aplicáveis às operações de gestão de resíduos, do reforço de parcerias institucionais bem como da uniformização dos procedimentos de licenciamento (Agência Portuguesa do Ambiente, 2012).

As **CCDR** (Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional) são serviços da administração directa do Estado, no âmbito do Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território (MAMAOT). As CCDR executam, avaliam e fiscalizam as políticas de ambiente, ordenamento do território e de desenvolvimento regional ao nível das respectivas áreas geográficas de actuação e apoiam as autarquias locais e as suas associações.

Para “potenciar a valorização e a reintrodução de resíduos no circuito económico, diminuir a procura de matérias -primas e promover simbioses industriais” foi criado o Mercado Organizado de Resíduos (MOR). A actividade do Mercado Organizado de Resíduos foi estabelecida pelo Decreto-Lei n.º 210/2009 actualmente alterado pelo decreto-lei nº73/2011.

Neste mercado interagem vários sistemas de fluxos específicos, nomeadamente do fluxo de embalagens. A gestão do Sistema Integrado de Resíduos de Embalagem (SIGRE) é da responsabilidade da **SPV** (Sociedade Ponto Verde) licenciada pelos ministérios do Ambiente e Economia em 1997. A SPV, internacionalmente conhecida por Green Dot Company e existente em vários países da Europa, para além de assumir o compromisso de gestão adequada dos resíduos de embalagem (retoma, valorização e reciclagem), promove programas de sensibilização e educação ambiental da comunidade e apoia programas de investigação na área de valorização de resíduos de embalagens e criação de mercado de produtos e materiais reciclados (SPV, 2012).

Como referido no capítulo anterior, e de acordo com o decreto-lei nº73/2011, a responsabilidade pela gestão e destino final dos resíduos de embalagens cabe à entidade que as colocou no mercado. Contudo, essa responsabilidade pode ser transferida para uma entidade devidamente licenciada para o efeito. No caso dos resíduos de embalagem pode ser transferida para a SPV (SPV, 2012).

Os embaladores/importadores de produtos embalados, ao delegarem a sua responsabilidade sobre as embalagens para a SPV tornam-se também financiadores do sistema. Os comerciantes/distribuidores só podem comercializar produtos não-reutilizáveis se abrangidos pelo sistema. O consumidor final, um agente muito importante na gestão de embalagens, separa as embalagens pós-consumo por tipo de material, colocando-as em recipientes próprios, para recolha municipal.

O SMAUT recebe um Valor de Contrapartida (VC) da parte da SPV pela informação relativa às quantidades processadas e encaminhadas para reciclagem provenientes de recolha selectiva ou um Valor de Informação Complementar (VIC) pelas quantidades de fluxos provenientes de fluxos complementares, como e o caso dos RE provenientes do TMB (Tratamento Mecânico Biológico) mencionado mais à frente. No caso do material vidro o VC varia entre 35 a 60 euros por tonelada, dependendo da qualidade do material e o VIC é 5 euros (SPV, 2012).

Estes valores pagos pela SPV funcionam por um lado como uma compensação pelo custo associado ao reporte dos dados e por outro lado como um incentivo ao aumento das quantias enviadas para reciclagem.

O SMAUT terá como receita adicional o que conseguir negociar com fabricantes de embalagens e de materiais de embalagem, ou recicladores que valorizam os materiais reintroduzindo-os no mercado sob a forma de novos produtos.

A Fig. 1-4 representa o fluxo urbano de produtos embalados explicado anteriormente.

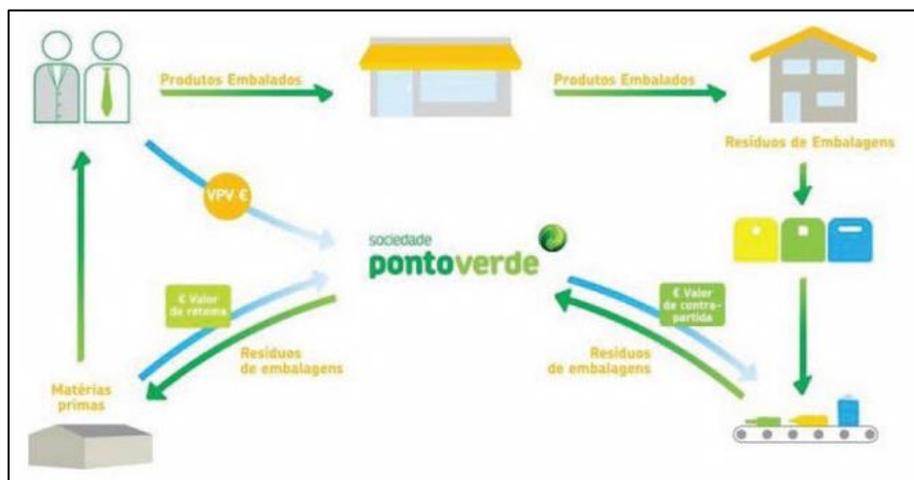


Fig. 1-4 - Responsabilidades dos intervenientes do Sistema Integrado de Gestão de Resíduos Urbanos de Embalagens (SPV, 2012).

No caso do fluxo não urbano a SPV não intervém no mercado. Para este fluxo, a SPV apenas solicita aos operadores comerciais e industriais informação fidedigna acerca do encaminhamento dos resíduos de embalagem para reciclagem, que contraem por esta informação uma contrapartida financeira – o Valor de Informação e Motivação (VIM) como forma de motivar o encaminhamento dos resíduos para reciclagem (Soares, 2011).

A SPV tem como accionista a INTERFILEIRAS que é uma associação sem fins lucrativos e que tem como Associadas as cinco Fileiras de materiais de embalagem: **AIVE CERV** (vidro), **EMBAR** (madeira), **FIMET** (metais), **PLASTVAL** (plásticos) e **RECIPAC** (papel e cartão).

Para que as actividades de reciclagem se aproximem das metas nacionais, é necessário que os resíduos de embalagens recolhidos e triados pelos Municípios e Sistemas Multimunicipais sejam aceites e retomados pelas Indústrias Recicladoras. No caso dos resíduos de embalagem de vidro estes são enviados para unidades de descontaminação e depois para indústrias vidreiras mediante a apresentação das especificações requeridas por estas. Desde 11 de Junho de 2013, e segundo o regulamento nº 1179/2012 da Comissão Europeia, ambas as operações (descontaminação e fusão do vidro) são consideradas operações de reciclagem.

1.4. RECICLAGEM DE VIDRO – RELEVÂNCIA E SITUAÇÃO NACIONAL

Ao contrário de outros materiais recicláveis, o vidro de embalagem pode ser inúmeras vezes reciclado para ser transformado em inúmeros produtos diferentes. Durante o processo de reciclagem o vidro é fragmentado e misturado com areia, carbonato de sódio e calcário (Glass Packaging Institute, 2012; EPA, 2012). O casco de vidro não só custa menos que matéria-prima virgem como também funde a temperaturas mais reduzidas. Uma fusão a uma temperatura menor na produção de vidro a partir de material reciclado significa menores custos energéticos, prolongamento do tempo de vida útil dos fornos e menor emissão de gases de efeito de estufa (Butler & Hooper, 2005; Vellini & Savioli, 2009). De acordo com o Glass Packaging Institute (2012), cada 10% de casco de vidro misturado com matéria-prima virgem reduz a energia requerida para fazer novas embalagens em 2 a 3%.

A quantidade de embalagens de vidro retomadas em Portugal (embalagens provenientes de fluxo urbano e não urbano que seguem para processamento com vista à sua reciclagem) tem vindo a aumentar significativamente desde 1998 como pode ser visto no Fig. 1-5.

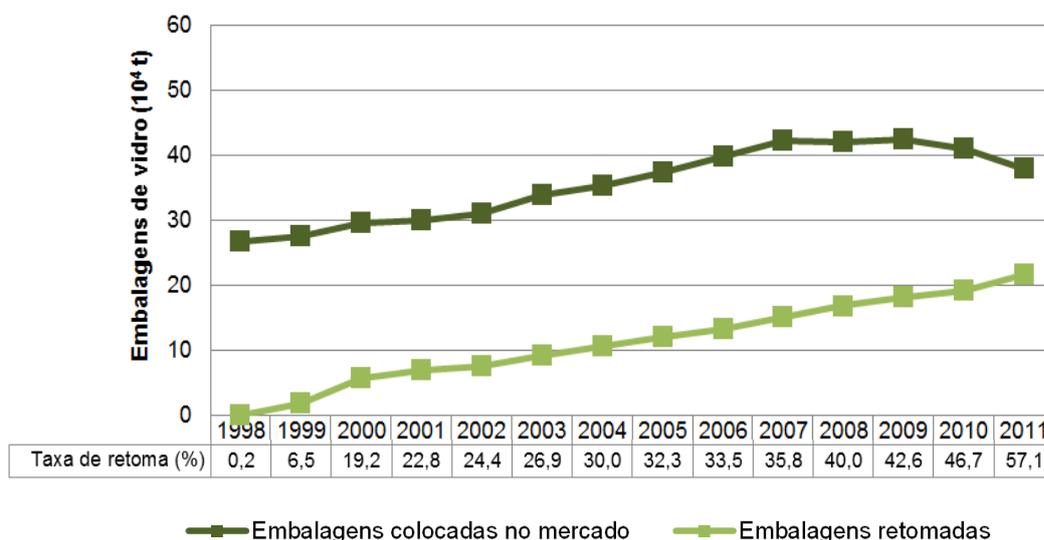


Fig. 1-5 – Evolução do quantitativo de embalagens de vidro colocadas no mercado e retomadas declaradas à SPV e respectiva taxa de retoma desde 1998 (SPV, 2012).

A metodologia para a taxa de retoma da SPV não prevê períodos de redução da quantidade de embalagens colocadas no mercado, como este que o país atravessa. A Sociedade Ponto Verde calcula a taxa de retoma dos RE no ano N através do quociente entre as embalagens retomadas no ano N e declaradas no ano N. No entanto, as embalagens declaradas no ano N dizem respeito às embalagens colocadas no mercado no ano N-1. Em alturas de redução de consumo esta metodologia parece significar que a percentagem de retoma é menor face ao que é colocado no mercado, o que não mostra a realidade.

Por este motivo, o cálculo das taxas de retoma apresentadas na Fig. 1-2 é baseado no quociente entre as embalagens retomadas no ano N e declaradas no ano N-1, isto é, embalagens colocadas no mercado no ano N.

De 2010 para 2011 deu-se um grande salto na reciclagem do vidro que se deveu a um aumento do número de embalagens retomadas e recicladas em simultâneo com uma diminuição das embalagens declaradas. Este último ano foi um ano de cumprimento de metas para a SPV e, em parte, para o país sendo que o esforço de recolha e encaminhamento para reciclagem foi muito grande. Por outro lado começou a viver-se um período de crise acentuada que levou à retracção do consumo e consequentemente à diminuição das embalagens colocadas no mercado (SPV, 2012).

Apesar do aumento da taxa de reciclagem de vidro verificado, não foi, como referido anteriormente, por apenas 0,03%, atingida a meta europeia de reciclagem de vidro (Quadro 1-1). Por outro lado, Portugal continua cerca de 10% abaixo da média europeia (Fig. 1-6).



Fig. 1-6 – Taxas de retoma de resíduos de vidro de embalagem no ano 2011 nos diferentes países europeus (FEVE, 2013).

A diferença deste resultado (59,7%) para a recalculada taxa de retoma da SPV de 2011 (57,1%) na Fig. 1-2 tem a ver com algumas toneladas de vidro que ainda são entregues directamente às indústrias vidreiras, que não passam pela SPV, mas são contabilizadas pela fileira do vidro (AIVE CERV). A AIVE CERV também considera no seu cálculo as embalagens de vidro colocadas no mercado no mesmo ano que as embalagens retomadas.

Segundo a AIVE CERV em (água&ambiente, 2013), “nos movimentos transfronteiriços, o grande peso é a importação de casco [de vidro] tratado e não tratado”. Segundo a VIDROCICLO, para suprir a falta de resíduos de vidro nacional, uma significativa percentagem dos resíduos processados por

esta empresa são importados. Isto significa que se está a contribuir para as taxas de reciclagem dos países de onde este material é originário (Directiva 2004/12/CE).

Apesar das mencionadas vantagens da reciclagem de vidro e, como visto no subcapítulo anterior, da existência de infraestruturas de um sistema de recolha selectiva, as taxas de retomas de RE de vidro estão abaixo das metas europeias.

As baixas taxas de reciclagem de vidro, em Portugal como em outros países europeus, podem indicar uma deposição do vidro no contentor de resíduos indiferenciados, uma reutilização elevada dos resíduos de vidro da parte dos consumidores como também a não declaração de embalagens de vidro recicladas provenientes de circuitos paralelos (Cruz & Marques, 2012).

Existe alguma dificuldade em contabilizar a quantidade de vidro reutilizado e de vidro não declarado, no entanto, relativamente a este último e segundo alguns responsáveis das instalações de TMB dos SMAUTS estudados, estes circuitos podem ter um significativo impacto nas taxas de retoma acima mencionadas.

Relativamente à deposição de vidro juntamente com os resíduos indiferenciados pode considerar-se um quantitativo significativo. Em 2011 foram produzidas, em Portugal, 5.159.000 toneladas de RSU, sendo que 5,8% corresponde a vidro (APA, 2013), o que perfaz um total de 300.000 toneladas de vidro presente nos indiferenciados. Destas 300 mil toneladas estimam-se que 90.792 toneladas sigam directamente para aterro (APA, 2013). Muitos SMAUTS possuem instalações de valorização orgânica para resíduos indiferenciados e por isso este vidro segue juntamente com os resíduos indiferenciados para TMB.

1.5. TMB DE RSU – RELEVÂNCIA E SITUAÇÃO NACIONAL

Como introduzido anteriormente, o TMB surgiu com o principal objectivo de desviar os RUB de aterro. O interesse nesta solução tem aumentado, também devido à dificuldade de implementação de estratégias de incineração. E, apesar de mais desenvolvida em países como Alemanha, Áustria, Espanha, Inglaterra e Itália (Juniper, 2005), esta alternativa tem recebido um activo e crescente interesse por partes de outros países como França e Portugal.

A flexibilidade do TMB que permite que este possa ser integrado na maioria das estratégias de gestão de resíduos (Ambirumo, 2010; Juniper, 2005) assim como a facilidade na sua implementação no que concerne à oposição da comunidade (Juniper, 2005) são factores vantajosos para esta alternativa de gestão de resíduos.

Existem, no entanto, alguns pontos desvantajosos no TMB outros destinos como o facto de se tratar de uma tecnologia de tratamento intermédia, sendo ainda necessário processamento a montante e/ou a jusante (ex.: reciclagem e incineração). Por outro lado, existe ainda um risco associado ao valor comercial ou viabilidade dos seus fluxos de saída (Juniper, 2005).

Como referido anteriormente, Portugal não atingiu as metas de valorização e deposição estabelecidas no PERSU II. No entanto, tem havido um grande esforço na construção de instalações de TMB. Relativamente ao tratamento de resíduos orgânicos provenientes de recolha selectiva em 2012 em Portugal estavam registadas 7 instalações, sendo que 5 estavam em operação, uma em construção e uma em projecto.

A Tabela 1-1 inclui a lista de todas as instalações de TMB portuguesas que alimentam o processo com resíduos indiferenciados – 6 instalações que entraram em funcionamento anteriormente ao ano 2012, mais 4 que entraram em funcionamento posteriormente e se encontram em fase de testes, 4 em construção e mais 1 em projecto. Posto isto, prevê-se que 13 instalações de tratamento de resíduos indiferenciados estarão em funcionamento em 2014.

Tabela 1-1 - Instalações de TMB alimentadas com resíduos indiferenciados existentes em Portugal estando em funcionamento, em construção ou previstas.

Sistema	Nome da infra-estrutura	Tratamento/Digestão	Início da Exploração
AMARSUL	E. C. de Setúbal	Aeróbia	Jan-95
AMBILITAL	E. C. de Santiago do Cacém	Aeróbia	Jun – 12 Em testes
BRAVAL	E. C. de Póvoa de Lanhoso	Anaeróbia de RSU Aeróbia de Verdes	Em construção
ERSUC	E. C. de Aveiro	Anaeróbia e Aeróbia	Set-12 Em testes
	E. C. de Coimbra	Anaeróbia e Aeróbia	Set-12 Em testes
GESAMB	E. C. de Évora	Aeróbia	Prevista para 2013
Resíduos do Nordeste	E. C. de Mirandela	Anaeróbia	Em construção
RESIESTRELA	E. C. do Fundão	Aeróbia	Nov-01
RESINORTE	E. C. de Famalicão	Aeróbia com uso de biorreactores	Em remodelação Prevista para Mar-13
RESITEJO	E. C. da Chamusca	Anaeróbia e Aeróbia	Prevista
SULDOURO	CVO da SULDOURO	Anaeróbia e Aeróbia	Nov-10
TRATOLIXO	E. C. de Cascais	Aeróbia	Nov-91 Em fim de vida
	E. C. da Abrunheira	Anaeróbia	Mar-12 Em testes
VALNOR	CVO de Avis	Anaeróbia e Aeróbia	Mai-09
VALORLIS	CVO de Leiria	Anaeróbia e Aeróbia	Ago-11 Em afinação

Existem variadas combinações de processos no TMB (Juniper, 2005). O TMB das instalações estudadas divide-se em três fases. O fluxo de material que atravessa estas três fases é apresentado no diagrama do TMB mostrado simplifadamente na Fig. 1-7.

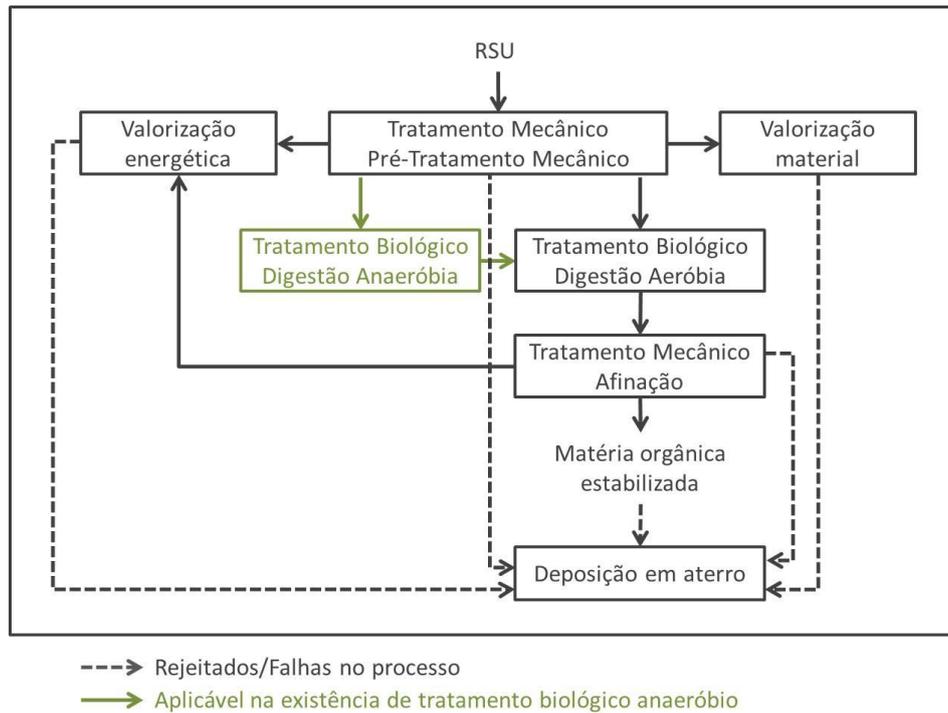


Fig. 1-7– Diagrama de fluxo de sólidos do TMB simplificado. Adaptado de (Enviros Consulting Limited, 2007).

O TMB é constituído por dois tipos de tratamento, o mecânico para remover outros materiais da fracção orgânica e o biológico para a sua decomposição e estabilização (Juniper, 2005). O tratamento biológico pode ser aeróbio ou anaeróbio, consoante a fracção orgânica seja estabilizada na presença ou ausência de oxigénio, respectivamente. Contudo, como referido no subcapítulo anterior, apesar dos programas de promoção de recolha selectiva dos materiais recicláveis (vidro, papel cartão, metais e plástico), ainda há uma quantidade considerável destes que são depositados com os resíduos sólidos urbanos indiferenciados. Por este motivo, para além de removerem materiais contaminantes do composto, muitas instalações de TMB têm como objectivo adicional a recuperação de materiais recicláveis, que consoante o grau de contaminação, pode ser enviada para reciclagem multimaterial (Ambirumo, 2010).

Tendo em consideração a hierarquia dos resíduos, a recuperação de recicláveis no TMB não deve ser preferida à recuperação por recolha selectiva. Por outro lado, os materiais recicláveis recuperados na instalação de TMB, apresentam, em geral, um valor comercial inferior ao valor dos materiais recicláveis provenientes de recolha selectiva devido ao seu elevado grau de contaminação. Relativamente ao valor de compensação pago pela SPV, como anteriormente referido, existe também um decréscimo.

Na inviabilidade de valorização material (reciclagem) os contaminantes da fracção orgânica devem ser encaminhados para valorização energética. Por sua vez, na impossibilidade de valorizar energeticamente a opção final terá de ser a deposição em aterro. Esta última opção é a dada aos inertes constituintes do designado “rejeitado pesado”. O rejeitado pesado poderá ser proveniente tanto do processo de pré-tratamento mecânico como do processo de afinação (Fig. 1-7).

1.6. RECUPERAÇÃO DE VIDRO NO TMB DE RESÍDUOS INDIFERENCIADOS

Estudos anteriores de (Dias & Carvalho, 2012) e (Dias, et al., 2011b) englobaram análises granulométrica e de composição do rejeitado pesado de duas instalações de TMB. Os estudos revelaram que este rejeitado apresenta uma elevada percentagem de vidro que é, actualmente, enviada para aterro porque o teor em contaminantes, maioritariamente pedras, apresenta-se acima das especificações impostas pelas indústrias de processamento de resíduos de vidro que utilizam um processo de triagem óptica para a sua recuperação.

A triagem óptica divide-se em duas fases – uma de detecção óptica e outra de remoção por sopro do contaminante detectado. As pedras são o contaminante mais problemático do ponto de vista da remoção. Segundo os responsáveis da instalação VIDROCICLO, referida em Dias (2011), a sua subesfericidade provoca uma trajectória não previsível entre a detecção óptica e a sua remoção causando a sua recuperação no produto de concentrado de vidro.

