

MAIS DE 35 ANOS  
A CONVERTER  
CONHECIMENTO  
EM VALOR

## Projeto E-Cycle 2022

Relatório Global

30/12/2022



**E-Cycle**

ASSOCIAÇÃO DE PRODUTORES DE EEE



## **RELATÓRIO DA 1ªFASE**

**Análise de viabilidade de implementação de processos de reciclagem de painéis fotovoltaicos e reutilização de materiais resultantes em novos processos produtivos**

## Índice

0. INTRODUÇÃO.....	1
1. CAPÍTULO 1: Análise de mercado de painéis fotovoltaicos e o seu fim de vida.....	3
2. CAPÍTULO 2: Análise técnica.....	5
2.1. Análise Estrutural do painel fotovoltaico .....	5
2.2. Análise de Subprocessos.....	8
2.2.1. Propostas anteriores .....	8
2.2.2. Considerações técnicas.....	9
2.2.2.1. Etapa prévia de limpeza .....	9
2.2.2.2. Ciclo térmico.....	9
2.2.2.3. Subprocessos .....	10
2.3. Desenho do processo.....	11
2.3.1. Proposta nº 1 .....	12
2.3.2. Proposta nº 2 .....	13
2.3.3. Proposta nº 3.....	14
2.3.4. Proposta nº 4.....	15
2.4. Análise de equipamentos.....	16
2.4.1. Desmantelamento .....	16
2.4.2. Descarnamento de cabos.....	17
2.4.3. Laminagem / corte.....	17
2.4.4. Trituração.....	19
2.4.5. Separação por radiação eletromagnética .....	19
2.4.6. Separação magnética .....	20
2.4.7. Separação por correntes <i>Foucault (Eddy current)</i> .....	21
2.4.8. Corte a quente .....	22
2.4.9. Separação de semi-metais .....	23
2.4.10. Separação densimétrica .....	23
2.4.11. Ciclo térmico .....	24
2.4.12. Descolamento do vidro.....	24
2.4.13. Condução dos materiais.....	25
2.5. Produtividade e consumos.....	26
3. CAPÍTULO 3: Análise Económica .....	29
3.1. Lista de potenciais fornecedores.....	30
3.2. Custo de equipamentos .....	33
3.3. Custos de transporte .....	34
3.4. Custos de recursos humanos.....	35
3.5. Valorização dos materiais recuperados.....	35
3.6. Indicadores de Custo-Benefício .....	38
4. CAPÍTULO 4: Comparação de cenários técnico-económicos.....	39
4.1. Cenário 1.....	40
4.2. Cenário 2.....	42
4.3. Cenário 3.....	44
4.4. Cenário 4.....	46

4.5.	Cenário 5.....	48
4.6.	Cenário 6.....	50
4.7.	Cenário 7.....	52
4.8.	Cenário 8.....	54
4.9.	Cenário 9.....	56
4.10.	Cenário 10.....	58
4.11.	Cenário 11.....	60
4.12.	Cenário 12.....	62
4.13.	Cenário 13.....	64
4.14.	Cenário 14.....	66
4.15.	Cenário 15.....	68
4.16.	Cenário 16.....	70
4.17.	Considerações finais sobre a análise de viabilidade técnico-económica.....	72
5.	CAPÍTULO 5: ANÁLISE AMBIENTAL.....	76
5.1.	Metodologia.....	76
5.2.	Objetivo do estudo.....	77
5.3.	Âmbito do estudo.....	78
5.3.1.	Fronteiras do sistema.....	80
5.3.1.1.	Proposta nº1.....	80
5.3.1.2.	Proposta nº2.....	81
5.3.1.3.	Proposta nº3.....	81
5.3.1.4.	Proposta nº4.....	82
5.4.	Inventário.....	82
5.4.1.	Análise do inventário.....	82
5.4.1.1.	Proposta nº1.....	83
5.4.1.2.	Proposta nº2.....	91
5.4.1.3.	Proposta nº3.....	98
5.4.1.4.	Proposta nº4.....	105
5.5.	Avaliação do impacte ambiental.....	111
5.5.1.	Base de dados e metodologia.....	111
5.5.2.	Categorias de impacte ambiental.....	111
5.5.3.	Resultados.....	112
5.5.3.1.	Proposta nº1.....	112
5.5.3.2.	Proposta nº2.....	114
5.5.3.3.	Proposta nº3.....	116
5.5.3.4.	Proposta nº4.....	117
5.5.3.5.	Comparação de Cenários.....	119
5.6.	Conclusões e sugestões futuras sobre a análise ambiental.....	120
6.	REFERÊNCIAS.....	121
6.1.	<i>Websites</i> .....	121
	ANEXO I – Equipamentos sem valor de transporte.....	122

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Produção de eletricidade a partir de fontes renováveis, dados do INE, Estatísticas do Ambiente, 2020.....	3
Tabela 2 - Materiais recuperados e respetivos pesos passíveis de recuperar por painel fotovoltaico de 18 kg.....	6
Tabela 3 - Quantidades dos diferentes constituintes dos fios condutores. ....	6
Tabela 4 – Densidade dos materiais presentes nos painéis fotovoltaicos de acordo com o estudo em referência (1).....	7
Tabela 5 – Resumo das características dos equipamentos estudados para integração na linha de produção mencionados no subcapítulo 2.4. ....	27
Tabela 6 - Lista de fornecedores, respetivos equipamentos, processos, contactos. ....	30
Tabela 7 - Custos da aquisição dos equipamentos. ....	33
Tabela 8 - Custo estimado do transporte terrestre.....	34
Tabela 9 - Valorização dos metais no estado puro.....	35
Tabela 10 - Valores médios obtidos para a compra dos materiais recuperados. ....	36
Tabela 11 – Receitas calculadas na venda dos materiais.....	37
Tabela 12 - Análise em resumo do cenário 1.....	41
Tabela 13 - Análise em resumo do cenário 2.....	43
Tabela 14 - Análise em resumo do cenário 3.....	45
Tabela 15 - Análise em resumo do cenário 4.....	47
Tabela 16 - Análise em resumo do cenário 5.....	49
Tabela 20 - Análise em resumo do cenário 6.....	51
Tabela 18 - Análise em resumo do cenário 7.....	53
Tabela 22 - Análise em resumo do cenário 8.....	55
Tabela 20 - Análise em resumo do cenário 9.....	57
Tabela 21 - Análise em resumo do cenário 10.....	59
Tabela 22 - Análise em resumo do cenário 11.....	61
Tabela 26 - Análise em resumo do cenário 12.....	63
Tabela 24 - Análise em resumo do cenário 13.....	65
Tabela 25 - Análise em resumo do cenário 14.....	67
Tabela 26 - Análise em resumo do cenário 15.....	69
Tabela 27 - Análise em resumo do cenário 16.....	71
Tabela 28 - Tabela comparativa de cenários com menor capacidade de produção. ....	74
Tabela 29 - Tabela comparativa de cenários com maior capacidade de produção.....	75
Tabela 30 - Materiais recuperados e respetivos pesos passíveis de recuperar por painel solar e as respetivas densidades média ponderada de cada material. ....	79
Tabela 31 - Resumo dos diferentes cenários analisados. ....	83
Tabela 32 - Dados de Inventário da mesa de desmantelamento referente à Proposta nº1.....	84
Tabela 33 - Dados de Inventário do descarnamento dos cabos referente à Proposta nº1. ....	84
Tabela 34 - Dados de Inventário da laminadora referente à Proposta nº1.....	85
Tabela 35 - Dados de Inventário da trituradora referente à Proposta nº1.....	85
Tabela 36 - Dados de Inventário do separador magnético de linha ou suspenso referente à Proposta nº1.....	86

Tabela 37 - Dados de Inventário da mesa densimétrica referente à Proposta nº1.....	87
Tabela 38 - Dados de Inventário da separação do vidro a laser (Raio-X) referente à Proposta nº1..	88
Tabela 39 - Dados de Inventário da separação do silicone referente à Proposta nº1. ....	88
Tabela 40 - Dados de Inventário da separação de correntes de <i>Foucault</i> referente à Proposta nº1. .....	89
Tabela 41 - Dados de Inventário do Raio-X referente à Proposta nº1.....	90
Tabela 42 - Dados de Inventário da mesa densimétrica referente à Proposta nº1.....	90
Tabela 43 - Dados de Inventário da mesa de desmantelamento com corte quente referente à Proposta nº2.....	91
Tabela 44 - Dados de Inventário do descarnamento dos cabos referente à Proposta nº2. ....	92
Tabela 45 - Dados de Inventário da laminadora referente à Proposta nº2.....	92
Tabela 46 - Dados de Inventário da trituradora referente à Proposta nº2.....	93
Tabela 47 - Dados de Inventário do separador magnético de linha ou suspenso referente à Proposta nº2.....	93
Tabela 48 - Dados de Inventário da mesa densimétrica referente à Proposta nº2.....	94
Tabela 49 - Dados de Inventário da separação do vidro a laser (Raio-X) referente à Proposta nº2..	95
Tabela 50 - Dados de Inventário da separação do silicone referente à Proposta nº2. ....	95
Tabela 51 - Dados de Inventário de separação por correntes de <i>Foucault</i> referente à Proposta nº2. .....	96
Tabela 52 - Dados de Inventário do Raio-X referente à Proposta nº2.....	97
Tabela 53 - Dados de Inventário da mesa densimétrica referente à Proposta nº2.....	97
Tabela 54 - Dados de Inventário da mesa de desmantelamento referente à Proposta nº3.....	98
Tabela 55 - Dados de Inventário do descarnamento dos cabos referente à Proposta nº3. ....	99
Tabela 56 - Dados de Inventário da laminadora referente à Proposta nº3.....	99
Tabela 57 - Dados de Inventário do ciclo térmico referente à Proposta nº3. ....	100
Tabela 58 - Dados de Inventário da trituradora referente à Proposta nº3.....	100
Tabela 59 - Dados de Inventário do separador magnético de linha ou suspenso referente à Proposta nº3.....	101
Tabela 60 - Dados de Inventário da mesa densimétrica referente à Proposta nº3.....	101
Tabela 61 - Dados de Inventário da separação do vidro a laser (Raio-X) referente à Proposta nº3. .....	102
Tabela 62 - Dados de Inventário da separação do silicone referente à Proposta nº3. ....	102
Tabela 63 - Dados de Inventário de separação por correntes de <i>Foucault</i> referente à Proposta nº3. .....	103
Tabela 64 - Dados de Inventário do Raio-X referente à Proposta nº3.....	104
Tabela 65 - Dados de Inventário da mesa densimétrica referente à Proposta nº3.....	104
Tabela 69 - Dados de Inventário da mesa de desmantelamento referente à Proposta nº4.....	105
Tabela 67 - Dados de Inventário do descarnamento dos cabos referente à Proposta nº4. ....	106
Tabela 68 - Dados de Inventário da lâmina a quente referente à Proposta nº4.....	106
Tabela 69 - Dados de Inventário da laminadora referente à Proposta nº4.....	107
Tabela 70 - Dados de Inventário da trituradora referente à Proposta nº4.....	107
Tabela 71 - Dados de Inventário do separador magnético de linha ou suspenso referente à Proposta nº4.....	108
Tabela 72 - Dados de Inventário da mesa densimétrica referente à Proposta nº4.....	108

Tabela 73 - Dados de Inventário da separação do vidro a laser (Raio-X) referente à Proposta nº4.	109
Tabela 74 - Dados de Inventário da separação do silicone referente à Proposta nº4.	109
Tabela 75 - Dados de Inventário de separação por correntes de <i>Foucault</i> referente à Proposta nº4.	110
Tabela 76 - Dados de Inventário do Raio-X referente à Proposta nº4.	110
Tabela 77 - Dados de Inventário da mesa densimétrica referente à Proposta nº4.	111
Tabela 78 - Resumo dos consumos energéticos da linha de desmantelamento para cada cenário e proposta.	112
Tabela 79 - Quantificação dos impactes ambientais referentes à proposta nº1 para cada etapa de processamento.	113
Tabela 80 - Quantificação dos impactes ambientais referentes à proposta nº2 para cada etapa de processamento.	115
Tabela 81 - Quantificação dos impactes ambientais referentes à proposta nº3 para cada etapa de processamento.	116
Tabela 82 - Quantificação dos impactes ambientais referentes à proposta nº4 para cada etapa de processamento.	118
Tabela 83 - Quadro resumo da quantificação do impacte ambiental para cada cenário.	119

## Índice de Figuras

Figura 1 – Corte transversal de um módulo fotovoltaico (Seabra <i>et al.</i> , 2020).	5
Figura 2 – Esquema de um painel fotovoltaico (fonte: Adapted from <i>Nat. Energy</i> 2020, DOI: 10.1038/s41560-020-0645-2).	5
Figura 3 – Desenho de processo relativo à proposta nº 1.	12
Figura 4 – Desenho de processo relativo à proposta nº 2.	13
Figura 5 – Desenho de processo relativo à proposta nº 3.	14
Figura 6 – Desenho de processo relativo à proposta nº 4.	15
Figura 7 – Mesa de desmantelamento ( <i>NPC Incorporated</i> ) (Imagem submetida a direitos de autor pela <i>NPC Incorporated</i> ).	16
Figura 8 – A - Equipamento semiautomático de descarnamento dos cabos; B - Linha de descarnamento e separação dos cabos (Imagens retiradas do <i>site</i> de vendas Alibaba).	17
Figura 9 – Equipamento de laminagem / corte (Imagem retirada do <i>site</i> de vendas Alibaba).	18
Figura 10 – Equipamento de trituração (Imagem retirada do <i>site</i> de vendas Alibaba).	19
Figura 11 – A - Equipamento de separação eletromagnética de vidro temperado e polímeros ( <i>Autosort Laser</i> da Tomra); B - Equipamento de separação eletromagnética de metais ( <i>Combisense</i> da Tomra) (Imagens retiradas do <i>website</i> da Tomra).	20
Figura 12 – A - Equipamento de separação magnética a ser integrado em linha com os restantes equipamentos; B - Equipamento de separação magnética a suspender sobre a linha de produção (Imagens retiradas do <i>site</i> de vendas Alibaba).	20
Figura 13 – Equipamento de separação de metais por correntes <i>Foucault</i> (ou <i>Eddy current</i> ) (Imagem retirada do <i>site</i> de vendas Alibaba).	21



Figura 14 – A - Linha de desmantelamento e corte a quente, que inclui as etapas de remoção do caixilho, caixa de junção, cabos e vidro temperado (NPC Incorporated) (Imagem submetida a direitos de autor pela NPC Incorporated) ; B - Lâmina quente para remoção manual do vidro temperado após o desmantelamento ( <i>Brico Butikk</i> ) (Imagem submetida a direitos de autor pela Brico Butikk). .....	22
Figura 15 – Linha de separação de silício e borracha de sílica (Imagem retirada do <i>site</i> de vendas Alibaba). .....	23
Figura 16 – Equipamento de separação de metais utilizando o peso específico (Stokkermill) (Imagem submetida a direitos de autor pela Stokkermill). .....	23
Figura 17 – A - Estufa proposta pela Paralab (Paralab) (Imagem retirada da proposta da Paralab ao INEGI e, portanto, com direitos de autor reconhecidos pela marca); B - Câmara térmica proposta pela Concessus, Memmert (Memmert) (Imagem retirada da proposta da Memmert ao INEGI e, portanto, com direitos de autor reconhecidos pela marca). .....	24
Figura 18 – A - Pinças / garras (Kaiser+Kraft) (Imagem submetida a direitos de autor pela Kaiser+Kraft); B - Braço pneumático para elevação com ventosas (Imagem retirada do <i>site</i> de vendas Alibaba). .....	25
Figura 19 – A - Transportador de tapete; B - Transportador de tapete customizado (Imagens retiradas do <i>site</i> de vendas Alibaba).....	26
Figura 20 - Esquema de um painel fotovoltaico. ....	79
Figura 21 - Fronteiras do sistema relativo à proposta nº1.....	80
Figura 22 - Fronteiras do sistema relativo à proposta nº2.....	81
Figura 23 - Fronteiras do sistema relativo à proposta nº3.....	81
Figura 24 - Fronteiras do sistema relativo à proposta nº4.....	82
Figura 25 - Representação gráfica da quantificação dos impactes ambientais referentes à proposta nº1 para cada etapa de processamento.....	113
Figura 26 - Representação gráfica da quantificação dos impactes ambientais referentes à proposta nº2 para cada etapa de processamento.....	114
Figura 27 - Representação gráfica da quantificação dos impactes ambientais referentes à proposta nº3 para cada etapa de processamento.....	117
Figura 28 - Representação gráfica da quantificação dos impactes ambientais referentes à proposta nº4 para cada etapa de processamento.....	118
Figura 29 - Representação gráfica da quantificação dos impactes ambientais de todos os cenários e para cada etapa de processamento.....	119

## 0. INTRODUÇÃO

A capacidade fotovoltaica instalada a nível mundial está atualmente em crescimento acelerado, beneficiando a transição energética com base em energia de fontes renováveis, tornando-se, no entanto, um desafio no que respeita à transição para a Economia Circular, uma vez que ainda não estão implementados, de forma consistente, processos de recuperação dos materiais críticos que compõem os painéis fotovoltaicos.

Neste momento, existe um número significativo de painéis fotovoltaicos a chegar ao seu fim de vida, representando uma quantidade considerável de resíduos com valor acrescentado que são descartados em aterros, contendo materiais considerados críticos pela Comissão Europeia, como silício, prata e cobre e que ainda não são consistentemente reciclados quando integrados nestes painéis.

Considera-se, assim, fundamental o desmantelamento dos painéis fotovoltaicos e a consequente recuperação destes elementos ou a reutilização dos painéis na fase de descarte.

Decorrem vários estudos e projetos mundialmente que procuram responder à implementação destes processos, mas também com o objetivo de os viabilizar comercialmente nos próximos anos, considerando que a recuperação destes materiais com elevada pureza pode tornar a reciclagem uma opção economicamente viável de implementação.

Assim, o presente relatório intermédio desenvolvido no âmbito do projeto em curso, entre o INEGI e a E-Cycle, acerca da *viabilidade de implementação de processos de reciclagem de painéis fotovoltaicos e reutilização de materiais resultantes em novos processos produtivos*, foi efetuado com o objetivo de analisar e avaliar o grau de exequibilidade da instalação e implementação de uma linha de produção direcionada ao desmantelamento e reciclagem de painéis fotovoltaicos com a consequente recuperação dos materiais presentes na sua composição.

O presente relatório apresenta assim, por capítulos, os tópicos analisados e avaliados, nomeadamente:

- Capítulo 1. Análise de mercado de painéis fotovoltaicos e o seu fim de vida
- Capítulo 2. Análise técnica dos processos de reciclagem de painéis fotovoltaicos:
  - Análise Estrutural – composição de um painel fotovoltaico e respetivas proporções de componentes em função do peso total;
  - Análise de subprocessos – estudo dos diferentes conjuntos de subprocessos, baseados nas propostas elaboradas pelo estudo anteriormente efetuado pela Universidade de Aveiro (1), a utilizar para o desmantelamento de um painel fotovoltaico e recuperação dos materiais que o compõem;
  - Desenho do processo e definição de sequências de subprocessos e equipamentos para cada uma das propostas elaboradas pelo estudo anteriormente efetuado (1).
  - Análise de equipamentos necessários para a implementação de cada um dos subprocessos estudados:

- Capítulo 3. Análise económica dos processos de reciclagem de painéis fotovoltaicos:
  - Pesquisa dos custos envolvidos na instalação e implementação dos cenários resultantes da análise e esboço de cada proposta identificada anteriormente (equipamentos, transporte, operação de linha, receitas mensais, despesas mensais, etc.);
  - Quantificação e valorização dos materiais recuperados com o projeto;
  - Estudo CAPEX-OPEX, incluindo os cálculos de produtividade, receitas e custos diretamente ligados ao investimento e à operação, indicadores de custo-benefício como *payback* e retorno sobre o investimento.
- Capítulo 4. Comparação de cenários técnico-económicos:
  - Identificação dos cenários resultantes da análise técnica e esboço de cada proposta anteriormente identificada no estudo da Universidade de Aveiro (1);
  - Estudo das possíveis operações em linha: quantificação e caracterização de equipamentos, nomeação e especificação dos equipamentos de trabalho em série e respetivo sequenciamento, nomeação e especificação dos equipamentos de trabalho em paralelo e desenho das respetivas ramificações, etc.
- Capítulo 5. Análise ambiental dos processos de reciclagem de painéis fotovoltaicos:
  - Avaliação do ciclo de vida de cada proposta com o objetivo de calcular e comparar o impacto ambiental de cada sistema de produção de cada proposta.

Em cada Capítulo são apresentadas as etapas necessárias para a implementação de um projeto de instalação e implementação de uma linha de desmantelamento de painéis fotovoltaicos e reciclagem com conseqüente recuperação dos materiais constituintes. Acrescenta-se que, sendo um estudo de viabilidade e não um compromisso de compra/venda de produtos, houve alguma dificuldade, ao longo do projeto, em obter todas as informações pretendidas, pelo que foram traçadas estratégias alternativas de aproximação aos valores reais, devidamente explicadas ao longo do presente relatório.

## 1. CAPÍTULO 1: Análise de mercado de painéis fotovoltaicos e o seu fim de vida

No que respeita ao mercado de energia solar e à instalação de painéis fotovoltaicos, dados recentes do INE (Instituto Nacional de Estatística) indicam um crescimento significativo da capacidade solar instalada, como se pode analisar na seguinte tabela.

Tabela 1 – Produção de eletricidade a partir de fontes renováveis, dados do INE, Estatísticas do Ambiente, 2020

NUTS	Total	Hídrica	Eólica	Fotovoltaica	Geotérmica	Biomassa
<b>Portugal</b>						
2012	<b>1 755 258</b>	572 760	882 360	33 798	12 556	253 784
2013	<b>2 632 491</b>	1 278 648	1 033 290	41 194	16 942	262 417
2014	<b>2 786 837</b>	1 411 432	1 041 579	53 949	17 663	262 214
2015	<b>2 194 290</b>	842 800	998 288	68 714	17 544	266 944
2016	<b>2 881 258</b>	1 454 776	1 072 764	74 906	14 792	264 020
2017	<b>2 090 658</b>	656 352	1 053 328	85 396	18 662	276 920
2018	<b>2 634 782</b>	1 172 008	1 085 062	86 516	19 780	271 416
2019	<b>2 479 406</b>	880 856	1 175 358	115 434	18 521	289 238
2020	<b>2 721 470</b>	1 172 438	1 057 714	147 576	18 662	325 080

Unidade: tep (Tonelada equivalente de petróleo)

Em 2021, Portugal tinha 1 801 megawatts em energia solar instalada, tendo multiplicado por mais de sete vezes a capacidade fotovoltaica existente no país, na última década.

O exemplo da Central Fotovoltaica Hércules, localizada no concelho de Serpa, tem à data uma área total de 64 hectares, é coberta por 52 mil painéis fotovoltaicos de silício monocristalino de alto rendimento (14 a 18%), com a potência total de pico de 11 megawatts<sup>1</sup>. Além desta instalação, a maior central fotovoltaica a operar em Portugal, situada em Alcoutim, tem à data uma potência de 219 megawatts e conta com cerca de 661 500 painéis instalados, que ocupam uma área descontínua de 320 hectares<sup>2</sup>.

Dado o contexto atual integrado no caminho para a descarbonização e a neutralidade carbónica, é expectável que nos próximos anos o número de painéis fotovoltaicos instalados cresça significativamente.

No entanto, os painéis solares têm uma duração estimada entre 25 a 30 anos, o que significa que muitos dos primeiros painéis solares construídos, à data atual estão a terminar o seu ciclo de vida, sem existir ainda, a nível nacional, entidades que de uma forma sistemática e consistente tenham implementado processos de reciclagem destes produtos.

Adicionalmente, a Agência Internacional de Energia Renovável estima que até 2050 existam cerca de 60 a 78 milhões de toneladas de resíduos de painéis fotovoltaicos em todo o mundo.

<sup>1</sup><https://www.energiasrenovaveis.com/energia-solar/central-fotovoltaica-hercules/>

<sup>2</sup><https://www.sulinformacao.pt/2021/10/menor-central-fotovoltaica-do-pais-e-inaugurada-amanha-em-alcoutim/>

A nível internacional, a Veolia, inaugurou recentemente em França, um Centro de Reciclagem de Painéis Solares, considerado o primeiro centro inteiramente dedicado à reciclagem de painéis solares, na Europa, com o objetivo de reciclar cerca de 1 300 toneladas de painéis solares, valor que poderá subir para 4 000 toneladas em 2022.

Estes são indicadores bastante representativos da urgência na implementação destes processos de reciclagem.

## 2. CAPÍTULO 2: Análise técnica

### 2.1. Análise Estrutural do painel fotovoltaico

De modo a materializar este estudo, foi selecionado um dos painéis fotovoltaicos de silício cristalino mais comuns e mais vendidos no mercado português<sup>3</sup>, que se caracteriza por:

- Número de células: 60;
- Dimensões: 1 000 x 1 650 x 50 [mm];
- Peso: 18 – 20 [kg];

e apresenta a seguinte estrutura:

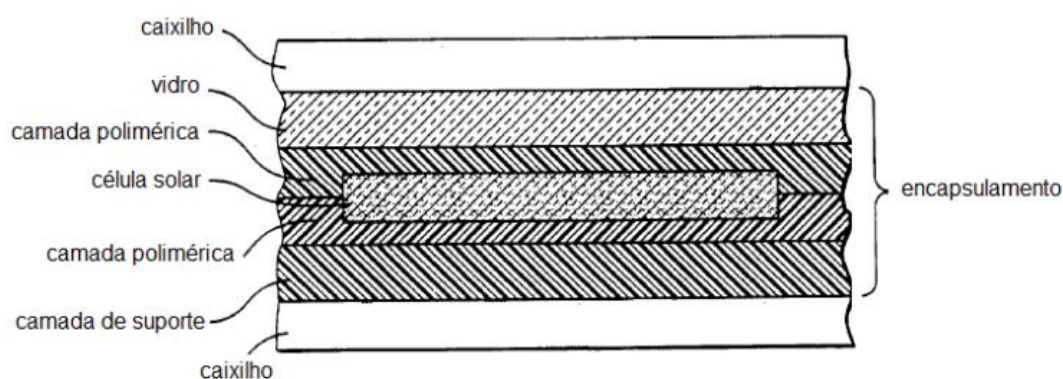


Figura 1 – Corte transversal de um módulo fotovoltaico (Seabra *et al.*, 2020).

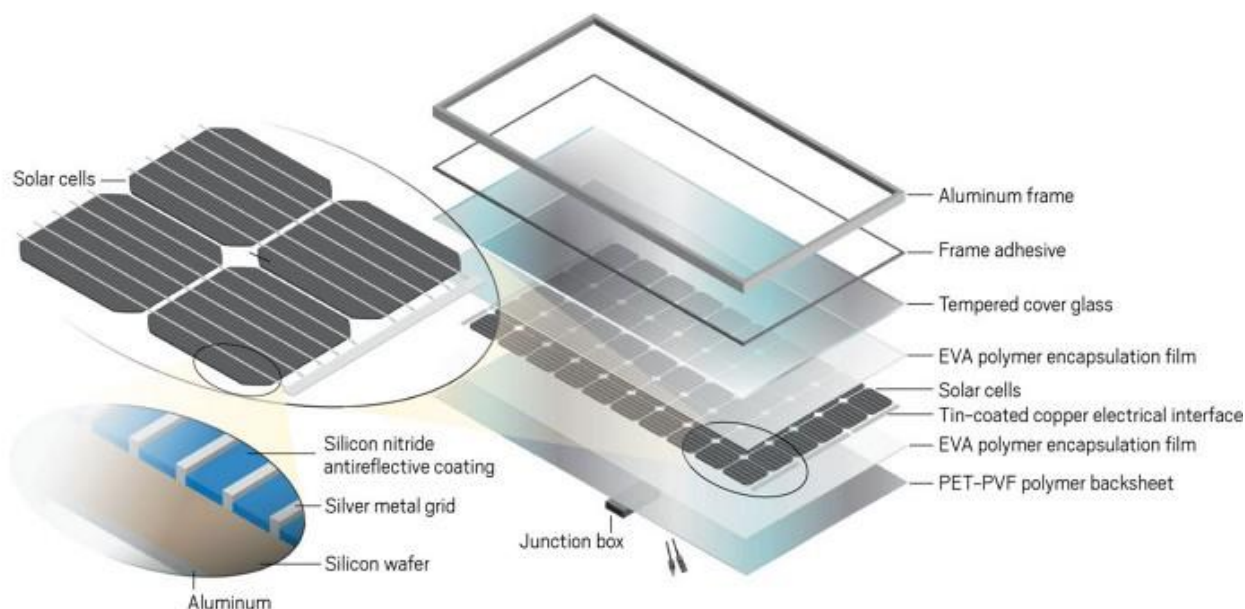


Figura 2 – Esquema de um painel fotovoltaico (fonte: Adapted from *Nat. Energy* 2020, DOI: 10.1038/s41560-020-0645-2).

<sup>3</sup> Informação recolhida do [Portal Energia](#).

Com base no estudo em referência (1), foi possível calcular a proporção prevista de materiais a recuperar do desmantelamento de um painel fotovoltaico (PF). As proporções obtidas podem ser verificadas na tabela seguinte:

Tabela 2 - Materiais recuperados e respetivos pesos passíveis de recuperar por painel fotovoltaico de 18 kg.

Material	Peso estudado anteriormente (1) [kg]	Peso calculado para 1 PF [kg]
Peso total	1000,00	18,00
Caixilho de Alumínio	180,00	3,24
Vidro	700,00	12,60
EVA	51,00	0,92
Célula solar / silício	36,50	0,66
<i>Tedlar</i>	15,00	0,27
Cabos	10,00	0,18
Condutor interno - alumínio	5,30	0,10
Condutor interno - cobre	1,14	0,02
Prata	0,53	0,01
Outros metais (estanho, chumbo)	0,53	0,01

Ao longo do relatório efetuado anteriormente (1) foi abordada a necessidade da realização de uma etapa para descarnar os fios de forma a permitir a possível recuperação total dos materiais presentes nos cabos, tendo, deste modo, sido possível considerar as quantidades dos diferentes constituintes dos fios condutores.

Tabela 3 - Quantidades dos diferentes constituintes dos fios condutores.

Material	Peso estudado anteriormente (1) [kg]	Peso calculado para de 1 PF [kg]
Peso total dos cabos	3,37E-03	0,18
Bainha exterior	1,19E-03	0,06
Bainha interior	5,46E-04	0,03
Metal condutor	1,63E-03	0,09

Para a realização do presente projeto também foi necessário ter um conhecimento prévio dos materiais utilizados (1). Assim, de acordo com o estudo em referência foi possível determinar a densidade de alguns dos materiais constituintes dos painéis fotovoltaicos.

Tabela 4 – Densidade dos materiais presentes nos painéis fotovoltaicos de acordo com o estudo em referência (1).

Material	Densidade [g/cm <sup>3</sup> ]
Alumínio	-
Vidro	2,33
EVA (33%VA)	0,95
Célula solar / silício	2,33
<i>Tedlar</i>	1,55
Cabos	-
Condutor interno – alumínio	2,70
Condutor interno – cobre	8,96
Prata	10,50
Outros metais (estanho, chumbo)	-



## 2.2. Análise de Subprocessos

### 2.2.1. Propostas anteriores

As nomenclaturas das propostas do estudo em referência (1) foram mantidas neste documento, de forma a assegurar coerência e facilidade no cruzamento da informação.

Após uma cuidada leitura e análise das propostas em causa, enumeraram-se as etapas previstas e definidas e que, de seguida, se retomam:

#### Proposta nº1:

1. Desmantelamento do painel fotovoltaico;
2. Corte;
3. Trituração / moagem;
4. Separação dos materiais (por magnetismo, correntes *Foucault*, flutuação, Raio-X, câmara de cor, densimetria, injeção de ar, ou outras adequadas).

#### Proposta nº 2:

1. Corte e descarnamento dos fios da caixa de junção;
2. Desmantelamento do painel fotovoltaico;
3. Remoção do vidro temperado através de corte por faca quente;
4. Trituração / moagem;
5. Separação dos materiais (por magnetismo, correntes *Foucault*, flutuação, Raio-X, câmara de cor, densimetria, injeção de ar, ou outras adequadas).

#### Proposta nº 3:

1. Desmantelamento do painel fotovoltaico;
2. Corte / moagem<sup>4</sup>;
3. Ciclo térmico;
4. Destacamento do vidro temperado;
5. Trituração / moagem;
6. Separação dos materiais (por magnetismo, correntes *Foucault*, flutuação, Raio-X, câmara de cor, densimetria, injeção de ar, ou outras adequadas).

---

<sup>4</sup> Na reunião de acompanhamento do projeto E-Cycle 2022 do mês 4, datada de 01 de Agosto de 2022, dada a redundância do ciclo térmico *à posteriori* e repetição deste estágio de corte após o destacamento do vidro temperado, foi acordado que o corte / moagem que precede o ciclo térmico na proposta nº 3 deveria ser desconsiderado.

#### Proposta nº 4:

1. Desmantelamento do painel fotovoltaico;
2. Remoção do vidro temperado através de corte por fio quente;
3. Trituração / moagem;
4. Separação dos materiais (por magnetismo, correntes *Foucault*, flutuação, Raio-X, câmara de cor, densimetria, injeção de ar, ou outras adequadas).

### 2.2.2. Considerações técnicas

Durante algumas das várias reuniões de acompanhamento do projeto E-Cycle 2022, foram tecidas algumas considerações que surgem como pertinentes para o sucesso do desmantelamento dos painéis e a recuperação de todos os seus componentes e que se encontram apresentadas em seguida.

#### 2.2.2.1. Etapa prévia de limpeza

O vidro temperado é um componente crítico do processo de recuperação, uma vez que as propostas elaboradas no estudo anterior (1) preveem a sua separação, quando possível, por inteiro ou em frações (isto é, em tamanho mais reduzido), para eventual reentrada direta na economia de materiais. Significa isto que, não existindo trituração ou destruição do vidro temperado, será necessário um cuidado extra na conservação do seu estado, para que este possa ser submetido a novos processos de recuperação ou reciclagem. Para tal, aconselha-se uma etapa prévia de limpeza simplificada do painel, com foco na eliminação de impurezas que possam danificar o vidro/material, nomeadamente riscar, e assim influenciar negativamente a posterior e eventual reutilização do vidro temperado. O mesmo cuidado poderá evidenciar benefícios semelhantes noutros componentes, como por exemplo no perfil de alumínio resultante de uma das etapas iniciais de desmantelamento do painel fotovoltaico. Foi abordada a eventual obrigatoriedade desta etapa, caso não exista um setor de destino para o vidro temperado não triturado (portanto, inteiro ou em frações). Ainda assim, como forma de manter o atual estudo o mais fiel às diretrizes idealizadas pelo estudo anterior (1) e como precaução na eventualidade de se encontrar um setor de destino, esta etapa foi mantida em todas as propostas que a consideraram.

#### 2.2.2.2. Ciclo térmico

A terceira proposta do estudo anterior (1) inclui um ciclo térmico de aquecimento do EVA (Acetato de Vinilo), mas que não atinja o seu ponto de fusão, comportando-se apenas como uma cola entre a célula de silício e o vidro temperado. Este aquecimento terá como finalidade permitir o descolamento do vidro temperado sem que haja resistência.

Neste seguimento, enumeram-se as condições de trabalho, que se designam como condições de segurança para este material (EVA):

- Temperatura de fusão do EVA: entre 72° C e 102° C;
- Verifica-se fusão ao fim de dois minutos sujeito ao intervalo de temperaturas mencionado e homogeneização ao fim de dez minutos nas mesmas condições.

Os pontos acima mencionados consideram-se os limites máximos do ciclo térmico e que ultrapassam as condições de trabalho manifestadas na proposta nº 3 do relatório anterior (1). Assim, devem ser seguidas com rigor as seguintes condições para que não seja posta em causa a segurança da operação e o trabalho que dela resulte:

- Temperatura máxima e de manutenção do ciclo térmico: 68° C;
- Duração total do ciclo térmico: 60 (sessenta) minutos.

O relatório anterior (1) menciona, ainda, a possibilidade de inclusão de um ciclo térmico, na proposta nº4, se este facilitar o corte por fio quente para a remoção do vidro temperado. Após uma pesquisa focada neste tema e vários contactos com eventuais fornecedores, com experiência na matéria, tal necessidade não foi verificada, não tendo sido incluída no presente trabalho.

### 2.2.2.3. Subprocessos

Tendo em conta o que foi anteriormente descrito, e após uma análise cuidada sobre os subprocessos possíveis a incorporar na linha produtiva, foram selecionados os seguintes:

#### A. Separação magnética

Trata-se de um subprocesso que utiliza a magnetização do material para realizar uma triagem de contaminantes ferrosos através de um íman. Uma vez que na composição dos painéis fotovoltaicos em causa não constam componentes ferrosos, a separação magnética irá certificar uma triagem limpa, livre de impurezas e contaminantes ferrosos no processo.

#### B. Separação densimétrica

Cruzando a vibração com a insuflação de ar, a separação densimétrica tira proveito da diversidade de pesos específicos, consoante o material, para escoar os grãos correspondentes por diferentes vias.

#### C. Separação por Raio-X

A técnica de separação por Raio-X é utilizada para determinar a composição química dos materiais e, através do sopro, encaminhar os materiais recuperados para diferentes depósitos.

#### D. Separação por correntes *Eddy* / *Foucault*

A separação por correntes *Foucault* (ou *Eddy current*) serve-se da rotação para gerar campos magnéticos alternados que desviam os materiais não ferrosos, como o alumínio, o latão e o bronze. Uma vez que este método aquece os materiais, o ideal é que não existam, neste ponto do processo, componentes suscetíveis de impacto por este subprocesso, como os compostos por alguns polímeros.

## 2.3. Desenho do processo

Concluída a análise das propostas e considerando o abordado no subcapítulo anterior, no âmbito deste trabalho procedeu-se ao desenho dos processos com base nas propostas definidas no estudo anterior (1). Como o estudo em causa não evidencia qualquer sequência de subprocessos de separação, o seu desenho foi um ponto crítico que, após análise, foi possível manter semelhante ao longo das quatro propostas.

Ainda relativamente aos subprocessos, esclarece-se que alguns deles foram repetidos para atuação em diferentes etapas do processo ou como reforço de etapas já iniciadas, obtendo resultados mais eficazes e de forma mais eficiente. É possível que, no momento da implementação industrial do projeto, algum parceiro de implementação identifique uma necessidade de maior reforço dos subprocessos. O INEGI recomenda que essa necessidade, ou qualquer outro *input* adicional, seja devidamente avaliada com o objetivo de se assegurar a sua viabilidade.

O INEGI identificou ainda a necessidade de uma etapa prévia de limpeza simples do painel fotovoltaico, de modo a retirar impurezas de utilização dispostas à superfície do painel.

Embora três das quatro propostas em causa considerem a remoção prévia do vidro temperado, entendeu-se que deverá sempre existir um subprocesso de separação com a capacidade de isolar este componente – ainda que em quantidades residuais – assegurando uma separação total dos materiais. Este subprocesso vê-se imprescindível nos casos em que o painel evidencie danos no vidro temperado ou em que este se mostre quebrado.

Já no que toca à separação de polímeros, estabeleceu-se um método de separação do silício de modo a que restasse uma mistura de EVA e *Tedlar*. O INEGI não obteve respostas de fornecedores ou parceiros, que tivessem conhecimento na matéria suficiente, acerca da implementação de métodos comerciáveis para a separação destes constituintes. Esta questão mantém-se em aberto, no entanto, alguns estudos recentes apontam a utilização de solventes orgânicos para eliminar o EVA, mas esta é apontada como uma técnica de custo elevado que pode gerar grandes quantidades de resíduos perigosos (2).

Em alternativa, alguns recicladores comerciais queimam o EVA e outros polímeros num forno a aproximadamente 500° C, o que também apresenta algumas limitações dado o tamanho do equipamento e o seu consumo energético.

Um terceiro método usa aquecedores infravermelhos e uma faca vibratória para cortar o vidro do painel. Uma versão desse processo surgiu de um projeto de investigação financiado pela Comissão Europeia com a designação de FRELP (*Full Recovery End of Life Photovoltaic*), que decorreu de 2013 a 2016. A Tialpi, uma empresa italiana de reciclagem, é um exemplo de empresa que utiliza este método numa instalação de reciclagem fotovoltaica cuja implementação custou cerca de 2 milhões de euros, esperando-se o início de atividade nos próximos meses. O objetivo é recuperar 5 000 toneladas de painéis por ano. O vidro recuperado será classificado em diferentes graus de qualidade e vendido à indústria vidreira. As instalações propõem-se a conseguir recuperar cerca de 85% da massa de um painel fotovoltaico, incluindo o vidro, o caixilho de alumínio e os cabos elétricos externos.

Por último, ressalva-se que apenas a proposta nº 2 inclui uma etapa de descarnamento e tratamento dos cabos recolhidos na fase inicial de desmantelamento do painel. No entanto, o INEGI considera que esta etapa poderá ser mantida em paralelo em qualquer das restantes propostas, contribuindo, assim, para um melhor cumprimento dos objetivos de separação e circularidade deste processo.

De seguida, apresentam-se os desenhos dos processos elaborados no âmbito do presente estudo para cada uma das quatro propostas sob consideração.

### 2.3.1. Proposta nº 1

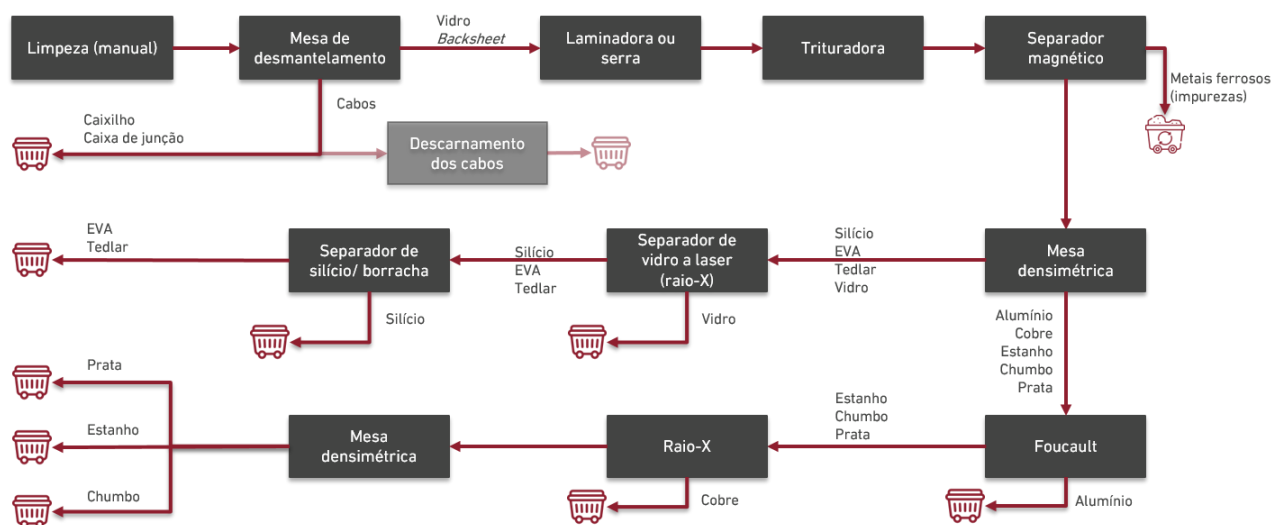


Figura 3 – Desenho de processo relativo à proposta nº 1.

### 2.3.2. Proposta nº 2

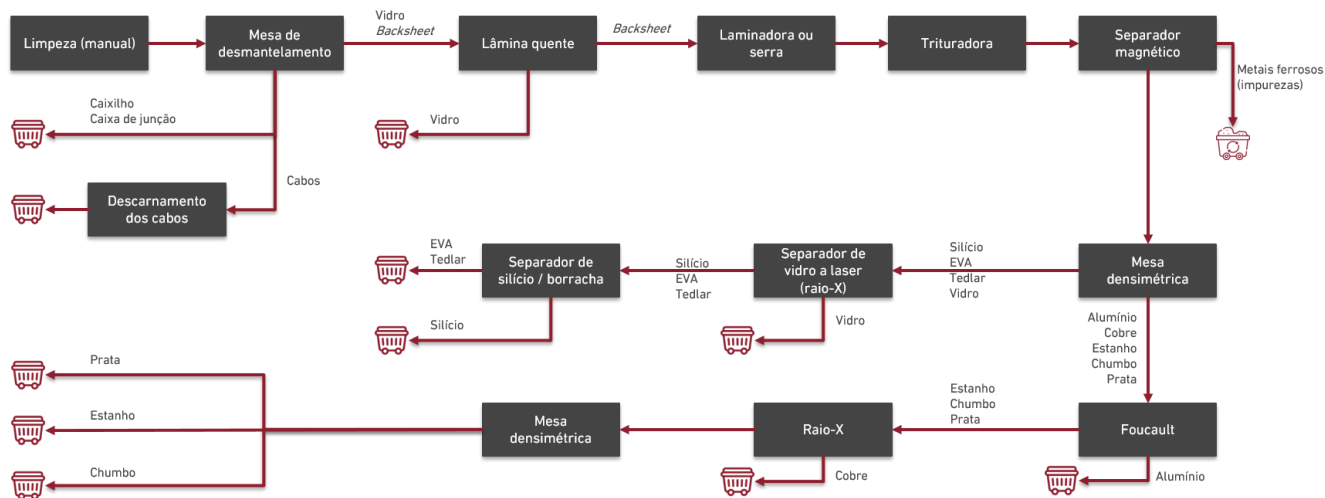


Figura 4 – Desenho de processo relativo à proposta nº 2.

### 2.3.3. Proposta nº 3

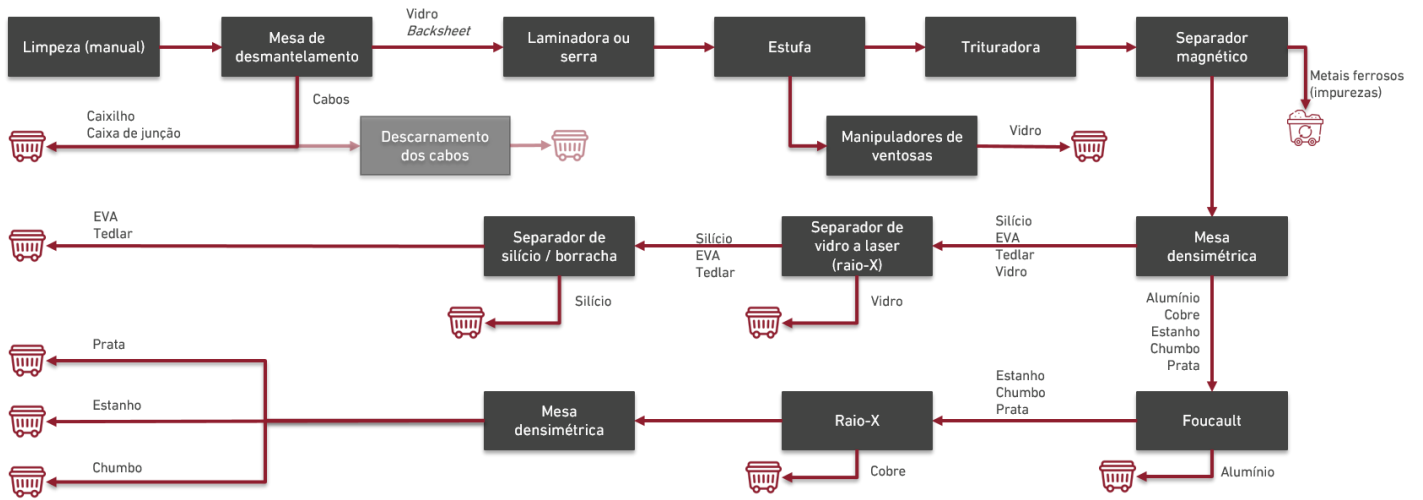


Figura 5 – Desenho de processo relativo à proposta nº 3.

### 2.3.4. Proposta nº 4

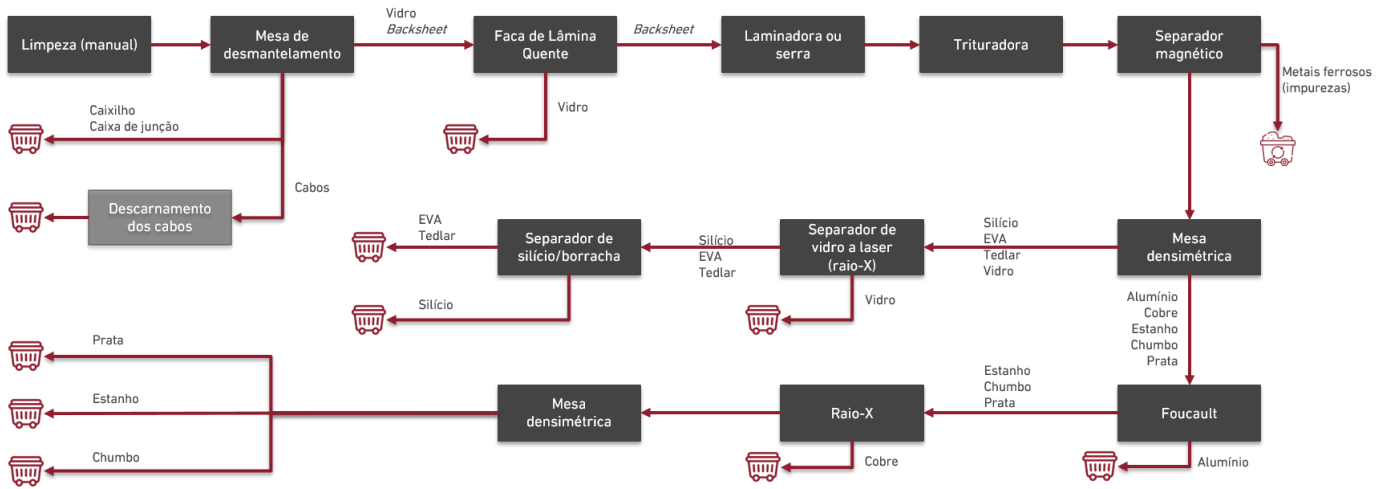


Figura 6 – Desenho de processo relativo à proposta nº 4.



## 2.4. Análise de equipamentos

No âmbito do presente estudo, foi necessário realizar uma pesquisa aprofundada de equipamentos que poderão vir a integrar a linha de produção. Após a sua seleção foram contactados os fornecedores desses equipamentos para se obterem os respetivos orçamentos e fichas técnicas, cujos dados foram incluídos no presente estudo. No que toca a equipamentos sobre os quais não foi possível obter informações dos respetivos fornecedores, adotou-se uma estratégia de consulta de equipamentos equivalentes disponíveis em *websites* de marcas concorrentes e/ou de entregas *online* e utilizados os dados neles mencionados. Com equipamentos equivalentes aos aqui expostos, acredita-se que o processo de desmantelamento de painéis solares e recuperação dos seus constituintes decorra com fluidez.

Salienta-se que os todos valores apresentados são indicativos e foram obtidos no período de Maio de 2022 a Setembro de 2022, podendo variar em função dos fornecedores ou marcas a considerar, não devendo ser considerados como absolutos.

### 2.4.1. Desmantelamento

Na primeira fase do processo, é removido o caixilho de alumínio (do qual resultará o perfil de alumínio a conservar neste estado), a caixa de junção e os cabos elétricos numa mesa de desmantelamento, semelhante à da Figura 7, proposta pela empresa japonesa *NPC Incorporated*.



Figura 7 – Mesa de desmantelamento (*NPC Incorporated*) (Imagem submetida a direitos de autor pela *NPC Incorporated*).

#### Características do equipamento:

- Potência: 36 kW;
- Capacidade de produção: 1 painel a cada 40 segundos;
- Tensão elétrica: 200 V;
- Carga e processamento de uma unidade de cada vez;
- Investimento: 110 000.00 €.

## 2.4.2. Descarnamento de cabos

Para a proposta nº 2, e como etapa paralela ao processo das restantes propostas, os cabos podem ser devidamente tratados, de modo a que seja removido o revestimento do condutor. Para tal, pode ser utilizado um equipamento semiautomático ou uma linha automática completa de recuperação. No primeiro caso, o equipamento realiza um golpe longitudinal no cabo, permitindo ao utilizador uma separação manual simples dos materiais. Já no segundo caso, o utilizador coloca os cabos na linha automática, sendo que os equipamentos que a constituem cortam, trituram e separam os materiais para uma recuperação mais segregada e livre de manuseamento durante o processo.

De seguida, representam-se os equipamentos de referência para a etapa de descarnamento e separação dos cabos e as suas características e orçamentos.



Figura 8 – A - Equipamento semiautomático de descarnamento dos cabos; B - Linha de descarnamento e separação dos cabos (Imagens retiradas do *site* de vendas Alibaba).

### Características dos equipamentos:

#### Equipamento A - semiautomático de descarnamento dos cabos

- Potência: 2,2 kw;
- Capacidade de produção: não especificada;
- Tensão elétrica: 220 V / 230 V;
- Intervalo de diâmetros admissível: 0 – 45 [mm];
- Investimento: 520 €.

#### Equipamento B - Linha automática de descarnamento e separação dos cabos

- Potência: 37 kw;
- Capacidade de produção: 100 – 1000 kg/h;
- Tensão elétrica: 110 V / 220 V / 380 V;
- Intervalo de diâmetros admissível: 0,1 – 30 [mm];
- Investimento: 6 999 €.

## 2.4.3. Laminagem / corte

A etapa de laminagem/corte irá reduzir o tamanho do painel antes de o submeter à trituração. Esta etapa terá dois resultados: o corte de pré-trituração e a redução do tamanho com conservação do vidro, de modo a permitir a sua reutilização em determinado tamanho.

Um exemplo de referência de equipamento, que poderá cumprir com os requisitos, é o seguinte:



Figura 9 – Equipamento de laminagem / corte (Imagem retirada do *site* de vendas Alibaba).

### Características dos equipamentos:

- Potência: 37 kW;
- Capacidade de produção: não especificada;
- Tensão elétrica: 380 V ou customizada;
- Corrente elétrica: 100 A;
- Necessita de um tempo de aquecimento de 5 a 25 minutos;
- Investimento: 6 900€ - 14 700 €.

O estudo deste tema revelou que o corte do vidro temperado é uma técnica fina, que tem por base o corte por meio de diamante, sendo utilizada, normalmente, para cortar o vidro em “folhas”. O projeto em curso pretende uma redução do tamanho inicial para aproveitamento do vidro em frações. De facto, se não for encontrado destino para o vidro em frações, em detrimento de triturado, esta etapa torna-se redundante, podendo ser reconsiderada a necessidade de a manter.

Posto o anteriormente descrito, existe uma probabilidade de que o equipamento referenciado venha sobredimensionar a linha de produção; serve, no entanto, de referência de custos e consumos. Neste seguimento, se o intuito for efetuar um corte de pré-trituração, o INEGI sugere que sejam estudadas soluções mais económicas e mais à medida das necessidades. Por exemplo, uma vez que o vidro temperado tem a particularidade de não quebrar como um vidro comum, poder-se-ia adaptar um balancé que, através do impacto, estilhaçasse o vidro. Ao utilizar uma técnica semelhante à proposta, sugere-se a separação prévia da *backsheet*, de modo a facilitar a posterior separação dos materiais. De notar que, relativamente ao corte da *backsheet*, este poderá ser dispensado, colocando a *backsheet* diretamente na trituradora.

Ressalva-se ainda que a pesquisa inicial para um equipamento adequado previa, nos requisitos, o corte de metais. Após um estudo e uma cuidada análise do tema, conclui-se que, devido à maleabilidade da *backsheet*, se o equipamento tiver a capacidade de corte do vidro temperado, terá, por consequência, capacidade de corte da *backsheet*.

#### 2.4.4. Trituração

Na etapa de trituração pretende-se a transformação dos componentes do painel em grão<sup>5</sup>. Relativamente à proposta nº 1, o equipamento de trituração deverá ter a capacidade de trituração do vidro temperado, enquanto nas restantes propostas será necessária a capacidade de trituração da *backsheet*, mantendo por salvaguarda a capacidade de trituração de quantidades residuais de vidro temperado. A Figura 10 representa uma referência deste tipo de equipamento.



Figura 10 – Equipamento de trituração (Imagem retirada do *site* de vendas Alibaba).

#### Características dos equipamentos:

- Potência: 18.5 kW;
- Capacidade de produção: 500 – 10 000 kg / h;
- Tensão elétrica: 380 V;
- Investimento: 11 700 €.

#### 2.4.5. Separação por radiação eletromagnética

A separação por radiação eletromagnética será realizada por equipamentos que utilizam a técnica de Raio-X em dois momentos distintos: um para a separação do vidro e polímeros e outro para a separação de metais, nomeadamente do cobre dos restantes (estanho, chumbo e prata).

Tendo em conta a capacidade desta ferramenta, poderá ser levado à consideração dos parceiros / fornecedores a possibilidade de separar todos os metais através desta técnica, dispensando a

---

<sup>5</sup> Embora nas propostas do estudo em referência (1) seja sugerida a moagem, por consequência uma granulometria fina, esta poderá ser definida mediante as necessidades averiguadas pelos parceiros e/ou fornecedores, durante a fase de tomada de decisão de aquisição de equipamentos.

utilização de uma segunda mesa densimétrica, como se verá no subtema de separação densimétrica descrita na secção 2.4.10 deste documento.