Um equipamento de concentração gravítica denominado de RecGlass foi desenvolvido para recuperação do vidro contido no rejeitado pesado do TMB (TMB_r) e eliminação sobretudo das pedras e outros materiais constituídos por partículas subsféricas (Dias & Carvalho, 2011b). Neste estudo foi possível concentrar o vidro, recuperando cerca de 80% desse vidro e eliminando cerca de 60% das pedras presentes (Dias & Carvalho, 2011b; Dias, 2011).

1.7. MOTIVAÇÃO E OBJECTIVO

Como referido anteriormente, Portugal apresenta taxas de reciclagem de vidro menores que o ambicionado considerando o contexto europeu. Marques, et al. (2012) refere que para aumentar a eficiência do sistema de gestão de resíduos, os SMAUTS portugueses devem aumentar significativamente recuperação de matéria-prima a partir dos resíduos nomeadamente no que respeita ao vidro recolhido. Existe uma efectiva necessidade de recuperar vidro.

Apesar de ambientalmente mais favoráveis e de terem associado uma maior sustentabilidade, as medidas preventivas e de deposição selectiva dos resíduos têm vindo aumentar a reciclagem de resíduos mais rapidamente que o ambicionado. Esta morosidade tem por vezes como consequência a criação de danos irreversíveis no ambiente.

Apesar de ambientalmente menos favoráveis que as medidas de implementação de recolha selectiva, as medidas de recuperação de materiais recicláveis através de soluções técnicas parece indispensável (Dias & Carvalho, 2012), contribuindo para uma solução mais rápida e que evite mais danos por deposição em aterro e por exploração de matéria – prima.

Como mencionado no subcapítulo anterior, o equipamento RecGlass mostrou resultados favoráveis na remoção de pedras e recuperação de vidro do rejeitado pesado do TMB e deu origem a um projecto financiado pela SPV que adoptou o nome do equipamento – RecGlass que, por sua vez, deu origem à presente dissertação de mestrado.

O número de instalações de TMB de resíduos indiferenciados está actualmente em crescimento e todas prevêem a geração de um “rejeitado pesado”. Prevê-se um significativo aumento no quantitativo deste produto.

Como objectivo principal, pretende-se nesta dissertação **estimar o quantitativo de vidro do rejeitado pesado das instalações em estudo para 2014**, ano em que está previsto estarem em funcionamento 8 novas instalações de TMB de indiferenciados. Foi, por isso, analisado o vidro contido no rejeitado pesado do TMB de todas as instalações de tratamento de resíduos indiferenciados em operação em 2012.

É também objectivo **estudar o potencial de recuperação deste vidro**. Os principais factores limitantes da reciclagem do vidro são o calibre, a humidade e o teor em contaminantes, pelo que é fundamental para este estudo uma análise da distribuição granulométrica, do teor em humidade e a classificação dos contaminantes constituintes do TMB.

Por fim pretende-se **analisar os factores, ao nível do TMB, determinantes para o aparecimento de vidro no TMB**, motivo pelo qual foi analisado o processamento de cada instalação.

As instalações que constituem o caso de estudo são todas as instalações de tratamento de resíduos indiferenciados em operação em 2012 - AMARSUL (AS), RESIESTRELA (RE), TRATOLIXO (TL), SULDOURO (SD), VALNOR (VN) e VALORLIS (VL). A VALORLIS e a TRATOLIXO, apesar de terem

implementada a recolha selectiva para materiais orgânicos, encaminham para a valorização orgânica os resíduos provenientes da recolha selectiva de orgânicos juntamente com os indiferenciados.

A Fig. 1-8 mostra a localização, em mapa de Portugal, das instalações em estudo.



Fig. 1-8 - Localização geográfica das zonas das instalações de TMB de resíduos indiferenciados em operação em 2012

1.8. METODOLOGIA GERAL E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação teve início com uma pesquisa bibliográfica acerca do TMB e das instalações escolhidas para caso de estudo. De forma a conhecer de perto os processos das instalações de TMB e esclarecer dúvidas foram realizadas visitas às 6 instalações de TMB de indiferenciados e a uma de recolha selectiva (VALORSUL). Foi pedida, durante as visitas, ao responsável pelo processo, uma amostra de TMBr que foi transportada imediatamente após a visita, ou enviada posteriormente, para o laboratório do CERENA para caracterização.

A etapa seguinte consistiu no trabalho experimental com a preparação das amostras para as análises granulométrica e de composição.

Por fim, foi feita uma análise conjunta do processamento realizado em todas as instalações e dos resultados do trabalho experimental.

A dissertação foi estruturada em 5 capítulos, para além da introdução, e 2 anexos que se enumeram de seguida.

1. **Estado da arte** – É feita uma revisão bibliográfica dos factores determinantes para as baixas taxas de retoma de vidro de embalagem. É também explicado o TMB e os seus processos constituintes. Por fim, são descritos estudos com foco na recuperação de recicláveis do TMB, nomeadamente estudos de recuperação de vidro do TMBr.
2. **Metodologia** – É descrita a metodologia usada na análise dos diagramas de processamento das instalações assim como nas análises laboratoriais de teor em humidade, granulometria e composição do TMBr.
3. **Resultados e discussão** – São analisados os diagramas de processamento de cada instalação em estudo destacando os processos directamente relacionados com a geração do rejeitado pesado. É apresentada uma análise crítica aos resultados da caracterização das amostras tendo em conta a análise dos processos referida anteriormente. É estimada a quantidade de vidro contido no rejeitado pesado do TMB em cada instalação.
4. **Considerações finais** – São discutidas as premissas assumidas para a estimação da quantidade de vidro contido no rejeitado pesado do TMB e discutidos alguns pontos relacionados com a descontaminação do vidro proveniente deste fluxo.
5. **Conclusões e trabalho futuro** – É possível concluir quanto à quantidade de vidro presente no rejeitado pesado do TMB, e descrever algumas limitações do estudo. Estabelecem-se linhas orientadoras para estudos futuros, para os quais este estudo possa servir de base, com informação útil.

Após as referências bibliográficas foram ainda incorporados 2 anexos: Anexo I - Metodologia usada na análise granulométrica e de composição do TMBr e Anexo II- Resultados das caracterizações para cada sub-amostra analisada.

2. ESTADO DA ARTE

Este capítulo faz uma revisão da literatura criando bases sólidas para o estudo que se segue. São revistos os factores determinantes para as baixas taxas de retoma de vidro de embalagem, explicados os processos constituintes do TMB destacando aqueles directamente relacionados com a geração do rejeitado pesado. São também descritos os estudos relativos à recuperação de recicláveis do TMB, nomeadamente estudos de recuperação de vidro de embalagem do rejeitado do TMB.

2.1. TAXAS DE RECOLHA SELECTIVA DE VIDRO

Os factores que influenciam as baixas taxas de recolha selectiva ajudam a encontrar os factores que determinam o aparecimento de vidro, entre outros recicláveis, nos indiferenciados e servem de base para tomadas de decisão políticas que procurem melhores resultados no que diz respeito à problemática dos resíduos.

2.1.1. Estudos nacionais

Apesar de existirem em Portugal infra-estruturas para depósito de resíduos separadamente, possivelmente por esta separação depender significativamente do esforço dos cidadãos (Halvorsen, 2012), a deposição de vidro juntamente com os resíduos indiferenciados é actualmente ainda elevada em Portugal. Como já introduzido anteriormente, no ano 2011, foram contabilizados cerca de 300.000 toneladas de vidro juntamente com os resíduos indiferenciados (APA, 2013).

Um estudo de Martinho (1998) determinou alguns factores determinantes para o comportamento dos cidadãos face à reciclagem dos RE de vidro. Tendo em consideração a data de realização deste estudo algumas conclusões do mesmo não foram aqui consideradas por aparentemente dependerem fortemente do espaço temporal.

Uma dos aspectos mais importantes é a conveniência, sobretudo relativa à distância aos equipamentos de deposição selectiva. De acordo com este estudo, as taxas de participação são mais elevadas quando o utente percorre menores distâncias.

Outro aspecto importante é a divulgação de informação, os cidadãos que participam na reciclagem encontram-se melhor informados sobre os assuntos relacionados com os resíduos. No entanto, e apesar das normas sociais e do nível de conscientização em relação à problemática dos resíduos serem conhecidas tanto por cidadãos recicladores como não recicladores, a efectiva influência destas normas no comportamento individual pode estar a falhar por falta de sentido de responsabilização pela causa e resolução dos problemas ambientais derivados dos resíduos.

No mesmo estudo foi possível concluir também que apesar de contribuírem com maiores quantidades de vidro, os residentes de moradias apresentam uma taxa de desvio de vidro do contentor dos indiferenciados qualitativamente inferior, relativamente aos cidadãos residentes em prédios.

A participação na reciclagem parece aumentar com o aumento da faixa etária, com níveis de educação, *status* profissional e rendimentos superiores e com uma permanência no local de residência superior (Martinho, 1998). O grupo de cidadãos inquerido no estudo que participa na reciclagem, comparativamente ao grupo que não participa, vive em média há mais anos no local onde residia.

Alguns estudos que encontraram variáveis explicativas da não-participação na reciclagem, como o de Martinho (1998), datam há mais de uma década. E como observado no capítulo anterior, tem-se vindo a verificar um efectivo aumento nas taxas de recolha selectiva. No entanto, tendo em conta o contexto europeu, deparamo-nos actualmente com taxas de reciclagem abaixo da média. Este facto pode estar relacionado com a morosidade associada às medidas que dependem fortemente da mudança de hábitos dos cidadãos, como é o caso da recolha selectiva, bem como com a dificuldade de implementação de novas medidas como as de incentivo financeiro como taxas sobre a quantidade de resíduo produzido por família.

2.1.2. Estudos internacionais

Dada a escassez de estudos portugueses e recentes relativos apenas à recolha selectiva de vidro de embalagem, os estudos que se apresentam de seguida são internacionais e dizem respeito à deposição de resíduos em geral para reciclagem, admitindo-se aqui que com os RE de vidro se poderiam obter conclusões semelhantes.

Os instrumentos utilizados são, em grande parte dos estudos, inquéritos à população. Apesar de os inquéritos poderem não reproduzir a realidade exacta a “intenção de separar os resíduos para reciclagem” tem uma influência significativa no comportamento relativamente à efectiva acção de os separar (Latif, et al., 2011; Best & Kneip, 2011).

Conveniência

As aspirações, as motivações, os tipos de viagens e os meios de transporte que a população utiliza são variáveis com uma forte correlação com a separação dos resíduos para reciclagem na Escócia (Ball & Lawson, 2004). No entanto, Latif, et al. (2011) na Malásia, Hage, et al. (2009) na Suécia, Martin, et al. (2006) no Reino Unido e Palatnik, et al. (2005) em Israel defendem que o factor “conveniência” é um dos mais importantes para levar o cidadão a separar os resíduos. González-Torre, et al. (2003) comparou as populações de uma cidade espanhola e de uma americana quanto

ao comportamento face à reciclagem. Mostrou que o tempo requerido para alcançar um local para deposição selectiva dos resíduos é significativamente mais baixo no caso espanhol quando comparado com o caso americano, onde as taxas de reciclagem apresentam-se muito mais baixas. Estes resultados vão ao encontro dos estudos referidos, pode-se concluir que uma deposição selectiva mais rápida e conveniente promove mais facilmente hábitos de separação de resíduos. Best & Kneip (2011) e Jenkins, et al. (2003), com estudos na Alemanha e nos EUA, respectivamente, indo também ao encontro dos estudos mencionados anteriormente, mostram que a existência de contentores de recolha selectiva gera uma taxa de reciclagem superior, comparativamente à existência de um centro de triagem, aonde os cidadãos têm de se deslocar. A capacidade dos contentores de recolha selectiva não parece ter influência no comportamento dos cidadãos, o que reforça a teoria de que é preferível a colocação de um maior número de contentores (menor distância ao contentor) com menor capacidade (González-Torre, et al., 2003).

Sensibilização ambiental

O sentimento de estar a gerar benefícios ambientais, a obrigação moral de o fazer e o esforço da parte dos outros indivíduos são também factores apontados por Hage, et al. (2009).

Nalguns casos, as famílias são influenciadas pelas acções dos vizinhos mais próximos. Estas influências aparentam diminuir com o aumento do comprimento de quarteirões contíguos de prédios (Shaw, 2007).

A sensibilização ambiental é um dos vectores mais importantes na reciclagem dos resíduos. Educar a população aumenta também as taxas de reciclagem. A despesa acumulada em educação nesta matéria aumenta a taxa de reciclagem com um nível de significância de 10% - o estudo realizado por Sidique, et al. (2009) mostrou que, no seu caso de estudo, despende um dólar por pessoa por ano aumenta a taxa de reciclagem em cerca de 2%.

Ver notícias na televisão ou ler publicações científicas, assim como ter livros em casa tem uma forte correlação com a separação dos resíduos. E ver televisão comercial tem uma correlação negativa com os esforços no sentido da reciclagem dos resíduos (Martin, et al., 2006). Por outro lado, os meios de comunicação referidos em primeiro lugar constituem fontes de informação de procedimentos favoráveis ao ambiente e de incentivo à reciclagem (Mainieri, et al., 1997).

Ball, et al. (2004) realizou entrevistas a participantes e não participantes na reciclagem do vidro com o objectivo de apurar os factores sociais determinantes do mesmo. Curiosamente, os resultados indicaram, ao contrário dos estudos referidos anteriormente, que as campanhas de sensibilização para a reciclagem do vidro geraram pouco impacto em ambos os grupos.

Estabelecimento de normas

O estabelecimento de normas comunitárias de reciclagem é, defendido por vários estudos, um factor importante para um comportamento mais correcto face à reciclagem (Schultz, et al., 1995; Noehammer & Byer, 1997). O sucesso do uso de pressões sociais que induzem à reciclagem poderá ser maior quando os moradores se vêem como parte da comunidade. Por exemplo, a população rural poderá ser mais afectada pelas normas sociais do que os moradores de apartamentos (Schultz, et al., 1995). Mais tarde, Hage, et al. (2009) defendem que nem as normas sociais nem as normas legais influenciam o comportamento individual para a separação de resíduos, uma vez que tanto as normas sociais como legais são tipicamente mediadas através de normas morais pessoais.

Incentivos financeiros

As normas ganham uma influência maior quando passam por incentivos financeiros. Incentivos que recorrem a sanções financeiras aquando da não separação dos resíduos afectam significativamente a participação na reciclagem (Timlett & Williams, 2008). Pagar por peso ou volume de resíduo produzido mostrou também ser uma medida bem-sucedida no aumento das taxas de reciclagem em alguns países europeus como em Israel (Price, 2001; Scott & Watson, 2000; Palatnik, et al., 2005).

Incentivos financeiros que compensam a reciclagem dos resíduos mostram ter um impacte, apesar de limitado, positivo na mudança de comportamentos. O programa piloto de incentivos domésticos do DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) no Reino Unido tem vários projectos baseados na recompensa comunitária (AEAT, 2006):

- Campeonato das comunidades locais, com prémios para a comunidade com melhor desempenho.
- Recompensas financeiras pagas à comunidade para gastar em projectos ou melhorias ao nível ambiental.
- Campeonatos de reciclagem.
- Doações de caridade.
- Recompensas para as escolas locais.

A maioria destes projectos demonstrou uma mudança positiva no comportamento face à reciclagem, pois houve um aumento dos materiais recicláveis recolhidos (AEAT, 2006).

Características demográficas

O “espaço de armazenamento suficiente” como um dos maiores factores para a participação dos cidadãos na reciclagem (Martin, et al., 2006). Martin, et al., (2006), tal como Martinho (1998) em Portugal, concluiu que a participação tende a ser maior em estratos etários e sociais superiores,

possivelmente devido em parte à disponibilidade de tempo e de espaço de armazenamento, respectivamente. As famílias com mais tempo (reformados e/ou sem crianças) tendem a ser mais participativos na separação de resíduos que as famílias com menor disponibilidade (famílias com crianças).

Hage, et al. (2009) também referem que o esforço de participar na reciclagem aumenta com o estrato etário. No entanto, refere que as outras características demográficas são pobres na explicação do comportamento dos cidadãos face à reciclagem. Corral-Verdugo (2003) num estudo no Norte do México, pelo contrário, conclui que as características demográficas, incluindo a idade, o género e nível de educação, não têm influência na prática de separação de resíduos.

Timlett & Williams (2009) no Reino Unido, assim como Martinho (1998) em Portugal, acrescentam factores demográficos como o fluxo populacional e a densidade populacional como factores que influenciam claramente a participação dos cidadãos na reciclagem. Os resultados do estudo indicam que quantos maiores os fluxos e a densidade populacional, mais problemática será a deposição e resíduos selectivamente por parte dos cidadãos. O mesmo acontece com populações com um número de estudantes deslocados elevado. Os novos ocupantes têm menor tendência em serem activos na separação dos seus resíduos, com falta de informação de “como fazê-lo” como o principal motivo desta não-participação. À medida que o tempo de estadia aumenta, a taxa de participação na reciclagem aumenta também. Aparentemente, uma população estável (não-transiente) e a criação de hábitos e normas sociais é a chave para uma forte e consistente participação na reciclagem.

2.2. TRATAMENTO MECÂNICO BIOLÓGICO DE RESÍDUOS INDIFERENCIADOS

O Tratamento Mecânico Biológico (TMB) de resíduos indiferenciados tem como principal objectivo a estabilização da matéria orgânica presente nos RSU, diminuindo a lixiviação e a libertação de gases em aterro. Dada a elevada quantidade de materiais recicláveis presentes nos RSU, o TMB prevê também a recuperação destes materiais para reciclagem.

A fase do pré-tratamento mecânico é a primeira fase que tem como principais objectivos a separação e descontaminação da fracção orgânica para posterior tratamento biológico e a recuperação de alguns materiais para valorização material ou energética. Esta fase varia de instalação para instalação, dependendo dos objectivos específicos de cada uma. A segunda fase é o tratamento biológico podendo este ser aeróbio (na presença de oxigénio) ou anaeróbio (na ausência de oxigénio) com o objectivo de produzir composto e produzir energia através da formação de biogás no caso de digestão anaeróbia. Na terceira fase é feita a afinação do composto com o objectivo de descontaminar a fracção orgânica estabilizada e eventualmente recuperar materiais para produção de energia.

A Fig. 2-1 apresenta um diagrama geral de TMB aeróbio e um diagrama de TMB anaeróbio, destacando as diferentes saídas do rejeitado pesado (TMB_r).

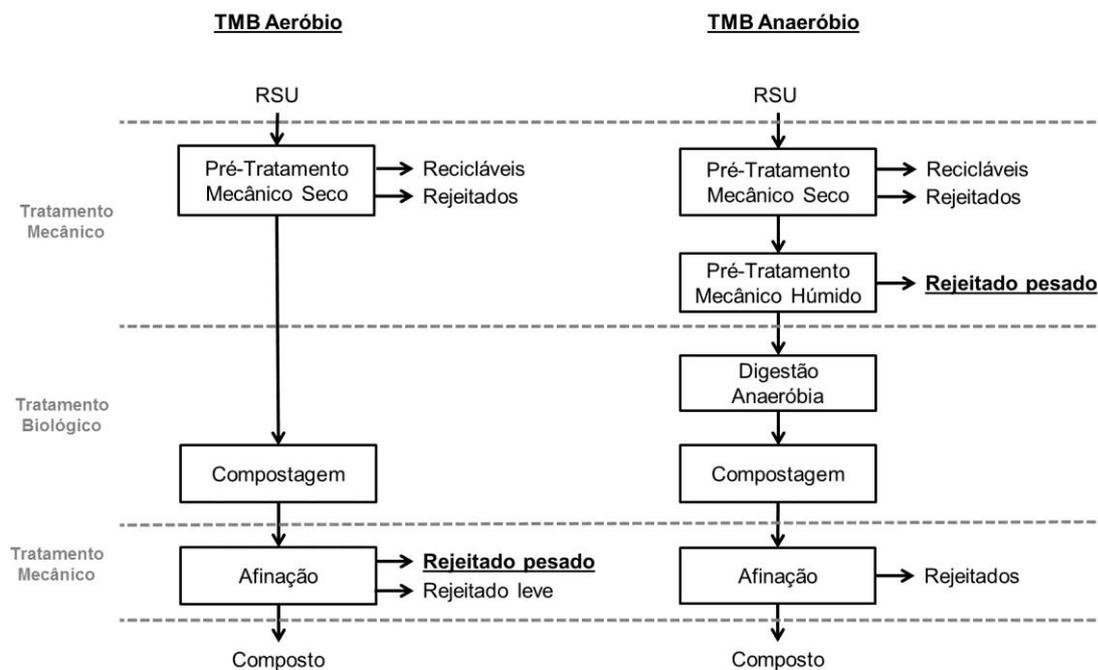


Fig. 2-1 - Diagramas simplificados de instalações de TMB aeróbio e anaeróbio.

2.2.1. Pré-Tratamento Mecânico

O pré-tratamento mecânico é constituído por várias técnicas de preparação e separação dos resíduos a húmido e a seco) que exploram várias propriedades dos materiais. Estas propriedades incluem o tamanho, geometria, densidade, susceptibilidade magnética e condutividade eléctrica (Enviros Consulting Limited, 2007). Uma listagem e explicação das técnicas de separação mais comumente usadas encontra-se no Quadro 2-1. Estas técnicas são geralmente aplicadas após descarga dos resíduos numa fossa de recepção para homogeneização e na eventual passagem do RSU por um equipamento abre-sacos.

Quadro 2-1 - Técnicas usadas no processamento de resíduos (adaptado de (Enviros Consulting Limited, 2007))

Técnica	Equipamento	Propriedade	Material separado
Crivagem	Crivo rotativo	Granulometria	Maior dimensão – plásticos, metais e P/C Menor dimensão – orgânicos, vidro e pedras
Triagem manual	Tapete alimentador e operador	Características visuais	Monstros, plástico e P/C
Separação Magnética	Electroímã	Susceptibilidade magnética	Metais ferrosos
Separação electromagnética	Separador por correntes “Foucault”	Condutividade eléctrica	Metais não ferrosos
Separação óptica	Triador óptico	Opacidade	Polímeros de plástico específicos (PET, PEAD e filme plástico)
Separação balística	Separador balístico	Volume e geometria	Menor dimensão – orgânicos Rolantes – pedras Planos – plásticos e papel
Desintegração de matéria orgânica	Pulper		
Separação centrífuga	Hidrociclone	Densidade	Menor densidade – orgânicos, plásticos Maior densidade - vidro e pedras
Espessamento	Espessador	Densidade	Menor densidade – orgânicos, plásticos Maior densidade - vidro e pedras

Na existência de um abre-sacos anterior à triagem manual, o vidro não é recolhido por colocar em risco a segurança dos trabalhadores. Algumas instalações optam por não fazer a separação do papel e cartão por este ter níveis de humidade tão elevados por não serem oferecidas contrapartidas para valorização por reciclagem.