Nas figuras seguintes deixam-se referências de equipamentos que utilizam a técnica de Raio-X.



Figura 11 – A - Equipamento de separação eletromagnética de vidro temperado e polímeros (*Autosort Laser* da Tomra); B - Equipamento de separação eletromagnética de metais (Combisense da Tomra) (Imagens retiradas do [website da Tomra](#)).

As características dos equipamentos não foram disponibilizadas pelos fornecedores contactados.

## 2.4.6. Separação magnética

Qualquer material ferroso detetado neste processo deverá ser considerado uma impureza, na medida em que não existem tais materiais na composição dos painéis solares fotovoltaicos. Por consequência, acredita-se que não exista a necessidade de um subprocesso mais fino ou de reforço para a conclusão desta etapa. Assim, para remover este tipo de impurezas, recorrer-se-á à separação magnética, a qual poderá ser executada por dois tipos de equipamentos: equipamento automático de integração em série na linha ou íman suspenso.

De seguida, apresentam-se os equipamentos que servem de referência à linha de produção:

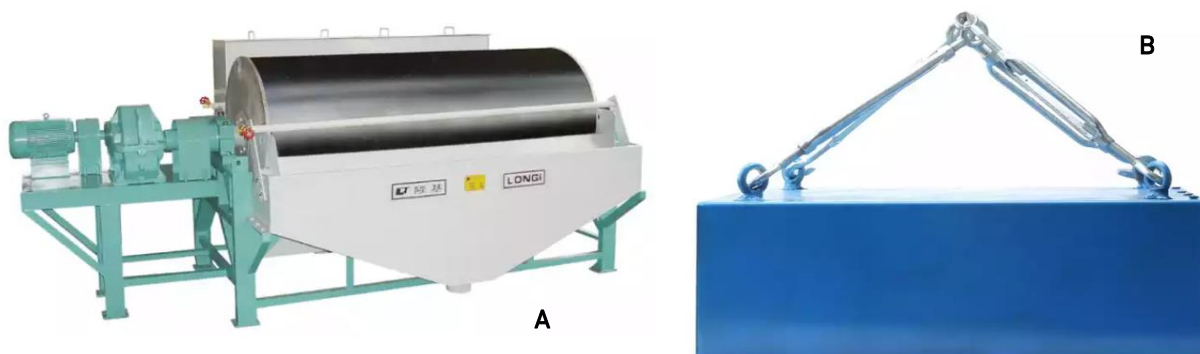


Figura 12 – A - Equipamento de separação magnética a ser integrado em linha com os restantes equipamentos; B - Equipamento de separação magnética a suspender sobre a linha de produção (Imagens retiradas do [site de vendas Alibaba](#)).

### Características dos equipamentos:

#### Equipamento A - equipamento em linha:

- Potência: 4 kW;
- Capacidade de produção: 120 – 190 m<sup>3</sup>/h;
- Tensão elétrica: de acordo com a instalação;
- Dimensões do material de input: 0 – 3 [mm];
- Investimento: 10 000 € - 60 000 €.

#### Equipamento B - equipamento suspenso

- Potência: N/A;
- Capacidade de produção: 1 – 20 t/h;
- Tensão elétrica: N/A;
- Velocidade do tapete: 4.5 m/s;
- Investimento: 2 000 €.

### 2.4.7. Separação por correntes *Foucault* (*Eddy current*)

A separação por correntes *Foucault* foi introduzida no projeto para separar o alumínio dos restantes materiais. Poderá ser realizada por um equipamento semelhante ao que se apresenta de seguida:



Figura 13 – Equipamento de separação de metais por correntes *Foucault* (ou *Eddy current*) (Imagem retirada do *site* de vendas Alibaba).

### Características dos equipamentos:

- Potência: 5 – 18 kW;
- Capacidade de produção: 2 – 20 m<sup>3</sup>/h;
- Tensão elétrica: 380 V ou 415 V;
- Intensidade do campo magnético:  $\geq 3\,000$  Gs;
- Largura do tapete: 400 – 2 000 [mm];
- Investimento: 15 000 € - 50 000 €.

## 2.4.8. Corte a quente

O corte a quente servirá para a remoção do vidro temperado e poderá ser feito de dois modos distintos, consoante se trata da proposta nº 2 ou nº 4. Na proposta nº 2 o corte com lâmina quente será em linha com o desmantelamento e, na proposta nº 4, o corte será com faca quente após o desmantelamento. Assim sendo, poderá ser realizado por qualquer equipamento semelhante aos seguintes:

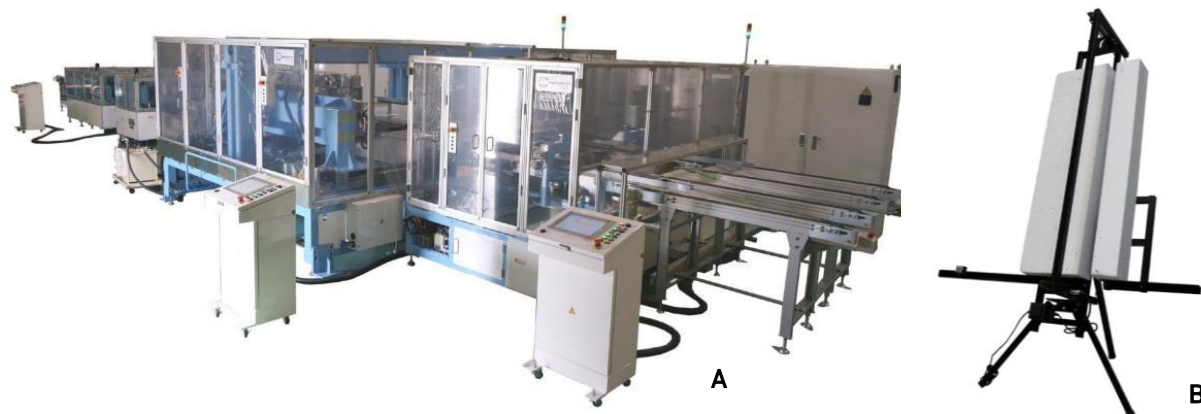


Figura 14 – A - Linha de desmantelamento e corte a quente, que inclui as etapas de remoção do caixilho, caixa de junção, cabos e vidro temperado (NPC Incorporated) (Imagem submetida a direitos de autor pela NPC Incorporated) ; B - Lâmina quente para remoção manual do vidro temperado após o desmantelamento (*Brico Butikk* (Imagem submetida a direitos de autor pela [Brico Butikk](#))).

### Características dos equipamentos:

#### Equipamento A - Linha de desmantelamento e corte a quente:

- Potência: 115,20 kW;
- Capacidade de produção: 1 painel a cada 60 segundos;
- Carga de uma unidade de cada vez;
- Tensão elétrica: 200 V;
- Investimento: 1 000 000 €.

#### Equipamento B - Lâmina / faca quente:

- Potência: Não aplicável;
- Capacidade de produção: Não aplicável;
- Tensão elétrica: Não aplicável;
- Espessura máxima de corte: 330 mm;
- Investimento: 710 €.

### 2.4.9. Separação de semi-metais

A separação de semi-metais é, na realidade, uma linha de separação do silício e da borracha de sílica dos restantes não metais resultantes do processo. O equipamento a utilizar poderá ser semelhante ao seguinte:



Figura 15 – Linha de separação de silício e borracha de sílica (Imagem retirada do *site* de vendas Alibaba).

#### Características dos equipamentos:

- Potência: 102 kW – 194 kW;
- Capacidade de produção: 200 kg – 1 000 kg;
- Tensão elétrica: 220 V / 380 V / customizada;
- Investimento: 5 000 € - 65 000 €.

### 2.4.10. Separação densimétrica

Neste estágio do processo tirar-se-á proveito das características dos materiais, nomeadamente do seu peso específico, para a uma separação eficiente. A utilização desta técnica está prevista em dois momentos: imediatamente após a separação magnética, separando metais de não metais, e no fim do processo de separação, separando e isolando prata, estanho e chumbo. O equipamento a utilizar deverá ser um equivalente ao que se demonstra a seguir:



Figura 16 – Equipamento de separação de metais utilizando o peso específico ([Stokkermill](#)) (Imagem submetida a direitos de autor pela [Stokkermill](#)).

As características dos equipamentos não foram disponibilizadas pelos fornecedores contactados.



### 2.4.11. Ciclo térmico

O ciclo térmico poderá ser realizado utilizando uma estufa de pequenas dimensões, o que implica carga e descarga manual, ou uma câmara térmica, desenhada à medida das necessidades da linha de produção, que poderá ser do estilo *drive through*, isto é, instalada na linha de produção, com carga e descarga automática. Os equipamentos das figuras seguintes são dados como referência:

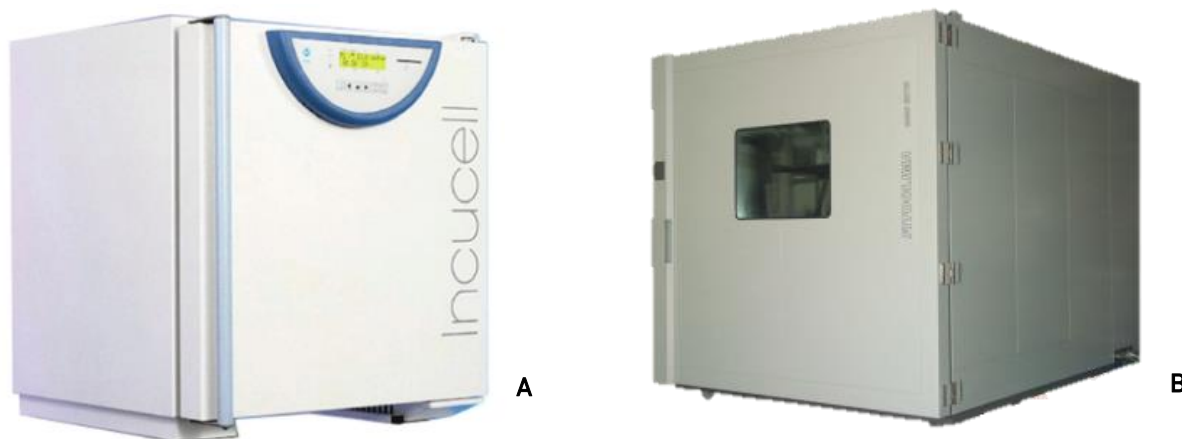


Figura 17 – A - Estufa proposta pela Parolab ([Parolab](#)) (Imagem retirada da proposta da [Parolab](#) ao INEGI e, portanto, com direitos de autor reconhecidos pela marca); B - Câmara térmica proposta pela Concessus, Memmert ([Mempert](#)) (Imagem retirada da proposta da [Mempert](#) ao INEGI e, portanto, com direitos de autor reconhecidos pela marca).

#### Características dos equipamentos:

##### Equipamento A - Estufa

- Potência: 3,6 kW;
- Capacidade de produção: 1 000 kg / h;
- Tensão elétrica: 400 V;
- Tempo de ciclo: 60 minutos;
- Investimento: 11 500 €.

##### Equipamento B – Câmara térmica

- Potência: 50 kW;
- Capacidade de produção: 8 000 kg / h;
- Tensão elétrica: 400 V;
- Tempo de ciclo: 60 minutos;
- Investimento: 200 000 €.

### 2.4.12. Descolamento do vidro

Após o ciclo térmico, o EVA encontrar-se-á suficientemente aquecido para permitir um descolamento sem dificuldades. No entanto, este descolamento deverá ser efetuado por meio de instrumentos adequados, evitando o manuseamento por questões de segurança. Assim, o estudo realizado pela Universidade de Aveiro propõe que esta etapa do processo seja executada por meio

de pinças ou garras (figura 18 - A). Após uma reflexão sobre o tema, o INEGI considerou mais adequado que o instrumento utilizado fosse por meio de ventosas, já que as pinças ou garras implicam o manuseamento por parte do operador. Por questões de ergonomia e maior segurança, propõe-se um equipamento o mais automatizado possível, como por exemplo um equivalente ao braço pneumático seguinte (figura 18 - B).



Figura 18 – A - Pinças / garras ([Kaiser+Kraft](#)) (Imagem submetida a direitos de autor pela [Kaiser+Kraft](#)); B - Braço pneumático para elevação com ventosas (Imagem retirada do *site* de vendas Alibaba).

#### Características dos equipamentos:

##### Equipamento A – Pinças/garras

- Capacidade: 1 000 kg;
- Peso pretendido: 20 kg;
- Investimento: 600 €.

##### Equipamento B – Braço pneumático para elevação com ventosas

- Capacidade: 300 kg;
- Peso pretendido: 20 kg;
- Sistema pneumático com pressão: 5 bar;
- Investimento: 8 000 €.

### 2.4.13. Condução dos materiais

Dependendo do fornecedor / parceiro de implementação de projeto e do equipamento escolhido, poderá verificar-se a necessidade de adicionar transportadores de tapete (horizontais ou em rampa) para ligar e automatizar as movimentações na linha. Para esse efeito, referenciam-se os que estão apresentados em seguida.

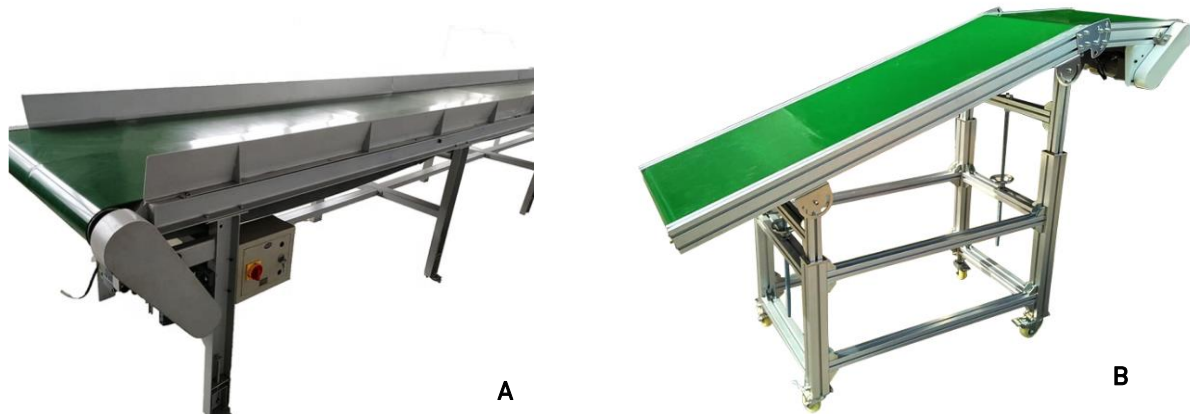


Figura 19 – A - Transportador de tapete; B - Transportador de tapete customizado (Imagens retiradas do *site* de vendas Alibaba).

### Características dos equipamentos:

#### Equipamento A – Transportador de tapete

- Potência: 1.5 kW;
- Capacidade de produção: Não Aplicável;
- Tensão elétrica: 220 V / 380 V;
- Capacidade de carga: 50 – 100 kg/m;
- Velocidade: 0.83 m/s;
- Investimento: 380 €/m.

#### Equipamento B – Transportador de tapete customizado

- Potência: 0.4 - 22 kW;
- Capacidade de produção: Não Aplicável;
- Tensão elétrica: 220 V / 380 V;
- Capacidade de carga: não especificada;
- Velocidade: 0,42 m/s;
- Investimento: 200 €/m.

## 2.5. Produtividade e consumos

A produtividade depende principalmente dos equipamentos selecionados, especialmente da sua capacidade de produção e da sequência de equipamentos que será considerada. Tendo em conta que os equipamentos não foram ainda projetados nem definidos pelos fornecedores, devido ao facto de o projeto não se encontrar em fase de implementação, em alguns casos não foi possível obter um valor específico para a capacidade de produção, mas sim um intervalo de valores. Por conseguinte, decidiu-se a criação de um cenário para a produtividade com o valor mínimo da capacidade de produção e um cenário com o valor máximo da capacidade de produção. A produtividade também será afetada consoante o equipamento selecionado das opções expostas no subcapítulo anterior (2.4 *Análise de Equipamentos*). Assim, resultará um cenário, conforme se opte por um íman suspenso ou um equipamento de integração em série na linha, para o caso específico da separação magnética. Analogamente, resultarão cenários diferentes para cada uma das opções dadas para o

descarnamento dos cabos, corte a quente e ciclo térmico. Os cenários obtidos podem ser consultados no *Capítulo 4 – Comparação de cenários técnico-económicos*.

Como já mencionado anteriormente, para tornar possível o cálculo dos consumos de cada um dos cenários, foram solicitadas as especificações dos equipamentos aos respetivos fornecedores. Entre as especificações recolhidas, destacam-se a potência e a capacidade de produção, características que se encontram listadas na seguinte tabela resumo:

Tabela 5 – Resumo das características dos equipamentos estudados para integração na linha de produção mencionados no subcapítulo 2.4.

Equipamento	Materiais separados	Potência	Capacidade de produção
Mesa de desmantelamento	Caixilho Caixa de junção Cabos elétricos	36 kW	1 painel / 40 s
Descarnador de cabos	Cobre Revestimentos	2.2 kW	4 s / cabo
Descarnador de cabos - linha	Cobre Revestimentos	37 kW	100 – 1 000 kg / h
Laminadora	Corte em frações	24 kW	26 m <sup>3</sup> / h
Trituradora	Trituração em grão	18.5 kW	500 – 10 000 kg / h
Raio X (vidro)	Vidro Polímeros	10 kW <sup>6</sup>	Não Aplicável
Separador magnético de linha	Ferrosos (impurezas ferrosas)	4 kW	120 – 190 m <sup>3</sup> / h
Separador magnético suspenso	Ferrosos (impurezas ferrosas)	N/A	1 000 – 20 000 kg / h
Correntes de <i>Foucault</i>	Alumínio Cobre	5 - 18 kW	2 – 20 m <sup>3</sup> / h
Mesa de desmantelamento com corte a quente	Caixilho Caixa de junção Cabos elétricos Vidro temperado	115.2 kW	1 painel / 60 s
Lâmina de corte a quente	Corte de vidro	N/A	Não Aplicável
Separador de sílica e borracha	Silício	102 – 194 kW	200 – 1 000 kg / h
Mesa densimétrica	Prata Estanho Chumbo	24 kW <sup>7</sup>	Não Aplicável

(Continuação da Tabela 5)

<sup>6</sup> Equipamentos para os quais os fornecedores não cederam as especificações técnicas, pelo que foram utilizadas as características de equipamentos equivalentes.

<sup>7</sup> Equipamentos para os quais os fornecedores não cederam as especificações técnicas, pelo que foram utilizadas as características de equipamentos equivalentes.

Equipamento	Materiais separados	Potência	Capacidade de produção
Câmara Térmica	Descolamento do vidro	50 kW	60 minutos por ciclo <sup>8</sup>
Estufa	Descolamento do vidro	3,6 kW	60 minutos por ciclo <sup>9</sup>
Pinças	Vidro	N/A	Não Aplicável
Elevação por ventosas	Vidro	N/A	Não Aplicável
Elevação por ventosas	Vidro	N/A	Não Aplicável
Tapete de transporte	Transportes intermédios	1,5 kW	0,83 m/s
Tapete de transporte inclinado (customizado)	Transportes intermédios	0,4 - 22 kW	0,42 m/s

---

<sup>8</sup> Impostos pela proposta da Universidade de Aveiro

<sup>9</sup> Impostos pela proposta da Universidade de Aveiro

### 3. CAPÍTULO 3: Análise Económica

De modo a tornar o presente estudo mais fiável e próximo da realidade, foi realizada uma análise económica, baseada na análise CAPEX-OPEX, cujo objetivo foi descrever o investimento (CAPEX) referente às despesas com a aquisição de bens, neste caso equipamentos, e os custos (OPEX) relativos aos custos operacionais associados aos mesmos.

Relativamente ao investimento, CAPEX, foram identificados possíveis fornecedores de equipamentos e custos associados à instalação e transporte destes. Não foram consideradas as amortizações nesta análise.

No que respeita ao OPEX foram considerados custos de consumos energéticos dos equipamentos e custos com recursos humanos operadores das linhas.

Os orçamentos relativamente aos equipamentos são referentes ao valor do equipamento e da sua instalação. Todos estes orçamentos foram obtidos através de contactos realizados entre o INEGI e os referidos fornecedores no subcapítulo seguinte (*3.1 – Lista de potenciais fornecedores e 3.2 – Custo de equipamentos*). Alguns destes valores foram recolhidos em dólares americanos e, como tal, convertidos na moeda europeia, euro, à taxa em vigor na data de realização do estudo.

Relativamente aos custos associados ao transporte dos equipamentos, ressalva-se que nem todos os fornecedores/*websites* revelaram os valores relativos ao transporte, no entanto, foram consultados valores de transporte tabelados como referência. Estes valores podem ser analisados no *subcapítulo 3.3 - Custos de Transporte* e tratam-se de valores indicativos, recolhidos entre Junho e Agosto de 2022.

É de salientar que, no caso dos transportadores de tapetes horizontais ou inclinados, foi necessário considerar um valor médio de mercado por unidade necessária, pois a quantidade de tapetes ainda não está definida, uma vez que irá depender da estrutura e do *layout* final da linha a implementar e do próprio local de implementação.

Foram também calculados indicadores de custo-benefício do projeto de implementação do processo de reciclagem e, para o efeito, foram analisados e contactados possíveis clientes/compradores dos materiais recuperados e foi executada a respetiva quantificação e valorização destes materiais. O cálculo destes indicadores foi executado por cenário, encontrando-se os resultados disponíveis no *Capítulo 4- Comparação de Cenários Técnico-Económicos*.

### 3.1. Lista de potenciais fornecedores

Foram efetuados contactos com potenciais fornecedores dos vários equipamentos, que são representados na tabela seguinte. Os portes não foram considerados no custo dos equipamentos.

Tabela 6 - Lista de fornecedores, respetivos equipamentos, processos, contactos.

Fornecedor	Equipamento	Processo	Website
Aralab	Câmara Térmica	Ciclo Térmico	
Binder	Fornos / estufas	Ciclo Térmico	<a href="#">Contacto Binder</a>
Brico Butikk	Lâmina de corte a quente	Corte	<a href="#">Contacto Brico Butikk</a>
Carbolite Gero	Fornos / Estufas	Ciclo Térmico	<a href="#">Contacto Carbolite Gero</a>
ECM	Fornos industriais	Ciclo Térmico	<a href="#">Contacto ECM</a>
ERT	Fornos / Estufas	Ciclo Térmico	<a href="#">Contacto ERT</a>
Extruder Group	Separadores de metais não ferrosos Separadores de sílica Separador EVA	Separação de metais não ferrosos Separação de semi metais Separação de polímeros	<a href="#">Contacto Extruder Group</a>
Golden Laser	Laminadora	Corte de pré-trituração	<a href="#">Contacto JMT</a>
Gravotech	Laminadora	Corte de pré-trituração	<a href="#">Contacto Gravotech</a>
Haibao Machinery	Separadores de metais Separadores de semi metais Separadores de polímeros	Separação de metais não ferrosos Separação de semi metais Separação de polímeros	<a href="#">Contacto Haibao Machinery</a>
HGTech (Huagong Tech)	Laminadora	Corte de pré-trituração	<a href="#">Contacto HGTech</a>
Indimco / Alars	Corte a quente	Corte de pré-trituração	<a href="#">Contacto Indimco</a>
Ingersoll Rand	Elevação por ventosas	Descolamento do vidro	<a href="#">Ingersoll Rand</a>
Intermetal	Revista com soluções de tratamento de metais		<a href="#">Revista de consulta</a>
JMT	Laminadora	Corte de pré-trituração	<a href="#">Contacto JMT</a>
Kaiser Kraft	Pinças / garras / ventosas	Descolamento do vidro	<a href="#">Contacto Kaiser Kraft</a>

(Continuação da Tabela 6)

Fornecedor	Equipamento	Processo	Website
Magnetic Boom	Separadores magnéticos <i>Foucault</i>	Separação de metais não ferrosos	<a href="#">Contactos Magnetic Boom</a>
Memmert	Fornos / Estufas	Ciclo Térmico	<a href="#">Contacto Memmert</a>
Musashi / EPL	Pinças	Descolamento do vidro	<a href="#">Contacto Musashi</a>
NPC Incorporated	Mesas de desmantelamento	Separação do caixilho, caixa de junção e cabos elétricos	<a href="#">Contacto NPC</a>
	Mesa de desmantelamento com corte a quente	Separação do caixilho, caixa de junção e cabos elétricos + Corte a quente	
Ooitech	Mesas de desmantelamento Mesa + corte a quente	Separação do caixilho, caixa de junção e cabos elétricos Corte a quente	<a href="#">Contacto Ooitech</a>
Perfect Laser	Laminadora	Corte de pré-trituração	<a href="#">Contacto Perfect Laser Co., Ltd.</a>
Seco Warwick	Fornos / Estufas	Ciclo Térmico	<a href="#">Contacto Seco Warwick</a>
Sieca	Estufas	Ciclo Térmico	<a href="#">Contacto Sieca</a>
Steinert	Separadores magnética Raio X Separadores de metais <i>Foucault</i>	Separação de metais não ferrosos	<a href="#">Contacto Steinert</a>
Stokkermill	Mesas densimétricas Trituradores Separadores ótica, Eletroestática e <i>Foucault</i> Linha completas	Trituração Separação de metais não ferrosos Processo global	<a href="#">Contacto Stokkermill</a>
Tomra	Metais não ferrosos Raio X Trituradores (?)	Trituração Separação de metais não ferrosos	<a href="#">Contacto Tomra</a>



(Continuação da Tabela 6)

Fornecedor	Equipamento	Processo	Website
Vastema	Separadores de metais Trituradores	Trituração Separação de metais não ferrosos	<a href="#">Contacto Vastema</a>
Vevor	Descarnador de cabos	Descarnamento de cabos	<a href="#">Contacto Vevor</a>
Walco	Laminadora	Corte de pré-trituração	<a href="#">Contacto Walco</a>

## 3.2. Custo de equipamentos

De uma forma resumida são apresentados na tabela seguinte os custos da aquisição dos equipamentos.

Tabela 7 - Custos da aquisição dos equipamentos.

Processo	Equipamento	Custo (€)
Desmantelamento	Mesa de desmantelamento	110 000
Descarnamento de cabos	Equipamento A	520
	Equipamento B	7000
Laminagem / corte	Equipamento de laminagem / corte	6 900 - 14 700
Trituração	Equipamento de trituração	11 700
Separação eletromagnética	Equipamento A	-
	Equipamento B	-
Separação magnética	Equipamento A - equipamento em linha	10 000 - 60 000
	Equipamento B - equipamento suspenso	2 000
Separação por correntes <i>Foucault</i>	Equipamento de Separação por correntes <i>Foucault</i>	15 000 - 50 000
Corte a quente	Equipamento A - Linha de desmantelamento e corte a quente	1 000 000
	Equipamento B - Lâmina / faca quente	700
Separação de semi-metais	linha de separação do silício e da borracha de sílica	5 000 - 65 000
Separação densimétrica	Separação densimétrica de metais	-
Ciclo térmico	Equipamento A - Estufa	11 500
	Equipamento B - Câmara térmica	200 000
Descolamento do vidro	Equipamento A - Pinças/garras	600
	Equipamento B - Braço pneumático para elevação com ventosas	8 000
Condução dos materiais	Equipamento A - Transportador de tapete	380 /m
	Equipamento B - Transportador de tapete customizado	198 /m

### 3.3. Custos de transporte

Além do custo de aquisição, deve ser considerado o custo de transporte dos equipamentos para o cálculo do CAPEX. Procurou-se analisar o mesmo, no entanto, dada a variabilidade de destinos de origem dos fornecedores dos equipamentos, a incerteza das entidades implementadoras das linhas de reciclagem de painéis fotovoltaicos e respetiva localização e, ainda, a volatilidade dos custos de transporte, à data da execução do presente estudo, os mesmos não foram considerados na análise de cenários no *Capítulo 4 – Comparação de cenários técnico-económicos*.

Ainda assim, apresenta-se na Tabela 9 a estimativa de custos de transporte que foi possível obter entre o período de Junho a Agosto de 2022.

Tabela 8 - Custo estimado do transporte terrestre.

Transporte Terrestre				
País de origem	Camião de 5 ton	Camião de 10 ton	Camião de 20 ton	Camião de contentores
Reino Unido (Londres)	914 €	1 750 €	2 300 €	1 500 €
Alemanha (Hamburgo)	1 115 €	2 035 €	2 784 €	1 820 €

Transporte Aéreo	
País de origem	Valor aproximado (3000 x 3000 x 3000 [mm]; 10 ton)
Estados Unidos da América (Nova Iorque)	55 000 €
Reino Unido (Londres)	18 000 €
Canadá (Montreal)	36 000 €
China (Shanghai)	16 000 €
Alemanha (Hamburgo)	25 000 €

Transporte Marítimo		
País de origem	Contentor 20 pés	Contentor 40 pés
Estados Unidos da América (Nova Iorque)	4 000 €	4 400 €
Reino Unido (Londres)	800 €	1 200 €
Canadá (Montreal)	1 900 €	2 800 €
China (Shanghai)	8 500 €	13 000 €

Acrescenta-se que o transporte marítimo é mais frequentemente realizado em dois tipos de contentores: contentor de 20 pés e de 40 pés. O primeiro tem 6.1 x 2.4 x 2.6 [m] de dimensões, 33.1 m<sup>3</sup> de volume interno, permitindo uma carga até 28 200 kg; o segundo tem 12.2 x 2.4 x 2.6 [m] de dimensões e 67.5 m<sup>3</sup> de volume interno, permitindo uma carga até 26 600 kg

### 3.4. Custos de recursos humanos

Foi calculada uma estimativa sobre os custos dos recursos humanos, considerando o período de Junho a Agosto de 2022, exclusivamente para operadores dedicados à linha, tendo sido o valor médio de custo total mensal considerado por trabalhador de 1 700 € e um total anual de 19 350 €, incluindo despesas de salário bruto durante 14 meses, custos de segurança social, taxa social única (TSU), seguro de acidentes de trabalho, subsídio de refeição e fundo de compensação.

### 3.5. Valorização dos materiais recuperados

Os materiais recuperados devem ser considerados como matéria-prima secundária – ligas ou metais já processados – uma vez que já foram submetidos a, pelo menos, processos de produção e reciclagem dos painéis solares virgens. Ainda assim, como forma de referência, valorizaram-se os materiais puros. Essa valorização encontra-se espelhada na tabela seguinte:

Tabela 9 - Valorização dos metais no estado puro.

Material	Valor
Alumínio	2 400 € / ton
Vidro temperado	41 400 € / ton
EVA	1 150 € / ton
Célula solar / silício	2 000 € / ton
<i>Tedlar</i>	3 € / m <sup>2</sup>
Estanho	25 000 € / ton
Condutor interno – alumínio	2 400 € / ton
Condutor interno – cobre	7 400 € / ton
Prata	590 000 € / ton
Chumbo	2 000 € / ton

Salienta-se que os metais têm valores flutuantes, isto é, variam ao longo do tempo consoante taxas fixadas pelos órgãos competentes.

Adicionalmente, e após análise de potenciais clientes, que serão referenciados no Relatório Final deste projeto (2ª Fase), realizou-se uma estimativa de valores média de compra para cada tipo de material, que se encontra representada na tabela seguinte. Esta média foi estimada tendo em conta a capacidade produtiva obtida para cada cenário.

Tabela 10 - Valores médios obtidos para a compra dos materiais recuperados.

Material	Tipo de processamento	Valor [€/kg]
Alumínio	Perfil	1,00
Alumínio	Triturado	0,78
Vidro	Triturado /inteiro	-
EVA	Triturado	-
Célula solar / silício	Triturado	-
<i>Tedlar</i>	Triturado	-
Estanho	Triturado	1,90
Chumbo	Triturado	1,00
Prata	Triturado	-
Cobre	Triturado	2,90
Cabos	Triturado	0,40

Foram ainda calculadas as receitas na venda destes materiais que se apresenta na tabela seguinte, para a estimativa dos indicadores de custo-benefício.

Tabela 11 – Receitas calculadas na venda dos materiais.

Material	Peso do estudo [kg]	Peso de 1 PF [kg]	Valor de cada material [€/kg]	Nº de painéis:	1	Nº de painéis:	45	Nº de painéis:	90
				Peso recuperado [kg/h]	Valor por peso recuperado [€/h]	Peso recuperado [kg/h]	Valor por peso recuperado [€/h]	Peso recuperado [kg/h]	Valor por peso recuperado [€/h]
<b>Peso total</b>	1000.00	18.00	Não Aplicável	18	Não Aplicável	810	Não Aplicável	1620	Não Aplicável
<b>Alumínio</b>	180.00	3.24	1.05 €	3.24	3.40 €	145.80	153.09 €	291.60	306.18 €
<b>Vidro</b>	700.00	12.60	0.00 €	12.60	0.00 €	567.00	0.00 €	1134.00	0.00 €
<b>EVA</b>	51.00	0.92	0.00 €	0.92	0.00 €	41.31	0.00 €	82.62	0.00 €
<b>Célula solar / sílicio</b>	36.50	0.66	0.00 €	0.66	0.00 €	29.57	0.00 €	59.13	0.00 €
<b>Tedlar</b>	15.00	0.27	0.00 €	0.27	0.00 €	12.15	0.00 €	24.30	0.00 €
<b>Cabos</b>	10.00	0.18	0.90 €	0.18	0.16 €	8.10	7.29 €	16.20	14.58 €
<b>Condutor interno - alumínio</b>	5.30	0.10	0.90 €	0.10	0.09 €	4.29	3.86 €	8.59	7.73 €
<b>Condutor interno - cobre</b>	1.14	0.02	0.90 €	0.02	0.02 €	0.92	0.83 €	1.85	1.66 €
<b>Prata</b>	0.53	0.01	639.00 €	0.01	6.10 €	0.43	274.32 €	0.86	548.65 €
<b>Outros metais (estanho, chumbo)</b>	0.53	0.01	2.17 €	0.01	0.02 €	0.43	0.93 €	0.86	1.86 €
<b>Total</b>	<b>1000.00</b>	<b>18.00</b>	<b>644.92 €</b>	<b>18.00</b>	<b>9.79 €</b>	<b>810.00</b>	<b>440.33 €</b>	<b>1620.00</b>	<b>880.66 €</b>

### 3.6. Indicadores de Custo-Benefício

Para o cálculo de indicadores de custo-benefício da implementação do processo de reciclagem dos painéis fotovoltaicos, considerando a análise efetuada, foram considerados o retorno sobre investimento (ROI) e o período de *payback*.

O retorno sobre o investimento – *return over investment* ou, simplesmente ROI – é uma medida de desempenho financeiro que representa o ganho ou a perda com determinado investimento. Para cada cenário obtido irá existir um ROI diferente. Este indicador pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$ROI = \frac{(Receita - Custo)}{Custo}$$

O ROI correspondente ao primeiro mês, para cada cenário, foi calculado e pode ser consultado no *Capítulo 4 – Comparação de cenários técnico-económicos*.

O prazo de retorno do investimento – PRI ou *payback* – traduz o tempo previsto para a recuperação do investimento. Este indicador pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$PRI = \frac{Investimento\ inicial}{Ganho\ no\ período}$$

O PRI foi calculado para cada cenário e pode ser consultado no *Capítulo 5 – Cenários Resultantes*. Salienta-se que este cálculo considerou o ganho no período como a diferença entre o valor obtido com a receita mensal dos materiais recuperados em cada cenário e o valor do custo mensal total da linha (ou seja, despesas com operadores e com consumos energéticos).

Além destes devem ser considerados em fase de implementação industrial outros que avaliem os fluxos de caixa, nomeadamente a relação custo-benefício (RCB), a taxa interna de retorno (TIR), o valor presente líquido (VPL).

Os indicadores definidos nesta secção foram calculados e apresentam-se no *Capítulo 4 – Comparação de cenários*.

## 4. CAPÍTULO 4: Comparação de cenários técnico-econômicos

Conforme mencionado nos capítulos anteriores, dependendo do equipamento escolhido e da sequência de equipamentos em si, ou seja, dependendo da capacidade de produção da linha, do custo total da linha – quer a nível de investimento, quer a nível de operação, incluindo o consumo energético – existirá um cenário com maior ou menor prazo de retorno de investimento e com maior ou menor retorno sobre o investimento. Do estudo elaborado, foram obtidos no total dezasseis cenários, sendo que os cenários 1 a 8 utilizam os menores valores de capacidade de produção nas especificações dos diferentes equipamentos e que os cenários 9 a 16 utilizam os maiores valores do mesmo parâmetro.

Para os diferentes cenários pode-se observar que, por vezes, há repetição de alguns processos, isto deve-se ao objetivo de obter uma triagem mais limpa e mais eficaz ao longo de todo o processo.

Salienta-se que, após reunião com a *NPC Incorporated* – fornecedor contactado para as mesas de desmantelamento – obteve-se a informação da possibilidade de assegurar uma triagem do vidro temperado absoluta, quando utilizada a mesa que inclui corte com lâmina quente, caso o painel fotovoltaico se encontre com o vidro temperado intacto. No caso de o painel fotovoltaico se encontrar com o vidro temperado danificado, nomeadamente quebrado, esta separação absoluta já deverá ser assegurada num processo de separação posterior. Isto porque, apesar de a mesa realizar a separação do vidro temperado após o desmantelamento, este encontrar-se-á danificado, pelo que não se assegura a inexistência de contaminantes deste material no processo subsequente. Assim sendo, mesmo no caso das propostas 2, 3 e 4, as quais preveem um método de separação do vidro temperado prévio à trituração, mantiveram-se equipamentos para triagem deste material nas etapas de separação posteriores à trituração.

Acrescenta-se ainda que os custos e receitas, mencionados no presente relatório, têm por base informações aproximadas e não desenhos detalhados e definitivos, pelo que não servem de orçamento. Quer isto dizer que quaisquer alterações de projeto e informações complementares a fornecer durante a fase de implementação irão alterar os valores aqui estimados.

Além do já exposto, ressalva-se que os tempos de produção não estão afetados pelo manuseamento dos operadores. Significa isto que, por exemplo, na carga da mesa de desmantelamento, na carga e descarga da estufa ou no caso de qualquer outro equipamento que necessite de manuseamento, é necessário adicionar o tempo de manuseamento (que estará dependente do operador e do *layout* da linha de produção).

Por fim, o tempo total de processamento das linhas está a ser considerado como o tempo de trabalho da linha em série, uma vez que se acredita que, assim que divulgados os tempos de processamento dos equipamentos em falta, se verifique que a linha em paralelo terá um tempo total inferior aos troços correspondentes à linha em série.

Como método de referência, partiu-se da capacidade de produção da mesa de desmantelamento (que seria o equipamento com menor capacidade de produção) para estimar a capacidade total da linha. Assim, se a mesa de desmantelamento, sem corte a quente, seria capaz de desmantelar 1 painel a cada 40 segundos, então em 1 hora seria capaz de desmantelar 90 painéis, se não existissem outras questões a considerar, como o manuseamento e a integração em linha com outros



equipamentos. Consequentemente, e como pontos de comparação, consideraram-se 1 e 90 painéis como os limites inferior e superior da capacidade de produção e, ainda, um ponto intermédio de 45 painéis. Por fim, avaliou-se a capacidade de produção total da linha em cada cenário para cada um destes pontos.

De seguida apresenta-se cada um dos dezasseis cenários, a respetiva descrição e resultados a reter.

## 4.1. Cenário 1

Tem por base a proposta nº1 do estudo em referência (1) que segue a seguinte sequência de subprocessos:

1. Limpeza;
2. Desmantelamento;
3. Laminagem;
4. Trituração;
5. Separação magnética;
6. Separação densimétrica;
7. Separação por correntes *Foucault*;
8. Separação por Raio-X;
9. Separação densimétrica.

Em paralelo foi considerado que ocorreriam os seguintes subprocessos:

- Descarnamento dos cabos (paralelamente à laminagem);
- Separação por Raio-X (paralelamente à separação por correntes *Foucault*);
- Separação de silício (paralelamente à separação por Raio-X da sequência em série).

Adicionalmente, faz-se notar que o primeiro cenário utiliza:

- Equipamentos de corte ou laminagem e trituração com capacidade de processar vidro temperado, uma vez que na proposta nº1, este não é separado previamente;
- Equipamento de separação magnética integrado na linha, em detrimento do separador suspenso;
- Linha automática de descarnamento de cabos, obtendo os materiais triturados e totalmente separados deste processo em paralelo.

Na Tabela 12 podem ser analisados os custos aproximados da linha total e por equipamento, incluindo tempos de produção, consumos energéticos da linha, capacidade de produção da linha, despesas mensais aproximadas, receitas mensais aproximadas e os indicadores ROI e PRI, não incluindo custos de transporte.

Tabela 12 - Análise em resumo do cenário 1.

Cenário 1											
Descrição:	Proposta 1 com corte e trituração de vidro e equipamentos integrados em linha.										
Nº de painéis	1	45	90			Nº de painéis	1	45	90		
Etapas em série	Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (€)	Etapas em paralelo	Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (inclui shipping, se disponível)
Limpeza				0.00 €							
Desmantelamento	40.00	1 800.00	3 600.00	8.56 €	108 463.68 €						
Laminagem	1.88	84.40	168.80	5.70 €	10 800.00 €	Descarnamento de cabos	6.48	291.60	583.20	8.79 €	6 999.00 €
Trituração	97.53	4 388.93	8 777.86	4.40 €	11 000.00 €						
Separação magnética de linha	0.43	0.87	1.30	0.95 €	35 000.00 €						
Separação densimétrica	13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €						
<i>Foucault</i>	0.03	0.07	0.10	4.28 €	32 500.00 €	Separação por Raio-X	13.28	26.57	39.85	2.38 €	0.00 €
Separação por Raio-X	0.14	0.27	0.41	2.38 €	0.00 €	Separação de silicone	33.21	66.42	99.63	46.11 €	35 000.00 €
Separação densimétrica	13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €						
<b>Tempo total linha 1 [s]</b>	166.58	6 327.68	12 628.18	37.68 €	197 763.68 €	<b>Tempo total linha 2 [s]</b>	52.97	384.59	722.68	57.29 €	41 999.00 €
<b>Tempo total [s]</b>	166.58	6 327.68	12 628.18								
<b>Tempo total [m]</b>	2.78	105.46	210.47								
<b>Tempo total [h]</b>	0.05	1.76	3.51								
<b>Consumo total da linha [€/h]</b>	94.96 €										
<b>Custo total dos equipamentos da linha [€]</b>	239 762.68 €										
<b>Capacidade de produção da linha [painéis / h]</b>	21.61										
<b>Número de Operadores de linha por turno</b>	2.00	<b>Nº de turnos</b>	1.00								
<b>Despesa mensal com trabalhadores</b>	3 224.59 €										
<b>Custo total mensal</b>	19 937.75 €										
<b>Receita mensal total em materiais recuperados [€]</b>	37 218.25 €										

Parâmetro	Valor
<b>Receita mensal</b>	37 218.25 €
<b>Custo total (mensal + investimento)</b>	259 700.43 €
<b>ROI - 1º mês</b>	-86%
<b>PRI [anos]</b>	1.16

## 4.2. Cenário 2

O cenário 2 tem por base a proposta nº1 do estudo em referência (1) e que segue a seguinte sequência de subprocessos:

1. Limpeza;
2. Desmantelamento;
3. Laminagem;
4. Trituração;
5. Separação magnética;
6. Separação densimétrica;
7. Separação por correntes *Foucault*;
8. Separação por Raio-X;
9. Separação densimétrica.

Em paralelo irão decorrer os seguintes subprocessos:

- Descarnamento dos cabos (paralelamente à laminagem);
- Separação por Raio-X (paralelamente à separação por correntes *Foucault*);
- Separação de silício (paralelamente à separação por Raio-X da sequência em série).

Adicionalmente, faz-se notar que o segundo cenário utiliza:

- Equipamentos de corte ou laminagem e trituração com capacidade de processar vidro temperado, uma vez que na proposta nº1, este não é separado previamente;
- Equipamento de separação magnética suspenso, em detrimento do separador integrado na linha;
- Equipamento de descarnamento de cabos isolado, obtendo a separação dos condutores do seu revestimento.

Na Tabela 13 podem ser analisados os custos aproximados da linha total e por equipamento, incluindo tempos de produção, consumos energéticos da linha, capacidade de produção da linha, despesas mensais aproximadas, receitas mensais aproximadas e os indicadores ROI e PRI, não incluindo custos de transporte.

Tabela 13 - Análise em resumo do cenário 2.

Cenário 2													
Descrição:		Proposta 1 com corte e trituração de vidro e equipamentos isolados (descarnador e separador magnético).											
Etapas em série	Nº de painéis	1	45	90	Consumo [€/h]	Custo (€)	Etapas em paralelo	Nº de painéis	1	45	90	Consumo [€/h]	Custo
	Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Tempo de produção 1 painel [seg]				Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]				
Limpeza					0.00 €								
Desmantelamento		40.00	1800.00	3 600.00	8.56 €	108 463.68 €	Descarnamento de cabos	1.08	48.60	97.20	0.52 €	520.00 €	
Laminagem		1.88	84.40	168.80	5.70 €	10 800.00 €							
Trituração		97.53	4 388.93	8 777.86	4.40 €	11 000.00 €							
Separação magnética suspensa		52.00	104.00	156.01	0.00 €	35 000.00 €							
Separação densimétrica		13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €							
<i>Foucault</i>		0.03	0.07	0.10	4.28 €	32 500.00 €	Separação por Raio-X	13.28	26.57	39.85	2.38 €	0.00 €	
Separação por Raio-X		0.14	0.27	0.41	2.38 €	0.00 €							Separação de silicone
Separação densimétrica		13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €							
<b>Tempo total linha 1 [s]</b>		218.15	6 430.82	12 782.89	36.72 €	197 763.68 €	<b>Tempo total linha 2 [s]</b>		47.57	141.58	236.68	49.01 €	35 795.00 €
<b>Tempo total [s]</b>		218.15	6 430.82	12 782.89									
<b>Tempo total [m]</b>		3.64	107.18	213.05									
<b>Tempo total [h]</b>		0.06	1.79	3.55									
<b>Consumo total da linha [€/h]</b>		85.74 €											
<b>Custo total dos equipamentos da linha [€]</b>		233 283.68 €											
<b>Capacidade de produção da linha [painéis / h]</b>		16.50											
<b>Número de Operadores de linha por turno</b>		2.00	<b>Nº de turnos</b>	1.00									
<b>Despesa mensal com trabalhadores</b>		3 224.59 €											
<b>Custo total mensal</b>		18 314.54 €											
<b>Receita mensal total em materiais recuperados [€]</b>		28 420.16 €											

Parâmetro	Valor
<b>Receita mensal</b>	28 420.16 €
<b>Custo total (mensal + investimento)</b>	225 973.22 €
<b>ROI - 1º mês</b>	-87%
<b>PRI [anos]</b>	1.71

### 4.3. Cenário 3

O cenário 3 tem por base a proposta nº2 do estudo em referência (1) e que segue a seguinte sequência de subprocessos:

1. Limpeza;
2. Desmantelamento com corte a quente;
3. Laminagem;
4. Trituração;
5. Separação magnética;
6. Separação densimétrica;
7. Separação por correntes *Foucault*;
8. Separação por Raio-X;
9. Separação densimétrica.

Em paralelo decorrerão os seguintes subprocessos:

- Descarnamento dos cabos (paralelamente à laminagem);
- Separação por Raio-X (paralelamente à separação por correntes *Foucault*);
- Separação de silício (paralelamente à separação por Raio-X da sequência em série).

Adicionalmente, faz-se notar que o terceiro cenário utiliza:

- Equipamentos de corte ou laminagem e trituração com capacidade de processar quantidades residuais de vidro temperado, uma vez que na proposta 2, este é separado previamente;
- Equipamento de separação magnética integrado na linha, em detrimento do separador suspenso;
- Linha automática de descarnamento de cabos, obtendo os materiais triturados e totalmente separados deste processo em paralelo.

Na tabela 14 podem ser analisados os custos aproximados da linha total e por equipamento, incluindo tempos de produção, consumos energéticos da linha, capacidade de produção da linha, despesas mensais aproximadas, receitas mensais aproximadas e os indicadores ROI e PRI, não incluindo custos de transporte.

Tabela 14 - Análise em resumo do cenário 3.

Cenário 3														
Descrição:		Proposta 2 com separação prévia do vidro e equipamentos integrados em linha.												
Etapas em série	Nº de painéis	1	45	90	Consumo [€/h]	Custo (€)	Etapas em paralelo	Nº de painéis	1	45	90	Consumo [€/h]	Custo (€)	
	Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Tempo de produção 1 painel [seg]				Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]					
Limpeza					0.00 €									
Desmantelamento com corte a quente	60.00	2 700.00	5 400.00		27.38 €	1 012 263.10 €	Descarnamento de cabos	6.48	291.60	583.20		8.79 €	6 999.00 €	
Laminagem	1.88	84.40	168.80		5.70 €	10 800.00 €								
Trituração	97.53	4 388.93	8 777.86		4.40 €	11 000.00 €								
Separação magnética de linha	0.43	0.87	1.30		0.95 €	35 000.00 €								
Separação densimétrica	13.28	26.57	39.85		5.70 €	0.00 €	Separação por Raio-X	13.28	26.57	39.85		2.38 €	0.00 €	
<i>Foucault</i>	0.03	0.07	0.10		4.28 €	32 500.00 €								
Separação por Raio-X	0.14	0.27	0.41		2.38 €	0.00 €		Separação de silicone	33.21	66.42	99.63		46.11 €	35 000.00 €
Separação densimétrica	13.28	26.57	39.85		5.70 €	0.00 €								
<b>Tempo total linha 1 [s]</b>	186.58	7 227.68	14 428.18		56.50 €	1 101 563.10 €	<b>Tempo total linha 2 [s]</b>	52.974	384.58	722.68		57.29 €	41 999.00 €	
<b>Tempo total [s]</b>	186.58	7 227.68	14 428.18											
<b>Tempo total [m]</b>	3.11	120.46	240.47											
<b>Tempo total [h]</b>	0.05	2.01	4.01											
<b>Consumo total da linha [€/h]</b>	113.79 €													
<b>Custo total dos equipamentos da linha [€]</b>	1 143 562.10 €													
<b>Capacidade de produção da linha [painéis / h]</b>	19.29													
<b>Número de Operadores de linha por turno</b>	2.00	<b>Nº de turnos</b>	1.00											
<b>Despesa mensal com trabalhadores</b>	3 224.59 €													
<b>Custo total mensal</b>	23 251.10 €													
<b>Receita mensal total em materiais recuperados [€]</b>	33 228.74 €													

Parâmetro	Valor
<b>Receita mensal</b>	33 228.74 €
<b>Custo total (mensal + investimento)</b>	1 166 813.20 €
<b>ROI - 1º mês</b>	-97%
<b>PRI [anos]</b>	9.55

## 4.4. Cenário 4

O cenário 4 tem por base a proposta nº2 do estudo em referência (1) que segue a seguinte sequência de subprocessos:

1. Limpeza;
2. Desmantelamento com corte a quente;
3. Laminagem;
4. Trituração;
5. Separação magnética;
6. Separação densimétrica;
7. Separação por correntes *Foucault*;
8. Separação por Raio-X;
9. Separação densimétrica.

Em paralelo decorrerão os seguintes subprocessos:

- Descarnamento dos cabos (paralelamente à laminagem);
- Separação por Raio-X (paralelamente à separação por correntes *Foucault*);
- Separação de silício (paralelamente à separação por Raio-X da sequência em série).

Adicionalmente, faz-se notar que o quarto cenário utiliza:

- Equipamentos de corte ou laminagem e trituração com capacidade de processar quantidades residuais de vidro temperado, uma vez que na proposta 2, este é separado previamente;
- Equipamento de separação magnética suspenso, em detrimento do separador integrado na linha;
- Equipamento de descarnamento de cabos isolado, obtendo a separação dos condutores do seu revestimento.

Na tabela 15 podem ser apreciados os custos aproximados da linha total e por equipamento, incluindo tempos de produção, consumos energéticos da linha, capacidade de produção da linha, despesas mensais aproximadas, receitas mensais aproximadas e os indicadores ROI e PRI, não incluindo custos de transporte.

Tabela 15 - Análise em resumo do cenário 4.

Cenário 4											
Descrição:		Proposta 2 com separação prévia do vidro e equipamentos isolados (descarnador e separador magnético).									
Nº de painéis				Nº de painéis				Nº de painéis			
1				45				90			
Etapas em série	Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (€)	Etapas em paralelo	Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (€)
Limpeza				0,00 €							
Desmantelamento com corte a quente	60.00	2 700.00	5 400.00	27,38 €	1 012 263.10 €						
Laminagem	1.88	84.40	168.80	5,70 €	10 800.00 €	Descarnamento de cabos	1.08	48.60	97.20	0.52 €	520.00 €
Trituração	97.53	4 388.93	8 777.86	4,40 €	11 000.00 €						
Separação magnética suspensa	52.00	104.00	156.01	0,00 €	35 000.00 €						
Separação densimétrica	13.28	26.57	39.85	5,70 €	0.00 €						
<i>Foucault</i>	0.03	0.07	0.10	4,28 €	32 500.00 €	Separação por Raio-X	13.28	26.57	39.85	2.38 €	0.00 €
Separação por Raio-X	0.14	0.27	0.41	2,38 €	0.00 €	Separação de silicone	33.21	66.42	99.63	46.11 €	35 000.00 €
Separação densimétrica	13.28	26.57	39.85	5,70 €	0.00 €						
<b>Tempo total linha 1 [s]</b>	238.15	7 330.82	14 582.89	55,55 €	1 101 563.10 €	<b>Tempo total linha 2 [s]</b>	47.57	141.58	236.68	49.01 €	35 520.00 €
<b>Tempo total [s]</b>	238.15	7 330.82	14 582.89								
<b>Tempo total [m]</b>	3.97	122.18	243.05								
<b>Tempo total [h]</b>	0.07	2.04	4.05								
<b>Consumo total da linha [€/h]</b>	104.56 €										
<b>Custo total dos equipamentos da linha [€]</b>	1 137 083.10 €										
<b>Capacidade de produção da linha [painéis / h]</b>	15.12										
<b>Número de Operadores de linha por turno</b>	2.00	<b>Nº de turnos</b>	1.00								
<b>Despesa mensal com trabalhadores</b>	3 224.59 €										
<b>Custo total mensal</b>	21 627.89 €										
<b>Receita mensal total em materiais recuperados [€]</b>	26 033.41 €										

Parâmetro	Valor
Receita mensal	26 033.41 €
Custo total (mensal + investimento)	1 158 710.99 €
ROI - 1º mês	-98%
PRI [anos]	21.51



## 4.5. Cenário 5

O cenário 5 tem por base a proposta nº3 do estudo em referência (1) que segue a seguinte sequência de subprocessos:

1. Limpeza;
2. Desmantelamento;
3. Laminagem;
4. Ciclo térmico;
5. Trituração;
6. Separação magnética;
7. Separação densimétrica;
8. Separação por correntes *Foucault*;
9. Separação por Raio-X;
10. Separação densimétrica.

Em paralelo decorrerão os seguintes subprocessos:

- Descarnamento dos cabos (paralelamente à laminagem);
- Descolamento do vidro temperado;
- Separação por Raio-X (paralelamente à separação por correntes *Foucault*);
- Separação de silício (paralelamente à separação por Raio-X da sequência em série).

Adicionalmente, faz-se notar que o quinto cenário utiliza:

- Equipamentos de corte ou laminagem com capacidade de processar vidro temperado e trituração com capacidade de processar quantidades residuais de vidro temperado, uma vez que na proposta 3, este é separado previamente;
- Equipamento de separação magnética integrado na linha, em detrimento do separador suspenso;
- Linha automática de descarnamento de cabos, obtendo os materiais triturados e totalmente separados deste processo em paralelo.

Na Tabela 16 podem ser apreciados os custos aproximados da linha total e por equipamento, incluindo tempos de produção, consumos energéticos da linha, capacidade de produção da linha, despesas mensais aproximadas, receitas mensais aproximadas e os indicadores ROI e PRI, não incluindo custos de transporte.

Tabela 16 - Análise em resumo do cenário 5.