No caso das instalações de TMB com digestão anaeróbia o rejeitado pesado é proveniente do *pulper* do TM Húmido. Nas restantes instalações o rejeitado pesado é proveniente de processos da fase de afinação de que se abordará no item 2.2.3.

A Fig. 2-2 mostra imagens de alguns processos do pré-tratamento mecânico existentes nas instalações de TMB.



Fig. 2-2 – Alguns processos e equipamentos usados usualmente no Pré-Tratamento Mecânico: A) Abresacos B) Cabine de triagem manual C) Separador por correntes de *Foucault* D) Triador óptico E) Separador Balístico F) Crivo rotativo

Após o Pré-Tratamento Mecânico a fracção orgânica segue para Tratamento Biológico para se proceder à sua decomposição. É de notar, no entanto, que parte deste processo de decomposição ocorre ainda no Pré-Tratamento Mecânico (Ponsá, et al., 2010; Lornage, et al., 2007).

2.2.2. Tratamento Biológico

O Tratamento Biológico tem como objectivo a degradação e estabilização da fracção orgânica proveniente do pré-tratamento mecânico. Através da acção de microrganismos e em condições controladas, o TMB produz matéria orgânica estabilizada que pode ser armazenada, manuseada e depositada sem riscos para o ambiente e saúde pública (Christensaaen, 2011). Em algumas instalações de TMB o objectivo principal é apenas produzir um material biologicamente estável para deposição em aterro, enquanto em outras o objectivo é produzir material fertilizante agrícola (Juniper, 2005)

A digestão aeróbia, também designada de compostagem, é comumente composta pelo revolvimento, arejamento e maturação da fracção orgânica e, nas instalações estudadas é feita em túneis (corredores) ou em silos (pavilhões de compostagem). Na existência de revolvimento é utilizada uma revolteadora que periodicamente mistura e avança o material no corredor ou no silo, iniciando o processo num dos extremos. O comprimento do corredor e a frequência do revolvimento condiciona a duração do processo de compostagem. Na compostagem é também controlada a

humidade pela adição de água através de um sistema de irrigação e pela adição de material estruturante. Este último contribui também para o arejamento da fracção orgânica. A compostagem finaliza quando a decomposição microbiológica se completa e a matéria orgânica é transformada em húmus através do processo de maturação, que consiste no repouso do composto.

A digestão anaeróbia requer a existência de digestores. Nestes digestores ocorre a degradação da matéria orgânica por microrganismos na ausência de oxigénio formando-se o biogás que pode ser aproveitado para produção de energia eléctrica.

Após o tempo pré-definido de retenção no digestor, a suspensão é bombeada para um processo de desidratação por prensas que faz a separação da fase líquida e sólida. A fracção sólida segue para ser compostada e a fracção líquida segue para tratamento de águas.

O biogás produzido nos digestores é armazenado num gasómetro e depois queimado em motogeradores produzindo energia eléctrica, a qual é, em Portugal, injectada na rede eléctrica nacional.

Apesar de haver recirculação de água nos processos, no balanço final há um excesso de água que após tratamento na ETAR segue para o colector municipal.

A Fig. 2-3 mostra alguns processos do tratamento biológico existentes nas instalações de TMB.



Fig. 2-3 - Processos e equipamento usados usualmente no tratamento biológico: A) Compostagem em túneis B) Compostagem em silos C) Digestor à direita e gasómetro à esquerda

Após o tratamento biológico a fracção orgânica, considerada estabilizada, contém, no entanto, alguns contaminantes que devem ser removidos mecanicamente com a etapa de afinação.

2.2.3. Afinação

A afinação da fracção orgânica tem como objectivo a remoção de inertes e outros contaminantes da fracção orgânica estabilizada. A afinação da matéria compostada compreende várias técnicas de separação incluídas no Quadro 2-2. A estas técnicas de separação pode ser adicionado um processo de trituração para redução do calibre das partículas (RESIESTRELA, 2012).

Quadro 2-2 - Técnicas de afinação. Adaptado de (Enviros Consulting Limited, 2007)

Técnica	Equipamento	Propriedade	Material separado
Crivagem	Crivo rotativo	Granulometria	Maior dimensão – contaminantes Menor dimensão – orgânicos (composto)
Separação densimétrica	Mesa densimétrica	Densidade	Leves – plásticos Densos – vidro, pedras, cerâmica e tijolo
Separação centrífuga	Ciclone	Densidade	Leves – poeiras e pequenos plásticos Densos – orgânicos, vidro e pedras
Separação densimétrica	Filtro de mangas	Densidade	Leves – poeiras e pequenos plásticos Densos – orgânicos, vidro e pedras

O rejeitado pesado das instalações de digestão aeróbia estudadas neste trabalho são provenientes da mesa densimétrica ou de um crivo da afinação.

A Fig. 2-4 mostra alguns processos de afinação existentes nas instalações de TMB.



Fig. 2-4 - Alguns processos e equipamento usados usualmente na afinação: A) Crivo B) Mesa densimétrica

2.3. RECUPERAÇÃO DE RE NO TMB DE RESÍDUOS INDIFERENCIADOS

2.3.1. Resíduos de embalagem

Os processos de Tratamento Mecânico do TMB permitem, como referido no capítulo anterior, a recuperação de muito materiais recicláveis.

Teixeira (2009) estimou, com base na instalação de TMB portuguesa – VALNOR e numa instalação espanhola, a contribuição da recuperação de materiais de no TMB no alcance das metas europeias para a reciclagem de RE recorrendo a três cenários (sem implementação de novas instalações de TMB, com implementação de instalações de TMB com taxas de recuperação de RE moderadas e com implementação de instalações de TMB com taxas de recuperação de RE optimistas).

O estudo teve como principais conclusões:

- As metas para a reciclagem de RE de papel, plástico e madeira seriam atingidas mesmo sem recurso à recuperação por TMB, no entanto, no caso do papel e do plástico, este contribuiria significativamente para o seu aumento.
- A meta para a reciclagem de RE de metais seria atingida somente com recurso adicional do Tratamento Mecânico de indiferenciados.
- A meta para a reciclagem do vidro seria a mais preocupante pois não seria atingida nem através do cenário mais optimista.

A Fig. 2-5 apresenta as metas europeias e a taxa de retoma do vidro, plástico, P/C, metal e madeira contidos nos RE em 2011 destacando o contributo do TMB. Os valores relativos ao material vidro foram obtidos através de correio electrónico com a AIVE CERV.

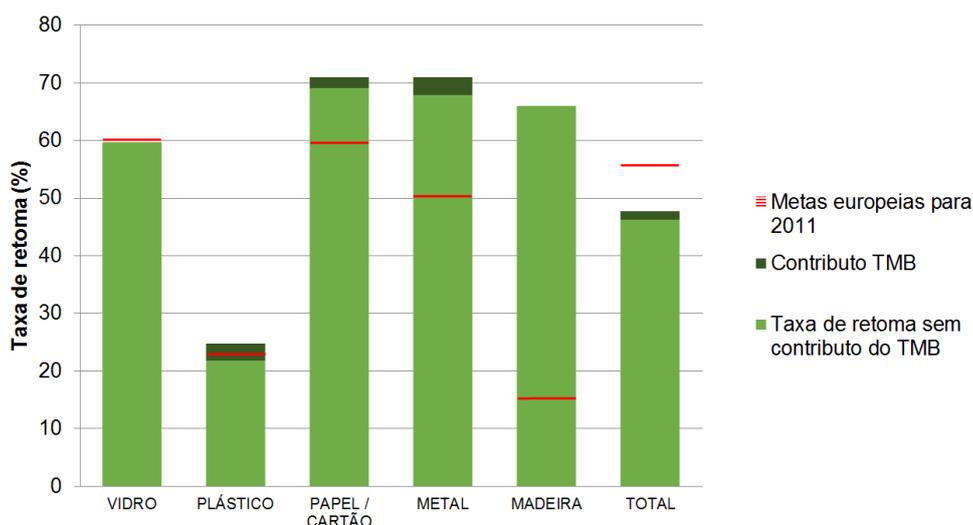


Fig. 2-5 – Metas europeias e taxa de retoma do vidro, plástico, P/C, metal e madeira contidos nos RE em 2011 com e sem o contributo do TMB. Fonte: (SPV, 2012; Embopar, 2013 e Directiva 2004/12/CE)

Segundo os dados apresentados na Fig.2-5, as metas de reciclagem de RE de papel, plástico e madeira foram atingidas em 2011 mesmo sem o contributo do TMB, no entanto, o contributo foi de 1,88, 3,04 e 0% respectivamente. A meta para reciclagem de RE de metais, ao contrário do esperado em Teixeira (2009), foi atingida também sem o recurso ao TMB. A meta para a reciclagem de RE de vidro além de não ter sido totalmente atingida, não teve qualquer contributo do TMB.

Uma avaliação do potencial na recuperação de materiais recicláveis do TMB foi elaborada por Costa (2010), também anteriormente ao ano de cumprimento de metas. Neste estudo, para além da identificação do potencial do TMB na recuperação de materiais, o autor procurou identificar as limitações na valorização de materiais e propor medidas e estratégias para o melhoramento do desempenho das unidades de TMB ao nível da triagem de recicláveis.

O estudo teve, entre outras, as seguintes conclusões:

- As unidades de TMB apresentam grande potencial para recuperação de materiais recicláveis, designadamente vidro, cartão metal e plástico.
- Existência de tecnologia disponível que permite taxas de reciclagem no Tratamento Mecânico superiores a 10%, sendo que é ao nível dos plásticos que o potencial de reciclagem se apresentava maior.
- Das unidades de TMB em operação e em construção em Portugal em 2010, algumas das maiores unidades não previam a instalação de equipamentos, considerados pelo autor, como essenciais para o alcance de elevadas taxas de reciclagem. O autor acrescentou que melhorias deviam ser feitas neste âmbito sobretudo através da intervenção da APA.

2.3.2. RE de vidro contido no rejeitado pesado

Como já introduzido no capítulo anterior, Dias (2011) caracterizou o rejeitado pesado de duas instalações de TMB - a instalação de TMB do Ecoparque de Trajouce da TRATOLIXO, de digestão aeróbia e em funcionamento desde 1991 e a instalação de TMB da VALNOR, de também de digestão aeróbia e em funcionamento desde 2009.

Ao contrário da conclusão obtida por Costa (2010) aquando da análise de 26 instalações nacionais e internacionais, as duas instalações (TRATOLIXO e VALNOR), não tem tecnologia para a recuperação de vidro. Como explicado no capítulo anterior, um fluxo de saída que tem como destino a deposição em aterro, denominado de rejeitado pesado concentra todos os inertes, e conseqüentemente o vidro presente nos RSU tratados. Dias (2011) caracterizou o rejeitado pesado proveniente desta instalação com vista à recuperação de vidro do mesmo através da tecnologia RecGlass (Dias & Carvalho, 2011b).

Na investigação realizada nesse estudo, concluiu-se que o rejeitado pesado de TMB da TRATOLIXO é composto em mais de 80% por vidro. Para além do vidro este rejeitado é composto sobretudo por pedras e matéria orgânica (material que constitui a maior parte da classe designada “outros”). Na

instalação VALNOR obtiveram-se resultados muito diferentes. Dias et al. (2011b) concluiu que o rejeitado pesado de TMB da VALNOR é composto aproximadamente por 50% de matéria orgânica. O vidro constitui menos de 35% deste rejeitado seguido de cerca de 15% de pedras.

Os resultados das análises de composição para ambas as instalações são apresentados na Fig. 2-6.

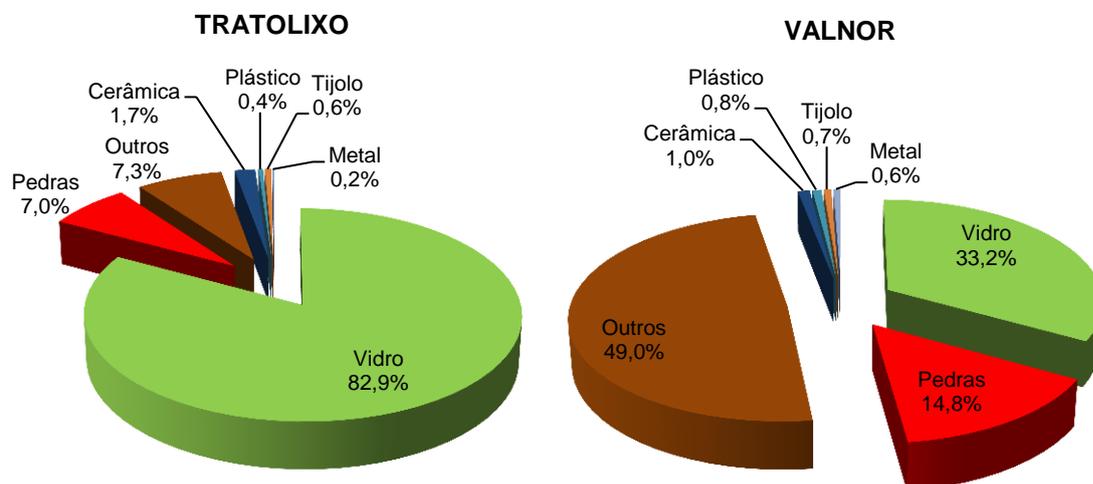


Fig. 2-6 – Análise da composição do rejeitado pesado da TRATOLIXO e da VALNOR (Dias, 2011; Dias, et al., 2011b).

Como referido anteriormente, os equipamentos de recuperação de vidro têm limitações granulométricas e por isso nestes estudos apresentam-se também análises granulométricas. Foi possível concluir que, na instalação TRATOLIXO, o TMBr é constituído especialmente por partículas de calibre de $-11,2+5,6\text{mm}$ e que o vidro existe em maiores quantias na fracção $-5,6\text{ mm}$. Na instalação VALNOR, o TMBr concentra-se na fracção $-5,6\text{mm}$ mas o teor em vidro é mais elevado na fracção $+5,6\text{mm}$.

As Tabelas 2-1 e 2-2 apresentam a distribuição granulométrica dos rejeitados pesados estudados.

Tabela 2-1 – Distribuição granulométrica e composição da amostra de rejeitado pesado da instalação TRATOLIXO.

Fracção granulométrica (mm)	% em peso	TRATOLIXO - Teor (%)							
		VIDRO	Cerâmica	Pedras	Tijolo	Metal	Plástico	Outros	Total
-16 + 11,2	7,97	89,62	5,03	3,37	0,93	0,00	1,06	0,00	100,00
-11,2 + 8	36,14	89,72	2,44	4,29	0,51	0,36	0,29	2,39	100,00
-8 + 5,6	36,97	85,61	0,94	6,65	0,77	0,03	0,41	5,59	100,00
-5,6 + 4	11,03	74,87	0,96	13,66	0,29	0,14	0,48	9,60	100,00
-4 +2,8	5,04	68,10	0,00	24,06	0,00	0,00	0,00	7,85	100,00
Infra 2,8	2,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Total	100,00	82,87	1,73	6,99	0,57	0,16	0,40	7,28	100,00

Tabela 2-2 - Distribuição granulométrica e composição da amostra de rejeitado pesado da instalação VALNOR.

Fracção Granulométrica (mm)	% em peso	VALNOR - Teor (%)							Total
		VIDRO	Cerâmica	Pedras	Tijolo	Metal	Plástico	Outros	
-11,2 + 8	10,00	62,34	7,47	11,53	1,14	6,01	0,16	11,36	100,00
-8 + 5,6	29,70	57,24	0,55	19,30	0,88	0,00	1,48	20,56	100,00
- 5,6 + 4	23,12	33,92	0,42	25,92	0,92	0,00	0,71	38,10	100,00
- 4 + 2,8	10,76	19,57	0,00	17,87	0,62	0,00	1,23	60,71	100,00
Infra 2,8	26,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Total	100,00	33,18	1,01	14,76	0,65	0,60	0,75	49,05	100,00

Os contaminantes do casco de vidro afectam consideravelmente a qualidade do produto final. Alguns contaminantes como os infusíveis (cerâmica, pedras, porcelana e pirocerâmica) fundem a uma temperatura superior ao vidro de embalagem causando uma mudança na aparência do produto final devido a inclusão sólida deste material (Dias, 2011).

Para o vidro contido no rejeitado pesado poder ser reciclado deve cumprir com as especificações exigidas pelas indústrias vidreiras (Quadro 2-3). O contaminante “matéria orgânica “ referido no quadro inclui papel, borracha, plástico, tecidos e madeira.

Quadro 2-3 - Especificações técnicas para a retoma de resíduos de embalagens de vidro na indústria vidreira. Fonte: Regulamento N. o 1179/2012 da Comissão Europeia

Contaminantes	Teor (ppm)	Teor (%)
Infusíveis por casco de vidro > 1mm	≤ 100	0,010
Infusíveis por casco de vidro ≤ 1mm	≤ 1 500	0,150
Metais ferrosos	≤ 50	0,005
Metais não ferrosos	≤ 60	0,006
Matéria Orgânica	≤ 2 000	0,200

No caso do TMBR da TRATOLIXO e da VALNOR o casco de vidro contido neste não cumpre com as especificações exigidas.

A venda dos resíduos de embalagens dos fluxos complementares obedece ao mercado livre dos resíduos, pelo que os requisitos do comprador é que ditam a qualidade do material. Porém, segundo a SPV, as fábricas de reciclagem deste material são retomadoras da SPV e as especificações

técnicas da SPV têm por base os critérios de aceitação destes resíduos nessas instalações. Assim, podem considerar-se as especificações da SPV que são apresentadas no Quadro 2-4.

Quadro 2-4 - Especificações técnicas para a retoma de resíduos de embalagens de vidro.

Fonte: SPV, 2012

	Materiais	Teor (%)
Produto	Casco de vidro	≥ 98,00
	Infusíveis com dimensão ≤ 40 mm	≤ 0,05
Contaminantes	Metais ferrosos	≤ 0,75
	Metais não ferrosos	≤ 0,20
	Matéria Orgânica	≤ 0,50

Segundo as especificações da SPV, e contabilizando os contaminantes do casco de vidro contido no TMBR das instalações TRATOLIXO e VALNOR, este casco também não é aceite para reciclagem (Dias, 2011; Dias, et al., 2011b).

Para além dos contaminantes existem mais dois factores que limitam a reciclagem de resíduos de vidro: humidade e calibre das partículas.

A humidade é normalmente proveniente de material orgânico contido no produto, de águas pluviais caso o resíduo seja armazenado em local sem cobertura ou de processamento húmido (tratamento mecânico húmido). O excesso de humidade resulta em aglomeração das partículas, pois a humidade aumenta a aderência de umas partículas a outras e também aos equipamentos de processamento diminuindo significativamente a sua eficiência. No triador óptico a humidade torna a superfície do vidro mais opaca e por isso é detectado pelos sensores e removido. Por outro lado deve haver uma humidade mínima de modo a minimizar a libertação de poeiras produzidas durante o processo de descarregamento e armazenamento do casco (Remade Scotland, 2004).

A triagem óptica das unidades de descontaminação do casco de vidro apresenta também algumas limitações ao nível do calibre das partículas. Quanto menor o calibre do casco contaminado mais difícil se torna a remoção dos contaminantes através das tecnologia de separação usada actualmente, podendo tornar a reciclagem inviável. No caso dos equipamentos utilizados pela VIDROCICLO que utiliza a tecnologia mais moderna, triadores ópticos Clarity (Binder Co), o casco deve ter um calibre de 5mm para garantir a sua recuperação (Dias, 2011). No entanto, já se encontram disponíveis equipamentos com sensores com resoluções menores, nomeadamente com uma resolução de 3mm (Binder+Co, 2013). Contudo, não estão implementados na indústria recicladora portuguesa pelo que não é possível garantir que se atinjam estes valores.

Como introduzido anteriormente, dos contaminantes referidos (Quadro 2-3 e 2-4), a pedra é o mais problemático para a triagem óptica, a sua subesfericidade provoca uma trajectória não previsível entre a detecção óptica e a sua remoção, e por isso não é reconhecida pelo sensor óptico.

Um equipamento de concentração gravítica denominado de RecGlass para recuperação do vidro contido no rejeitado pesado e eliminação sobretudo do contaminante pedra (Dias & Carvalho, 2011b). O processamento do rejeitado pesado das instalações TRATOLIXO e VALNOR com este equipamento apresentou melhores resultados, isto é, maior recuperação de vidro e maior remoção de pedras, para partículas de menor calibre, inferiores a 11,2mm (Dias, 2011).

Para além dos factores limitantes técnicos humidade, calibre e contaminação existe o factor económico a ter em consideração. Caso o processamento do TMBr aumentar significativamente os custos de reciclagem do vidro, pode tornar-se economicamente inviável a recuperação do vidro a partir do TMBr.

Actualmente existem 4 outras instalações em funcionamento, como visto anteriormente, incluindo instalações com processos de TMB diferentes das que serviram de caso de estudo a estes dois trabalhos, pelo que se torna necessário ter em consideração outros casos de estudo portugueses para tirar conclusões ao nível nacional relativamente ao vidro contido no rejeitado pesado do TMB. Por outro lado é necessário quantificar o caudal de vidro proveniente deste rejeitado para obter o potencial da recuperação do mesmo (Dias, et al., 2013).

3. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia usada no estudo em 3 partes. Primeiramente é explicada a metodologia usada na análise dos diagramas do processamento das instalações de TMB. De seguida é explicada a metodologia da análise laboratorial ao rejeitado pesado do TMB do teor em humidade, granulometria e composição. Por fim, é explicado o cálculo efectuado para estimação do total de vidro contido no rejeitado pesado das instalações em operação em 2014.

3.1. INSTALAÇÕES DE TMB DE RSU ACTUALMENTE EM FUNCIONAMENTO

As características do TMB (granulometria, composição e teor em humidade) são determinadas pelo diagrama do processo, por parâmetros dos equipamentos, pela eficiência dos equipamentos e pelas características da alimentação da instalação, que considerando a composição, são determinadas por práticas anteriores ao processo de TMB especialmente relacionadas com a eficiência do sistema de recolha selectiva e com a cidadania dos munícipes (Dias, et al., 2013).