Cenário 5											
Descrição:		Proposta 3 com laminagem de vidro e separação prévia do vidro prévia à trituração e equipamentos integrados em linha.									
Nº de painéis		1	45	90			Nº de painéis		1	45	90
Etapas em série	Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (€)	Etapas em paralelo	Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (€)
Limpeza				0.00 €							
Desmantelamento	40.00	1 800.00	3 600.00	8.56 €	108 463.68 €						
Laminagem	1.88	84.40	168.80	5.70 €	10 800.00 €	Descarnamento de cabos	6.48	291.60	583.20	8.79 €	6 999.00 €
Câmara térmica	6.51	6.51	6.51	11.89 €	196 000.00 €						
Trituração	97.53	4 388.93	8 777.86	4.40 €	11 000.00 €	Ventosas pneumáticas	15	675	1350	0.00 €	8 000.00 €
Separação magnética de linha	0.43	0.87	1.30	0.95 €	35 000.00 €						
Separação densimétrica	13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €						
<i>Foucault</i>	0.03	0.07	0.10	4.28 €	32 500.00 €	Separação por Raio-X	13.28	26.57	39.85	2.38 €	0.00 €
Separação por Raio-X	0.14	0.27	0.41	2.38 €	0.00 €	Separação de silicone	33.21	66.42	99.63	46.11 €	35 000.00 €
Separação densimétrica	13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €						
<b>Tempo total linha 1 [s]</b>	173.09	6 334.19	12 634.69	49.56 €	393 763.68 €	<b>Tempo total linha 2 [s]</b>	67.97	1 059.59	2 072.68	57.29 €	49 999.00 €
<b>Tempo total [s]</b>	173.09	6 334.19	12 634.69								
<b>Tempo total [m]</b>	2.88	105.57	210.58								
<b>Tempo total [h]</b>	0.05	1.76	3.51								
<b>Consumo total da linha [€/h]</b>	106.85 €										
<b>Custo total dos equipamentos da linha [€]</b>	443 762.68 €										
<b>Capacidade de produção da linha [painéis / h]</b>	20.80										
<b>Número de Operadores de linha por turno</b>	2.00	<b>Nº de turnos</b>	1.00								
<b>Despesa mensal com trabalhadores</b>	3 224.59 €										
<b>Custo total mensal</b>	22 029.51 €										
<b>Receita mensal total em materiais recuperados [€]</b>	35 818.70 €										

Parâmetro	Valor
<b>Receita mensal</b>	35 818.70 €
<b>Custo total (mensal + investimento)</b>	465 792.19 €
<b>ROI - 1º mês</b>	-92%
<b>PRI [anos]</b>	2.68

## 4.6. Cenário 6

O cenário 6 tem por base a proposta nº3 do estudo em referência (1) que segue a seguinte sequência de subprocessos:

1. Limpeza;
2. Desmantelamento;
3. Laminagem;
4. Ciclo térmico;
5. Trituração;
6. Separação magnética;
7. Separação densimétrica;
8. Separação por correntes *Foucault*;
9. Separação por Raio-X;
10. Separação densimétrica.

Em paralelo decorrerão os seguintes subprocessos:

- Descarnamento dos cabos (paralelamente à laminagem);
- Descolamento do vidro temperado;
- Separação por Raio-X (paralelamente à separação por correntes *Foucault*);
- Separação de silício (paralelamente à separação por Raio-X da sequência em série).

Adicionalmente, faz-se notar que o sexto cenário utiliza:

- Equipamentos de corte ou laminagem com capacidade de processar vidro temperado e trituração com capacidade de processar quantidades residuais de vidro temperado, uma vez que na proposta 3, este é separado previamente;
- Equipamento de separação magnética suspenso, em detrimento do separador integrado na linha;
- Equipamento de descarnamento de cabos isolado, obtendo a separação dos condutores do seu revestimento.

Na tabela 17 podem ser apreciados os custos aproximados da linha total e por equipamento, incluindo tempos de produção, consumos energéticos da linha, capacidade de produção da linha, despesas mensais aproximadas, receitas mensais aproximadas e os indicadores ROI e PRI, não incluindo custos de transporte.

Tabela 17 - Análise em resumo do cenário 6.

Cenário 6														
Descrição:		Proposta 3 com laminagem de vidro e separação prévia do vidro prévia à trituração e equipamentos isolados (descarnador e separador magnético).												
Nº de painéis		1	45	90			Nº de painéis		1	45	90			
Etapas em série		Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (€)	Etapas em paralelo		Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (€)	
Limpeza					0.00 €									
Desmantelamento		40.00	1 800.00	3 600.00	8.56 €	108 463.68 €	Descarnamento de cabos		1.08	48.60	97.20	0.52 €	520.00 €	
Laminagem		1.88	84.40	168.80	5.70 €	10 800.00 €	Manipulação por ventosas		Manual	Manual	Manual	0.00 €	30.00 €	
Estufa		3 600.00	7 200.00	14 400.00	0.86 €	11 500.00 €	Separação por Raio-X		13.28	26.57	39.85	2.38 €	0.00 €	
Trituração		97.53	195.06	390.13	4.40 €	11 000.00 €	Separação de silicone		33.21	66.42	99.63	46.11 €	35 000.00 €	
Separação magnética suspensa		52.00	104.00	156.01	0.00 €	35 000.00 €								
Separação densimétrica		13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €								
<i>Foucault</i>		0.03	0.07	0.10	4.28 €	32 500.00 €								
Separação por Raio-X		0.14	0.27	0.41	2.38 €	0.00 €								
Separação densimétrica		13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €								
<b>Tempo total linha 1 [s]</b>		<b>3 818.15</b>	<b>9 436.95</b>	<b>18 795.16</b>	<b>37.58 €</b>	<b>209 263.68 €</b>	<b>Tempo total linha 2 [s]</b>		<b>47.57</b>	<b>141.58</b>	<b>236.68</b>	<b>49.01 €</b>	<b>35 520.00 €</b>	
<b>Tempo total [s]</b>		<b>3 818.15</b>	<b>9 436.95</b>	<b>18 795.16</b>										
<b>Tempo total [m]</b>		<b>63.64</b>	<b>157.28</b>	<b>313.25</b>										
<b>Tempo total [h]</b>		<b>1.06</b>	<b>2.62</b>	<b>5.22</b>										
<b>Consumo total da linha [€/h]</b>				<b>86.59 €</b>										
<b>Custo total dos equipamentos da linha [€]</b>				<b>244 813.68 €</b>										
<b>Capacidade de produção da linha [painéis / h]</b>				<b>0.94</b>										
<b>Número de Operadores de linha por turno</b>		<b>2.00</b>	<b>Nº de turnos</b>	<b>1.00</b>										
<b>Despesa mensal com trabalhadores</b>				<b>3 224.59 €</b>										
<b>Custo total mensal</b>				<b>18 465.15 €</b>										
<b>Receita mensal total em materiais recuperados [€]</b>				<b>1 623.78 €</b>										

Parâmetro	Valor
Receita mensal	1 623.78 €
Custo total (mensal + investimento)	263 278.83 €
ROI - 1º mês	-99%
PRI [anos]	-1.21

## 4.7. Cenário 7

O cenário 7 tem por base a proposta nº4 do estudo em referência (1) que segue a seguinte sequência de subprocessos:

1. Limpeza;
2. Desmantelamento;
3. Lâmina quente;
4. Laminagem;
5. Trituração;
6. Separação magnética;
7. Separação densimétrica;
8. Separação por correntes *Foucault*;
9. Separação por Raio-X;
10. Separação densimétrica.

Em paralelo decorrerão os seguintes subprocessos:

- Descarnamento dos cabos (paralelamente à laminagem);
- Separação por Raio-X (paralelamente à separação por correntes *Foucault*);
- Separação de silício (paralelamente à separação por Raio-X da sequência em série).

Adicionalmente, faz-se notar que o sétimo cenário utiliza:

- Equipamentos de corte ou laminagem e trituração com capacidade de processar quantidades residuais de vidro temperado, uma vez que na proposta nº4, este é separado previamente;
- Equipamento de separação magnética integrado na linha, em detrimento do separador suspenso;
- Linha automática de descarnamento de cabos, obtendo os materiais triturados e totalmente separados deste processo em paralelo.

Na tabela 18 podem ser apreciados os custos aproximados da linha total e por equipamento, incluindo tempos de produção, consumos energéticos da linha, capacidade de produção da linha, despesas mensais aproximadas, receitas mensais aproximadas e os indicadores ROI e PRI, não incluindo custos de transporte.

Tabela 18 - Análise em resumo do cenário 7.

Cenário 7											
Descrição:	Proposta 4 com separação prévia de vidro e equipamentos integrados em linha.										
Nº de painéis	1	45	90			Nº de painéis	1	45	90		
Etapas em série	Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (€)	Etapas em paralelo	Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]		Custo (€)
Limpeza				0.00 €							
Desmantelamento	40.00	1800.00	3600.00	8.56 €	108 463.68 €						
Lâmina a quente	180.00	8100.00	16200.00	0.00 €	707.80 €	Descarnamento de cabos	6.48	291.60	583.20	8.79 €	6 999.00 €
Laminagem	1.88	84.40	168.80	5.70 €	10 800.00 €						
Trituração	97.53	4388.93	8777.86	4.40 €	11 000.00 €						
Separação magnética de linha	0.43	0.87	1.30	0.95 €	35 000.00 €						
Separação densimétrica	13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €						
<i>Foucault</i>	0.03	0.07	0.10	4.28 €	32 500.00 €	Separação por Raio-X	13.28	26.57	39.85	2.38 €	0.00 €
Separação por Raio-X	0.14	0.27	0.41	2.38 €	0.00 €	Separação de silicone	33.21	66.42	99.63	46.11 €	35 000.00 €
Separação densimétrica	13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €						
<b>Tempo total linha 1 [s]</b>	346.58	14427.68	28828.18	37.68 €	198 471.48 €	<b>Tempo total linha 2</b>	52.97	384.58	722.68	57.29 €	41 999.00 €
<b>Tempo total [s]</b>	346.58	14427.68	28828.18								
<b>Tempo total [m]</b>	5.78	240.46	480.47								
<b>Tempo total [h]</b>	0.10	4.01	8.01								
<b>Consumo total da linha [€/h]</b>	94.96 €										
<b>Custo total dos equipamentos da linha [€]</b>	240 470.48 €										
<b>Capacidade de produção da linha [painéis / h]</b>	10.39										
<b>Número de Operadores de linha por turno</b>	2.00	<b>Nº de turnos</b>	1.00								
<b>Despesa mensal com trabalhadores</b>	3 224.59 €										
<b>Custo total mensal</b>	19 937.75 €										
<b>Receita mensal total em materiais recuperados [€]</b>	17 888.58 €										

Parâmetro	Valor
<b>Receita mensal</b>	17 888,58 €
<b>Custo total (mensal + investimento)</b>	260 408.23 €
<b>ROI - 1º mês</b>	<b>-93%</b>
<b>PRI [anos]</b>	<b>-9,78</b>

## 4.8. Cenário 8

O cenário 8 tem por base a proposta nº4 do estudo em referência (1) que segue a seguinte sequência de subprocessos:

1. Limpeza;
2. Desmantelamento;
3. Lâmina quente;
4. Laminagem;
5. Trituração;
6. Separação magnética;
7. Separação densimétrica;
8. Separação por correntes *Foucault*;
9. Separação por Raio-X;
10. Separação densimétrica.

Em paralelo decorrerão os seguintes subprocessos:

- Descarnamento dos cabos (paralelamente à laminagem);
- Separação por Raio-X (paralelamente à separação por correntes *Foucault*);
- Separação de silício (paralelamente à separação por Raio-X da sequência em série).

Adicionalmente, faz-se notar que o oitavo cenário utiliza:

- Equipamentos de corte ou laminagem e trituração com capacidade de processar quantidades residuais de vidro temperado, uma vez que na proposta nº 4, este é separado previamente;
- Equipamento de separação magnética suspenso, em detrimento do separador integrado na linha;
- Equipamento de descarnamento de cabos isolado, obtendo a separação dos condutores do seu revestimento.

Na Tabela 19 podem ser apreciados os custos aproximados da linha total e por equipamento, incluindo tempos de produção, consumos energéticos da linha, capacidade de produção da linha, despesas mensais aproximadas, receitas mensais aproximadas e os indicadores ROI e PRI, não incluindo custos de transporte.

Tabela 19 - Análise em resumo do cenário 8.

Cenário 8													
Descrição:		Proposta 4 com separação prévia de vidro e equipamentos isolados (descarnador e separador magnético).											
Nº de painéis		1	45	90			Nº de painéis		1	45	90		
Etapas em série		Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (€)	Etapas em paralelo		Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (€)
Limpeza					0.00 €								
Desmantelamento		40.00	1800.00	3600.00	8.56 €	108 463.68 €							
Lâmina a quente		180.00	8100.00	16200.00	0.00 €	707.80 €	Descarnamento de cabos		1.08	48.60	97.20	0.52 €	520.00 €
Laminagem		1.88	84.40	168.80	5.70 €	10 800.00 €							
Trituração		97.53	4388.93	8777.86	4.40 €	11 000.00 €							
Separação magnética suspensa		52.00	104.00	156.01	0.00 €	35 000.00 €							
Separação densimétrica		13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €							
<i>Foucault</i>		0.03	0.07	0.10	4.28 €	32 500.00 €	Separação por Raio-X		13.28	26.57	39.85	2.38 €	0.00 €
Separação por Raio-X		0.14	0.27	0.41	2.38 €	0.00 €	Separação de silicone		33.21	66.42	99.63	46.11 €	35 000.00 €
Separação densimétrica		13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €							
<b>Tempo total linha 1 [s]</b>		398.15	14530.82	28982.89	36.72 €	198 471.48 €	<b>Tempo total linha 2 [s]</b>		47.57	141.58	236.68	49.01 €	35 520.00 €
<b>Tempo total [s]</b>		398.15	14530.82	28982.89									
<b>Tempo total [m]</b>		6.64	242.18	483.05									
<b>Tempo total [h]</b>		0.11	4.04	8.05									
<b>Consumo total da linha [€/h]</b>		85.74 €											
<b>Custo total dos equipamentos da linha [€]</b>		233 991.48 €											
<b>Capacidade de produção da linha [painéis / h]</b>		9.04											
<b>Número de Operadores de linha por turno</b>		2.00	<b>Nº de turnos</b>	1.00									
<b>Despesa mensal com trabalhadores</b>		3 224.59 €											
<b>Custo total mensal</b>		18 314.54 €											
<b>Receita mensal total em materiais recuperados [€]</b>		15 571.64 €											

Parâmetro	Valor
Receita mensal	15 571.64 €
Custo total (mensal + investimento)	252 306.02 €
ROI - 1º mês	-94%
PRI [anos]	-7.11



## 4.9. Cenário 9

O cenário 9 tem por base a proposta nº1 do estudo em referência (1) que segue a seguinte sequência de subprocessos:

1. Limpeza;
2. Desmantelamento;
3. Laminagem;
4. Trituração;
5. Separação magnética;
6. Separação densimétrica;
7. Separação por correntes *Foucault*;
8. Separação por Raio-X;
9. Separação densimétrica.

Em paralelo decorrerão os seguintes subprocessos:

- Descarnamento dos cabos (paralelamente à laminagem);
- Separação por Raio-X (paralelamente à separação por correntes *Foucault*);
- Separação de silício (paralelamente à separação por Raio-X da sequência em série).

Adicionalmente, faz-se notar que o nono cenário utiliza:

- Equipamentos de corte ou laminagem e trituração com capacidade de processar vidro temperado, uma vez que na proposta nº 1, este não é separado previamente;
- Equipamento de separação magnética integrado na linha, em detrimento do separador suspenso;
- Linha automática de descarnamento de cabos, obtendo os materiais triturados e totalmente separados deste processo em paralelo.

Na Tabela 20 podem ser apreciados os custos aproximados da linha total e por equipamento, incluindo tempos de produção, consumos energéticos da linha, capacidade de produção da linha, despesas mensais aproximadas, receitas mensais aproximadas e os indicadores ROI e PRI, não incluindo custos de transporte.

Tabela 20 - Análise em resumo do cenário 9.

Cenário 9											
Descrição:		Proposta 1 com corte e trituração de vidro e equipamentos integrados em linha.									
Nº de painéis				Nº de painéis				Nº de painéis			
1				45				90			
Etapas em série	Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (€)	Etapas em paralelo	Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (€)
Limpeza				0.00 €							
Desmantelamento	40.00	1 800.00	3 600.00	8.56 €	108 463.68 €						
Laminagem	1.88	84.40	168.80	5.70 €	10 800.00 €	Descarnamento de cabos	0.65	29.16	58.32	8.79 €	6 999.00 €
Trituração	4.88	219.45	438.89	4.40 €	11 000.00 €						
Separação magnética de linha	0.27	0.55	0.82	0.95 €	35 000.00 €						
Separação densimétrica	13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €						
<i>Foucault</i>	0.00	0.01	0.01	4.28 €	32 500.00 €	Separação por Raio-X	13.28	26.57	39.85	2.38 €	0.00 €
Separação por Raio-X	0.14	0.27	0.41	2.38 €	0.00 €	Separação de silicone	6.64	13.28	19.93	46.11 €	35 000.00 €
Separação densimétrica	13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €						
<b>Tempo total linha 1 [s]</b>	73.73	2 157.81	4 288.65	37.68 €	197 763.68 €	<b>Tempo total linha 2 [s]</b>	20.57	69.01	118.09	57.29 €	41 999.00 €
<b>Tempo total [s]</b>	73.73	2 157.81	4 288.65								
<b>Tempo total [m]</b>	1.23	35.96	71.48								
<b>Tempo total [h]</b>	0.02	0.60	1.19								
<b>Consumo total da linha [€/h]</b>	94.96 €										
<b>Custo total dos equipamentos da linha [€]</b>	239 762.68 €										
<b>Capacidade de produção da linha [painéis / h]</b>	48.82										
<b>Número de Operadores de linha por turno</b>	2.00	<b>Nº de turnos</b>	1.00								
<b>Despesa mensal com trabalhadores</b>	3 224.59 €										
<b>Custo total mensal</b>	19 937.75 €										
<b>Receita mensal total em materiais recuperados [€]</b>	84 082.97 €										

Parâmetro	Valor
<b>Receita mensal</b>	84 082.97 €
<b>Custo total (mensal + investimento)</b>	259 700.43 €
<b>ROI - 1º mês</b>	-68%
<b>PRI [anos]</b>	0.31

## 4.10. Cenário 10

O Cenário 10 tem por base a proposta nº1 do estudo em referência (1) que segue a seguinte sequência de subprocessos:

1. Limpeza;
2. Desmantelamento;
3. Laminagem;
4. Trituração;
5. Separação magnética;
6. Separação densimétrica;
7. Separação por correntes *Foucault*;
8. Separação por Raio-X;
9. Separação densimétrica.

Em paralelo decorrerão os seguintes subprocessos:

- Descarnamento dos cabos (paralelamente à laminagem);
- Separação por Raio-X (paralelamente à separação por correntes *Foucault*);
- Separação de silício (paralelamente à separação por Raio-X da sequência em série).

Adicionalmente, faz-se notar que o décimo cenário utiliza:

- Equipamentos de corte ou laminagem e trituração com capacidade de processar vidro temperado, uma vez que na proposta 1, este não é separado previamente;
- Equipamento de separação magnética suspenso, em detrimento do separador integrado na linha;
- Equipamento de descarnamento de cabos isolado, obtendo a separação dos condutores do seu revestimento.

Na Tabela 21 podem ser apreciados os custos aproximados da linha total e por equipamento, incluindo tempos de produção, consumos energéticos da linha, capacidade de produção da linha, despesas mensais aproximadas, receitas mensais aproximadas e os indicadores ROI e PRI, não incluindo custos de transporte.

Tabela 21 - Análise em resumo do cenário 10.

Cenário 10													
Descrição:		Proposta 1 com corte e trituração de vidro e equipamentos isolados (descarnador e separador magnético).											
Etapas em série	Nº de painéis	1	45	90	Consumo [€/h]	Custo (€)	Etapas em paralelo	Nº de painéis	1	45	90	Consumo [€/h]	Custo (€)
	Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Tempo de produção 1 painel [seg]				Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]				
Limpeza					0.00 €								
Desmantelamento		40.00	1 800.00	3 600.00	8.56 €	108 463.68 €							
Laminagem		1.88	84.40	168.80	5.70 €	10 800.00 €	Descarnamento de cabos	0.54	24.30	48.60		0.52 €	520.00 €
Trituração		4.88	219.45	438.89	4.40 €	11 000.00 €							
Separação magnética suspensa		2.60	5.20	7.80	0.00 €	35 000.00 €							
Separação densimétrica		13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €							
<i>Foucault</i>		0.00	0.01	0.01	4.28 €	32 500.00 €	Separação por Raio-X	13.28	26.57	39.85		2.38 €	0.00 €
Separação por Raio-X		0.14	0.27	0.41	2.38 €	0.00 €	Separação de silicone	6.64	13.28	19.93		46.11 €	35 000.00 €
Separação densimétrica		13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €							
<b>Tempo total linha 1 [s]</b>		76.06	2 162.47	4 295.62	36.72 €	197 763.68 €	<b>Tempo total linha 2 [s]</b>	20.46	64.15	108.37		49.01 €	35 520.00 €
<b>Tempo total [s]</b>		76.06	2 162.47	4 295.62									
<b>Tempo total [m]</b>		1.27	36.04	71.59									
<b>Tempo total [h]</b>		0.02	0.60	1.19									
<b>Consumo total da linha [€/h]</b>		85.74 €											
<b>Custo total dos equipamentos da linha [€]</b>		233 283.68 €											
<b>Capacidade de produção da linha [painéis / h]</b>		47.33											
<b>Número de Operadores de linha por turno</b>		2.00	<b>Nº de turnos</b>	1.00									
<b>Despesa mensal com trabalhadores</b>		3 224.59 €											
<b>Custo total mensal</b>		18 314.54 €											
<b>Receita mensal total em materiais recuperados [€]</b>		81 511.21 €											

Parâmetro	Valor
<b>Receita mensal</b>	81 511.21 €
<b>Custo total (mensal + investimento)</b>	251 598.22 €
<b>ROI - 1º mês</b>	-68%
<b>PRI [anos]</b>	0.31

## 4.11. Cenário 11

O cenário 11 tem por base a proposta nº2 do estudo em referência (1) que segue a seguinte sequência de subprocessos:

1. Limpeza;
2. Desmantelamento com corte a quente;
3. Laminagem;
4. Trituração;
5. Separação magnética;
6. Separação densimétrica;
7. Separação por correntes *Foucault*;
8. Separação por Raio-X;
9. Separação densimétrica.

Em paralelo decorrerão os seguintes subprocessos:

- Descarnamento dos cabos (paralelamente à laminagem);
- Separação por Raio-X (paralelamente à separação por correntes *Foucault*);
- Separação de silício (paralelamente à separação por Raio-X da sequência em série).

Adicionalmente, faz-se notar que o décimo-primeiro cenário utiliza:

- Equipamentos de corte ou laminagem e trituração com capacidade de processar quantidades residuais de vidro temperado, uma vez que na proposta nº 2, este é separado previamente;
- Equipamento de separação magnética integrado na linha, em detrimento do separador suspenso;
- Linha automática de descarnamento de cabos, obtendo os materiais triturados e totalmente separados deste processo em paralelo.

Na Tabela 22 podem ser apreciados os custos aproximados da linha total e por equipamento, incluindo tempos de produção, consumos energéticos da linha, capacidade de produção da linha, despesas mensais aproximadas, receitas mensais aproximadas e os indicadores ROI e PRI, não incluindo custos de transporte.

Tabela 22 - Análise em resumo do cenário 11.

Cenário 11											
Descrição:		Proposta 2 com separação prévia do vidro e equipamentos integrados em linha.									
Nº de painéis								Nº de painéis			
1				45				90			
Etapas em série	Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (€)	Etapas em paralelo	Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (€)
Limpeza				0.00 €							
Desmantelamento com corte a quente	60.00	2 700.00	5 400.00	27.38 €	1 012 263.10 €						
Laminagem	1.88	84.40	168.80	5.70 €	10 800.00 €	Descarnamento de cabos	0.65	29.16	58.32	8.79 €	6 999.00 €
Trituração	4.88	219.45	438.89	4.40 €	11 000.00 €						
Separação magnética de linha	0.27	0.55	0.82	0.95 €	35 000.00 €						
Separação densimétrica	13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €						
<i>Foucault</i>	0.00	0.01	0.01	4.28 €	32 500.00 €	Separação por Raio-X	13.28	26.57	39.85	2.38 €	0.00 €
Separação por Raio-X	0.14	0.27	0.41	2.38 €	0.00 €	Separação de silicone	6.64	13.28	19.93	46.11 €	35 000.00 €
Separação densimétrica	13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €						
<b>Tempo total linha 1 [s]</b>	93.73	3 057.81	6 088.65	56.50 €	1 101 563.10 €	<b>Tempo total linha 2 [s]</b>	20.57	69.01	118.09	57.29 €	41 999.00 €
<b>Tempo total [s]</b>	93.73	3 057.81	6 088.65								
<b>Tempo total [m]</b>	1.56	50.96	101.48								
<b>Tempo total [h]</b>	0.03	0.85	1.69								
<b>Consumo total da linha [€/h]</b>	113.79 €										
<b>Custo total dos equipamentos da linha [€]</b>	1 143 562.10 €										
<b>Capacidade de produção da linha [painéis / h]</b>	38.41										
<b>Número de Operadores de linha por turno</b>	2.00	<b>Nº de turnos</b>	1.00								
<b>Despesa mensal com trabalhadores</b>	3 224.59 €										
<b>Custo total mensal</b>	23 251.10 €										
<b>Receita mensal total em materiais recuperados [€]</b>	66 142.34 €										

Parâmetro	Valor
<b>Receita mensal</b>	66 142.34 €
<b>Custo total (mensal + investimento)</b>	1 166 813.20 €
<b>ROI - 1º mês</b>	-94%
<b>PRI [anos]</b>	2.22

## 4.12. Cenário 12

O cenário 12 tem por base a proposta nº2 do estudo em referência (1) que segue a seguinte sequência de subprocessos:

1. Limpeza;
2. Desmantelamento com corte a quente;
3. Laminagem;
4. Trituração;
5. Separação magnética;
6. Separação densimétrica;
7. Separação por correntes *Foucault*;
8. Separação por Raio-X;
9. Separação densimétrica.

Em paralelo decorrerão os seguintes subprocessos:

- Descarnamento dos cabos (paralelamente à laminagem);
- Separação por Raio-X (paralelamente à separação por correntes *Foucault*);
- Separação de silício (paralelamente à separação por Raio-X da sequência em série).

Adicionalmente, faz-se notar que o décimo-segundo cenário utiliza:

- Equipamentos de corte ou laminagem e trituração com capacidade de processar quantidades residuais de vidro temperado, uma vez que na proposta nº 2, este é separado previamente;
- Equipamento de separação magnética suspenso, em detrimento do separador integrado na linha;
- Equipamento de descarnamento de cabos isolado, obtendo a separação dos condutores do seu revestimento.

Na Tabela 23 podem ser apreciados os custos aproximados da linha total e por equipamento, incluindo tempos de produção, consumos energéticos da linha, capacidade de produção da linha, despesas mensais aproximadas, receitas mensais aproximadas e os indicadores ROI e PRI, não incluindo custos de transporte.

Tabela 23 - Análise em resumo do cenário 12.

Cenário 12											
Descrição:		Proposta 2 com separação prévia do vidro e equipamentos isolados (descarnador e separador magnético).									
Etapas em série	Nº de painéis			Consumo [€/h]	Custo (€)	Etapas em paralelo	Nº de painéis			Consumo [€/h]	Custo (€)
	1	45	90				1	45	90		
	Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]				Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]		
Limpeza				0.00 €							
Descarnamento com corte a quente	60.00	2 700.00	5 400.00	27.38 €	1 012 263.10 €	Descarnamento de cabos	0.54	24.30	48.60	0.52 €	520.00 €
Laminagem	1.88	84.40	168.80	5.70 €	10 800.00 €						
Trituração	4.88	219.45	438.89	4.40 €	11 000.00 €						
Separação magnética suspensa	2.60	5.20	7.80	0.00 €	35 000.00 €						
Separação densimétrica	13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €						
<i>Foucault</i>	0.00	0.01	0.01	4.28 €	32 500.00 €	Separação por Raio-X	13.28	26.57	39.85	2.38 €	0.00 €
Separação por Raio-X	0.14	0.27	0.41	2.38 €	0.00 €	Separação de silicone	6.64	13.28	19.93	46.11 €	35 000.00 €
Separação densimétrica	13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €						
<b>Tempo total linha 1 [s]</b>	96.06	3 062.47	6 095.62	55.55 €	1 101 563.10 €	<b>Tempo total linha 2 [s]</b>	20.46	64.15	108.37	49.01 €	35 520.00 €
<b>Tempo total [s]</b>	96.06	3 062.47	6 095.62								
<b>Tempo total [m]</b>	1.60	51.04	101.59								
<b>Tempo total [h]</b>	0.03	0.85	1.69								
<b>Consumo total da linha [€/h]</b>	104.56 €										
<b>Custo total dos equipamentos da linha [€]</b>	1 137 083.10 €										
<b>Capacidade de produção da linha [painéis / h]</b>	37.48										
<b>Número de Operadores de linha por turno</b>	2.00	<b>Nº de turnos</b>	1,00								
<b>Despesa mensal com trabalhadores</b>	3 224.59 €										
<b>Custo total mensal</b>	21 627.89 €										
<b>Receita mensal total em materiais recuperados [€]</b>	64 540.51 €										

Parâmetro	Valor
<b>Receita mensal</b>	64 540.51 €
<b>Custo total (mensal + investimento)</b>	1 158 710.99 €
<b>ROI - 1º mês</b>	-94%
<b>PRI [anos]</b>	2.21



## 4.13. Cenário 13

O cenário 13 tem por base a proposta nº 3 do estudo em referência (1) que segue a seguinte sequência de subprocessos:

1. Limpeza;
2. Desmantelamento;
3. Laminagem;
4. Ciclo térmico;
5. Trituração;
6. Separação magnética;
7. Separação densimétrica;
8. Separação por correntes *Foucault*;
9. Separação por Raio-X;
10. Separação densimétrica.