O estudo das instalações de TMB de resíduos indiferenciados foi iniciado com uma pesquisa bibliográfica, com reuniões com a Sra. Eng.^a Ana Sofia Vaz da APA e com os Srs. Eng.^{os} Paulo Roque (VIDROCICLO), Susana Ângelo (SPV), Joana Frazão e Ana Teresa Barbosa (TRATOLIXO) e Sara Geraldo (VALNOR).

O estudo seguiu com uma visita a todas as instalações de TMB em funcionamento onde as dúvidas foram esclarecidas. Informações adicionais foram obtidas via email ou através de contacto telefónico com os responsáveis das instalações.

É importante realçar que no presente estudo foram somente estudadas as instalações de TMB que alimentam o processo com resíduos sólidos indiferenciados. As restantes instalações, que alimentam o processo apenas com resíduos verdes ou orgânicos provenientes de recolha selectiva, não contêm vidro, ou a quantidade do mesmo não é significativa, segundo informações obtidas junto dos responsáveis das instalações em questão. Isto foi confirmado em visita à instalação de TMB da VALORSUL e por via telefónica com o responsável do TMB da LIPOR, Sr. Dr. Fernando Leite.

Note-se também que o ano 2012 foi o ano de testes para uma das instalações em estudo - VALORLIS - e o ano de afinação dos processos para outra instalação em estudo - SULDOURO.

Os diagramas de processo de cada instalação foram analisados e comparados entre si e os processos pelos quais o rejeitado pesado atravessa foram seleccionados.

No que diz respeito às características da alimentação do TMB, em particular teor em humidade e composição, em todas as instalações é analisada apenas a fracção com calibre superior a 20mm, sendo a fracção inferior a 20mm classificada como "Finos". Considerando que o vidro fragmenta-se

muito facilmente, o material constituído por partículas com dimensão inferior a 20mm poderá constituir uma fracção de extrema importância para este estudo.

Os dados relativos aos diagramas das instalações de TMB, como balanços de massa e fluxos de entrada e saída, não estão disponíveis na Agência Portuguesa do Ambiente, pelo menos, por SMAUT, pelo que foram obtidos por contacto directo com cada instalação em estudo.

3.2. CARACTERÍSTICAS DO TMB

Uma amostra, pesando entre 35 a 60 Kg dependendo da instalação, foi recolhida em cada instalação de TMB e entregue no laboratório CERENA-IST. A responsabilidade da representatividade das amostras é das instalações.

É importante realçar que as amostras da TRATOLIXO do Ecoparque de Trajouce e VALNOR foram recolhidas no mês de Outubro de 2010 e 2011, respectivamente, enquanto as restantes foram recolhidas nos meses de Fevereiro (AMARSUL), Maio e Junho de 2012 (restantes instalações).

A metodologia usada para a caracterização é a desenvolvida na dissertação de (Dias, 2011) que foi utilizada com as amostras da TRATOLIXO e VALNOR e pode-se resumir nas 6 etapas seguintes:

- Homogeneização da amostra recebida – Ao receber a amostra, esta foi cuidadosamente homogeneizada com o auxílio de uma pá de forma a evitar fragmentação das partículas (Fig. 3-1 A).
- Divisão da amostra em sub-amostras – A divisão da amostra, para tornar viável uma análise à escala laboratorial, foi realizada através de um divisor Jones para as amostras provenientes de rejeitados com partículas de granulometria inferior a 16 mm (Fig.3-1 B). Para as amostras com partículas de granulometria superior a 16 mm foi feita a divisão através do método de quarteamento manual (Fig. 3-1 C).
- Secagem das sub-amostras – Realizada numa estufa estabilizada a 105°C até atingir um peso constante (Fig. 3-1 D), determinando-se a humidade de acordo com a norma CEN/TS 15414-1:2006.
- Cálculo da humidade inicial da amostra - O cálculo foi feito através da divisão da diferença do peso húmido e seco e o peso húmido. É importante realçar que, com excepção da VALORLIS, todas as instalações enviaram ao CERENA a amostra húmida sem o valor do teor em humidade analisado, portanto, os resultados da humidade podem ter variado durante o transporte, especialmente porque as amostras não estavam acondicionadas em condições que mantivessem a humidade inicial.
- Análise granulométrica – Procedeu-se a uma crivagem em agitador mecânico (Fig. 3-1 E) seguida de uma crivagem manual. Usou-se uma série de 6 crivos com abertura da malha de

16,0; 11,2; 8,0; 5,6; 4,0 e 2,8mm. Apesar de uma análise granulométrica correcta obrigar à utilização de crivos de malha superior a 16 mm no caso das amostras das instalações da VALORLIS e SULDOURO, pois cerca de 50% do material tem calibre superior a 16 mm, optou-se, por questões de uniformização e de objectivo do estudo, por utilizar a mesma série de crivagem para todas as amostras provenientes das diferentes instalações.

- Análise de composição - Cada fracção granulométrica foi submetida a uma análise de composição manual (Fig. 3-1 F) de modo a classificar as partículas presentes no rejeitado nas classes dos seguintes materiais: plástico, metal (inclui metais ferrosos e não ferrosos), vidro, cerâmica, tijolo, pedras e “outros” – classe composta por matéria orgânica e materiais de difícil identificação. Foram realizadas um total de 69 análises (3 sub-amostras por cada instalação, 3 instalações com 6 fracções granulométricas e 1 instalação com 5 fracções granulométricas).



Fig. 3-1 – Preparação das amostras. A) Homogeneização. B) Divisão no divisor Jones. C) Divisão por quartejamento. D) Secagem na estufa. E) Crivagem mecânica. F) Análise de composição manual.

Adaptado de (Dias, et al., 2013)

As fracções granulométricas infra 2,8 mm não foram analisadas do ponto de vista da composição por serem compostas, na sua maioria, por partículas de material orgânico e terra e também por apresentarem um calibre que dificulta a separação manual dos restantes materiais. Assim, esta fracção foi classificada na sua totalidade como “outros”.

Pelo mesmo motivo, em relação à análise de composição do material na fracção -4 + 2,8 mm, tal como em Dias (2011), foram constituídas apenas as classes pedras, vidro e “outros” (incluindo-se nesta classe tijolo, metal, cerâmica e plástico).

3.3. ESTIMAÇÃO DO QUANTITATIVO DE VIDRO CONTIDO NO REJEITADO PESADO DAS INSTALAÇÕES DE TMB EM OPERAÇÃO EM 2014

Não existem dados relativos aos rejeitados pesados das instalações de TMB de resíduos indiferenciados que estarão em funcionamento no ano de 2014. No entanto, um valor aproximado pode ser estimado a partir da capacidade nominal das novas instalações que foi obtida através de pesquisa bibliográfica ou contacto directo com os responsáveis das instalações de TMB e a partir do quantitativo de vidro contido no rejeitado pesado das instalações de TMB de resíduos indiferenciados em operação em 2011. Assumiu-se aqui que é possível obter este quantitativo de vidro a partir da determinação da composição obtida a partir de amostras pontuais analisadas no presente trabalho.

O quantitativo de vidro contido no rejeitado pesado das instalações de TMB em operação em 2011 é o somatório dos produtos dos caudais anuais de TMB_r (obtido na análise das instalações de TMB) pelos teores de vidro (obtido na análise de composição do TMB_r) de cada instalação.

Não foram consideradas as instalações que se prevê não vão estar em funcionamento em 2014 que é o caso da instalação da TRATOLIXO do Ecoparque de Trajouce que se encontra actualmente numa fase de fim de vida.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objectivo deste capítulo é apresentar os resultados da caracterização do rejeitado pesado proveniente das instalações em estudo em termos de teor em humidade, de distribuição granulométrica e de composição das partículas. Para melhor compreensão dos resultados foram estudadas e relacionadas as características dos diagramas de processamento e parâmetros do TMB de cada instalação em estudo com os resultados da análise laboratorial. Por fim, procedeu-se à estimação do quantitativo de vidro contida no TMB das instalações em operação em 2014 e foram discutidos alguns desafios técnicos da recuperação deste material a partir deste fluxo.

Os resultados apresentados neste capítulo integram o conteúdo do artigo intitulado *Packaging glass contained in the heavy residual fraction refused by Portuguese MBT plants* submetido na revista internacional *Resources, Conservation & Recycling* (Dias, et al., 2013).

4.1. INSTALAÇÕES DE TMB

4.1.1. Instalações de TMB de RSU actualmente em funcionamento

Nesta parte do trabalho são analisados os casos de estudo. A listagem das instalações que constituem os casos de estudo pode ser vista na Tabela 4-1, que inclui algumas informações gerais como as referentes aos municípios abrangidos pela instalação e à alimentação em RSU no ano de 2011.

Tabela 4-1 - Listagem das instalações que foram casos de estudo neste trabalho e informações gerais respectivas relativas ao ano 2011.

Sistema	Abreviatura	Nome da infra-estrutura	Municípios Abrangidos	Nº de habitantes (a)	Alimentação em RSU (Kg/hab)	Teor em vidro no RSU (%)
AMARSUL	AS	EC de Setúbal	Município de Setúbal	126 013	317,0 (b)	N.a.
RESIESTRELA	RE	EC do Fundão	Almeida, Belmonte, Celorico da Beira, Figueira de Castelo Rodrigo, Fornos de Algodres, Fundão, Guarda, Manteigas, Meda, Penamacor, Pinhel, Sabugal Trancoso e Covilhã (cliente externo)	226 001	221,2	3,30
SULDOURO	SD	CVO da SULDOURO	Vila Nova de Gaia e Santa Maria da Feira	460 148	93,4 (c)	4,38
TRATOLIXO	TL	EC de Cascais	Cascais, Mafra, Oeiras e Sintra	900 831	171,9	3,39
VALNOR	VN	EC de Avis	Idanha a Nova, Oleiros, Sertã, Proença a Nova, Vila Velha de Rodão, Vila de Rei, Mação, Nisa, Sardoal, Abrantes, Gavião, Castelo de Vide, Marvão, Crato, Ponte de Sôr, Alter do Chão, Portalegre, Avis, Fronteira, Monforte, Arronches, Campo Maior, Elvas, Sousel (abrange Castelo Branco apenas desde 2012)	209 134	598,9	2,48
VALORLIS	VL	CVO de Leiria	Circuitos preferenciais nos municípios Pombal, Ourém, Leiria, Batalha, Porto de Mós e Marinha Grande; Nazaré e Alcobaça pertencentes a VALORSUL.	238 248 – 390 846	74,8-122,8 (d) (e)	3,12

(a) Fonte: INE, 2011; (b) Valor reduzido face à média anual devido a paragem de 2 meses para o inclusão de uma linha de separação automática; (c) Valor de projecto; d) A VALORLIS recorre a circuitos preferenciais pelo que os valores relativos ao *Nº de habitantes* e *Alimentação em RSU (Kg/hab)* não são fixos; e) Valor reduzido face ao valor de projecto devido ao facto de 2011 ser o ano de arranque da instalação.

A instalação pertencente à TRATOLIXO é a que maior número de habitantes abrange, ultrapassando os 900 mil habitantes, seguida da SULDOURO. A instalação pertencente à AMARSUL, por sua vez, é a que abrange o menor número de habitantes, não alcançando os 200 mil. A instalação pertencente à VALORLIS provém de circuitos preferenciais pelo que não é possível associar um número exacto de habitantes à instalação mas apenas um intervalo possível de valores.

O caudal da alimentação em RSU das instalações é variável de instalação para instalação. A instalação da SULDOURO é a instalação que alimenta o TMB com menor quantidade de RSU por habitante. A VALNOR, no extremo oposto, é a instalação que alimenta o TMB com maior quantidade de RSU por habitante. Este valor elevado deve-se ao facto de, no período em análise a instalação ter sido alimentada com resíduos provenientes da TRATOLIXO. Note-se que, apesar de contabilizados, estes resíduos são tratados separadamente dos resíduos provenientes do sistema VALNOR.

Relativamente ao teor em vidro do RSU verifica-se que é a instalação SULDOURO a que apresenta um teor mais elevado e a VALNOR a que apresenta um teor em vidro mais baixo. As restantes instalações apresentam teores intermédios de cerca de 3%.

Deste subcapítulo em diante a identificação da instalação será dada pelo nome do sistema (ex. "AMARSUL" ou "AS" significam instalação de TMB pertencente ao sistema AMARSUL).

4.1.2. Fluxos de saída das instalações

Foi ainda feita a análise da percentagem de rejeitados e refugos que seguem para aterro e reciclagem.

A informação relativa a todos os fluxos de saída de cada instalação para o ano de recolha da amostra encontra-se resumida na Tabela 4-2 e estão representados nos diagramas do Anexo IV. Note-se que no caso da RESIESTRELA só foram disponibilizados os fluxos relativos ao ano de 2011, ano anterior ao da recolha da amostra.

Tabela 4-2 - Percentagem dos fluxos de saída relativamente à alimentação das CVO. Resultados em %

Instalação	Composto produzido (%)	Rejeitados e refugos (%)						TOTAL (%)
		Aterro		Incineração	Reciclagem		Material para CDR (a)	
		Rej.pesado	Outros		Vidro	Outros		
AS	10,1	3,5	49,5	0,0	0,0	2,3	3,1	68,6
RE	4,0	34,0		0,0	0,0	7,2	28,5	73,7
SD (a)	2,6	16,7	51,0	0,0	0,0	1,5	0,3	72,1
TL	9,7	5,1	62,1	3,4	0,0	2,7	3,1	86,1
VN	18,2	9,4	5,6	0,0	0,5	13,9	31,1	78,7
VL (a)	6,0	15,1	51,9	0,0	0,0	2,1	N.a.	75,1

(a) Em fase de afinação ou testes;

Note-se que durante a digestão aeróbia e anaeróbia existem perdas significativas através da libertação de gases e lixiviados pelo que os valores apresentados na tabela representam aproximadamente apenas 69 a 86% da alimentação em RSU.

De acordo com a tabela acima a VALNOR é a instalação que maior percentagem de composto produz com cerca de 18%. A RESIESTRELA e a VALORLIS, por outro lado, são as instalações que menos composto produzem face à alimentação em RSU, com 4 e 6% respectivamente.

Relativamente à quantidade de rejeitados e refugos que seguem para aterro a TRATOLIXO e a VALORLIS são as instalações que maiores valores apresentam com cerca de 62 e 63% respectivamente. A RESIESTRELA e a VALNOR, pelo contrário, são as instalações que menor quantidade de rejeitados e refugos envia para aterro com cerca de 34% e 15%, respectivamente. No que diz respeito à reciclagem é a instalação SULDOURO e novamente VALORLIS que menores percentagens apresentam com cerca de 1,5% e 1,4% respectivamente. A VALNOR que é a que maior recuperação de recicláveis apresenta com cerca de 14% seguida da RESIESTRELA mas com metade deste valor, sendo que a VALNOR é a única instalação que recupera vidro.

A TRATOLIXO é a única instalação, dentro das instalações estudadas, que enviou rejeitados e refugos para incineração, tendo representado aproximadamente 3,4 % dos seus fluxos.

Relativamente ao rejeitado pesado produzido, a SULDOURO é a instalação que maiores valores apresenta com cerca de 17% e a AMARSUL com menores com cerca de 3,5%. Na RESISTRELA este rejeitado não é contabilizado por se juntar com outra linha de refugo antes da pesagem.

O material que segue para CDR (ainda em fase de testes na maioria das instalações) provém de diferentes fluxos consoante a instalação. Na AMARSUL e SULDOURO trata-se do material supra 80 mm após passagem pela triagem manual. Na RESIESTRELA e na VALNOR trata-se de todo o rejeitado do Tratamento Mecânico e ainda da afinação do composto com exceção do rejeitado pesado. Na TRATOLIXO é apenas proveniente do rejeitado leve da afinação do composto.

4.1.3. Processamento dos RSU

O processamento de RSU por TMB divide-se em 3 fases, como anteriormente introduzido: Pré-Tratamento Mecânico, Tratamento Biológico e Afinação. As diferenças e semelhanças entre as instalações estudadas ao nível dos processos constituintes destas fases são aqui descritas.

No Pré-Tratamento Mecânico, as instalações da VALORLIS e SULDOURO são as que mais se distinguem das restantes por terem incorporado uma fase húmida, que antecede um processo de digestão anaeróbia. No entanto, outros processos diferem também de instalação para instalação. Na Tabela 4-3 encontram-se descritas algumas características relevantes do Pré-Tratamento Mecânico de cada instalação de TMB.

Tabela 4-3 – Algumas características do TM que diferem de instalação para instalação

Instalação	TRATAMENTO SECO					TRATAMENTO HÚMIDO			
	Abre-sacos	Crivagem Primária (malha em mm)	Triagem Manual (nº de cabines; mat. recuperado)	Sensor Óptico (nº de equipamentos; mat. recuperado)	Separador de Metais (nº de equipamentos; mat. recuperado)	Crivagem Secundária (malha em mm)	Nº de pulpers (malha em mm)	Nº de espessadores	Nº de hidrociclones
AMARSUL	Na recepção dos RSU	180 (malha rectangular)	1; PET, PEAD e filme plástico	1; PET e PEAD	3 electroímans: metais ferrosos 1 <i>Foucault</i> : alumínio	80 (malha circular)	-	-	-
RESIESTRELA	Na recepção dos RSU	80 (malha circular)	2; filme plástico e P/C; filme plástico	3; filme plástico; ECAL; PET e PEAD	3 electroímans; Metais ferrosos	150x300 (malha rectangular)	-	-	-
SULDOURO	Na recepção dos RSU	80 (malha circular)	1; PET, PEAD, filme plástico; VE inteiro (testes)	-	1 electroíman; Metais ferrosos	-	2 (malha circular de 5mm)	2	3
TRATOLIXO	-	120 (malha circular com facas)	1; P/C e alumínio	-	1 electroíman; Metais ferrosos e aço	80 (malha circular)	-	-	-
VALNOR	Após remoção de vidro e monstros	150x300 (malha rectangular)	3; P/C e filme plástico; Monstros e vidro; P/C e têxteis	1; filme plástico	1 electroíman; Metais ferrosos	80 (2/3 circular e 1/3 rectangular)	-	-	-
VALORLIS	Na recepção dos RSU	80 (malha circular)	1; PET, PEAD e filme plástico	-	1 electroíman; Metais ferrosos	-	2 (malha circular de 10mm)	2	3

A maior parte das instalações optou por um abre-sacos na zona de recepção dos RSU. A VALNOR, no entanto, optou por fazer uma triagem de monstros e recuperar o VE (vidro de embalagem) anteriormente ao abre-sacos, de forma a poder recuperar o vidro com reduzido risco de segurança para os trabalhadores uma vez que o vidro nesta fase se encontra, na sua maioria, em embalagens inteiras. Na TRATOLIXO, por sua vez, efectua-se a abertura dos sacos, não através de um abre-sacos, mas através de um crivo primário com malha circular com facas.

À excepção da VALNOR, nenhuma outra instalação recupera vidro na instalação de TMB. Os restantes materiais recicláveis são recuperados de forma diferente de instalação para instalação. A RESISTRELA, por exemplo, recorre a triagem manual e separadores ópticos para recuperação de plásticos de maior e menor dimensão respectivamente (imediatamente após passagem pelo primeiro crivo), enquanto a SULDOURO recupera apenas os plásticos de maior dimensão (imediatamente após passagem pelo primeiro crivo).

Relativamente ao tratamento biológico e à afinação a Tabela 4-4 mostra algumas características das instalações.

Tabela 4-4 - Algumas características do TB e da afinação que diferem de instalação para instalação

Instalação	DIGESTÃO ANAERÓBIA		DIGESTÃO AERÓBIA		AFINAÇÃO DO COMPOSTO			
	Tanque de alimentação	Digestores (nº de unid. x volume)	Estruturante	Compostagem	Crivagem primária (malha em mm)	Separação densitária	Trituração	Crivagem final (malha em mm)
AMARSUL	-	-	Resíduos de podas municipais e fracção supra crivo da afinação	Em túneis com revolteadora	-	Mesa densimétrica e ciclone	-	12,0 (malha rectangular)
RESIESTRELA	-	-	-	Em silos com revolteadora	30,0 (malha circular)	Mesa densimétrica e ciclone	Existente	12,5 (malha circular)
SULDOURO	1	2x 2250 m ³	Resíduos verdes, estilha de pinho	Estática em parque fechado	-	-	-	12,0 (malha quadrada)
TRATOLIXO	-	-	-	Em parque com revolteadora	-	Mesa densimétrica e ciclone	-	20x70 (malha rectangular)
VALNOR	-	-	Resíduos de podas municipais e fracção supra crivo da afinação	Em túneis com revolteadora	12,0 (malha circular)	Mesa densimétrica e filtro de mangas	-	6,0 (malha circular)
VALORLIS	1	2x 2000 m ³	Resíduos verdes, estilha de pinho	Estática em parque fechado	-	-	-	10,0 (malha quadrada)

As etapas do Tratamento Biológico são semelhantes nas instalações SULDOURO e VALORLIS. Cada uma das instalações possui dois digestores de digestão anaeróbia e utiliza o mesmo tipo de estruturante e de compostagem na digestão aeróbia. Na afinação os processos são também idênticos à exceção da malha do crivo de afinação. A afinação em ambas as instalações resume-se apenas a uma crivagem pois o que chega de materiais inertes antropogênicos ao composto é de 0,60% e chegando até 0% de pedras, segundo a caracterização de Julho de 2012 cedida pela SULDOURO.

As restantes instalações não têm incluído no tratamento biológico uma digestão anaeróbia e os resíduos sofrem diferentes tipos de compostagem. Na instalação RESIESTRELA, tal como na TRATOLIXO não há utilização de material estruturante ao contrário das instalações AMARSUL e VALNOR. Os tipos de compostagem são também semelhantes nestas duas últimas instalações.

Na etapa de afinação, a RESIESTRELA e a VALNOR, ao contrário das outras instalações possuem 2 crivos. A RESIESTRELA possui ainda um triturador anteriormente ao último crivo para reduzir o calibre das partículas de matéria orgânica predominantes neste fluxo.

A Tabela 4-5 resume as principais características de processamento das instalações que foram consideradas poderem ter efeito nas características do TMBr e que são diferentes de instalação para instalação. As características são a remoção de vidro, a malha dos crivos de saída do TMBr, o tipo de tratamento biológico (que distingue a posição do diagrama onde o TMBr abandona o processo – TM ou afinação) e a adição de material estruturante.

Tabela 4-5 – Principais características de processamento relevantes para as características do TMBr

Instalação	Remoção de vidro	Malha do crivo de saída (mm): produto ^(a)	Tipo de tratamento biológico: Fase de saída	Adição de estruturante
AS	-	12: ic	Aeróbio: Afinação	Sim
RE	-	30: ic	Aeróbio: Afinação	-
SD	-	5: sc	Anaeróbio: TM Húmido	Sim ^(b)
TL	-	20x7: ic	Aeróbio. Afinação	-
VN	Sim	6 e 12: 6-12mm	Aeróbio: Afinação	Sim
VL	-	10: sc	Anaeróbio: TM Húmido	Sim ^(b)

^(a) ic – infracrivo; sc – supracrivo;

^(b) A adição de estruturante nas instalações de tratamento anaeróbio não influencia as características do TMBr porque este produto é removido anteriormente à adição de estruturante.

4.2. CARACTERÍSTICAS DO TMBr

Para tornar mais fácil a leitura de resultados, os resultados apresentados neste subcapítulo, à excepção dos relativos ao teor em humidade, dizem respeito a apenas uma de três sub-amostras de cada instalação. Foi escolhida a sub-amostra que apresenta o teor intermédio em vidro. A significância estatística foi medida pelo coeficiente de variação que se apresentou sempre abaixo de 50% nas análises realizadas (Afonso & Nunes, 2011). Os resultados relativos à análise granulométrica obtidos com as restantes sub-amostras apresentam-se resumidamente no Anexo II, assim como as tabelas que serviram de base à análise de composição, neste caso, apenas referentes à sub-amostra escolhida. Os dados referentes à instalação TRATOLIXO e à VALNOR foram obtidos por Dias (2011) e Dias, et al. (2011b) e os restantes foram obtidos seguindo a mesma metodologia afim de se poder proceder à comparação de resultados.

4.2.1. Teor em humidade

O teor em humidade foi analisado no mínimo em 3 sub-amostras para cada instalação e apresentou um coeficiente de variação (CV) inferior a 13%. No caso da VALORLIS a humidade foi medida pela própria instalação.

Os teores médios de humidade das amostras totais (incluindo os inertes) provenientes das diferentes instalações são mostrados na Tabela 4-6.

Tabela 4-6- Teor em humidade para cada instalação de TMB estudada

Instalação	Teor em humidade médio (%)	CV (%)
AMARSUL	13,05	1,16
RESIESTRELA	2,92	12,20
SULDOURO	12,95	8,4
TRATOLIXO	3,45	-
VALNOR	22,33	2,0
VALORLIS	12,00	-

No caso das instalações com tratamento biológico aeróbio foi observado que o teor em humidade está directamente relacionado com a presença de material estruturante que absorve a humidade. A RESIESTRELA e a TRATOLIXO apresentam um baixo teor em humidade comparativamente com as restantes amostras. Este facto deve-se provavelmente por serem as duas únicas instalações em que não existe adição de material estruturante (ver Tabela 4-5).

A AMARSUL e a VALNOR adicionam estruturante proveniente de podas de árvores e estilha. O estruturante aparece em quantidades significativas no TMBr destas duas amostras (como se verá mais à frente em maior percentagem na VALNOR) o que causa uma humidade mais elevada do que nas amostras das instalações que não adicionam este material.

No caso das instalações com tratamento biológico anaeróbio (SULDOURO e VALORLIS) existe adição de estruturante, no entanto, o TMBr é removido no pulper antes do estruturante ser alimentado (ver Tabela 4-5). O pulper é um processo integrante do pré-tratamento mecânico húmido e é seguido de um simples separador parafuso para separação líquido/sólido. O alto teor em humidade das amostras de TMBr pode dever-se à ineficiência deste processo.

4.2.2. Distribuição por classes granulométricas

Foram realizadas 3 análises com três sub-amostras para cada instalação. Os resultados de todos os ensaios granulométricos com curva cumulativa podem ser visto no ANEXO III.

Existem 3 grupos de amostras e a Fig. 4-1 mostra os três tipos de produtos através de um gráfico que reúne as distribuições granulométricas cumulativas de uma sub-amostra proveniente de cada instalação. É possível observar que existem 2 amostras mais grosseiras, VALORLIS e SULDOURO, que apresentam uma distribuição granulométrica semelhante com cerca de 88% das partículas com dimensão acima de 8mm. As amostras mais finas, AMARSUL e VALNOR também apresentam distribuição semelhante e mais de 90% das partículas com dimensão inferior a 8mm. As duas outras instalações apresentam granulometrias intermédias apresentando curvas com forma diferente.

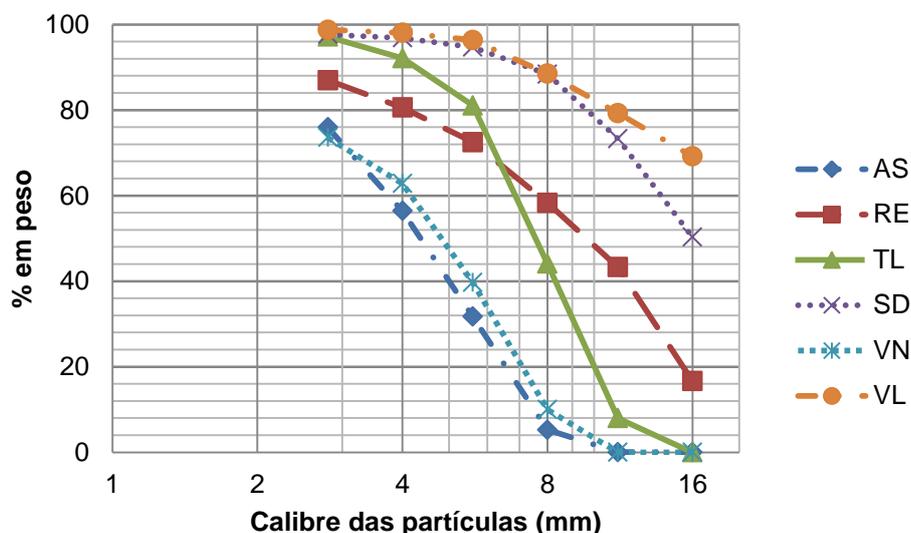


Fig. 4-1 - Distribuição granulométrica do TMBr de cada instalação

As distribuições granulométricas estão em concordância com a malha dos crivos pelos quais o rejeitado pesado abandona o processo. Existem, no entanto, duas exceções.

Na instalação da VALNOR mais do que 60% das partículas apresentam dimensões abaixo de 6mm, que é a malha do crivo de saída (ver Tabela 4-5). Este facto deve-se, provavelmente, à aglomeração

de partículas causada pelo elevado teor em humidade (ver Tabela 4-6) impedindo a passagem das partículas pelas aberturas do crivo na instalação. No entanto, depois de secas, as partículas da amostra individualizam-se o que aumenta o número de partículas finas na análise granulométrica realizada no laboratório.

Pelo contrário, a amostra da VALORLIS apresenta, aproximadamente 11% de partículas abaixo de 8mm (dimensão da malha do crivo de saída do TMBR que constitui o supracrivo) (ver Tabela 4-5). Duas possíveis causas são o subdimensionamento ou a ineficiência da crivagem.

4.2.3. Composição

Os resultados das análises de composição de uma sub-amostra de cada instalação são mostrados na Fig. 4-2. As tabelas com os resultados dos ensaios de repetibilidade são mostradas no Anexo II. Deve ser realçado que a composição global é calculada levando em conta que, como referido, a fracção - 2,8 mm foi classificada na sua totalidade como "outros" porque é composta principalmente por matéria orgânica, areia e poeira.

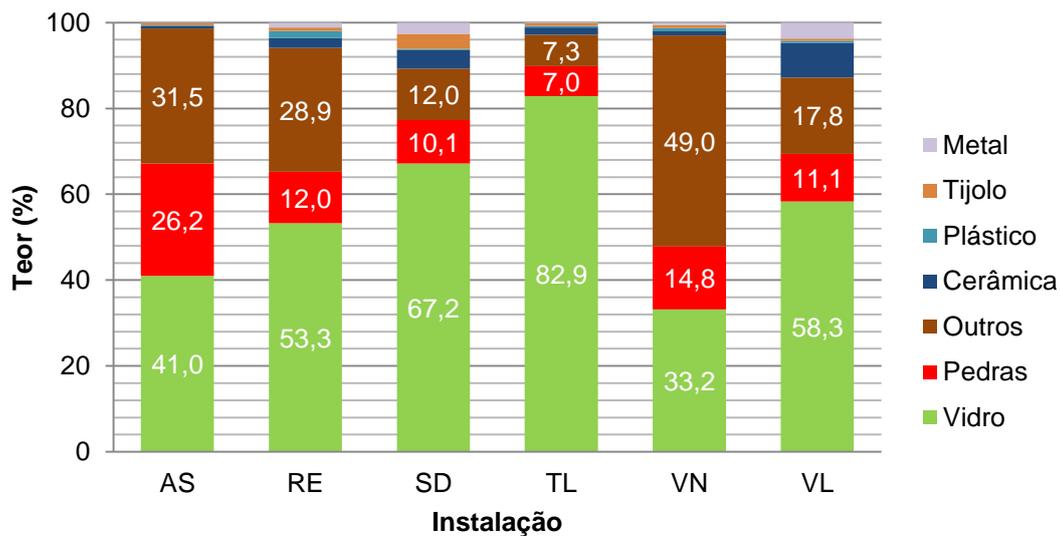


Fig. 4-2 – Composição total do TMBR de cada instalação

Foi observado que todas as amostras apresentam um elevado teor em vidro e um valor vestigial de outros recicláveis. Os principais contaminantes são as pedras e "outros".

Em ambas as instalações de digestão anaeróbia (SULDOURO e VALORLIS) é visível a eficiência do TM húmido que separa a matéria orgânica (presente na classe "outros") para TB pois este material constitui uma percentagem reduzida na composição do TMBR. O TM húmido oferece uma eficaz desintegração da matéria orgânica (constituída por partículas de menores dimensões como visto anteriormente) que facilmente atravessa a malha dos crivos dos *pulpers*.

A TRATOLIXO é a amostra com maior teor em vidro, seguida da SULDOURO, enquanto a VALNOR é a amostra com menor teor neste material. As outras instalações têm teores em vidro intermédios. Pode observar-se que quanto maior o teor em vidro, menor o teor em “outros”. No caso da VALNOR, o baixo teor em vidro pode dever-se ao elevado teor noutros componentes, à remoção manual de vidro no início do processamento do RSU (ver Tabela 4-5) assim como à presença pouco significativa de vidro no próprio RSU comparativamente a outras instalações (ver Tabela 4-1).

Vistas as semelhanças nos processos das instalações SULDOURO e VALORLIS, a diferença no teor em vidro poderia dever-se à diferença no teor da alimentação do TMB (ver Tabela 4-1). No entanto, o teor em vidro no RSU da alimentação do processamento parece ser uma variável pouco explicativa do teor em vidro do TMB, como se pode verificar na Fig. 4-3 que apresenta o teor em vidro no TMB em função do teor em vidro no RSU da alimentação.

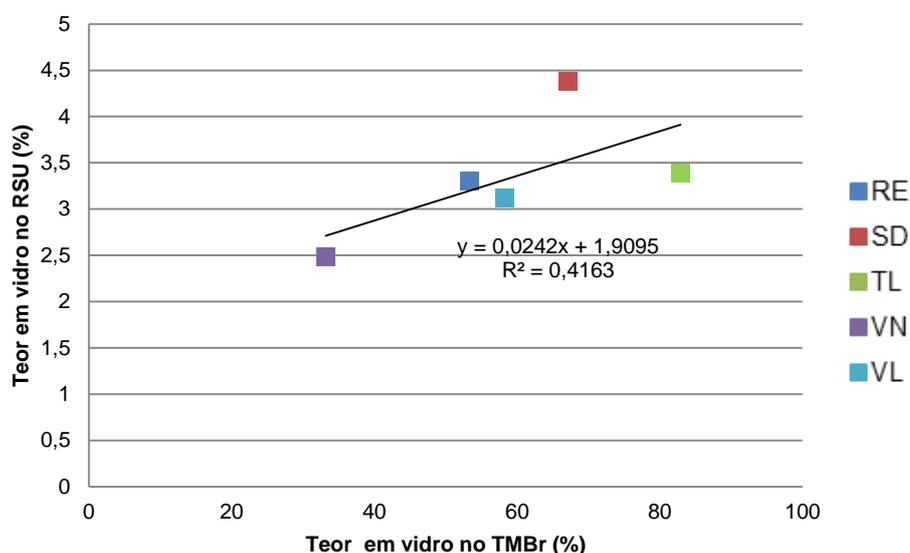


Fig. 4-3 – Teor em vidro nos RSU vs teor em vidro no TMB

O facto de o teor em vidro no RSU não contemplar as partículas de vidro existente na fracção infra 20mm, pode contribuir para o baixo coeficiente de determinação (R^2) da relação teor em vidro no RSU – teor em vidro no TMB. Apesar da baixa correlação linear, é visível na Fig. 4-3 uma tendência de um maior teor em vidro no TMB quando o RSU existe um maior teor em vidro no RSU.

A RESIESTRELA e a VALORLIS apresentam um teor em vidro muito próximo (53% e 58% respectivamente) com elevado teor em pedras e “outros”, destacando-se a RESIESTRELA com o teor em pedras mais elevado.

Um dos factores relacionado com o elevado teor em “outros” na amostra proveniente da VALNOR e AMARSUL é, para além da presença de material estruturante, o elevado teor em humidade. A humidade diminui significativamente a eficiência do processo de separação dos inertes na afinação do composto, o que faz com que uma quantidade significativa de composto fique aderida aos inertes do rejeitado pesado. O contrário ocorre na amostra da TRATOLIXO visto que, para além de não ter

material estruturante no processo, o teor em humidade é relativamente baixo o que facilita o processo de separação dos inertes do composto no processo de afinação.

Outro factor relacionado com o elevado teor em “outros” na amostra proveniente da RESIESTRELA, a qual não adiciona material estruturante no composto devido a granulometria grosseira das partículas, é, provavelmente, a ineficiência dos processos de separação anteriores à saída do TMBR.

Os teores em metal, plástico, cerâmica e tijolo são relativamente baixos quando comparados com vidro, pedras e outros em todas as instalações, e como pode ser observado no Anexo II, em todas as fracções granulométricas.

4.2.4. Distribuição dos componentes por classe granulométrica

Como referido anteriormente, a eficiência dos equipamentos ópticos utilizados actualmente nas indústrias de descontaminação de vidro cai drasticamente com o calibre das partículas e contaminação do produto, sobretudo por pedras. É, por isso, de extrema importância a análise da composição por fracção granulométrica como mostrado de seguida. As Figuras 4-4 à 4-7 mostram a distribuição granulométrica dos materiais vidro, pedras e “outros” para cada instalação. No Anexo III são mostradas as distribuições dos restantes materiais.

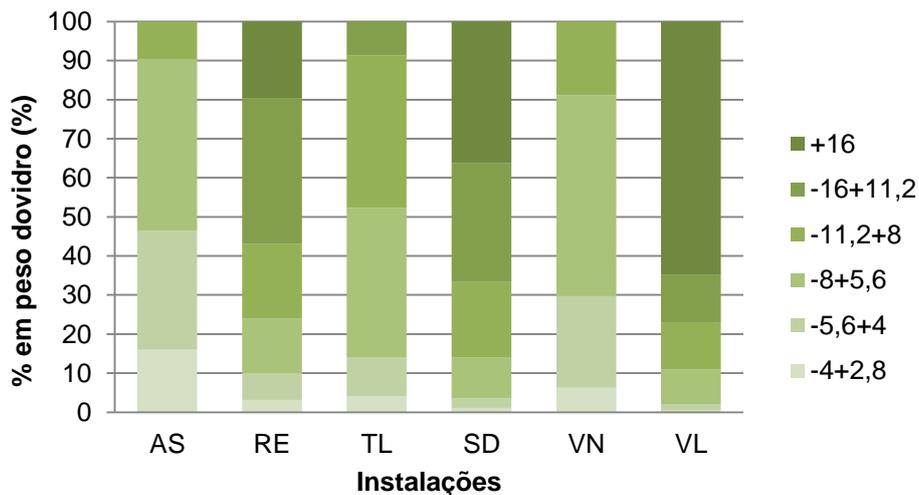


Fig. 4-4 - Distribuição granulométrica do vidro para todas as instalações

O vidro concentra-se nas fracções mais grosseiras de forma crescente na instalação AMARSUL, VALNOR, TRATOLIXO, RESIESTRELA, SULDOURO e VALORLIS. No caso da SULDOURO e da VALORLIS mais de 30% em peso do vidro concentra-se na fracção supra 16mm. Nas instalações AMARSUL e VALNOR mais de 80% do vidro em peso concentra-se na fracção infra 8mm.

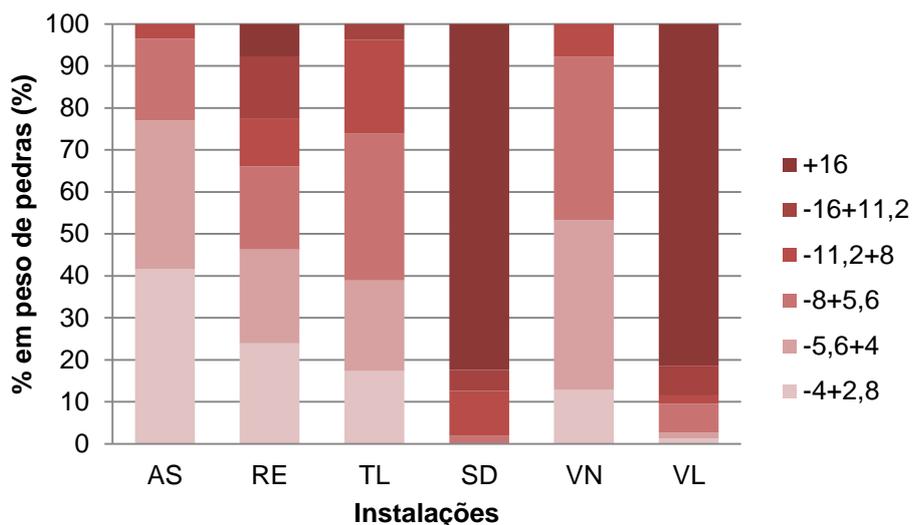


Fig. 4-5 - Distribuição granulométrica das pedras para todas as instalações

A distribuição granulométrica das pedras para cada instalação é idêntica à distribuição granulométrica do vidro. No caso da SULDOURO e da VALORLIS mais de 80% das pedras em peso concentra-se na fracção supra 16mm. Na instalação AMARSUL mais de 40% em peso das pedras concentra-se na fracção infra 4mm.

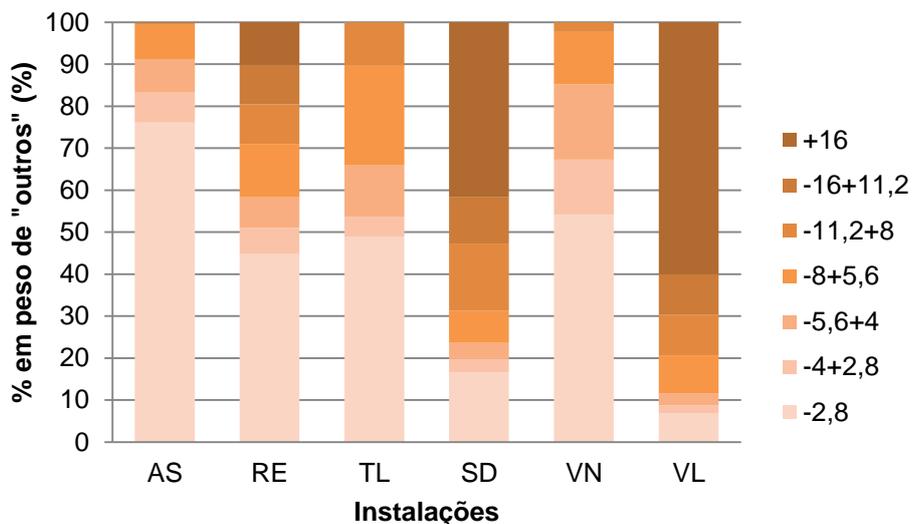


Fig. 4-6 - Distribuição granulométrica de "outros" para todas as instalações

Na distribuição granulométrica da classe "outros" é também considerada a fracção infra 2,8mm, caracterizada na sua totalidade em "outros". No caso da SULDOURO e da VALORLIS mais de 40% de "outros" em peso concentra-se na fracção supra 16mm. Nas instalações AMARSUL e VALNOR mais de 60% em peso dos "outros" concentra-se na fracção infra 4mm.

4.3. ESTIMAÇÃO DO QUANTITATIVO DE VIDRO CONTIDO NO TMBR DAS INSTALAÇÕES PORTUGUESAS

Após a análise do fluxo de vidro contido no TMBr quanto ao teor em contaminantes e granulometria, torna-se necessária a análise da efectiva quantidade de vidro existente.

A Tabela 4-7 mostra a quantidade de vidro contido no TMBr obtida em 5 das 6 instalações estudadas. A instalação RESIESTRELA não contabiliza o caudal do rejeitado pesado.

Tabela 4-7 – Vidro contido no TMBr das instalações estudadas (Dias et al., 2012)

Instalação	Rejeitado pesado (t/ano)	Teor em vidro (%)	Vidro contido no TMBr (t/ano)
AS	1.488,6	41,0	609,7
RE	N.a.	53,3	N.a.
SD	3.962,5	56,7	2.246,0
TL	7.843,6	82,9	6.500,0
VN	12.423,0	33,2	4.122,0
VL ^(a)	5.647,0	58,3	3.294,5
TOTAL	31.364,7		16.772,1

(a) Valor de caudal em fase de testes

Segundo a tabela apresentada acima as instalações com maior potencial para recuperação de vidro são a TRATOLIXO e a VALNOR, ainda que nesta última se faça a recuperação de vidro antes do processamento e por isso tenha o menor teor em vidro no TMBr.

É importante realçar que a instalação VALORLIS no ano de 2012 esteve em fase de testes, por este motivo o total de vidro contido no MBTr desta instalação pode ser mais elevado. Este facto juntamente com o facto de o rejeitado pesado proveniente da instalação RESIESTRELA não ser contabilizado tornaria, provavelmente, o total de vidro significativamente mais elevado.