Em paralelo decorrerão os seguintes subprocessos:

- Descarnamento dos cabos (paralelamente à laminagem);
- Descolamento do vidro;
- Separação por Raio-X (paralelamente à separação por correntes *Foucault*);
- Separação de silício (paralelamente à separação por Raio-X da sequência em série).

Adicionalmente, faz-se notar que o décimo-terceiro cenário utiliza:

- Equipamentos de corte ou laminagem com capacidade de processar vidro temperado e trituração com capacidade de processar quantidades residuais de vidro temperado, uma vez que na proposta nº 3, este é separado previamente;
- Equipamento de separação magnética integrado na linha, em detrimento do separador suspenso;
- Linha automática de descarnamento de cabos, obtendo os materiais triturados e totalmente separados deste processo em paralelo.

Na Tabela 24 podem ser apreciados os custos aproximados da linha total e por equipamento, incluindo tempos de produção, consumos energéticos da linha, capacidade de produção da linha, despesas mensais aproximadas, receitas mensais aproximadas e os indicadores ROI e PRI, não incluindo custos de transporte.

Tabela 24 - Análise em resumo do cenário 13.

Cenário 13													
Descrição:		Proposta 3 com laminagem de vidro e separação prévia do vidro prévia à trituração e equipamentos integrados em linha.											
Nº de painéis						Nº de painéis							
				1	45	90					1	45	90
Etapas em série	Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (€)	Etapas em paralelo	Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (€)		
Limpeza				0.00 €									
Desmantelamento	40.00	1 800.00	3 600.00	8.56 €	108 463.68 €								
Laminagem	1.88	84.40	168.80	5.70 €	10 800.00 €	Descarnamento de cabos	0.65	29.16	58.32	8.79 €	6 999.00 €		
Câmara térmica	6.51	6.51	6.51	11.89 €	196 000.00 €								
Trituração	4.88	219.45	438.89	4.40 €	11 000.00 €	Ventosas pneumáticas	15	675	1350	0.00 €	8 000.00 €		
Separação magnética de linha	0.27	0.55	0.82	0.95 €	35 000.00 €								
Separação densimétrica	13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €								
<i>Foucault</i>	0.00	0.01	0.01	4.28 €	32 500.00 €	Separação por Raio-X	13.28	26.57	39.85	2.38 €	0.00 €		
Separação por Raio-X	0.14	0.27	0.41	2.38 €	0.00 €	Separação de silicone	6.64	13.28	19.93	46.11 €	35 000.00 €		
Separação densimétrica	13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €								
<b>Tempo total linha 1 [s]</b>	80.24	2 164.32	4 295.15	49.56 €	393 763.68 €	<b>Tempo total linha 2 [s]</b>	35.57	744.01	1 468.09	57.29 €	49 999.00 €		
<b>Tempo total [s]</b>	80.24	2 164.32	4 295.15										
<b>Tempo total [m]</b>	1.34	36.07	71.59										
<b>Tempo total [h]</b>	0.02	0.60	1.19										
<b>Consumo total da linha [€/h]</b>	106.85 €												
<b>Custo total dos equipamentos da linha [€]</b>	443 762.68 €												
<b>Capacidade de produção da linha [painéis / h]</b>	44.86												
<b>Número de Operadores de linha por turno</b>	2.00	<b>Nº de turnos</b>	1.00										
<b>Despesa mensal com trabalhadores</b>	3 224.59 €												
<b>Custo total mensal</b>	22 029.51 €												
<b>Receita mensal total em materiais recuperados [€]</b>	77 262.70 €												

Parâmetro	Valor
Receita mensal	77 262.70 €
Custo total (mensal + investimento)	465 792.19 €
ROI - 1º mês	-83%
PRI [anos]	0.67

## 4.14. Cenário 14

O cenário 14 tem por base a proposta nº 3 do estudo em referência (1) que segue a seguinte sequência de subprocessos:

1. Limpeza;
2. Desmantelamento;
3. Laminagem;
4. Estufa;
5. Trituração;
6. Separação magnética;
7. Separação densimétrica;
8. Separação por correntes *Foucault*;
9. Separação por Raio-X;
10. Separação densimétrica.

Em paralelo decorrerão os seguintes subprocessos:

- Descarnamento dos cabos (paralelamente à laminagem);
- Descolamento do vidro;
- Separação por Raio-X (paralelamente à separação por correntes *Foucault*);
- Separação de silício (paralelamente à separação por Raio-X da sequência em série).

Adicionalmente, faz-se notar que o décimo-quarto cenário utiliza:

- Equipamentos de corte ou laminagem com capacidade de processar vidro temperado e trituração com capacidade de processar quantidades residuais de vidro temperado, uma vez que na proposta nº 3, este é separado previamente;
- Equipamento de separação magnética suspenso, em detrimento do separador integrado na linha;
- Equipamento de descarnamento de cabos isolado, obtendo a separação dos condutores do seu revestimento.

Na Tabela 25 podem ser apreciados os custos aproximados da linha total e por equipamento, incluindo tempos de produção, consumos energéticos da linha, capacidade de produção da linha, despesas mensais aproximadas, receitas mensais aproximadas e os indicadores ROI e PRI, não incluindo custos de transporte.

Tabela 25 - Análise em resumo do cenário 14.

Cenário 14													
Descrição:		Proposta 3 com laminagem de vidro e separação prévia do vidro prévia à trituração e equipamentos isolados (descarnador e separador magnético).											
Etapas em série	Nº de painéis	1	45	90	Consumo [€/h]	Custo (€)	Etapas em paralelo	Nº de painéis	1	45	90	Consumo [€/h]	Custo (€)
	Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Tempo de produção 1 painel [seg]				Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]				
Limpeza					0.00 €								
Desmantelamento	40.00	1 800.00	3 600.00		8.56 €	108 463.68 €	Descarnamento de cabos	0.54	24.30	48.60		0.52 €	520.00 €
Laminagem	1.88	84.40	168.80		5.70 €	10 800.00 €							
Estufa	3600.00	7 200.00	14 400.00		0.86 €	11 500.00 €	Manipulação por ventosas	Manual	Manual	Manual		0.00 €	30.00 €
Trituração	4.88	9.75	19.51		4.40 €	11 000.00 €							
Separação magnética suspensa	2.60	5.20	7.80		0.00 €	35 000.00 €	Separação por Raio-X Separação de silicone	13.28	26.57	39.85		2.38 €	0.00 €
Separação densimétrica	13.28	26.57	39.85		5.70 €	0.00 €							
<i>Foucault</i>	0.00	0.01	0.01		4.28 €	32 500.00 €							
Separação por Raio-X	0.14	0.27	0.41		2.38 €	0.00 €							
Separação densimétrica	13.28	26.57	39.85		5.70 €	0.00 €						46.11 €	35 000.00 €
<b>Tempo total linha 1 [s]</b>	<b>3676.06</b>	<b>9 152.77</b>	<b>18 276.24</b>		<b>37.58 €</b>	<b>209 263.68 €</b>	<b>Tempo total linha 2 [s]</b>	<b>20.46</b>	<b>64.15</b>	<b>108.37</b>		<b>49.01 €</b>	<b>35 550.00 €</b>
<b>Tempo total [s]</b>	<b>3676.06</b>	<b>9 152.77</b>	<b>18 276.24</b>										
<b>Tempo total [m]</b>	<b>61.27</b>	<b>152.55</b>	<b>304.60</b>										
<b>Tempo total [h]</b>	<b>1.02</b>	<b>2.54</b>	<b>5.08</b>										
<b>Consumo total da linha [€/h]</b>		<b>86.59 €</b>											
<b>Custo total dos equipamentos da linha [€]</b>		<b>244 813.68 €</b>											
<b>Capacidade de produção da linha [painéis / h]</b>		<b>0.98</b>											
<b>Número de Operadores de linha por turno</b>	<b>2.00</b>	<b>Nº de turnos</b>	<b>1.00</b>										
<b>Despesa mensal com trabalhadores</b>		<b>3 224.59 €</b>											
<b>Custo total mensal</b>		<b>18 465.15 €</b>											
<b>Receita mensal total em materiais recuperados [€]</b>		<b>1 686.54 €</b>											

Parâmetro	Valor
<b>Receita mensal</b>	<b>1 686.54 €</b>
<b>Custo total (mensal + investimento)</b>	<b>263 278.83 €</b>
<b>ROI - 1º mês</b>	<b>-99%</b>
<b>PRI [anos]</b>	<b>-1.22</b>

## 4.15. Cenário 15

O cenário 15 em base a proposta nº4 do estudo em referência (1) que segue a seguinte sequência de subprocessos:

1. Limpeza;
2. Desmantelamento;
3. Lâmina quente;
4. Laminagem;
5. Trituração;
6. Separação magnética;
7. Separação densimétrica;
8. Separação por correntes *Foucault*;
9. Separação por Raio-X;
10. Separação densimétrica.

Em paralelo decorrerão os seguintes subprocessos:

- Descarnamento dos cabos (paralelamente à laminagem);
- Separação por Raio-X (paralelamente à separação por correntes *Foucault*);
- Separação de silício (paralelamente à separação por Raio-X da sequência em série).

Adicionalmente, faz-se notar que o décimo-quinto cenário utiliza:

- Equipamentos de corte ou laminagem e trituração com capacidade de processar quantidades residuais de vidro temperado, uma vez que na proposta nº 4, este é separado previamente;
- Equipamento de separação magnética integrado na linha, em detrimento do separador suspenso;
- Linha automática de descarnamento de cabos, obtendo os materiais triturados e totalmente separados deste processo em paralelo.

Na Tabela 26 podem ser apreciados os custos aproximados da linha total e por equipamento, incluindo tempos de produção, consumos energéticos da linha, capacidade de produção da linha, despesas mensais aproximadas, receitas mensais aproximadas e os indicadores ROI e PRI, não incluindo custos de transporte.

Tabela 26 - Análise em resumo do cenário 15.

Cenário 15													
Descrição:		Proposta 4 com separação prévia de vidro e equipamentos integrados em linha.											
Nº de painéis		1	45	90			Nº de painéis		1	45	90		
Etapas em série		Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (€)	Etapas em paralelo		Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (€)
Limpeza					0.00 €								
Desmantelamento		40.00	1 800.00	3 600.00	8.56 €	108 463.68 €							
Lâmina a quente		180.00	8 100.00	16 200.00	0.00 €	707.80 €	Descarnamento de cabos		0.65	29.16	58.32	8.79 €	6 999.00 €
Laminagem		1.88	84.40	168.80	5.70 €	10 800.00 €							
Trituração		4.88	219.45	438.89	4.40 €	11 000.00 €							
Separação magnética de linha		0.27	0.55	0.82	0.95 €	35 000.00 €							
Separação densimétrica		13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €							
<i>Foucault</i>		0.00	0.01	0.01	4.28 €	32 500.00 €	Separação por Raio-X		13.28	26.57	39.85	2.38 €	0.00 €
Separação por Raio-X		0.14	0.27	0.41	2.38 €	0.00 €	Separação de silicone		6.64	13.28	19.93	46.11 €	35 000.00 €
Separação densimétrica		13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €							
<b>Tempo total linha 1 [s]</b>		253.73	10 257.81	20 488.65	37.68 €	198 471.48 €	<b>Tempo total linha 2</b>		20.57	69.01	118.10	57.29 €	41 999.00 €
<b>Tempo total [s]</b>		253.73	10 257.81	20 488.65									
<b>Tempo total [m]</b>		4.23	170.96	341.48									
<b>Tempo total [h]</b>		0.07	2.85	5.69									
<b>Consumo total da linha [€/h]</b>		94.96 €											
<b>Custo total dos equipamentos da linha [€]</b>		240 470.48 €											
<b>Capacidade de produção da linha [painéis / h]</b>		14.19											
<b>Número de Operadores de linha por turno</b>		2.00	<b>Nº de turnos</b>	1.00									
<b>Despesa mensal com trabalhadores</b>		3 224.59 €											
<b>Custo total mensal</b>		19 937.75 €											
<b>Receita mensal total em materiais recuperados [€]</b>		24 434.31 €											

Parâmetro	Valor
<b>Receita mensal</b>	24 434.31 €
<b>Custo total (mensal + investimento)</b>	260 408.23 €
<b>ROI - 1º mês</b>	-91%
<b>PRI [anos]</b>	4.46

## 4.16. Cenário 16

O cenário 16 tem por base a proposta nº4 do estudo em referência (1) que segue a seguinte sequência de subprocessos:

1. Limpeza;
2. Desmantelamento;
3. Lâmina quente;
4. Laminagem;
5. Trituração;
6. Separação magnética;
7. Separação densimétrica;
8. Separação por correntes *Foucault*;
9. Separação por Raio-X;
10. Separação densimétrica.

Em paralelo decorrerão os seguintes subprocessos:

- Descarnamento dos cabos (paralelamente à laminagem);
- Separação por Raio-X (paralelamente à separação por correntes *Foucault*);
- Separação de silício (paralelamente à separação por Raio-X da sequência em série).

Adicionalmente, faz-se notar que o décimo-sexto cenário utiliza:

- Equipamentos de corte ou laminagem e trituração com capacidade de processar quantidades residuais de vidro temperado, uma vez que na proposta nº 4, este é separado previamente;
- Equipamento de separação magnética suspenso, em detrimento do separador integrado na linha;
- Equipamento de descarnamento de cabos isolado, obtendo a separação dos condutores do seu revestimento.

Na Tabela 27 podem ser apreciados os custos aproximados da linha total e por equipamento, incluindo tempos de produção, consumos energéticos da linha, capacidade de produção da linha, despesas mensais aproximadas, receitas mensais aproximadas e os indicadores ROI e PRI, não incluindo custos de transporte.

Tabela 27 - Análise em resumo do cenário 16.

Cenário 16													
Descrição:		Proposta 4 com separação prévia de vidro e equipamentos isolados (descarnador e separador magnético).											
Nº de painéis		1	45	90			Nº de painéis		1	45	90		
Etapas em série		Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (€)	Etapas em paralelo		Tempo de produção 1 painel [seg]	Tempo de produção 45 painéis [seg]	Tempo de produção 90 painéis [seg]	Consumo [€/h]	Custo (€)
Limpeza					0.00 €								
Desmantelamento		40.00	1 800.00	3 600.00	8.56 €	108 463.68 €							
Lâmina a quente		180.00	8 100.00	16 200.00	0.00 €	707.80 €	Descarnamento de cabos		0.54	24.30	48.60	0.52 €	520.00 €
Laminagem		1.88	84.40	168.80	5.70 €	10 800.00 €							
Trituração		4.88	219.45	438.89	4.40 €	11 000.00 €							
Separação magnética suspensa		2.60	5.20	7.80	0.00 €	35 000.00 €							
Separação densimétrica		13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €							
<i>Foucault</i>		0.00	0.01	0.01	4.28 €	32 500.00 €	Separação por Raio-X		13.28	26.57	39.85	2.38 €	0.00 €
Separação por Raio-X		0.14	0.27	0.41	2.38 €	0.00 €	Separação de silicone		6.64	13.28	19.93	46.11 €	35 000.00 €
Separação densimétrica		13.28	26.57	39.85	5.70 €	0.00 €							
<b>Tempo total linha 1 [s]</b>		256.06	10 262.47	20 495.62	36.72 €	198 471.48 €	<b>Tempo total linha 2 [s]</b>		20.47	64.15	108.38	49.01 €	35 520.00 €
<b>Tempo total [s]</b>		256.06	10 262.47	20 495.62									
<b>Tempo total [m]</b>		4.27	171.04	341.59									
<b>Tempo total [h]</b>		0.07	2.85	5.69									
<b>Consumo total da linha [€/h]</b>		85.74 €											
<b>Custo total dos equipamentos da linha [€]</b>		233 991.48 €											
<b>Capacidade de produção da linha [painéis / h]</b>		14.06											
<b>Número de Operadores de linha por turno</b>		2.00	<b>Nº de turnos</b>	1.00									
<b>Despesa mensal com trabalhadores</b>		3 224.59 €											
<b>Custo total mensal</b>		18 314.54 €											
<b>Receita mensal total em materiais recuperados [€]</b>		24 212.32 €											

Parâmetro	Valor
<b>Receita mensal</b>	24 212.32 €
<b>Custo total (mensal + investimento)</b>	252 306.02 €
<b>ROI - 1º mês</b>	-90%
<b>PRI [anos]</b>	3.31



## 4.17. Considerações finais sobre a análise de viabilidade técnico-económica

O estudo realizado permitiu retirar algumas conclusões sobre o processo de reciclagem de painéis solares e recuperação de materiais da sua composição:

1. Verifica-se um eventual benefício, embora não uma obrigatoriedade, de uma etapa prévia de limpeza simples dos painéis solares, de forma a retirar impurezas que possam danificar os materiais nos subprocessos de separação (nomeadamente, riscar, danificar ou quebrar o vidro temperado nos processos subsequentes);
2. Não foi necessário incluir meios de tratamento mecânico, uma vez que não existem materiais volumosos a separar após a etapa de trituração;
3. De modo a obter valores de receita mais aproximados por cenário, bem como o setor de destino mais apropriado, o ideal seria obter o nível de pureza dos materiais recuperados e/ou enviar amostras para eventuais clientes, podendo estes providenciar informações mais fidedignas;
4. Dos potenciais clientes contactados, nenhum manifestou interesse na aquisição do vidro temperado inteiro. A confirmar-se esta situação, pode ser considerada a eliminação da etapa de corte / laminagem nas propostas e a aquisição de um equipamento de trituração com a capacidade de resposta de processamento do vidro temperado<sup>10</sup>;
5. Conforme acordado com a E-Cycle, relativamente à proposta nº 3 assumiu-se que a etapa de trituração / moagem ocorreria apenas após o ciclo térmico.

As Tabela 28 e 29 pretendem resumir os indicadores com maior peso na análise de cada cenário e colocá-los lado a lado para fácil comparação. Pela análise da tabela, é possível verificar que, dos cenários resultantes, existem quatro cenários que não apresentam um retorno óbvio, já que têm uma capacidade de produção muito baixa, um PRI negativo e os custos mensais são sempre superiores às receitas mensais. São eles os cenários 6, 7, 8 e 14.

Dos restantes cenários, sobressaem, ainda pela negativa, os cenários 3 e 4, já que o prazo de retorno de investimento é demasiado longo (superior a 9 e 21 anos, respetivamente).

Pela positiva, podem ser mencionados os cenários 1 e 2, cujo investimento inicial e capacidade de produção são semelhantes entre si, embora a capacidade de produção do cenário 2 seja mais baixa que a do cenário 1. Ambos os cenários têm um prazo de retorno do investimento entre 1 e 2 anos. Por último, destacam-se os cenários 9 e 10, cujo investimento inicial é bastante semelhante entre si e o cenário 13, cujo investimento inicial é significativamente maior que os dois primeiros. Os três cenários têm uma capacidade de produção semelhante entre si, e significativamente mais elevada que os cenários 1 e 2, e um prazo de retorno do investimento abaixo de 1 ano.

---

<sup>10</sup> Uma vez que a laminagem, particularmente do vidro temperado, pode encarecer e sobredimensionar a linha de produção (conforme mencionado aquando do estudo do equipamento), foram superficialmente estudadas algumas possibilidades de estilhaçar o vidro temperado separado previamente, de modo a obter-se um processo de recuperação / reciclagem mais facilitado e limpo. Estas possibilidades poderão vir a ser aprofundadas posteriormente, se oportuno.

Considera-se assim que a proposta nº 1, em todos os cenários técnico-económicos analisados, e a proposta 3, no cenário 13, poderão ser as melhores soluções a prosseguir para uma avaliação mais aprofundada e para uma fase de teste à escala industrial.

Tabela 28 - Tabela comparativa de cenários com menor capacidade de produção.

Parâmetros calculados	Cenários							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Propostas associadas							
	1	1	2	2	3	3	4	4
Capacidade de produção [painéis / h]	21.61	16.50	19.29	15.12	20.80	0.94	10.39	9.04
Investimento inicial [€]	239 762.68 €	233 283.68 €	1 143 562.10 €	1 137 083.10 €	443 762.68 €	244 813.68 €	240 470.48 €	233 991.48 €
Custos mensais [€ / mês]	19 937.75 €	18 314.54 €	23 251.10 €	21 627.89 €	22 029.51 €	18 465.15 €	19 937.75 €	18 314.54 €
Receitas mensais [€ / mês]	37 218.25 €	28 420.16 €	33 228.74 €	26 033.41 €	35 818.70 €	1 623.78 €	17 888.58 €	15 571.64 €
ROI [%]	-86%	-89%	-97%	-98%	-92%	-99%	-93%	-94%
PRI [anos]	1.16	1.92	9.55	21.51	2.68	-1.21	-9.78	-7.11

A vermelho – cenários não recomendados

A verde – cenários favoráveis à implementação da linha

Tabela 29 - Tabela comparativa de cenários com maior capacidade de produção.

Parâmetros calculados	Cenários							
	9	10	11	12	13	14	15	16
	Propostas associadas							
	1	1	2	2	3	3	4	4
Capacidade de produção [painéis / h]	48.82	47.33	38.41	37.48	44.86	0.98	14.19	14.06
Investimento inicial [€]	239 762.68 €	233 283.68 €	1 143 562.10 €	1 137 083.10 €	443 762.68 €	244 813.68 €	240 470.48 €	233 991.48 €
Custos mensais [€ / mês]	19 937.75 €	18 314.54 €	23 251.10 €	21 627.89 €	22 029.51 €	18 465.15 €	19 937.75 €	18 314.54 €
Receitas mensais [€ / mês]	84 082.97 €	81 511.21 €	66 142.34 €	64 540.51 €	77 262.70 €	1 686.54 €	24 434.31 €	24 212.32 €
ROI [%]	-68%	-68%	-94%	-94%	-83%	-99%	-91%	-90%
PRI [anos]	0.31	0.31	2.22	2.21	0.67	-1.22	4.46	3.31

A vermelho – cenários não recomendados

A verde – cenários favoráveis à implementação da linha

## 5. CAPÍTULO 5: ANÁLISE AMBIENTAL

### 5.1. Metodologia

Uma Avaliação De Ciclo De Vida (ACV), internacionalmente conhecida como *Life Cycle Assessment* (LCA), consiste na avaliação e quantificação dos potenciais impactes ambientais ao longo do ciclo de vida do produto/serviço, num conceito que, dependendo da finalidade e objetivo do estudo, pode ser desde a obtenção das matérias-primas, passando pela produção, utilização, tratamento no fim-de-vida, reciclagem e deposição final. Assim, os estudos de ACV podem ter diferentes conceitos de fronteiras podendo estes ser do berço ao túmulo (*cradle-to-grave*), do berço ao portão (*cradle-to-gate*), do portão ao portão (*gate-to-gate*) ou até apenas partes específicas do ciclo de vida (ex: mudança de uma máquina num processo produtivo).

Uma ACV implica a descrição pormenorizada do todo o processo produtivo do produto ou serviço que se pretende analisar, nomeadamente informação relativamente aos recursos e materiais que entram e/ou saem de cada uma das etapas do ciclo produtivo.

A metodologia para a realização de um estudo de ACV rege-se pelas normas internacionais ISO 14040-44. Esta série de normas define os requisitos necessários para o presente estudo e descreve as quatro etapas obrigatórias para a realização do estudo de ACV (3):

1. Definição de objetivo e do âmbito;
2. Análise de inventário de ciclo de vida;
3. Avaliação do impacte do ciclo de vida;
4. Interpretação e discussão dos resultados e descrição de conclusões e futuras melhorias.

A etapa de definição de objetivo e âmbito compreende a descrição detalhada do produto e/ou serviço em estudo, bem como estabelecer todos os limites do sistema de produção a ser considerado, definindo-se assim o fluxograma produtivo completo. Nesta fase, é ainda necessário definir a unidade funcional (UF) do estudo, sendo que esta deve descrever inequivocamente, qualitativamente e quantitativamente, a(s) função(ões) e as principais características do produto ou serviço em estudo.

A análise do inventário consiste na compilação de todas as entradas e saídas (matérias-primas, energia, resíduos, emissões, entre outros) do fluxograma de produção definido na etapa anterior, devendo todas elas ser alocadas à unidade funcional, unidade também definida na etapa anterior.

A avaliação do impacte ambiental do ciclo de vida envolve quatro etapas: classificação, caracterização, padronização e ponderação. No entanto, o cumprimento dessas etapas depende da metodologia de cálculo escolhida para a realização do estudo. O método de cálculo adotado deve estar de acordo com o objetivo e âmbito do estudo, bem como atender o(s) interesse(s) de todas as partes interessadas.

A última etapa da metodologia da ACV deve incluir uma discussão detalhada de todos os resultados obtidos, como uma descrição das principais conclusões do estudo e recomendações para melhoria do(s) processo(s) e/ou produto(s) avaliado(s).

Entre todas essas etapas deve haver uma interação constante entre ambas as entidades, no intuito de verificar se o estudo atende aos objetivos inicialmente previstos e/ou se há a necessidade de alguma reformulação.

## 5.2. Objetivo do estudo

O principal objetivo do presente projeto é analisar a *“Viabilidade de implementação de processos de reciclagem de painéis fotovoltaicos e reutilização de materiais resultantes em novos processos produtivos”*. Ao longo do projeto, foi efetuado um estudo que permite entender o grau de exequibilidade da montagem de uma linha de produção de desmantelamento de painéis solares e um estudo relativamente à recuperação e/ou reciclagem dos materiais presentes na sua composição. Aliado a estes estudos, e no sentido de contribuir para uma decisão mais benéfica económica e ambientalmente, considerou-se a realização de um estudo de avaliação de ciclo de vida da(s) linha(s) de desmantelamento de painéis solares consideradas nos estudos prévios. O estudo consiste essencialmente em avaliar os impactos ambientais teóricos de cada proposta e entender as vantagens e/ou desvantagens de cada proposta considerada.

### 5.3. Âmbito do estudo

A avaliação do ciclo de vida foi realizada para as quatro propostas definidas no relatório em referência (1). Ambas as propostas apresentam quatro cenários diferentes, variando conforme a capacidade de produção dos equipamentos e a sequência de alguns equipamentos em linha. No total foram avaliados dezasseis cenários. Para todos os cenários, os sistemas considerados seguiram uma abordagem *gate-to-gate*, ou seja, desde a chegada do equipamento a instalação até a saída de cada componente constituinte do painel. Esta abordagem inclui todas as etapas realizadas no processo de desmantelamento dos painéis.

O presente estudo tem em conta todos os dados fornecidos pelas fichas técnicas dos equipamentos selecionados no estudo prévio, principalmente os dados referentes à capacidade produtiva e à potência do equipamento (Anexo II). No presente estudo, não foi considerado para a análise a contabilização do impacto associado à recolha dos painéis e o encaminhamento dos diferentes componentes resultantes do desmantelamento. A construção de infraestruturas e equipamentos, a manutenção de máquinas, o fim de vida de bens e serviços da empresa, os resíduos inerentes à administração, laboratórios, escritórios, e áreas de alimentação foram também excluídas da análise. A UF deste projeto foi definida como o desmantelamento de um painel fotovoltaico. O painel fotovoltaico considerado é um dos painéis solares de silício cristalino mais comuns, e mais vendidos no mercado português, e apresenta as seguintes características:

- Número de células: 60;
- Dimensões: 1 000 x 1 650 x 50 [mm];
- Peso: 18.20 [kg].

Os painéis são maioritariamente constituídos por um caixilho de alumínio, uma caixa de junção, dois cabos, um vidro, uma camada polimérica, as células celulares e uma camada de suporte. A esquematização do painel está demonstrada na Figura 20. Na Tabela 30, pode-se verificar as quantidades de cada componente consideradas no presente estudo.

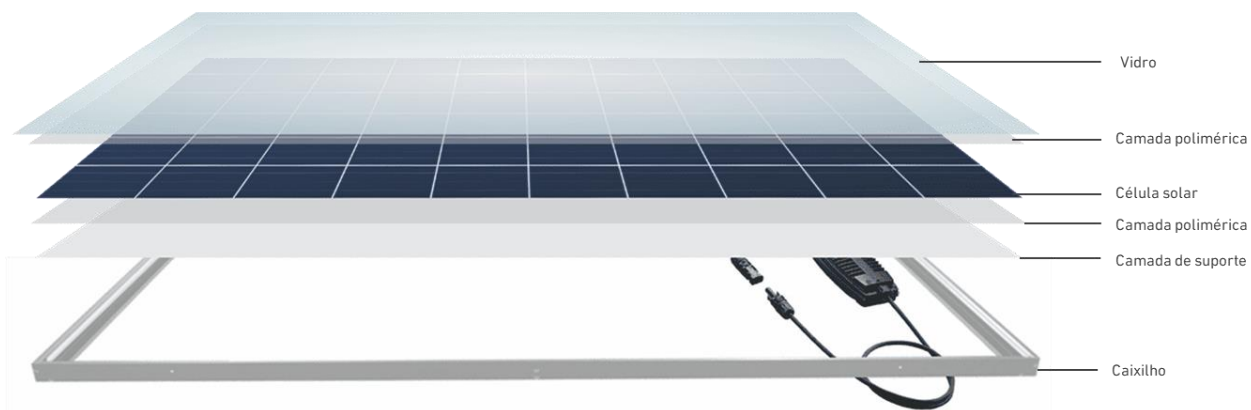


Figura 20 - Esquema de um painel fotovoltaico.

Tabela 30 - Materiais recuperados e respetivos pesos passíveis de recuperar por painel solar e as respetivas densidades média ponderada de cada material.

Material	Peso considerado (1) [kg]	Peso estimado de 1 Painel fotovoltaico [kg]	Densidade considerada (1) [g/cm <sup>3</sup> ]
<b>Peso total</b>	1000.00	18.20	-
<b>Alumínio</b>	180.00	3.26	2.70
<b>Vidro</b>	700.00	12.67	2.33
<b>EVA</b>	51.00	0.92	0.95
<b>Célula solar / silício</b>	36.50	0.66	2.33
<b>Tedlar</b>	15.00	0.27	1.55
<b>Cabos</b>	10.00	0.181	-
<b>Condutor interno - alumínio</b>	5.30	0.10	2.70
<b>Condutor interno - cobre</b>	1.14	0.02	8.96
<b>Prata</b>	0.53	0.01	10.50
<b>Outros metais (estanho, chumbo)</b>	0.53	0.01	-
<b>Caixa de junção</b>	-	0.10	-

Os resultados deste estudo aplicam-se apenas às características acima mencionadas e aos equipamentos considerados nos estudos prévios. Qualquer alteração às características e aos equipamentos carece de um novo estudo para averiguação dos resultados. Todas as entradas e saídas do sistema foram definidas de acordo com o fluxograma de produção e foram reportadas à unidade funcional. Foi utilizada uma abordagem de alocação por massa por ser a abordagem mais utilizada na literatura.



### 5.3.1. Fronteiras do sistema

No presente estudo, foi considerada uma abordagem *gate-to-gate* que inclui todos os processos, desde a receção do equipamento na instalação, até a saída de cada componente. A etapa de recolha dos painéis e o encaminhamento dos diferentes componentes resultantes do desmantelamento não foram avaliadas nem consideradas no âmbito do presente estudo. Ao longo dos estudos previamente realizados e de várias reuniões de acompanhamento para o desenvolvimento do projeto, foram tecidas algumas considerações importantes para o sucesso do desmantelamento dos painéis e a recuperação de todos os seus componentes, sendo assim possível concluir a esquematização ideal para a linha de desmantelamento dos painéis fotovoltaicos. As quatro propostas consideradas terão processos semelhantes, variando apenas no processo de desmantelamento do vidro que irá variar conforme a proposta selecionada, podendo ser através de Raio-X (Proposta nº 1), de Desmantelamento por corte de fio quente (Proposta nº 2), por ciclo térmico/estufa (Proposta nº 3) ou por corte por faca quente (Proposta nº 4).

#### 5.3.1.1. Proposta nº1

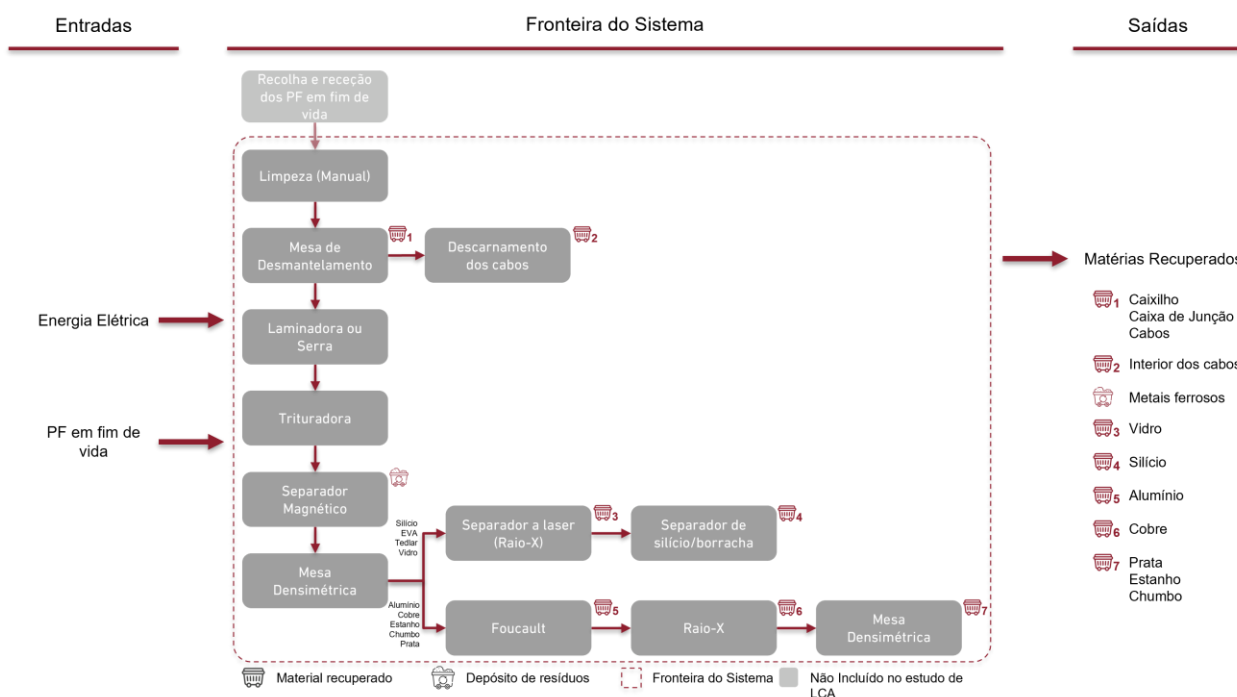


Figura 21 - Fronteiras do sistema relativo à proposta nº1.

### 5.3.1.2. Proposta nº2

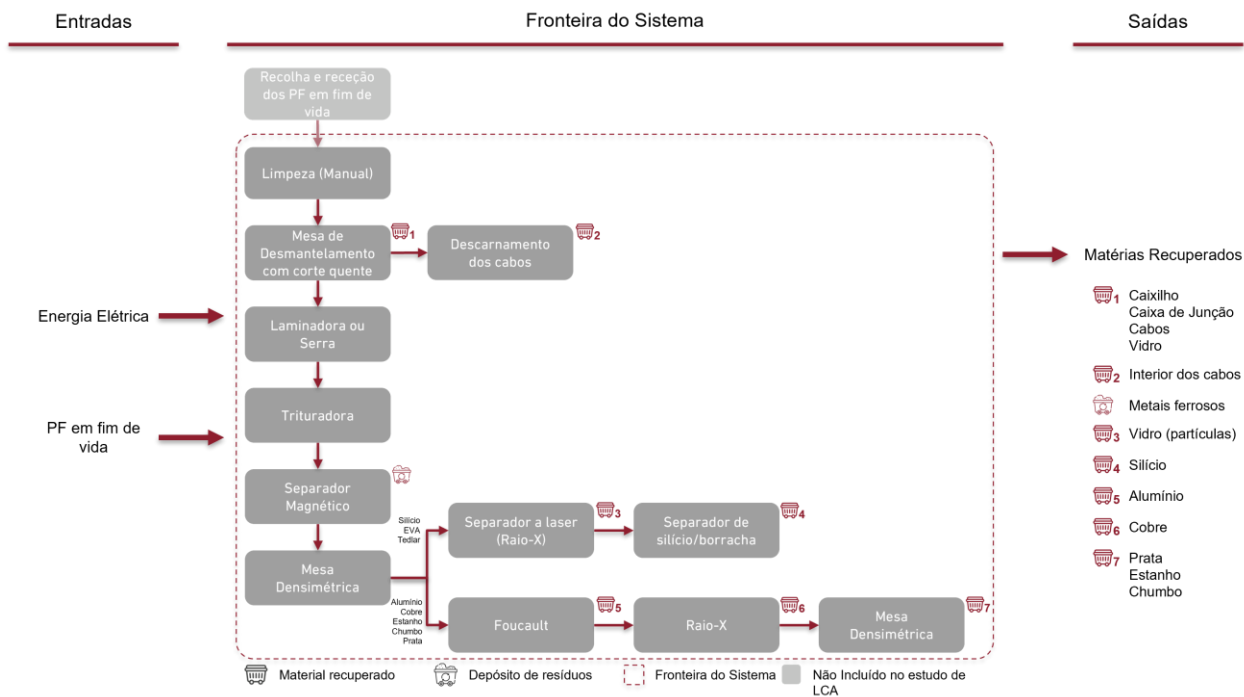


Figura 22 - Fronteiras do sistema relativo à proposta nº2.

### 5.3.1.3. Proposta nº3

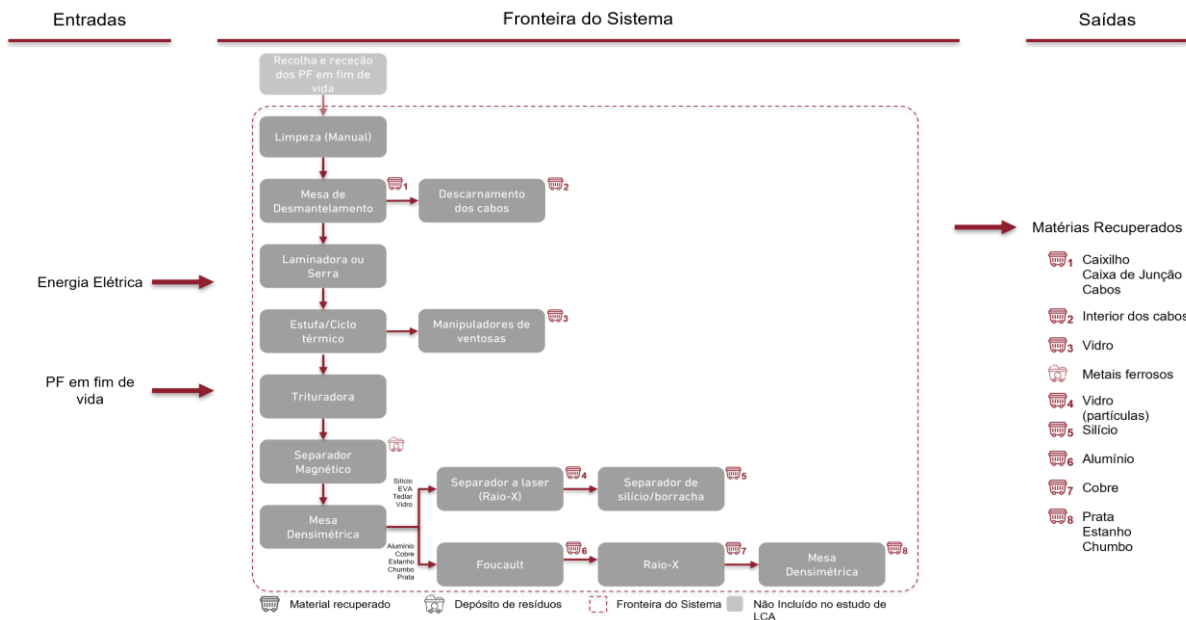


Figura 23 - Fronteiras do sistema relativo à proposta nº3.

### 5.3.1.4. Proposta nº4

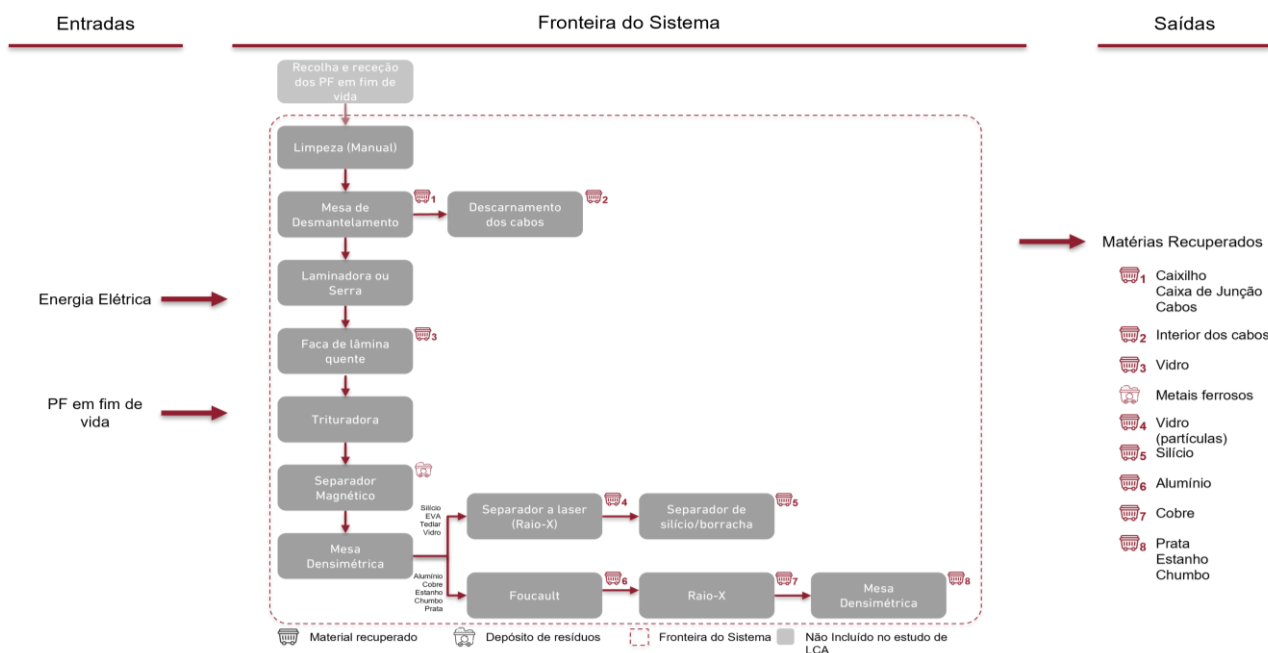


Figura 24 - Fronteiras do sistema relativo à proposta nº4.

## 5.4. Inventário

### 5.4.1. Análise do inventário

A etapa de análise do inventário envolve vários procedimentos de recolha de dados e de cálculo para a quantificação das entradas e saídas relevantes ao sistema do produto/serviço em análise. Ao longo da execução do inventário, será necessário realizar vários passos operacionais, desde a recolha e validação dos dados fornecidos pela empresa, como relacionar todos esses dados com a unidade funcional selecionada. Nesta etapa, pode ser ainda necessário assumir alguns pressupostos para auxiliar a realização do projeto. Como tal, todos os pressupostos considerados devem ser explicados e documentados e aplicados para todo o sistema em estudo.

O presente estudo, como é um estudo teórico e ainda em fase de desenvolvimento, apenas teve consideração os dados referentes às fichas técnicas dos equipamentos, tendo sido por vezes necessário realizar algumas alocações aquando do reporte à unidade funcional. Para cada etapa do processo de desmantelamento e cenário, foram elaboradas tabelas de inventário detalhadas com todas as entradas e saídas destinadas à UF do projeto (Desmantelamento de um painel fotovoltaico). Na tabela 31, é possível verificar um resumo de todos os equipamentos e diferenças que existem entre os diferentes cenários e propostas.

A base de dados do *EcolInvent* foi usada como base secundária principal e foi considerada a alocação por unidade de corte (*"cut-off, u"*). Uma vez que não é pretendido nesta fase do projeto analisar o impacto associado à recolha e receção dos painéis fotovoltaicos em fim de vida e ao encaminhamento dos resíduos reaproveitados ao longo do sistema, apenas será considerado o consumo de energia elétrica dos diferentes processos em consideração. A base de dados do

*EcolInvent* considerada para o consumo de energia de todo o processo foi referente à produção de energia em Portugal.

Tabela 31 - Resumo dos diferentes cenários analisados.

Processo	Cenários															
	Proposta 1				Proposta 2				Proposta 3				Proposta 4			
	1	2	9	10	3	4	11	12	5	6	13	14	7	8	15	16
Limpeza Manual	x	x	x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x
Mesa de Desmantelamento	x	x	x	x					X	x	x	x	x	x	x	x
Mesa de Desmantelamento com corte quente					x	x	x	x								
Descarnamento de cabos	x		x		x		x		X		x		x		x	
Descarnamento de cabos em linha		x		x		x		x		x		x		x		x
Lâmina a quente													x	x	x	x
Laminagem	x	x	x	x												
Câmara térmica									X		x					
Estufa										x		x				
Ventosas									X	x	x	x				
Trituração	x	x	x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x
Separação magnética em linha	x		x		x		x		X		x		x		x	
Separação magnética suspenso		x		x		x		x		x		x		x		x
Mesa densimétrica	x	x	x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x
Separação Raio-X (Vidro)	x	x	x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x
Separação Silicone	x	x	x	x	x	x	x	x	X	x	X	x	x	x	x	x
<i>Foucault</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	X	x	X	x	x	x	x	x
Separação Raio-X	x	x	x	x	x	x	x	x	X	x	X	x	x	x	x	x
Mesa densimétrica	x	x	x	x	x	x	x	x	X	x	X	x	x	x	x	x

Nos subcapítulos seguintes, são apresentados para cada proposta e cenários as diferentes tabelas de inventário para os diferentes processos.

#### 5.4.1.1. Proposta nº1

##### Limpeza Manual

Nesta etapa, apenas é realizada uma pequena etapa de limpeza, com um pano húmido, com o intuito de eliminar possíveis impurezas que possam danificar o vidro.

## Mesa de desmantelamento

A mesa de desmantelamento irá promover o descolamento do vidro da restante estrutura,

Tabela 32 - Dados de Inventário da mesa de desmantelamento referente à Proposta nº1.

Entrada/Saída	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 9	Cenário 10	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1.82E+01	1.82E+01	1.82E+01	1.82E+01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>11</sup> "Market for electricity. low voltage. PT" <sup>12</sup>	4.00E-01	4.00E-01	4.00E-01	4.00E-01	kWh
<b>Saída</b>					
Painel fotovoltaico <i>Resíduos recuperados</i>	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	kg
Caixilho	3.26E+00	3.26E+00	3.26E+00	3.26E+00	kg
Caixa de Junção	1.03E-01	1.03E-01	1.03E-01	1.03E-01	kg
Cabos	1.81E-01	1.81E-01	1.81E-01	1.81E-01	kg

## Descarnamento dos cabos

Nesta etapa, o processo poderá ocorrer de duas formas: em linha com a linha de produção, ou com o equipamento isolado. Nas diferentes situações foram considerados equipamentos que apresentam diferentes características, ou seja, diferentes potências e capacidades de produção. O cenário 1 e 9 consideram o equipamento em linha e nos cenários 2 e 10 foi considerado o equipamento isolado.

Tabela 33 - Dados de Inventário do descarnamento dos cabos referente à Proposta nº1.

Entrada/Saída	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 9	Cenário 10	Unidade
<b>Entrada</b>					
Cabos	1.81E-01	1.81E-01	1.81E-01	1.81E-01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>12</sup> "Market for electricity. low voltage. PT" <sup>3</sup>	6.70E-02	6.64E-04	6.70E-03	3.32E-04	kWh
<b>Saída</b>					
<i>Resíduos recuperados</i>					
Báinha exterior	6.39E-02	6.39E-02	6.39E-02	6.39E-02	kg
Báinha interior	2.93E-02	2.93E-02	2.93E-02	2.93E-02	kg
Metal condutor	8.73E-02	8.73E-02	8.73E-02	8.73E-02	kg

<sup>11</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>12</sup> Base de dados da *Ecolnvent*.

## Laminadora

A etapa de laminagem/corte irá reduzir o tamanho do painel antes de o submeter à trituração.

Tabela 34 - Dados de Inventário da laminadora referente à Proposta nº1.

Entrada/Saída	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 9	Cenário 10	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>13</sup> "Market for electricity, low voltage, PT" <sup>14</sup>	7.49E-03	7.49E-03	7.49E-03	7.49E-03	kWh
<b>Saída</b>					
Painel fotovoltaico	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	kg

## Trituradora

Na etapa de trituração pretende-se a transformação dos componentes do painel em grão.

Tabela 35 - Dados de Inventário da trituradora referente à Proposta nº1

Entrada/Saída	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 9	Cenário 10	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>14</sup> "Market for electricity, low voltage, PT" <sup>15</sup>	5.42E-01	5.42E-01	2.71E-02	2.71E-02	kWh
<b>Saída</b>					
Painel fotovoltaico	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	kg

<sup>13</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>14</sup> Base de dados da *Ecolnvent*.

## Separador Magnético

Nesta etapa a separação magnética poderá acontecer de duas formas distintas: em linha com a produção, ou em suspensão. Nas diferentes situações, foram considerados equipamentos que apresentam diferentes características, ou seja, diferentes potências e capacidades de produção. O cenário 1 e 9 considera o equipamento em linha e o cenário 2 e 10 considerada a separação magnética em suspensão.

Tabela 36 - Dados de Inventário do separador magnético de linha ou suspenso referente à Proposta nº1.

Entrada/Saída	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 9	Cenário 10	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>15</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"</i> <sup>16</sup>	2.70E-04	0.00E+00	1.71E-04	0.00E+00	kWh
<b>Saída</b>					
Painel fotovoltaico	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	kg
<i>Resíduos</i>					
Metais ferrosos (impurezas)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	kg

<sup>15</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>16</sup> Base de dados da *Ecolnvent*.

## Mesa densimétrica

Neste estágio do processo os materiais serão separados pelo seu peso específico, para a uma separação eficiente.

Tabela 37 - Dados de Inventário da mesa densimétrica referente à Proposta nº1.

Entrada/Saída	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 9	Cenário 10	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>16</sup> "Market for electricity. low voltage. PT" <sup>17</sup>	7.04E-01	7.04E-01	7.04E-01	7.04E-01	kWh
<b>Saída</b>					
<i>Resíduos recuperados</i>					
Silício	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	kg
EVA	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	kg
Tedlar	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	kg
Vidro	1.27E+01	1.27E+01	1.27E+01	1.27E+01	kg
Alumínio	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	kg
Cobre	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	kg
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg



## Separador de vidro a laser (Raio-X)

A técnica de Raio-X é utilizada em dois momentos distintos: um para a separação do vidro e polímeros e outro para a separação de metais, nomeadamente do cobre dos restantes.

Tabela 38 - Dados de Inventário da separação do vidro a laser (Raio-X) referente à Proposta nº1.

Entrada/Saída	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 9	Cenário 10	Unidade
<b>Entrada</b>					
Silício	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	kg
EVA	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	kg
<i>Tedlar</i>	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	kg
Vidro	1.27E+01	1.27E+01	1.27E+01	1.27E+01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>17</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"</i> <sup>18</sup>	2.90E-01	2.90E-01	2.90E-01	2.90E-01	kWh
<b>Saída</b>					
Silício	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	kg
EVA	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	kg
<i>Tedlar</i>	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	kg
<i>Resíduos recuperados</i>					
Vidro	1.27E+01	1.27E+01	1.27E+01	1.27E+01	kg

## Separador do silício e da borracha de sílica

A separação do silício e da borracha de sílica dos restantes não metais resultantes do processo é uma linha de separação de semi-metais.

Tabela 39 - Dados de Inventário da separação do silicone referente à Proposta nº1.

Entrada/Saída	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 9	Cenário 10	Unidade
<b>Entrada</b>					
Silício	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	kg
EVA	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	kg
<i>Tedlar</i>	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>18</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"</i> <sup>19</sup>	1.80E+00	1.80E+00	3.60E-01	3.60E-01	kWh
<b>Saída</b>					
EVA	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	kg
<i>Tedlar</i>	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	kg
<i>Resíduos recuperados</i>					
Silício	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	kg

<sup>17</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>18</sup> Base de dados da *Ecolvent*.

## Foucault

A separação por correntes *Foucault* será aplicada para separar o alumínio dos restantes materiais.

Tabela 40 - Dados de Inventário da separação de correntes de *Foucault* referente à Proposta nº1.

Entrada/Saída	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 9	Cenário 10	Unidade
<b>Entrada</b>					
Alumínio	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	kg
Cobre	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	kg
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>19</sup> "Market for electricity, low voltage, PT" <sup>20</sup>	4.08E-02	4.08E-02	4.08E-02	4.08E-02	kWh
<b>Saída</b>					
Cobre	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	kg
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
<i>Resíduos recuperados</i>					
Alumínio	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	kg

<sup>19</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas, da capacidade de produção e da densidade média ponderada do painel (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>20</sup> Base de dados da *Ecolnvent*.

## Raio-X

A técnica de Raio-X é utilizada em dois momentos distintos: um para a separação do vidro e polímeros e outro para a separação de metais, nomeadamente do cobre dos restantes.

Tabela 41 - Dados de Inventário do Raio-X referente à Proposta nº1.

Entrada/Saída	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 9	Cenário 10	Unidade
<b>Entrada</b>					
Cobre	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	kg
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>20</sup> "Market for electricity. low voltage. PT" <sup>21</sup>	7.96E-04	7.96E-04	7.96E-04	7.96E-04	kWh
<b>Saída</b>					
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
<i>Resíduos recuperados</i>					
Cobre	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	kg

## Mesa densimétrica

Neste estágio do processo os materiais serão separados pelo seu peso específico, para a uma separação eficiente.

Tabela 42 - Dados de Inventário da mesa densimétrica referente à Proposta nº1.

Entrada/Saída	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 9	Cenário 10	Unidade
<b>Entrada</b>					
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>21</sup> "Market for electricity. low voltage. PT" <sup>22</sup>	9.21E-04	9.21E-04	9.21E-04	9.21E-04	kWh
<b>Saída</b>					
<i>Resíduos recuperados</i>					
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg

<sup>21</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas, da capacidade de produção e da densidade média ponderada do painel (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>22</sup> Base de dados da EcolInvent.

### 5.4.1.2. Proposta nº2

#### Limpeza Manual

Nesta etapa, apenas é realizada uma pequena etapa de limpeza, com um pano húmido, com o intuito de eliminar possíveis impurezas que possam danificar o vidro.

#### Mesa de desmantelamento com corte quente

A mesa de desmantelamento irá promover o descolamento do vidro da restante estrutura, com corte quente.

Tabela 43 - Dados de Inventário da mesa de desmantelamento com corte quente referente à Proposta nº2.

Entrada/Saída	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 11	Cenário 12	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1,82E+01	1,82E+01	1,82E+01	1,82E+01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>22</sup> "Market for electricity, low voltage, PT" <sup>23</sup>	1,92E+00	1,92E+00	1,92E+00	1,92E+00	kWh
<b>Saída</b>					
Painel fotovoltaico <i>Resíduos recuperados</i>	1,99E+00	1,99E+00	1,99E+00	1,99E+00	kg
Caixilho	3,26E+00	3,26E+00	3,26E+00	3,26E+00	kg
Caixa de Junção	1,03E-01	1,03E-01	1,03E-01	1,03E-01	kg
Cabos	1,81E-01	1,81E-01	1,81E-01	1,81E-01	kg
Vidro	1,27E+01	1,27E+01	1,27E+01	1,27E+01	kg

## Descarnamento dos cabos

Nesta etapa o processo poderá ocorrer de duas formas: em linha com a linha de produção, ou com o equipamento isolado. Nas diferentes situações foram considerados equipamentos que apresentam diferentes características, ou seja, diferentes potências e capacidades de produção. O cenário 3 e 11 considera o equipamento em linha e o cenário 4 e 12 considerado o equipamento isolado.

Tabela 44 - Dados de Inventário do descarnamento dos cabos referente à Proposta nº2.

Entrada/Saída	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 11	Cenário 12	Unidade
<b>Entrada</b>					
Cabos	1.81E-01	1.81E-01	1.81E-01	1.81E-01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>23</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"</i> <sup>24</sup>	6.70E-02	6.64E-04	6.70E-03	3.32E-04	kWh
<b>Saída</b>					
<i>Resíduos recuperados</i>					
Bainha exterior	6.39E-02	6.39E-02	6.39E-02	6.39E-02	kg
Bainha interior	2.93E-02	2.93E-02	2.93E-02	2.93E-02	kg
Metal condutor	8.73E-02	8.73E-02	8.73E-02	8.73E-02	kg

## Laminadora

A etapa de laminagem/corte irá reduzir o tamanho do painel antes de o submeter à trituração.

Tabela 45 - Dados de Inventário da laminadora referente à Proposta nº2.

Entrada/Saída	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 11	Cenário 12	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>1</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"</i> <sup>2</sup>	9.90E-03	9.90E-03	9.90E-03	9.90E-03	kWh
<b>Saída</b>					
Painel fotovoltaico	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	kg

1. A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas, da capacidade de produção e da densidade média ponderada do painel (Anexo: Características dos equipamentos)

2. Base de dados da *EcolInvent*;

<sup>23</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>24</sup> Base de dados da *EcolInvent*.