Fazendo uma comparação do total de vidro enviado para aterro proveniente do TMBr (16.772t) com as taxas de reciclagem de vidro no ano de 2011, ano interessante do ponto de vista das metas europeias, observa-se que poderia haver um impacte significativo nas taxas de reciclagem. Se todo o vidro proveniente do TMBr pudesse ser recuperado e reciclado, a taxa de reciclagem em Portugal aumentaria de 59,7% para 64,1%. Apesar de significar um aumento de apenas 4,4%, seria o suficiente para ser ultrapassada a meta de reciclagem de vidro confortavelmente. Relativamente às metas impostas pelo PERSU, o contributo da retoma de vidro proveniente do TMBr seria suficiente para alcançar as metas impostas. Somando 16.772 às 210.422 toneladas retomadas perfaz um total de 227,194 toneladas, o que seria suficiente para atingir as 227.060 toneladas impostas. É esperado, com o aumento do número de instalações de TMB em funcionamento, que a retoma de vidro

aumente ainda mais significativamente nos próximos anos caso seja implementada uma política de recuperação de vidro do TMBr.

Não existem hoje dados relativos aos rejeitados das instalações que estarão em funcionamento no ano de 2014, quando 8 novas instalações entrarem em funcionamento. No entanto, um valor aproximado pode ser estimado considerando os resultados obtidos para o ano de 2012 nas instalações em funcionamento (Tabela 4-7) e a capacidade nominal das novas instalações (Tabela 4-8). A Tabela 4-8 mostra ainda a alimentação efectiva das instalações actualmente em funcionamento.

Tabela 4-8 – Capacidade nominal das instalações de TMB em operação em 2014 e valores de alimentação efectiva das instalações em operação em 2012

Instalação	Capacidade Nominal (t/ano)	Alimentação efectiva (t/ano)	Alimentação/Cap. Nominal^(a) (%)
AMARSUL	50.000	42.652	85,3
AMBILITAL	65.000	-	-
BRAVAL	100.000	-	-
ERSUC 1	180.000	-	-
ERSUC 2	180.000	-	-
GESAMB	113.000	-	-
RESIDUOS DO NORDESTE	55.000	-	-
RESIESTRELA	150.000	50.000 ^(b)	33,3
RESINORTE	180.000	-	-
RESITEJO	100.000	-	-
SULDOURO	50.000	23.781	47,6
TRATOLIXO Tr.	150.000	153.894	102,6
TRATOLIXO Ab.	200.000	-	-
VALNOR	100.000	131.504	131,5
VALORLIS	50.000	37.316	74,6
TOTAL	1.723.000	439.147	

^(a) Quociente entre a efectiva alimentação e a capacidade nominal da instalação

^(b) Valor de 2011 (ano anterior à recolha da amostra)

Para a execução dos cálculos foram consideradas as seguintes admissões:

- As amostras obtidas no presente estudo eram representativas;
- Estabilidade da composição das amostras das 6 instalações estudadas ao longo do tempo, assumindo-se que os valores obtidos até 2012 não se alteram significativamente até 2014;

- Rácio das alimentações efectivas pelas capacidades nominais manter-se-á constante até 2014;
- Como não é conhecida a composição e o caudal do TMBr das novas instalações assumiu-se que o rácio “vidro contido no TMBr em todas as instalações/ somatório da alimentação de todas as instalações” em 2012 será igual em 2014.

Considerando que o rácio “vidro contido no TMBr em todas as instalações / somatório da alimentação de todas as instalações” em 2012 na Tabela 4-8 manter-se-á constante até 2014, o rácio será $16.772t / 439.147t$ neste ano, o que perfaz 0,04.

O somatório da alimentação de todas as instalações em 2014 perfaz 1.723.000 toneladas, no entanto, subtraindo a capacidade da instalação de Trajouce da TRATOLIXO que não estará em funcionamento em 2014 têm-se um total de 1.573.000 toneladas.

A média dos rácios “efectiva alimentação/ capacidade nominal” das instalações em funcionamento em 2012 é de 79,2%.

Aplicando média dos rácios “efectiva alimentação/ capacidade nominal” calculada anteriormente ao total de 1.573.000 toneladas de alimentação de TMB de 2014 obtém-se um somatório da alimentação de todas as instalações de 2014 mais próxima da efectiva - 1.245.113 toneladas.

Considerando estes dois valores obtidos para 2014 (o rácio “vidro contido no TMBr em todas as instalações / somatório da alimentação de todas as instalações” e o somatório da alimentação de todas as instalações) obtém-se cerca de 48.000 toneladas de vidro proveniente de TMBr para o mesmo ano.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. QUANTITATIVO DE VIDRO CONTIDO NO TMBR DAS INSTALAÇÕES PORTUGUESAS

Os resultados da estimação do quantitativo de vidro contido no TMBr em 2014 mostram, não só a importância de se considerar uma etapa de processo para tratar o TMBr para atingir as características adequadas à sua reciclagem como, possivelmente, para subir as taxas de reciclagem de vidro.

O vidro proveniente do TMBr exhibe potencial para ser usado como matéria-prima da indústria vidreira. Se reciclado juntamente com o vidro recolhido selectivamente, pode ter um impacte ambiental significativamente positivo na reposição de material virgem usado no processo de produção de vidro.

Os resultados, no entanto, são válidos apenas dentro de uma gama de admissões anteriormente apresentadas.

A **representatividade das amostras** foi garantida pelos técnicos das instalações, no entanto, não foram consideradas variações sazonais por indisponibilidade de recursos e de tempo para análise de novas amostras.

Relativamente à **estabilidade da composição das amostras das 6 instalações estudadas de 2012 a 2014**, admite-se que esta hipótese possa ter um grau de incerteza associado elevado dada a época de redução de consumo de embalagens que atravessamos actualmente. Por outro lado existe cada vez mais sensibilização da população para a maior segurança alimentar associada aos produtos embalados em vidro.

Note-se, ainda, que o ano 2012 foi o ano de testes para a instalação da VALORLIS e o ano de afinação dos processos para a SULDOURO pelo que os valores de composição das amostras poderão sofrer alterações significativas no futuro.

A **percentagem do funcionamento das instalações face às suas capacidades nominais manter-se constante até 2014** tem também um factor de incerteza associado. A diminuição de custos dos sistemas passa muitas vezes pela redução de turnos de trabalho fazendo com se desvie fluxos de resíduos directamente para aterro e com que a instalação de TMB funcione abaixo da capacidade nominal.

O **rácio “vidro contido no TMBr em todas as instalações/ somatório da alimentação de todas as instalações” manter-se constante até 2014** é uma admissão que está dependente também da alteração de composição mencionada anteriormente. Por outro lado depende também da existência de alterações aos diagramas das instalações, que esporadicamente são feitas pelos sistemas.

5.2. DESCONTAMINAÇÃO DO VIDRO

Tendo em conta as especificações técnicas da SPV para o casco de vidro ser retomado (Quadro 2-3), o vidro deve apresentar um teor igual ou superior a 98% e qualquer contaminante deve apresentar

um teor inferior a 1%. Observando os resultados obtidos da análise de composição do TMBr (Fig. 4-2) qualquer uma das 6 instalações em estudo apresenta um TMBr que não tem condições de ser aceite pelos retomadores de vidro.

No entanto, estima-se que a soma dos TMBr das instalações nacionais em funcionamento contenha uma quantidade de vidro significativa, pelo que a sua recuperação deve ser considerada. Esta recuperação pode passar por alterações nos processos de TMB de forma a produzirem um rejeitado pesado menos contaminado e/ou por tecnologias aplicadas ao TMBr posteriormente à saída deste do processo de TMB.

5.2.1. Influência do processamento nas características do TMBr – possíveis alterações no processo de TMB

No capítulo anterior verificou-se que o processamento tem uma influência significativa nas características do TMBr.

Relativamente ao teor em humidade do TMBr, o rejeitado apresenta maiores teores quando proveniente de pré-tratamento mecânico húmido ou quando proveniente do processo de afinação e adicionado material estruturante.

A distribuição granulométrica das partículas constituintes do TMBr é definida pelo último crivo que o TMBr atravessa e pelo maior ou menor desgaste sofrido no processamento. Nas instalações de tratamento biológico anaeróbio o TMBr é produzido no pré-tratamento mecânico pelo que não sofre desgaste significativo. No caso das instalações de tratamento biológico aeróbio, pelo contrário, o TMBr é produzido na etapa final do processamento pelo que é possivelmente esse o motivo da sua maior fragmentação.

O teor em vidro do TMBr está directamente relacionado com o teor em outros componentes e não parece ser significativamente influenciado pelo teor em vidro nos RSU da alimentação do processamento (ver Fig.4-3). Por outro lado verifica-se alguma influência da recolha manual de vidro no início do processamento. É possível obter a massa total de embalagens de vidro recuperadas por triagem manual na instalação VALNOR através da multiplicação da alimentação em RSU (Tabela 4-1) pelo fluxo (%) de reciclagem de vidro (Tabela 4-2) obtendo assim 598t de vidro triadas manualmente no ano 2012. Considerando o total de vidro contido no TMBr no mesmo ano, 4.122t (ver Tabela 4-7) é possível concluir que a triagem manual representa 13% da soma destes dois fluxos.

Tendo como base a instalação VALNOR, pode-se constatar que a triagem manual de vidro contribui para uma redução do aparecimento de vidro no rejeitado pesado e produz um fluxo de vidro passível de ser directamente retomado. No entanto, como verificado, o contributo deste processo de recuperação de vidro é reduzido face ao total produzido pelo processamento. Devem por isso ser

alterados outros processos do TMB ou ser utilizados mecanismos de recuperação deste vidro a partir do fluxo de rejeitado pesado.

5.2.2. Propriedades físicas discriminatórias entre o vidro e alguns contaminantes

A **opacidade** é actualmente utilizada pelas indústrias de descontaminação de vidro, onde os contaminantes do vidro, normalmente opacos, são detectados por sensores ópticos e removidos por triadores ópticos. Estes equipamentos têm, no entanto, limitações quanto ao teor de contaminantes à entrada. Segundo a VIDROCICLO, por limitações tecnológicas, os triadores ópticos por cada contaminante removido removem partículas opacas ou não opacas que se encontrem em redor da partícula detectada. Assim sendo, com elevados teores de contaminantes, a perda de vidro é significativa.

Dias et. al (2011b) concluiu, no seu estudo, que o **calibre** pode ser uma propriedade discriminatória entre o vidro e alguns contaminantes. No caso da VALNOR, através de uma crivagem de 4mm eliminaram-se mais de 25% dos contaminantes aumentando o teor em vidro de 33,2% para 49,5%.

A Fig. 5-1 mostra a distribuição granulométrica das classes vidro, pedras e “outros” em simultâneo para todas as instalações de TMB.

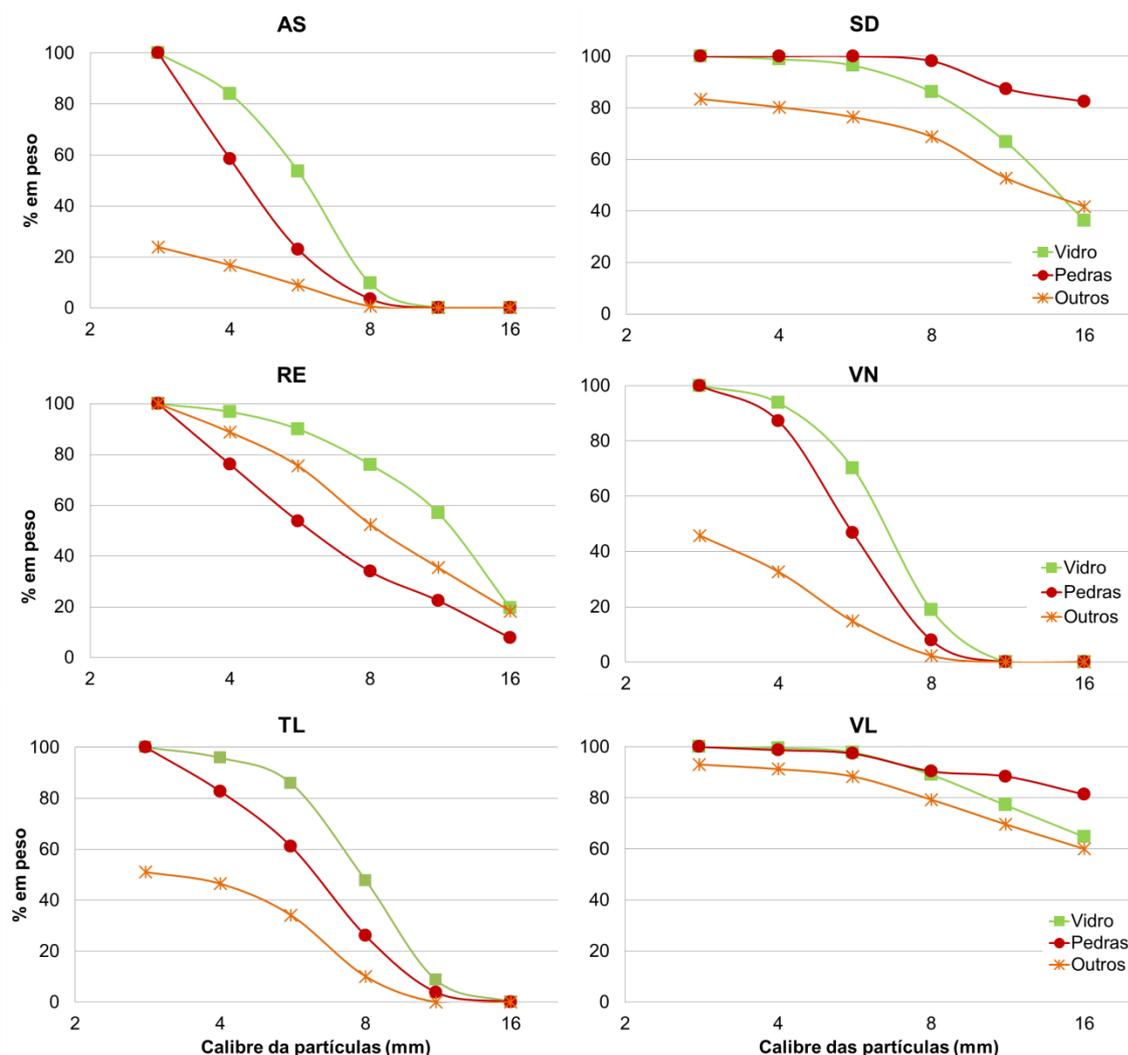


Fig. 5-1 – Distribuição granulométrica das classes vidro, pedras e “outros” contidas no TMBR de cada instalação

Tal como verificado anteriormente com a VALNOR, nas outras instalações a fracção infra 4mm apresenta reduzidos teores de vidro e elevados teores de pedras e material constituinte da classe “outros”. Como introduzido anteriormente, no caso da VIDROCICLO - maior indústria de descontaminação de vidro em Portugal - os equipamentos de triagem óptica são eficazes apenas com partículas de calibre superior a 5mm, pelo que as partículas de calibre 4 a 5mm também não têm interesse do ponto de vista de recuperação de vidro. Assim, esta fracção (infra 5mm) pode ser removida através de um processo de crivagem.

A Fig. 5-2 apresenta a análise de composição do TMBR de todas as instalações não considerando a fracção infra 5,6mm. Apresenta ainda o rendimento em peso da fracção supra 5,6mm das classes vidro, pedras e outros.

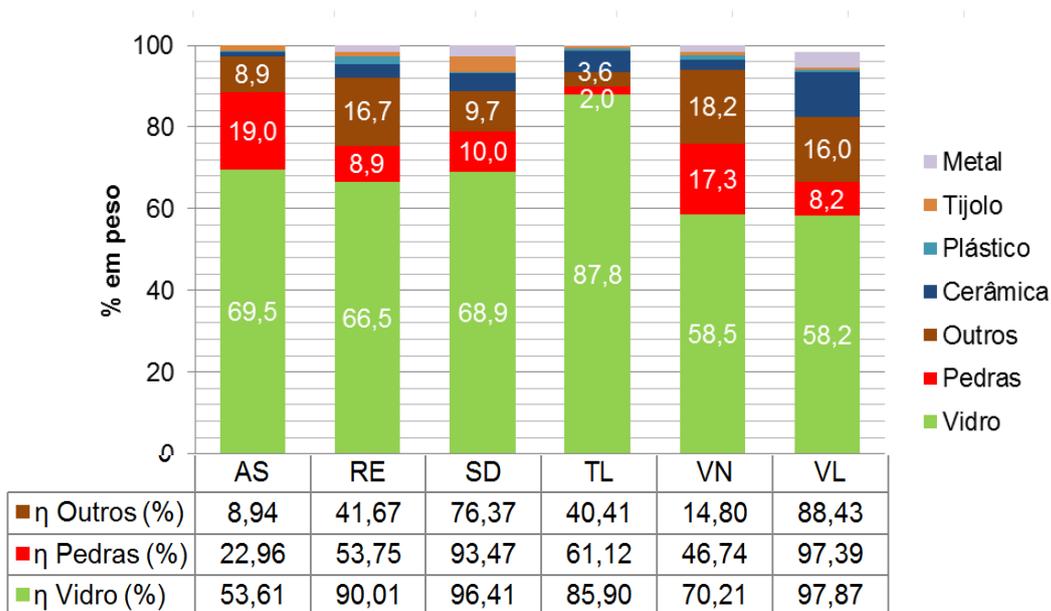


Fig. 5-2 – Composição da fração supra 5,6mm do TMBr de cada instalação e rendimento em peso (η) da fração supra 5,6mm da classe vidro, pedras e outros.

Comparativamente com a análise de composição global (Fig. 4-2) verifica-se que se obtêm teores de vidro mais elevados e teores do total de contaminantes mais reduzido. A instalação que atinge o maior teor em vidro é a TRATOLIXO com 87,8%. Analisando o caso da AMARSUL e da VALNOR, apesar da remoção significativa de pedras e material constituinte da classe “outros”, a perda de vidro é significativa sendo superior a 30% em ambas as instalações.

Dias (2011) mostrou no seu estudo que a propriedade **densidade** não é discriminatória entre o vidro e as pedras. No entanto, é discriminatória em relação a alguns materiais orgânicos presentes nas classe “outros” e plástico. Esta propriedade é, inclusivamente, explorada na instalação de descontaminação de vidro VIDROCICLO que utiliza um processo de aspiração no fluxo de recolha selectiva. É também explorada na etapa de afinação do composto pelas instalações de TMB através de ciclones ou filtros de mangas. No entanto, não é possível, empiricamente, obter a composição do TMBr se fossem removidos estes materiais leves, uma vez que a percentagem em peso de materiais leves na classe plástico e “outros” não é conhecida.

A **susceptibilidade magnética** e a **condutividade eléctrica** são também propriedades usadas nas instalações de TMB estudadas, e que eliminam os metais ferrosos e não ferrosos, respectivamente. Por este motivo, os metais são o componente que teores mais próximos do desejado apresentam.

A **forma** já foi estudada também por Dias (2011) que mediu o índice de circularidade das pedras e do vidro tendo verificado que este índice apresenta valores semelhantes para as partículas das mesmas classes (vidro e pedras) e valores distintos entre as duas classes. A esfericidade associada às pedras face à forma aplanada do vidro também foi usada, como anteriormente introduzido, através do equipamento RecGlass (Dias & Carvalho, 2011b). Foram realizados testes com uma amostra proveniente da TRATOLIXO e uma amostra proveniente da VALNOR, tendo-se eliminado cerca de

60% das pedras na primeira e 80% na segunda, recuperando cerca de 80% e 70% do vidro, respectivamente (Dias, 2011; Dias, et al., 2011b). Esperam-se obter resultados semelhantes para as restantes instalações, nomeadamente com as fracções infra 11,2mm – fracções já testadas com a TRATOLIXO e com a VALNOR.

É importante realçar que muitos dos processos mencionados – crivagem, remoção de leves e separação magnética e por correntes de Foucault – já são utilizados nas instalações de TMB antes da saída do TMBr. As ineficiências devem-se à escala industrial do processamento e possivelmente à humidade do TMBr. Todos os valores apresentados na presente dissertação foram obtidos com a amostra seca. Uma etapa de secagem prévia é fundamental para a desagregação de partículas e para que estas sejam eficazmente separadas através dos processos mencionados.

6. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Com esta dissertação foi possível obter resultados relativamente à humidade, granulometria e composição do rejeitado pesado (TMBr) proveniente de todas as instalações de TMB actualmente em operação.

Em relação à granulometria, observou-se que as amostras são compostas maioritariamente por partículas de calibre superior a 5,6mm com excepção das instalações AMARSUL e VALNOR que por possuírem malhas mais finas no crivo de afinação são compostas maioritariamente por partículas de calibre inferior a 5,6 mm.

O TMBr da instalação TRATOLIXO é altamente rico em vidro com um teor superior 80%, os TMBr das instalações SULDOURO, VALORLIS e RESIESTRELA apresentam também um teor em vidro significativo de aproximadamente 56%. A AMARSUL e a VALNOR são as instalações com o menor teor em vidro com aproximadamente 41% e 33% respectivamente. O vidro contido na amostra global concentra-se maioritariamente nas fracções supra 5,6mm com excepção da AMARSUL em que se concentram especialmente nas fracções infra 5,6mm. Observou-se também que os contaminantes mais representativos são as pedras e os “outros” concentrando-se estes especialmente nas fracções infra 4mm e na fracção supra 16 mm.

Com a entrada em operação de novas instalações de TMB são previstas serem produzidas mais de 48.000 toneladas de toneladas de vidro proveniente de TMBr. Apesar do TMBr não ser aceite pelas indústrias de descontaminação de vidro com a contaminação que apresenta, o quantitativo de vidro contido neste fluxo pode justificar adopção de medidas conducentes à sua recuperação. O calibre, a densidade, a opacidade, a condutividade eléctrica e susceptibilidade magnética e a forma são algumas propriedades discriminatórias entre o vidro e alguns contaminantes, alguns deles já analisados em estudos anteriores, explorados na indústria de descontaminação de vidro ou mesmo nas instalações de TMB.

Concluiu-se também neste estudo que as características do rejeitado pesado são fortemente influenciadas pelo processamento da instalação de TMB pelo que alterações nesse processamento poderão gerar um rejeitado pesado com características que facilitem a recuperação do vidro contido neste.

Na sequência dos resultados obtidos considera-se importante prosseguir o trabalho de investigação com vista à recuperação deste refugo do TMB. A aplicação de uma tecnologia ou de um conjunto de tecnologias que explore as propriedades discriminatórias entre o vidro e cada contaminante deve, assim, ser executada numa próxima etapa.

Visto que a fracção granulométrica infra 5,6 mm não é interessante do ponto de vista de recuperação de vidro, esta fracção pode ser removida através de um processo de crivagem que se concluiu nesta dissertação diminuir de forma significativa o teor em contaminantes. Esta redução do teor em contaminantes não é, no entanto, suficiente para cumprir com as especificações exigidas pelos

retomadores de vidro, e nalgumas instalações, significa um prejuízo significativo na recuperação de vidro.

Estudos anteriores indicaram que a aplicação da RecGlass para remoção de partículas subsféricas, nomeadamente pedras pode remover 60% deste componente.

O processo de triagem óptica é fundamental, no entanto, só pode ser utilizado quando o teor em contaminantes for reduzido.

Um processo de secagem prévio será fundamental para a desagregação das partículas e aumento da eficiência destes processos. Após processo de secagem, é, inclusivamente, possível que a adição de um processo de aspiração e de um processo de separação electromagnética (processos já existentes no diagrama de TMB) removam mais eficazmente os leves e os metais ainda presentes no rejeitado pesado.

Um balanço económico e ambiental deve ser elaborado tendo em conta, por um lado, os elevados quantitativos de vidro contido no TMB e por outro lado, o esforço ao nível de recursos económicos como ambientais na sua recuperação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEAT, 2006. *Evaluation of the Household Waste Incentives Pilot Scheme - Final Report to Defra (Waste Strategy Division)*, Oxfordshire, Reino Unido: AEA Technology Environment.
- Afonso, A. & Nunes, C., 2011. *Probabilidades e Estatística - Aplicações e Soluções em SPSS*. Lisboa: Escolar Editora.
- Agência Portuguesa do Ambiente, 2011. *Resíduos Urbanos em 2010*, Lisboa: APA.
- Agência Portuguesa do Ambiente, 2012. *Atribuições*. [Online]
Available at: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=5&subref=634>
[Accessed 2012 Abril 7].
- água&ambiente, 2013. Governo quer limitar exportação de resíduos. Janeiro. Volume 170.
- AMARSUL, 2012. [Online]
Available at: <http://www.amarsul.pt>
[Acedido em Junho 2012].
- Ambirumo, 2010. *Opções de Gestão de Resíduos Urbanos*, Lisboa: ERSAR.
- APA & ERSAR, 2011. *Relatório de Acompanhamento*. Lisboa: APA e ERSAR.
- APA & ERSAR, 2012. *PERSU II Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2007-2016 Relatório de Acompanhamento*. Lisboa: APA e ERSAR.
- APA, 2013. *Resíduos Urbanos – Relatório Anual, 2011*, Lisboa: Agência Portuguesa do Ambiente, I.P..
- Ball, R. & Lawson, S. M., 2004. Public attitudes towards glass recycling in Scotland. *Waste Management & Research*, 17 Dezembro, p. 177–192.
- Bayard, R. et al., 2010. Assessment of the effectiveness of an industrial unit of mechanical–biological treatment of municipal solid waste. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 175, p. 23–32.
- Best, H. & Kneip, T., 2011. The impact of attitudes and behavioral costs on environmental behavior: A natural experiment on household waste recycling. *Social Science Research*, Volume 40, p. 917–930.
- Binder+Co, 2013. *Binder+Co*. [Online]
Available at: <http://www.binder-co.com/en/unternehmen/profil.php>
[Accessed Fevereiro 2013].
- Butler, J. & Hooper, P., 2005. Dilemmas in optimising the environmental benefit from recycling: A case study of glass container waste management in the UK. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 45, p. 331–355.
- Christensaaen, T. H., 2011. *Solid Waste Technology & Management*. Lyngby: Blackwell Publishing Ltd.
- Conselho da União Europeia, 1999. Directiva 1999/31/CE do conselho relativa à deposição de resíduos em aterros. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, 26 Abril. pp. 1-5.
- Corral-Verdugo, V., 2003. Situational and personal determinants of waste control practices in northern Mexico: a study of reuse and recycling behaviors. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 39, pp. 265-281.

Cruz, N. & Marques, R., 2012. Economic cost recovery in the recycling of packaging waste: the case of Portugal. *Journal of Cleaner Production*, Volume 37, pp. 8-18.

Dias, N., 2011. *Dissertação de mestrado em Engenharia do Ambiente*. Lisboa: Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa.

Dias, N. & Carvalho, M., 2011a. *Recovery of packaging glass from Mechanical Biological Treatment reject*. Cancun, México, Fray International Symposium.

Dias, N. & Carvalho, M., 2011b. *Novel Equipment to Separate Contaminants from Glass Cullet*. Bodrum, Turkey, Department of Mining Engineering, Eskişehir Osmangazi University, Proceedings of XIII International Mineral Processing Symposium, pp. 931-937.

Dias, N., Carvalho, M. & Pina, P., 2011b. *Caracterização e recuperação do vidro contido no rejeitado pesado de afinação do composto da instalação Valnor*, Lisboa: CERENA - Instituto Superior Técnico.

Dias, N. & Carvalho, M. T., 2012. *Novel Equipment to Separate Contaminants from Glass Cullet*. In: Proceedings of XIII International Mineral Processing Symposium, Bodrum, Turkey, Department of Mining Engineering, Eskişehir Osmangazi University, pp. 931-937.

Dias, N., Carvalho, M. T. & Pina, P., 2011. Characterization of Mechanical Biological Treatment reject aiming at packaging glass recovery for recycling.. *Minerals Engineering*, March, 29(5), pp. 72-79.

Dias, N., Máximo, A., Belo, N. & Carvalho, M., 2013. Potential for recovery of packaging glass from the heavy residual fraction refused by portuguese Mechanical Biological Treatment plants. *Resources, Conservation & Recycling*. Artigo submetido em Abril de 2013.

EGF, 2012. *Apresentação*. [Online]

Available at: <http://www.egf.pt/content/index.php?action=detailfo&rec=1803&t=Apresentacao>
[Accessed 7 Abril 2012].

EGSRA, 2011. *Quem somos*. [Online]

Available at: <http://www.egsra.pt/sobre-a-egsra/quem-somos/>
[Accessed 7 Abril 2012].

Embopar, 2013. *Embopar Embalagens de Portugal, SGPS, SA*. [Online]

Available at: http://www.embopar.pt/folder/documento/100_infoMar2012.pdf
[Accessed Fevereiro 2013].

Enviros Consulting Limited, 2007. *Mechanical Biological Treatment of Municipal Solid Waste*, Reino Unido: DEFRA.

EPA, 2012. *United States Environmental Protection Agency*. [Online]

Available at: <http://www.epa.gov/wastes/conserva/materials/glass.htm>
[Accessed November 2012].

ERSAR, 2012. *Objetivos da regulação*. [Online]

Available at:

<http://www.ersar.pt/website/ViewContent.aspx?FolderPath=%5cRoot%5cContents%5cSito%5cMenuPrincipal%5cQueFazemos&Section=MenuPrincipal&SubFolderPath=>
[Accessed 7 Abril 2012].

European Commission, 2010. *European Comission*. [Online]

Available at: <http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/WASTE%20BROCHURE.pdf>
[Accessed Fevereiro 2012].

- EUROSTAT, 2013. *Generation and treatment of municipal waste*, Luxemburgo: European Commission.
- FEVE, 2013. *Fédération Européenne du Verre d'Emballage*. [Online]
Available at: <http://www.feve.org/images/stories/pdf2011/june2011-the-gob-1.pdf>
[Accessed Fevereiro 2013].
- Glass Packaging Institute, 2012. *Glass Packaging Institute*. [Online]
Available at: www.gpi.org
[Accessed Novembro 2012].
- González-Torre, P., Adenso-Díaz, B. & Ruiz-Torres, A., 2003. Some comparative factors regarding recycling collection systems in regions of the USA and Europe. *Journal of Environmental Management*, Volume 69, p. 129–138.
- Hage, O., Söderholm, P. & Berglund, C., 2009. Norms and economic motivation in household recycling: Empirical evidence from Sweden. *Resources, Conservation and Recycling*, 3 Janeiro, p. 155–165.
- Halvorsen, B., 2012. Effects of norms and policy incentives on household recycling: An international comparison. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 67, pp. 18-26.
- INE, 2012. *Instituto Nacional de Estatística*. [Online]
Available at: http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_main
[Accessed Junho 2012].
- Jenkins, R., Martinez, S., Palmer, K. & Podolsky, M., 2003. The determinants of household recycling: a material-specific analysis of recycling program features and unit pricing. *Journal of Environmental Economics and Management*, Volume 45, p. 294–318.
- Juniper, 2005. *A Guide for Decision Makers – Processes Policies and Markets - The summary report*. [Online]
Available at: <http://www.biowastetreatment.ca/page11/files/JuniperMBTreport.pdf>
[Accessed Abril 2011].
- Latif, S. A., Omar, M. S., Bidin, Y. H. & Awang, Z., 2011. Environmental Problems and Quality of Life: Situational Factor as a Predictor of Recycling Behaviour. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, pp. 682-688.
- Lornage, R. et al., 2007. Performance of a low cost MBT prior to landfilling: Study of the biological treatment of size reduced MSW without mechanical sorting. *Waste Management*, Volume 27, p. 1755–1764.
- Mainieri, T. et al., 1997. Green Buying: The influence of Environmental Concern on Consumer Behavior. *The journal of Social Psychology*, 137(2), pp. 189-204.
- Marques, R., da Cruz, N. & Carvalho, P., 2012. Assessing and exploring (in)efficiency in Portuguese recycling systems using non-parametric methods. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 67, p. 34– 43.
- Martinho, M., 1998. *Factores determinantes para os comportamentos de reciclagem - Caso de Estudo: sistema de vidrões - Dissertação de Doutoramento em Engenharia do Ambiente*, Lisboa: Universidade Nova de Lisboa - FCT.
- Martin, M., Williams, I. D. & Clark, M., 2006. Social, cultural and structural influences on. *Resources, Conservation and Recycling household waste recycling: A case study*, 9 Março, p. 357–395.

- Noehammer, H. C. & Byer, P. H., 1997. Effect of design variables on participation in residential curbside recycling programs. *Waste Management & Research*, Agosto, 15(4), pp. 407-427.
- Palatnik, R., Ayalon, O. & Shechter, M., 2005. Household Demand for Waste Recycling Services. *Environmental Management*, 35(2), pp. 121-129.
- Piedade, M. & Aguiar, P., 2010. *Opções de Gestão de Resíduos Urbanos*. Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos.
- Ponsá, S., Gea, T. & Sánchez, A., 2010. The effect of storage and mechanical pretreatment on the biological stability of municipal solid wastes. *Waste Management*, Volume 30, p. 441–445.
- Price, J., 2001. The landfill directive and the challenge ahead: demands and pressures on the UK householder. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 32, pp. 333-348.
- RECIPAC, 2012. *Informação sobre a Recuperação e Reciclagem de Papel e Cartão em Portugal 2011*, Lisboa: RECIPAC.
- Remade Scotland, 2004. *Glass Recycling Handbook- Assessment of Available Technologies*. [Online] Available at: www.remade.org.uk [Accessed Outubro 2010].
- Renou, S. et al., 2008. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 150, p. 468–493.
- RESIESTRELA, 2012. [Online] Available at: <http://www.resiestrela.pt/> [Accessed Junho 2012].
- Schultz, P., Oskamp, S. & Mainieri, T., 1995. Who recycles and when? A review of personal and situation factors. *Journal of Environmental Psychology*, Volume 15, pp. 105-121.
- Scott, S. & Watson, D., 2000. *Introduction of Weight-Based Charges for Domestic Solid Waste Disposal - Final Report*, Wexford, Ireland: Environmental Protection Agency.
- Shaw, P. J., 2007. Nearest neighbour effects in kerbside household waste recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 21 Dezembro, p. 775–784.
- Sidique, S. F., Joshi, S. V. & Lupi, F., 2009. Factors influencing the rate of recycling: An analysis of Minnesota counties. *Resources, Conservation and Recycling*, 14 Agosto, p. 242–249.
- Soares, A., 2011. *Resíduos de Embalagem*. [Online] Available at: <http://gestao-residuos.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=23166> [Accessed 8 Abril 2012].
- SPV, 2012. *Sociedade Ponto verde*. [Online] Available at: <http://www.pontoverde.pt/> [Accessed Junho 2012].
- SULDOURO, 2012. *Suldouro Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos*. [Online] Available at: <http://www.suldouro.pt/> [Accessed Junho 2012].
- Tchobanoglous, G., Theissen, H. & Vigil, S., 1993. *Integrated Solid Waste Management – Engineering. Principles and Management Issues*. s.l.:McGraw-hill International Editions.

Teixeira, N., 2009. *Dissertação de mestrado em Engenharia do Ambiente*. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa.

Timlett, R. & Williams, I., 2008. Public participation and recycling performance in England: A comparison of tools for behaviour change. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 52, p. 622–634.

Timlett, R. & Williams, I., 2009. The impact of transient populations on recycling behaviour in a densely populated urban environment. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 53, p. 498–506.

TRATOLIXO, 2012. [Online]
Available at: www.tratolixo.pt
[Accessed Junho 2012].

VALNOR, 2012. *VALNOR Amigos para a vida*. [Online]
Available at: <http://www.valnor.pt/>
[Acedido em Junho 2012].

VALORLIS, 2012. [Online]
Available at: www.valorlis.pt
[Accessed Junho 2012].

Vellini, M. & Savioli, M., 2009. Energy and environmental analysis of glass container production and recycling. *Energy*, p. 2137–2143.

ANEXOS

Anexo I	Metodologia usada na caracterização física dos rejeitados
Anexo II	Resultados das caracterizações para cada sub-amostra analisada

I. Metodologia usada na análise laboratorial do TMBr

1. Materiais e métodos

1.1. Materiais

De forma a caracterizar o rejeitado pesado provenientes das instalações foram utilizados os seguintes equipamento e materiais:

- Amostras fornecidas pelas instalações
- Divisor Jones
- Crivos (série DIN 4188) com malha do tipo quadrado.
- Agitador mecânico (marca- Fritsch- tipo 03.502)
- Estufa (marca- Memmert)
- Balança digital com resolução de 0,1g

1.2. Métodos

	<i>Versão:</i>	1	<i>Elaborado:</i>
	<i>Processo:</i>		<i>Aprovado:</i>
	<i>Modelo:</i>	MOD01	<i>Data:</i>
	Recursos	Descrição	
		Descrição	
		Homogeneizar cuidadosamente a amostra recebida com auxílio de uma pá.	
		Dividir a amostra em sub-amostras usando um divisor Jones ou a técnica de quartejamento	
		Secar a amostra a 105°C até atingir peso constante. Cálculo da humidade do material: <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> $M \% = (w-d) / w * 100$ (onde w é o material húmido e d é o material seco) </div>	
		A amostra seca é crivada utilizando o agitador de crivos. A crivagem deve ser executada em no mínimo 3 sub-amostras de aprox.600 g.	
		Análise de composição de todas as fracções granulométricas. A análise é feita manualmente separando os materiais em vidro, cerâmica, pedras, tijolo, plástico, metal e "outros" (matéria orgânica e materiais não identificados).	
		A pesagem deve ser efectuada na balança digital. Registrar peso do recipiente; Registrar peso do recipiente + amostra; Registrar o peso exacto da amostra.	

II. Resultados das caracterizações para cada sub-amostra analisada

1. Análise granulométrica

As tabelas e figuras seguintes mostram os resultados dos ensaios de repetibilidade das amostras para cada uma das instalações e respectiva curva cumulativa

Tabela II-1- Análise granulométrica de repetibilidade da amostra- AMARSUL

Fracção Granulo- métrica (mm)	C-2	D-2	A-1	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)
Supra 16	0,021	0,000	0,074	0,000	0,074	0,032	0,031	97,9
-16 +11,2	0,011	0,137	0,404	0,011	0,404	0,184	0,164	89,2
-11,2 + 8	5,204	5,596	4,978	4,978	5,596	5,260	0,255	4,9
-8 + 5,6	26,480	26,514	25,848	25,848	26,514	26,280	0,306	1,2
- 5,6 + 4	24,695	24,806	23,748	23,748	24,806	24,416	0,475	1,9
- 4 + 2,8	19,544	19,450	20,232	19,450	20,232	19,742	0,349	1,8
Infra 2,8	24,045	23,497	24,716	23,497	24,716	24,086	0,498	2,1
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		

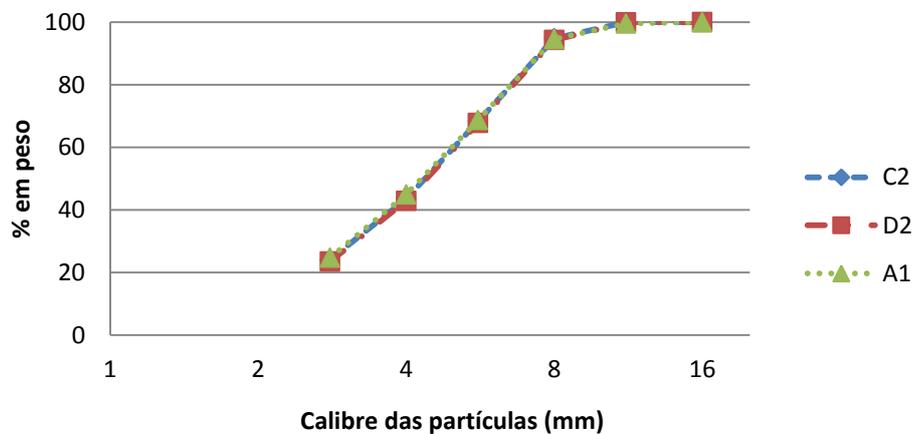


Fig. II-1- Distribuição granulométrica de todas as subamostras analisadas - análise de repetibilidade- AMARSUL

Tabela II-2- Análise granulométrica de repetibilidade da amostra RESIESTRELA

Fracção Granulo-métrica (mm)	D2	B1	A2	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)
Supra 16	16,62	15,81	14,24	14,24	16,62	15,56	1,21	7,8
-16 +11,2	26,64	22,13	21,81	21,81	26,64	23,53	2,70	11,5
-11,2 + 8	15,05	18,43	18,07	15,05	18,43	17,18	1,86	10,8
-8 + 5,6	14,18	15,21	15,54	14,18	15,54	14,98	0,71	4,7
-5,6 + 4	8,10	8,51	9,26	8,10	9,26	8,62	0,59	6,8
-4 + 2,8	6,38	6,38	7,02	6,38	7,02	6,59	0,37	5,6
Infra 2,8	13,02	13,52	14,06	13,02	14,06	13,53	0,52	3,8
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		

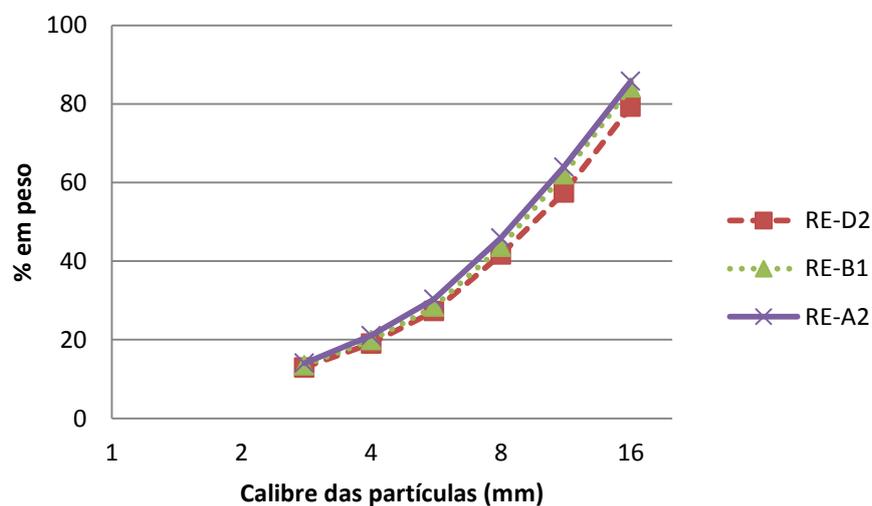


Fig. II-2- Distribuição granulométrica de todas as subamostras analisadas - análise de repetibilidade- RESIESTRELA

Tabela II-3- Análise granulométrica de repetibilidade da amostra SULDOURO

Fracção Granulo-métrica (mm)	SDN1	SDN2	SDN3	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)
Supra 16	41,79	43,04	46,05	41,79	46,05	43,63	1,79	4,1
-16 +11,2	25,39	24,50	22,39	22,39	25,39	24,09	1,26	5,2
-11,2 + 8	17,97	16,18	16,74	16,18	17,97	16,96	0,75	4,4
-8 + 5,6	8,93	10,00	8,74	8,74	10,00	9,22	0,55	6,0
- 5,6 + 4	2,50	2,79	2,40	2,40	2,79	2,57	0,17	6,5
- 4 + 2,8	1,45	1,31	1,31	1,31	1,45	1,35	0,06	4,8
Infra 2,8	1,97	2,18	2,37	1,97	2,37	2,17	0,16	7,6
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		

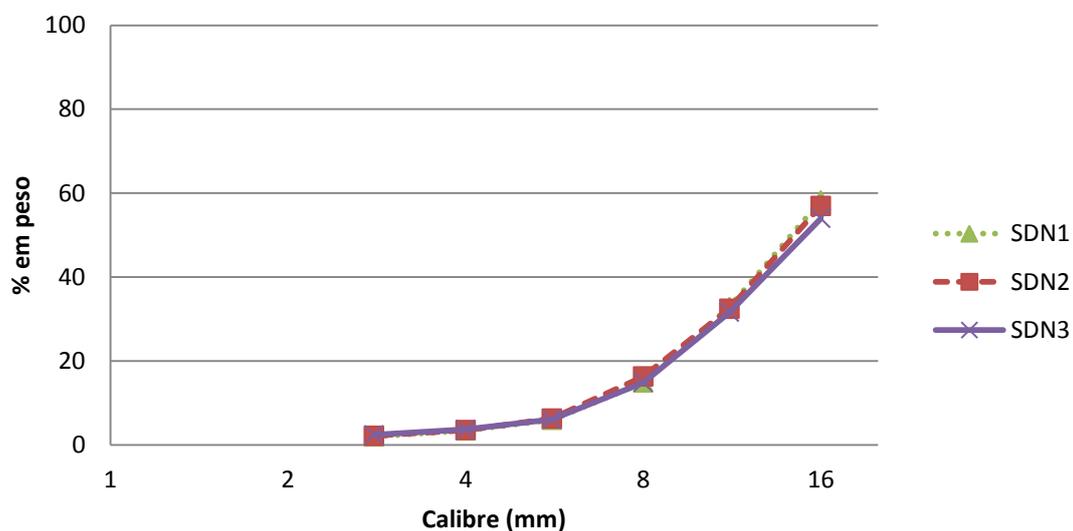


Fig. II-3- Distribuição granulométrica de todas as subamostras analisadas - análise de repetibilidade- SULDOURO

Tabela II-4 -Análise granulométrica de repetibilidade da amostra TRATOLIXO (Dias, 2011)

Fracção Granulo-métrica (mm)	TL 1	TL 2	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)
Supra 16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
-16 +11,2	7,97	8,31	7,97	8,31	8,14	0,24	2,9
-11,2 + 8	36,14	33,67	33,67	36,14	34,91	1,75	5,0
-8 + 5,6	36,97	37,29	36,97	37,29	37,13	0,23	0,6
-5,6 + 4	11,03	12,15	11,03	12,15	11,59	0,79	6,8
-4 + 2,8	5,04	5,23	5,04	5,23	5,14	0,13	2,5
Infra 2,8	2,85	3,35	2,85	3,35	3,10	0,35	11,3
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		

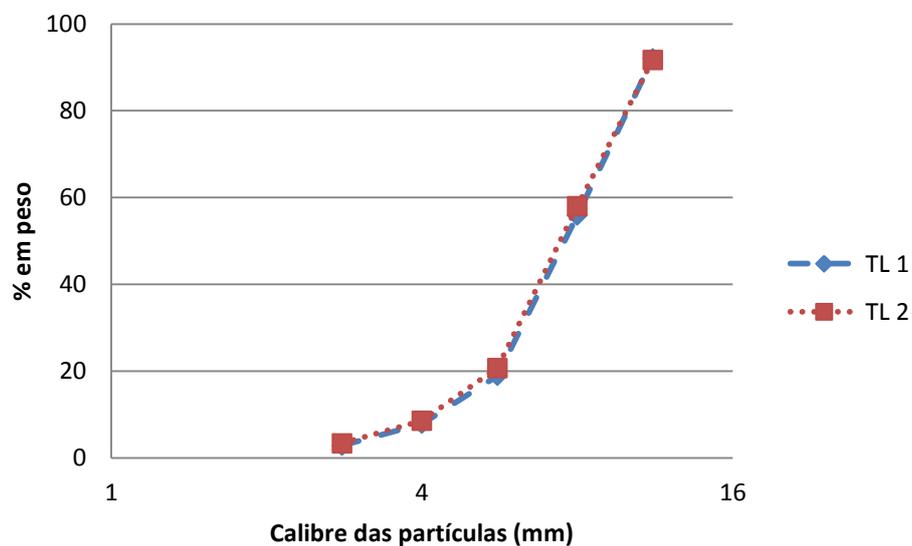


Fig. II-4- Distribuição granulométrica de todas as subamostras analisadas - análise de repetibilidade-TRATOLIXO (Dias, 2011)

Tabela II-5- Análise granulométrica de repetibilidade da amostra VALNOR (Dias, et al., 2011b)

Fração Granulo-métrica (mm)	VN- I1	VN- I2	VN- I3	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)
Supra 16	0,35	0,00	0,00	0,00	0,35	0,12	0,20	169,1
-16 +11,2	8,33	7,21	10,00	7,21	10,00	8,51	1,40	16,5
-11,2 + 8	31,31	31,47	29,70	29,70	31,47	30,83	0,98	3,2
-8 + 5,6	25,06	25,35	23,12	23,12	25,35	24,51	1,21	4,9
- 5,6 + 4	10,31	10,02	10,76	10,02	10,76	10,36	0,37	3,6
- 4 + 2,8	6,04	6,16	6,43	6,04	6,43	6,21	0,20	3,3
Infra 2,8	18,60	19,80	19,98	18,60	19,98	19,46	0,75	3,9
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		

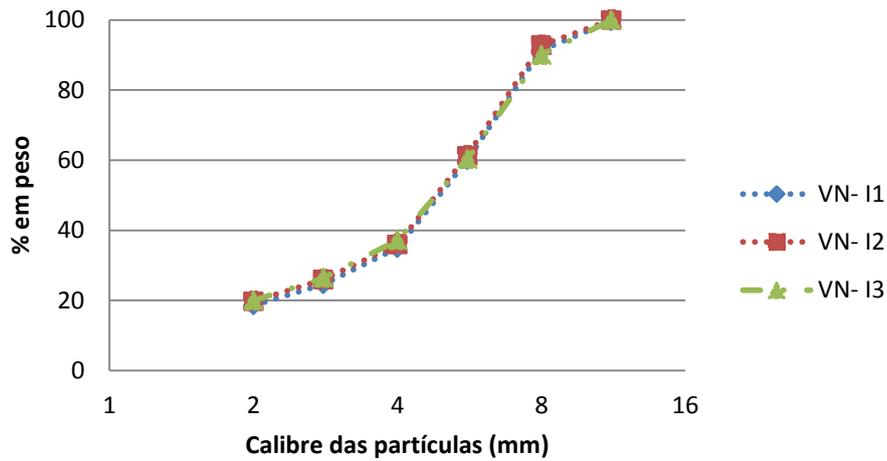


Fig. II-5- Distribuição granulométrica de todas as subamostras analisadas - análise de repetibilidade- VALNOR (Dias, et al., 2011b)

Tabela II-6- Análise granulométrica de repetibilidade da amostra VALORLIS

Fracção Granulo-métrica (mm)	VL-I	VL-II	VL-III	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)
Supra 16	62,14	69,18	68,95	34,66	34,66	51,92	24,41	6,0
-16 +11,2	14,35	10,11	13,33	16,34	16,34	13,23	4,41	17,5
-11,2 + 8	11,36	9,23	8,18	19,80	19,80	14,51	7,48	16,9
-8 + 5,6	8,69	7,86	6,68	17,15	17,15	12,50	6,57	13,0
- 5,6 + 4	1,77	1,68	1,54	4,90	4,90	3,29	2,28	7,2
- 4 + 2,8	0,75	0,72	0,53	2,39	2,39	1,55	1,18	17,6
Infra 2,8	0,95	1,22	0,79	4,76	4,76	2,99	2,50	22,4
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		

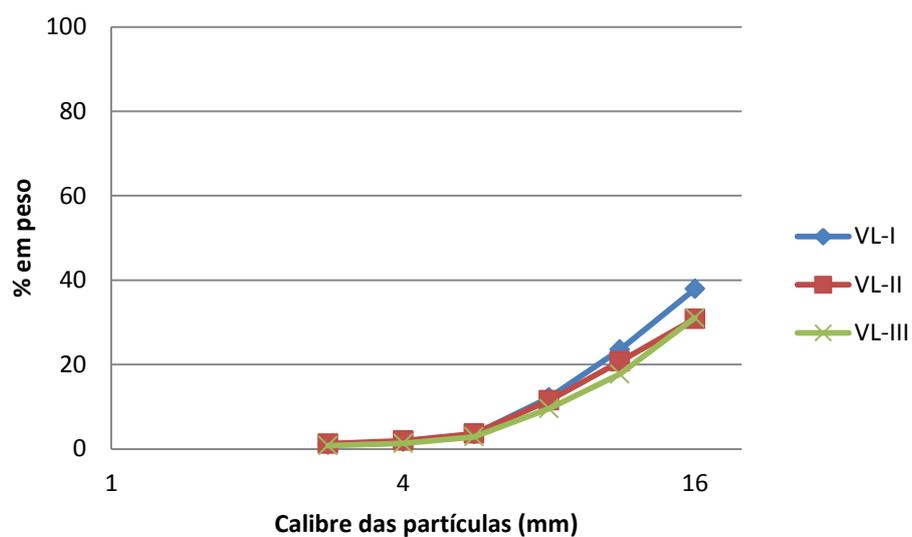


Fig. II-6- Distribuição granulométrica de todas as subamostras analisadas - análise de repetibilidade- VALORLIS

2. Análise de composição

A Tabela II-7 apresenta os teores de cada material na totalidade de cada amostra.

Tabela II-7- Composição total de cada instalação de TMB

Sistema	Teor (%)							Total
	Vidro	Cerâmica	Pedras	Tijolo	Metal	Plástico	Outros	
AMARSUL	40,96	0,52	26,19	0,55	0,07	0,20	31,50	100,00
RESIESTRELA	53,29	2,34	11,96	0,81	1,17	1,58	28,86	100,00
SULDOURO	56,68	15,04	13,88	2,73	1,04	0,88	9,75	100,00
TRATOLIXO	82,87	1,73	6,99	0,57	0,16	0,40	7,28	100,00
VALNOR	33,18	1,01	14,76	0,65	0,60	0,75	49,05	100,00
VALORLIS	58,34	8,08	11,09	0,51	3,77	0,42	17,78	100,00

Os resultados das análises de composição por fracção granulométrica de uma sub-amostra de cada instalação, nomeadamente percentagem em peso de cada fracção são apresentados na Tabela III-8.

Tabela II-8- Composição por fracção granulométrica por instalação. 1) AMARSUL, 2) RESIESTRELA, 3)SULDOURO, 4)TRATOLIXO (Dias, 2011), 5)VALNOR (Dias, et al., 2011b) e 6)VALORLIS

Fracção Granulométrica (mm)	% em peso	1) AMARSUL - Teor (%)							
		VIDRO	Cerâmica	Pedras	Tijolo	Metal	Plástico	Outros	Total
Supra 16	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
-16 +11,2	0,01	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
-11,2 + 8	5,20	75,64	0,31	17,71	2,56	0,00	0,20	3,58	100,00
- 8 + 5,6	26,48	68,29	1,03	19,30	1,11	0,04	0,36	9,88	100,00
- 5,6 + 4	24,70	50,34	0,95	37,56	0,52	0,26	0,39	9,99	100,00
- 4 + 2,8	19,54	33,30	0,00	55,32	0,00	0,00	0,00	11,39	100,00
Infra 2,8	24,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Total	100,00	40,96	0,52	26,19	0,55	0,07	0,20	31,50	100,00

Fracção Granulométrica (mm)	% em peso	2)RESIESTRELA - Teor (%)							
		VIDRO	Cerâmica	Pedras	Tijolo	Metal	Plástico	Outros	Total
Supra 16	16,62	63,31	5,31	5,62	2,02	3,80	2,23	17,71	100,00
-16 +11,2	26,64	75,33	4,18	6,65	0,98	1,30	1,22	10,34	100,00
-11,2 + 8	15,05	68,09	1,63	9,19	0,38	0,00	2,57	18,15	100,00
-8 + 5,6	14,18	52,26	0,48	16,63	0,79	0,95	3,21	25,69	100,00
- 5,6 + 4	8,10	42,06	0,52	30,89	0,59	0,78	0,59	24,56	100,00
- 4 + 2,8	6,38	26,65	0,00	45,19	0,00	0,00	0,00	28,16	100,00
Infra 2,8	13,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Total	100,00	53,29	2,34	11,96	0,81	1,17	1,58	28,86	100,00

Fracção Granulométrica (mm)	% em peso	3)SULDOURO - Teor (%)							
		Vidro	Cerâmica	Pedras	Tijolo	Metal	Plástico	Outros	Total
Supra 16	50,29	45,02	24,67	18,52	3,92	0,55	0,95	6,36	100,00
-16 +11,2	23,02	72,68	9,38	8,61	1,45	3,21	1,14	3,53	100,00
-11,2 + 8	15,06	77,60	2,86	7,94	2,78	0,00	0,24	8,58	100,00
-8 + 5,6	6,33	60,93	0,00	13,89	0,00	0,00	1,48	23,70	100,00
- 5,6 + 4	2,16	66,67	2,22	13,89	0,56	1,11	0,56	15,00	100,00
- 4 + 2,8	0,83	38,24	0,00	25,00	0,00	0,00	0,00	36,76	100,00
Infra 2,8	2,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Total	100	56,68	15,04	13,88	2,73	1,04	0,88	9,75	100,00

Fracção granulométrica (mm)	% em peso	4) TRATOLIXO - Teor (%)							
		VIDRO	Cerâmica	Pedras	Tijolo	Metal	Plástico	Outros	Total
Supra 16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-16 +11,2	7,97	89,62	5,03	3,37	0,93	0,00	1,06	0,00	100,00
-11,2 + 8	36,14	89,72	2,44	4,29	0,51	0,36	0,29	2,39	100,00
-8 + 5,6	36,97	85,61	0,94	6,65	0,77	0,03	0,41	5,59	100,00
- 5,6 + 4	11,03	74,87	0,96	13,66	0,29	0,14	0,48	9,60	100,00
- 4 + 2,8	5,04	68,10	0,00	24,06	0,00	0,00	0,00	7,85	100,00
Infra 2,8	2,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Total	100,00	82,87	1,73	6,99	0,57	0,16	0,40	7,28	100,00

Fracção Granulométrica (mm)	% em peso	5) VALNOR- Teor (%)							
		VIDRO	Cerâmica	Pedras	Tijolo	Metal	Plástico	Outros	Total
Supra 16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-16 +11,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-11,2 + 8	10,00	62,34	7,47	11,53	1,14	6,01	0,16	11,36	100,00
- 8 + 5,6	29,70	57,24	0,55	19,30	0,88	0,00	1,48	20,56	100,00
- 5,6 + 4	23,12	33,92	0,42	25,92	0,92	0,00	0,71	38,10	100,00
- 4 + 2,8	10,76	19,57	0,00	17,87	0,62	0,00	1,23	60,71	100,00
Infra 2,8	26,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
Total	100,00	33,18	1,01	14,76	0,65	0,60	0,75	49,05	100,00

Fracção Granulométrica (mm)	% em peso	6) VALORLIS - Teor (%)							
		VIDRO	Cerâmica	Pedras	Tijolo	Metal	Plástico	Outros	Total
Supra 16	69,18	54,56	10,79	13,03	0,59	5,26	0,34	15,42	100,00
-16 +11,2	10,11	71,88	2,15	7,78	0,00	0,30	0,87	17,03	100,00
-11,2 + 8	9,23	75,11	2,07	2,40	0,50	0,33	0,95	18,64	100,00
- 8 + 5,6	7,86	65,63	2,33	9,79	0,73	0,78	0,19	20,55	100,00
- 5,6 + 4	1,68	59,00	1,14	8,88	0,00	0,23	0,00	30,75	100,00
- 4 + 2,8	0,72	35,83	0,00	19,79	0,00	0,00	0,00	44,39	100,00
Infra 2,8	98,78	55,80	1,76	9,23	0,50	0,56	0,13	32,02	100,00
Total	69,18	54,56	10,79	13,03	0,59	5,26	0,34	15,42	100,00

Visto que os contaminantes mais representativos são as pedras e os “outros” foi feita uma análise mais detalhada da percentagem em peso e teor (%) em vidro, pedras e “outros” em função do calibre (Tabela II-8 -1, 2, 3, 4, 5 e 6).

Tabela II-9- Análise dos resultados da percentagem em peso de cada material e seu teor para cada instalação. 1) AMARSUL, 2)RESIESTRELA, 3)SULDOURO, 4)TRATOLIXO, 5)VALNOR e 6)VALORLIS

Fracção Granulométrica (mm)	1) AMARSUL											
	Vidro				Pedras				Outros			
	η (%)	η (%) Acumulado)	Teor simples (%)	Teor acumulado (%)	η (%)	% Acumulado)	Teor simples (%)	Teor acumulado (%)	η (%)	% Acumulado)	Teor simples (%)	Teor acumulado (%)
Supra 16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	100,00	100,00
-16 +11,2	0,03	0,03	100,00	33,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,07
-11,2 + 8	9,58	9,61	75,64	75,38	3,51	3,51	17,71	17,60	0,59	0,66	3,58	3,97
-8 + 5,6	44,00	53,61	68,29	69,46	19,45	22,96	19,30	19,02	8,28	8,94	9,88	8,90
- 5,6 + 4	30,39	84,00	50,34	61,07	35,47	58,43	37,56	27,16	7,84	16,78	9,99	9,38
- 4 + 2,8	16,00	100,00	33,30	53,88	41,57	100,00	55,32	34,45	7,12	23,89	11,39	9,90
Infra 2,8	0,00	100,00	0,00	40,96	0,00	100,00	0,00	26,19	76,11	100,00	100,00	31,50
Total	100,00		40,96		100,00		26,19		100,00		31,50	

Fracção Granulométrica (mm)	2) RESIESTRELA											
	Vidro				Pedras				Outros			
	η (%)	% acumulado)	Teor simples (%)	Teor acumulado (%)	η (%)	% acumulado)	Teor simples (%)	Teor acumulado (%)	η (%)	% acumulado)	Teor simples (%)	Teor acumulado (%)
Supra 16	19,57	19,57	63,31	63,31	7,74	7,74	5,62	5,62	18,31	18,31	17,71	17,71
-16 +11,2	37,40	56,97	75,33	70,72	14,72	22,46	6,65	6,26	17,18	35,49	10,34	13,17
-11,2 + 8	19,07	76,04	68,09	70,04	11,47	33,93	9,19	7,01	17,00	52,50	18,15	14,45
-8 + 5,6	13,98	90,01	52,26	66,52	19,82	53,75	16,63	8,91	22,99	75,49	25,69	16,68
- 5,6 + 4	6,82	96,83	42,06	63,91	22,32	76,07	30,89	11,26	13,32	88,81	24,56	17,52
- 4 + 2,8	3,17	100,00	26,65	61,20	23,93	100,00	45,19	0,00	11,19	100,00	28,16	89,13
Infra 2,8	0,00	100,00	0,00	53,29	0,00	100,00	0,00	11,96	0,00	100,00	100,00	28,86
Total	100,00		53,29		100,00		11,96		100,00		28,86	

Fracção Granulométrica (mm)	3) SULDOURO											
	VIDRO				Pedras				Outros			
	η (%)	% Acumulada	Teor (%)	Teor acumulado (%)	η (%)	% Acumulada	Teor (%)	Teor acumulado (%)	η (%)	% Acumulada	Teor (%)	Teor acumulado (%)
Supra 16	36,27	36,27	58,41	58,41	82,43	82,43	8,48	8,48	41,67	41,67	11,97	11,97
-16 +11,2	30,46	66,73	79,78	66,55	4,95	87,38	0,83	5,57	11,08	52,75	5,18	9,39
-11,2 + 8	19,36	86,10	73,78	68,05	10,77	98,14	2,62	4,96	16,00	68,75	10,88	9,70
-8 + 5,6	10,31	96,41	76,84	68,89	1,86	100,00	0,88	4,57	7,62	76,37	10,14	9,74
- 5,6 + 4	2,44	98,85	65,74	68,81	0,00	100,00	0,00	4,45	3,86	80,23	18,51	9,97
- 4 + 2,8	1,15	100,00	52,73	68,57	0,00	100,00	0,00	4,38	3,19	83,42	26,18	10,21
Infra 2,8	0,00	100,00	0,00	67,21	0,00	100,00	0,00	4,30	16,58	100,00	100,00	11,99
Total	100,00		67,21		100,00		4,30		100,00		11,99	

Fracção Granulométrica (mm)	4) TRATOLIXO											
	VIDRO				Pedras				Outros			
	η (%)	% Acumulada	Teor simples (%)	Teor acumulado (%)	η (%)	% Acumulada	Teor (%)	Teor acumulado (%)	η (%)	% Acumulada	Teor (%)	Teor acumulado (%)
Supra 16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-16 +11,2	8,62	8,62	89,62	89,62	3,84	3,84	3,37	3,37	0,00	0,00	0,00	0,00
-11,2 + 8	39,11	47,72	89,72	89,70	22,16	26,00	4,29	4,12	10,06	10,06	2,39	1,96
-8 + 5,6	38,17	85,90	85,61	87,83	35,12	61,12	6,65	5,27	24,05	34,11	5,59	3,62
- 5,6 + 4	9,96	95,86	74,87	86,28	21,55	82,67	13,66	6,28	12,33	46,44	9,60	4,33
- 4 + 2,8	4,14	100,00	68,10	85,34	17,33	100,00	24,06	7,20	4,60	51,04	7,22	4,48
Infra 2,8	0,00	100,00	0,00	82,86	0,00	100,00	0,00	6,99	48,96	100,00	100,00	7,25
Total	100,00		82,86		100,00		6,99		100,00		7,25	

Fracção Granulométrica (mm)	5) VALNOR											
	VIDRO				Pedras				Outros			
	η (%)	% acumulada	Teor (%)	Teor acumulado (%)	η (%)	% acumulada	Teor (%)	Teor acumulado (%)	η (%)	% acumulada	Teor (%)	Teor acumulado (%)
Supra 16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-16 +11,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-11,2 + 8	18,88	18,88	62,34	62,34	7,85	7,85	11,53	11,53	2,33	2,33	11,36	11,36
-8 + 5,6	51,33	70,21	57,24	58,52	38,90	46,74	19,30	17,34	12,47	14,80	20,56	18,24
-5,6 + 4	23,55	93,76	33,92	49,51	40,44	87,18	25,92	20,48	17,89	32,69	38,10	25,52
-4 + 2,8	6,24	100,00	19,57	45,19	12,82	100,00	17,87	20,11	13,10	45,79	60,71	30,59
Infra 2,8	0,00	100,00	0,00	33,18	0,00	100,00	0,00	14,76	54,21	100,00	100,00	49,05
Total	100,00		33,18		100,00		14,76		100,00		49,05	

Fracção Granulométrica (mm)	6) VALORLIS											
	VIDRO				Pedras				Outros			
	η (%)	% acumulada	Teor (%)	Teor acumulado (%)	η (%)	% acumulada	Teor (%)	Teor acumulado (%)	η (%)	% acumulada	Teor (%)	Teor acumulado (%)
Supra 16	64,74	64,74	54,56	54,56	81,38	81,38	13,03	13,03	60,03	60,03	15,42	15,42
-16 +11,2	12,43	77,17	71,88	56,77	7,08	88,46	7,78	12,36	9,66	69,69	17,03	15,62
-11,2 + 8	11,86	89,03	75,11	58,67	1,99	90,45	2,40	11,33	9,66	79,35	18,64	15,93
-8 + 5,6	8,84	97,87	65,63	59,24	6,94	97,39	9,79	11,20	9,08	88,43	20,55	16,31
-5,6 + 4	1,69	99,56	59,00	59,24	1,34	98,73	8,88	11,16	2,89	91,32	30,75	16,56
-4 + 2,8	0,44	100,00	35,83	59,07	1,27	100,00	19,79	11,22	1,78	93,10	44,39	16,76
Infra 2,8	0,00	100,00		58,34	0,00	100,00	0,00	11,09	6,90	100,00	100,00	17,78
Total	100,00		58,34		100,00		11,09		100,00		17,78	