## Trituradora

Na etapa de trituração pretende-se a transformação dos componentes do painel em grão.

Tabela 46 - Dados de Inventário da trituradora referente à Proposta nº2.

Entrada/Saída	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 11	Cenário 12	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>25</sup> "Market for electricity, low voltage, PT" <sup>26</sup>	7.37E-02	7.37E-02	3.68E-03	3.68E-03	kWh
<b>Saída</b>					
Painel fotovoltaico	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	kg

## Separador Magnético

Nesta etapa a separação magnética poderá acontecer de duas formas distintas ou em linha com a produção ou em suspensão. Nas diferentes situações foram considerados equipamentos que apresentam diferentes características, ou seja, diferentes potências e capacidades de produção. O cenário 3 e 11 considera o equipamento em linha e o cenário 4 e 12 considerado a separação magnética em suspensão.

Tabela 47 - Dados de Inventário do separador magnético de linha ou suspenso referente à Proposta nº2.

Entrada/Saída	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 11	Cenário 12	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>26</sup> "Market for electricity, low voltage, PT" <sup>27</sup>	3.58E-04	0.00E+00	2.26E-04	0.00E+00	kWh
<b>Saída</b>					
Painel fotovoltaico	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	kg
<i>Resíduos</i>					
Metais ferrosos (impurezas)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	kg

<sup>25</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>26</sup> Base de dados da Ecolnvent.

## Mesa densimétrica

Neste estágio do processo os materiais serão separados pelo seu peso específico, para a uma separação eficiente.

Tabela 48 - Dados de Inventário da mesa densimétrica referente à Proposta nº2.

Entrada/Saída	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 11	Cenário 12	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>27</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"<sup>28</sup></i>	9.56E-02	9.56E-02	9.56E-02	9.56E-02	kWh
<b>Saída</b>					
<i>Resíduos recuperados</i>					
Sílicio	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	kg
EVA	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	kg
<i>Tedlar</i>	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	kg
Alumínio	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	kg
Cobre	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	kg
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg

<sup>27</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>28</sup> Base de dados da *Ecolnvent*.

## Separador de vidro a laser (Raio-X)

A técnica de Raio-X é utilizada em dois momentos distintos: um para a separação do vidro e polímeros e outro para a separação de metais, nomeadamente do cobre dos restantes.

Tabela 49 - Dados de Inventário da separação do vidro a laser (Raio-X) referente à Proposta nº2.

Entrada/Saída	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 11	Cenário 12	Unidade
<b>Entrada</b>					
Sílicio	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	kg
EVA	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	kg
<i>Tedlar</i>	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>28</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"</i> <sup>29</sup>	3.71E-02	3.71E-02	3.71E-02	3.71E-02	kWh
<b>Saída</b>					
Sílicio	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	kg
EVA	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	kg
<i>Tedlar</i>	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	kg
<i>Resíduos recuperados</i>					
Vidro	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	kg

## Separador de silício e da borracha

A separação do silício e da borracha de sílica dos restantes não metais resultantes do processo é uma linha de separação de semi-metais.

Tabela 50 - Dados de Inventário da separação do silicone referente à Proposta nº2.

Entrada/Saída	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 11	Cenário 12	Unidade
<b>Entrada</b>					
Sílicio	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	kg
EVA	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	kg
<i>Tedlar</i>	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>29</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"</i> <sup>30</sup>	1.80E+00	1.80E+00	3.60E-01	3.60E-01	kWh
<b>Saída</b>					
EVA	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	kg
<i>Tedlar</i>	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	kg
<i>Resíduos recuperados</i>					
Sílicio	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	kg

<sup>29</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>30</sup> Base de dados da *Ecolvent*.



### *Foucault*

A separação por correntes *Foucault* será aplicada para separar o alumínio dos restantes materiais.

Tabela 51 - Dados de Inventário de separação por correntes de *Foucault* referente à Proposta nº2.

Entrada/Saída	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 11	Cenário 12	Unidade
<b>Entrada</b>					
Alumínio	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	kg
Cobre	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	kg
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>30</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"</i> <sup>81</sup>	4.08E-02	4.08E-02	4.08E-03	4.08E-03	kWh
<b>Saída</b>					
Cobre	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	kg
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
<i>Resíduos recuperados</i>					
Alumínio	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	kg

## Raio-X

A técnica de Raio-X é utilizada em dois momentos distintos: um para a separação do vidro e polímeros e outro para a separação de metais, nomeadamente do cobre dos restantes.

Tabela 52 - Dados de Inventário do Raio-X referente à Proposta nº2.

Entrada/Saída	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 11	Cenário 12	Unidade
<b>Entrada</b>					
Cobre	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	kg
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>31</sup> "Market for electricity, low voltage. PT" <sup>32</sup>	7.96E-04	7.96E-04	7.96E-04	7.96E-04	kWh
<b>Saída</b>					
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
<i>Resíduos recuperados</i>					
Cobre	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	kg

## Mesa densimétrica

Neste estágio do processo os materiais serão separados pelo seu peso específico, para a uma separação eficiente.

Tabela 53 - Dados de Inventário da mesa densimétrica referente à Proposta nº2.

Entrada/Saída	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 11	Cenário 12	Unidade
<b>Entrada</b>					
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>32</sup> "Market for electricity, low voltage. PT" <sup>33</sup>	9.21E-04	9.21E-04	9.21E-04	9.21E-04	kWh
<b>Saída</b>					
<i>Resíduos recuperados</i>					
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg

<sup>31</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>32</sup> Base de dados da EcolInvent.

### 5.4.1.3. Proposta nº3

#### Limpeza Manual

Nesta etapa, apenas é realizada uma pequena etapa de limpeza, com um pano húmido, com o intuito de eliminar possíveis impurezas que possam danificar o vidro.

#### Mesa de desmantelamento

A mesa de desmantelamento irá promover o descolamento do vidro da restante estrutura.

Tabela 54 - Dados de Inventário da mesa de desmantelamento referente à Proposta nº3.

Entrada/Saída	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 13	Cenário 14	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1.82E+01	1.82E+01	1.82E+01	1.82E+01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>33</sup> <i>"Market for electricity, low voltage. PT"</i> <sup>34</sup>	4.00E-01	4.00E-01	4.00E-01	4.00E-01	kWh
<b>Saída</b>					
Painel fotovoltaico <i>Resíduos recuperados</i>	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	kg
Caixilho	3.26E+00	3.26E+00	3.26E+00	3.26E+00	kg
Caixa de Junção	1.03E-01	1.03E-01	1.03E-01	1.03E-01	kg
Cabos	1.81E-01	1.81E-01	1.81E-01	1.81E-01	kg

<sup>33</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>34</sup> Base de dados da *EcolInvent*.

## Descarnamento dos cabos

Nesta etapa, o processo poderá ocorrer de duas formas: em linha com a linha de produção, ou com o equipamento isolado. Nas diferentes situações foram considerados equipamentos que apresentam diferentes características, ou seja, diferentes potências e capacidades de produção. O cenário 5 e 13 considera o equipamento em linha e o cenário 6 e 14 considerado o equipamento isolado.

Tabela 55 - Dados de Inventário do descarnamento dos cabos referente à Proposta nº3.

Entrada/Saída	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 13	Cenário 14	Unidade
<b>Entrada</b>					
Cabos	1.81E-01	1.81E-01	1.81E-01	1.81E-01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>35</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"</i> <sup>36</sup>	6.70E-02	6.64E-04	6.70E-03	3.32E-04	kWh
<b>Saída</b>					
<i>Resíduos recuperados</i>					
Báinha exterior	6.39E-02	6.39E-02	6.39E-02	6.39E-02	kg
Báinha interior	2.93E-02	2.93E-02	2.93E-02	2.93E-02	kg
Metal condutor	8.73E-02	8.73E-02	8.73E-02	8.73E-02	kg

## Laminadora

A etapa de laminagem/corte irá reduzir o tamanho do painel antes de o submeter à trituração.

Tabela 56 - Dados de Inventário da laminadora referente à Proposta nº3.

Entrada/Saída	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 13	Cenário 14	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>36</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"</i> <sup>37</sup>	7.49E-03	7.49E-03	7.49E-03	7.49E-03	kWh
<b>Saída</b>					
Painel fotovoltaico	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	kg

<sup>35</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>36</sup> Base de dados da Ecolvent.

## Ciclo Térmico

Nesta proposta, foi considerado um ciclo térmico para a recuperação do vidro do painel fotovoltaico. O ciclo térmico poderá ser realizado por uma estufa ou por uma câmara térmica. Segundo a Universidade de Aveiro, o ciclo térmico apenas poderá acontecer a uma temperatura de 68° C e durante 60 minutos. No caso dos cenários 5 e 13, irá ser utilizada a câmara térmica e no caso dos cenários 6 e 14, irá ser utilizada a estufa. Em ambos os cenários será necessário auxiliar com um manuseamento de ventosas.

Tabela 57 - Dados de Inventário do ciclo térmico referente à Proposta nº3.

Entrada/Saída	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 13	Cenário 14	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>37</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"</i> <sup>38</sup>	5.00E+01	3.60E+00	5.00E+01	3.60E+00	kWh
<b>Saída</b>					
Painel fotovoltaico <i>Resíduos recuperados</i>	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	kg
Vidro	1.27E+01	1.27E+01	1.27E+01	1.27E+01	kg

## Trituradora

Na etapa de trituração pretende-se a transformação dos componentes do painel em grão.

Tabela 58 - Dados de Inventário da trituradora referente à Proposta nº3.

Entrada/Saída	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 13	Cenário 14	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>38</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"</i> <sup>39</sup>	7.37E-02	7.37E-02	3.68E-03	3.68E-03	kWh
<b>Saída</b>					
Painel fotovoltaico	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	kg

<sup>37</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>38</sup> Base de dados da *EcolInvent*

## Separador Magnético

Nesta etapa, a separação magnética poderá acontecer de duas formas distintas: em linha com a produção, ou em suspensão. Nas diferentes situações, foram considerados equipamentos que apresentam diferentes características, ou seja, diferentes potências e capacidades de produção. Os cenários 5 e 13 consideram o equipamento em linha e os cenários 6 e 14 foi considerada a separação magnética em suspensão.

Tabela 59 - Dados de Inventário do separador magnético de linha ou suspenso referente à Proposta nº3.

Entrada/Saída	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 13	Cenário 14	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>39</sup> "Market for electricity, low voltage, PT" <sup>40</sup>	3.58E-04	0.00E+00	2.26E-04	0.00E+00	kWh
<b>Saída</b>					
Painel fotovoltaico	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	kg
<i>Resíduos</i>					
Metais ferrosos (impurezas)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	kg

## Mesa densimétrica

Neste estágio do processo os materiais serão separados pelo seu peso específico, para a uma separação eficiente.

Tabela 60 - Dados de Inventário da mesa densimétrica referente à Proposta nº3.

Entrada/Saída	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 13	Cenário 14	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1,99E+00	1,99E+00	1,99E+00	1,99E+00	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>40</sup> "Market for electricity, low voltage, PT" <sup>41</sup>	9,56E-02	9,56E-02	9,56E-02	9,56E-02	kWh
<b>Saída</b>					
<i>Resíduos recuperados</i>					
Silício	6,61E-01	6,61E-01	6,61E-01	6,61E-01	kg
EVA	9,23E-01	9,23E-01	9,23E-01	9,23E-01	kg
Tedlar	2,71E-01	2,71E-01	2,71E-01	2,71E-01	kg
Alumínio	9,59E-02	9,59E-02	9,59E-02	9,59E-02	kg
Cobre	2,06E-02	2,06E-02	2,06E-02	2,06E-02	kg
Outros metais (estanho e chumbo)	9,59E-03	9,59E-03	9,59E-03	9,59E-03	kg
Prata	9,59E-03	9,59E-03	9,59E-03	9,59E-03	kg

<sup>39</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>40</sup> Base de dados da EcolInvent.

## Separador de vidro a laser (Raio-X)

A técnica de Raio-X é utilizada em dois momentos distintos: um para a separação do vidro e polímeros e outro para a separação de metais, nomeadamente do cobre dos restantes.

Tabela 61 - Dados de Inventário da separação do vidro a laser (Raio-X) referente à Proposta nº3.

Entrada/Saída	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 13	Cenário 14	Unidade
<b>Entrada</b>					
Silício	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	kg
EVA	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	kg
<i>Tedlar</i>	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>41</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"<sup>42</sup></i>	3.71E-02	3.71E-02	3.71E-02	3.71E-02	kWh
<b>Saída</b>					
Silício	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	kg
EVA	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	kg
<i>Tedlar</i>	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	kg
<i>Resíduos recuperados</i>					
Vidro	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	kg

## Separador de silício e da borracha

A separação do silício e da borracha de sílica dos restantes não metais resultantes do processo é uma linha de separação de semi-metais.

Tabela 62 - Dados de Inventário da separação do silicone referente à Proposta nº3.

Entrada/Saída	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 13	Cenário 14	Unidade
<b>Entrada</b>					
Silício	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	kg
EVA	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	kg
<i>Tedlar</i>	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>42</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"<sup>43</sup></i>	1.80E+00	1.80E+00	3.60E-01	3.60E-01	kWh
<b>Saída</b>					
EVA	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	kg
<i>Tedlar</i>	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	kg
<i>Resíduos recuperados</i>					
Silício	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	kg

<sup>41</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>42</sup> Base de dados da *Ecolnvent*.

### *Foucault*

A separação por correntes *Foucault* será aplicada para separar o alumínio dos restantes materiais.

Tabela 63 - Dados de Inventário de separação por correntes de *Foucault* referente à Proposta nº3.

Entrada/Saída	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 13	Cenário 14	Unidade
<b>Entrada</b>					
Alumínio	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	kg
Cobre	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	kg
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>43</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"</i> <sup>44</sup>	4.08E-02	4.08E-02	4.08E-03	4.08E-03	kWh
<b>Saída</b>					
Cobre	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	kg
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
<i>Resíduos recuperados</i>					
Alumínio	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	kg

<sup>43</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>44</sup> Base de dados da *EcolInvent*.



## Raio-X

A técnica de Raio-X é utilizada em dois momentos distintos: um para a separação do vidro e polímeros e outro para a separação de metais, nomeadamente do cobre dos restantes.

Tabela 64 - Dados de Inventário do Raio-X referente à Proposta nº3.

Entrada/Saída	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 13	Cenário 14	Unidade
<b>Entrada</b>					
Cobre	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	kg
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>44</sup> "Market for electricity. low voltage. PT" <sup>45</sup>	7.96E-04	7.96E-04	7.96E-04	7.96E-04	kWh
<b>Saída</b>					
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
<i>Resíduos recuperados</i>					
Cobre	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	kg

## Mesa densimétrica

Neste estágio do processo os materiais serão separados pelo seu peso específico, para a uma separação eficiente.

Tabela 65 - Dados de Inventário da mesa densimétrica referente à Proposta nº3.

Entrada/Saída	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 13	Cenário 14	Unidade
<b>Entrada</b>					
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>45</sup> "Market for electricity. low voltage. PT" <sup>46</sup>	9.21E-04	9.21E-04	9.21E-04	9.21E-04	kWh
<b>Saída</b>					
<i>Resíduos recuperados</i>					
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg

<sup>45</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>46</sup> Base de dados da Ecolnvent.

#### 5.4.1.4. Proposta nº4

##### Limpeza Manual

Nesta etapa, apenas é realizada uma pequena etapa de limpeza, com um pano húmido, com o intuito de eliminar possíveis impurezas que possam danificar o vidro.

##### Mesa de desmantelamento

A mesa de desmantelamento irá promover o descolamento do vidro da restante estrutura.

Tabela 66 - Dados de Inventário da mesa de desmantelamento referente à Proposta nº4.

Entrada/Saída	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 15	Cenário 16	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1.82E+01	1.82E+01	1.82E+01	1.82E+01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>46</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"</i> <sup>47</sup>	4.00E-01	4.00E-01	4.00E-01	4.00E-01	kWh
<b>Saída</b>					
Painel fotovoltaico <i>Resíduos recuperados</i>	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	kg
Caixilho	3.26E+00	3.26E+00	3.26E+00	3.26E+00	kg
Caixa de Junção	1.03E-01	1.03E-01	1.03E-01	1.03E-01	kg
Cabos	1.81E-01	1.81E-01	1.81E-01	1.81E-01	kg

## Descarnamento dos cabos

Nesta etapa, o processo poderá ocorrer de duas formas: em linha com a linha de produção, ou com o equipamento isolado. Nas diferentes situações, foram considerados equipamentos que apresentam diferentes características, ou seja, diferentes potências e capacidades de produção. Os cenários 7 e 15 consideram o equipamento em linha e nos cenários 8 e 16 foi considerado o equipamento isolado.

Tabela 67 - Dados de Inventário do descarnamento dos cabos referente à Proposta nº4.

Entrada/Saída	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 15	Cenário 16	Unidade
<b>Entrada</b>					
Cabos	1.81E-01	1.81E-01	1.81E-01	1.81E-01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>47</sup> "Market for electricity. low voltage. PT" <sup>48</sup>	6.70E-02	6.64E-04	6.70E-03	3.32E-04	kWh
<b>Saída</b>					
<i>Resíduos recuperados</i>					
Bainha exterior	6.39E-02	6.39E-02	6.39E-02	6.39E-02	kg
Bainha interior	2.93E-02	2.93E-02	2.93E-02	2.93E-02	kg
Metal condutor	8.73E-02	8.73E-02	8.73E-02	8.73E-02	kg

## Lâmina a quente

Tabela 68 - Dados de Inventário da lâmina a quente referente à Proposta nº4.

Entrada/Saída	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 15	Cenário 16	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	1.47E+01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>48</sup> "Market for electricity. low voltage. PT" <sup>49</sup>	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	kWh
<b>Saída</b>					
Painel fotovoltaico	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	kg
<i>Resíduos recuperados</i>					
Vidro	1.27E+01	1.27E+01	1.27E+01	1.27E+01	kg

<sup>47</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>48</sup> Base de dados da Ecolnvent.

## Laminadora

A etapa de laminagem/corte irá reduzir o tamanho do painel antes de o submeter à trituração.

Tabela 69 - Dados de Inventário da laminadora referente à Proposta nº4.

Entrada/Saída	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 15	Cenário 16	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>49</sup> <i>"Market for electricity, low voltage. PT"</i> <sup>50</sup>	9.90E-03	9.90E-03	9.90E-03	9.90E-03	kWh
<b>Saída</b>					
Painel fotovoltaico	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	kg

## Trituradora

Na etapa de trituração pretende-se a transformação dos componentes do painel em grão.

Tabela 70 - Dados de Inventário da trituradora referente à Proposta nº4.

Entrada/Saída	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 15	Cenário 16	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>50</sup> <i>"Market for electricity, low voltage. PT"</i> <sup>51</sup>	7.37E-02	7.37E-02	3.68E-03	3.68E-03	kWh
<b>Saída</b>					
Painel fotovoltaico	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	kg

<sup>49</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>50</sup> Base de dados da *EcolInvent*.

## Separador Magnético

Nesta etapa, a separação magnética poderá acontecer de duas formas distintas: ou em linha com a produção, ou em suspensão. Nas diferentes situações, foram considerados equipamentos que apresentam diferentes características, ou seja, diferentes potências e capacidades de produção. Os cenários 7 e 15 consideram o equipamento em linha e nos cenários 8 e 16 foi considerada a separação magnética em suspensão.

Tabela 71 - Dados de Inventário do separador magnético de linha ou suspenso referente à Proposta nº4.

Entrada/Saída	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 15	Cenário 16	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>51</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"<sup>52</sup></i>	3.58E-04	0.00E+00	2.26E-04	0.00E+00	kWh
<b>Saída</b>					
Painel fotovoltaico	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	kg
<i>Resíduos</i>					
Metais ferrosos (impurezas)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	kg

## Mesa densimétrica

Neste estágio do processo os materiais serão separados pelo seu peso específico, para a uma separação eficiente.

Tabela 72 - Dados de Inventário da mesa densimétrica referente à Proposta nº4.

Entrada/Saída	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 15	Cenário 16	Unidade
<b>Entrada</b>					
Painel fotovoltaico	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	1.99E+00	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>52</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"<sup>53</sup></i>	9.56E-02	9.56E-02	9.56E-02	9.56E-02	kWh
<b>Saída</b>					
<i>Resíduos recuperados</i>					
Silício	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	kg
EVA	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	kg
<i>Tedlar</i>	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	kg
Alumínio	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	kg
Cobre	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	kg
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg

<sup>51</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>52</sup> Base de dados da *Ecolnvent*.

## Separador de vidro a laser (Raio-X)

A técnica de Raio-X é utilizada em dois momentos distintos: um para a separação do vidro e polímeros e outro para a separação de metais, nomeadamente do cobre dos restantes.

Tabela 73 - Dados de Inventário da separação do vidro a laser (Raio-X) referente à Proposta nº4.

Entrada/Saída	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 15	Cenário 16	Unidade
<b>Entrada</b>					
Silício	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	kg
EVA	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	kg
<i>Tedlar</i>	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>53</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"</i> <sup>54</sup>	3.71E-02	3.71E-02	3.71E-02	3.71E-02	kWh
<b>Saída</b>					
Silício	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	kg
EVA	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	kg
<i>Tedlar</i>	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	kg
<i>Resíduos recuperados</i>					
Vidro	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	kg

## Separador de silício e da borracha

A separação do silício e da borracha de sílica dos restantes não metais resultantes do processo é uma linha de separação de semi-metais.

Tabela 74 - Dados de Inventário da separação do silicone referente à Proposta nº4.

Entrada/Saída	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 15	Cenário 16	Unidade
<b>Entrada</b>					
Silício	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	kg
EVA	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	kg
<i>Tedlar</i>	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>54</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"</i> <sup>55</sup>	1.80E+00	1.80E+00	3.60E-01	3.60E-01	kWh
<b>Saída</b>					
EVA	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	9.23E-01	kg
<i>Tedlar</i>	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	2.71E-01	kg
<i>Resíduos recuperados</i>					
Silício	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	6.61E-01	kg

<sup>53</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>54</sup> Base de dados da *Ecolvent*.

## Foucault

A separação por correntes *Foucault* será aplicada para separar o alumínio dos restantes materiais.

Tabela 75 - Dados de Inventário de separação por correntes de *Foucault* referente à Proposta nº4.

Entrada/Saída	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 15	Cenário 16	Unidade
<b>Entrada</b>					
Alumínio	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	kg
Cobre	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	kg
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>55</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"<sup>56</sup></i>	4.08E-02	4.08E-02	4.08E-03	4.08E-03	kWh
<b>Saída</b>					
Cobre	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	kg
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
<i>Resíduos recuperados</i>					
Alumínio	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	9.59E-02	kg

## Raio-X

A técnica de Raio-X é utilizada em dois momentos distintos: um para a separação do vidro e polímeros e outro para a separação de metais, nomeadamente do cobre dos restantes.

Tabela 76 - Dados de Inventário do Raio-X referente à Proposta nº4.

Entrada/Saída	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 15	Cenário 16	Unidade
<b>Entrada</b>					
Cobre	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	kg
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>56</sup> <i>"Market for electricity. low voltage. PT"<sup>57</sup></i>	7.96E-04	7.96E-04	7.96E-04	7.96E-04	kWh
<b>Saída</b>					
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
<i>Resíduos recuperados</i>					
Cobre	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	2.06E-02	kg

<sup>55</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>56</sup> Base de dados da *EcolInvent*.

## Mesa densimétrica

Neste estágio do processo os materiais serão separados pelo seu peso específico, para a uma separação eficiente.

Tabela 77 - Dados de Inventário da mesa densimétrica referente à Proposta nº4.

Entrada/Saída	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 15	Cenário 16	Unidade
<b>Entrada</b>					
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Energia Elétrica Portugal <sup>57</sup> "Market for electricity. low voltage. PT" <sup>58</sup>	9.21E-04	9.21E-04	9.21E-04	9.21E-04	kWh
<b>Saída</b>					
<i>Resíduos recuperados</i>					
Prata	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg
Outros metais (estanho e chumbo)	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	9.59E-03	kg

## 5.5. Avaliação do impacte ambiental

A identificação das categorias de impacte possibilita a caracterização do desempenho ambiental de um produto ou processo, através da quantificação dos potenciais impactes ambientais para quais o sistema de produto contribui. Esta identificação deve ser realizada de forma adequada para responder a todas as questões ambientais relevantes para o estudo.

### 5.5.1. Base de dados e metodologia

A metodologia utilizada para avaliar os impactos foi a IPCC 2013. A base de dados utilizada foi a do *EcolInvent* (versão 3.5, 2018).

### 5.5.2. Categorias de impacte ambiental

#### Potencial de aquecimento global | *Global warming potential*

O potencial de aquecimento global é uma das categorias de impactes ambientais mais abordada nos últimos tempos. As mudanças climáticas podem causar alterações adversas, altamente prejudiciais para os ecossistemas, e que, de acordo com a mais recente bibliografia, se encontram diretamente relacionadas com as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) para a atmosfera. O resultado

<sup>57</sup> A energia elétrica foi estimada através da potência das máquinas e da capacidade de produção (Anexo: Características dos equipamentos).

<sup>58</sup> Base de dados da *EcolInvent*.



do impacte ambiental desta categoria é expresso em massa de dióxido de carbono equivalente (kg CO<sub>2</sub> eq.) [2]. A categoria do *Global Warming* considerada foi a de 100 anos.

### 5.5.3. Resultados

Após a análise do inventário realizada, foi possível identificar qual dos cenários apresentaria maiores consumos de energia (Tabela 78). Assim pode-se concluir que os cenários 5 e 13 apresentam os maiores consumos de energia.

Tabela 78 - Resumo dos consumos energéticos da linha de dismantelamento para cada cenário e proposta.

Processo	Cenários															
	Proposta 1				Proposta 2				Proposta 3				Proposta 4			
	1	2	9	10	3	4	11	12	5	6	13	14	7	8	15	16
Consumo de energia total da linha [kWh] <sup>59</sup>	3.85	3.79	1.79	1.79	4.05	3.98	2.44	2.43	52.52	6.06	50.92	4.51	2.46	2.46	0.92	0.91

No sentido de quantificar os impactes ambientais e de poder confirmar se os cenários anteriormente mencionados serão os que apresentam maior impacte, nos seguintes subcapítulos é apresentada a quantificação dos impactes ambientais para cada proposta e cenário.

#### 5.5.3.1. Proposta nº1

A Tabela 79 compara os resultados obtidos nos diferentes cenários considerados para a proposta nº1 de acordo com a unidade funcional e para a categoria de impacte ambiental analisada. A Figura 25 demonstra a contribuição de cada etapa de processamento para cada cenário em específico. Analisando os resultados obtidos, é possível concluir que o cenário 10 apresenta melhor desempenho ambiental, seguido do cenário 9. Isto pode dever-se essencialmente ao facto destes cenários terem em consideração a maior capacidade de produção, o que por sua vez faz com que consumam menos energia elétrica. No caso dos cenários 1 e 2, o processo que mais contribui para o impacte ambiental do cenário é a separação do silicone, etapa onde ocorrerá a separação do silício. Já no caso dos cenários 9 e 10, o processo que apresenta maior contribuição é a primeira mesa densimétrica.

<sup>59</sup> Soma dos consumos de todas as etapas ao longo de cada cenário.

Tabela 79 - Quantificação dos impactes ambientais referentes à proposta nº1 para cada etapa de processamento.

Processo	Cenário 1 [kg CO2 eq.]	Cenário 2 [kg CO2 eq.]	Cenário 9 [kg CO2 eq.]	Cenário 10 [kg CO2 eq.]
Limpeza Manual	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Mesa de Desmantelamento	1,57E-01	1,57E-01	1,57E-01	1,57E-01
Descarnamento de cabos	-	2,61E-04	-	1,30E-04
Descarnamento de cabos - linha	2,63E-02	-	2,63E-03	-
Laminagem	2,94E-03	2,94E-03	2,94E-03	2,94E-03
Trituração	2,13E-01	2,13E-01	1,07E-02	1,07E-02
Separação magnética em linha	1,06E-04	-	6,71E-05	-
Separação magnética suspenso	-	0,00E+00	-	0,00E+00
Mesa densimétrica	2,77E-01	2,77E-01	2,77E-01	2,77E-01
Separação Raio-X (Vidro)	1,14E-01	1,14E-01	1,14E-01	1,14E-01
Separação Silicone	7,07E-01	7,07E-01	1,41E-01	1,41E-01
<i>Foucault</i>	1,60E-02	1,60E-02	1,60E-03	1,60E-03
Separação Raio-X	3,13E-04	3,13E-04	3,13E-04	3,13E-04
Mesa densimétrica	3,62E-04	3,62E-04	3,62E-04	3,62E-04
<b>TOTAL</b>	<b>1,51E+00</b>	<b>1,49E+00</b>	<b>7,08E-01</b>	<b>7,05E-01</b>

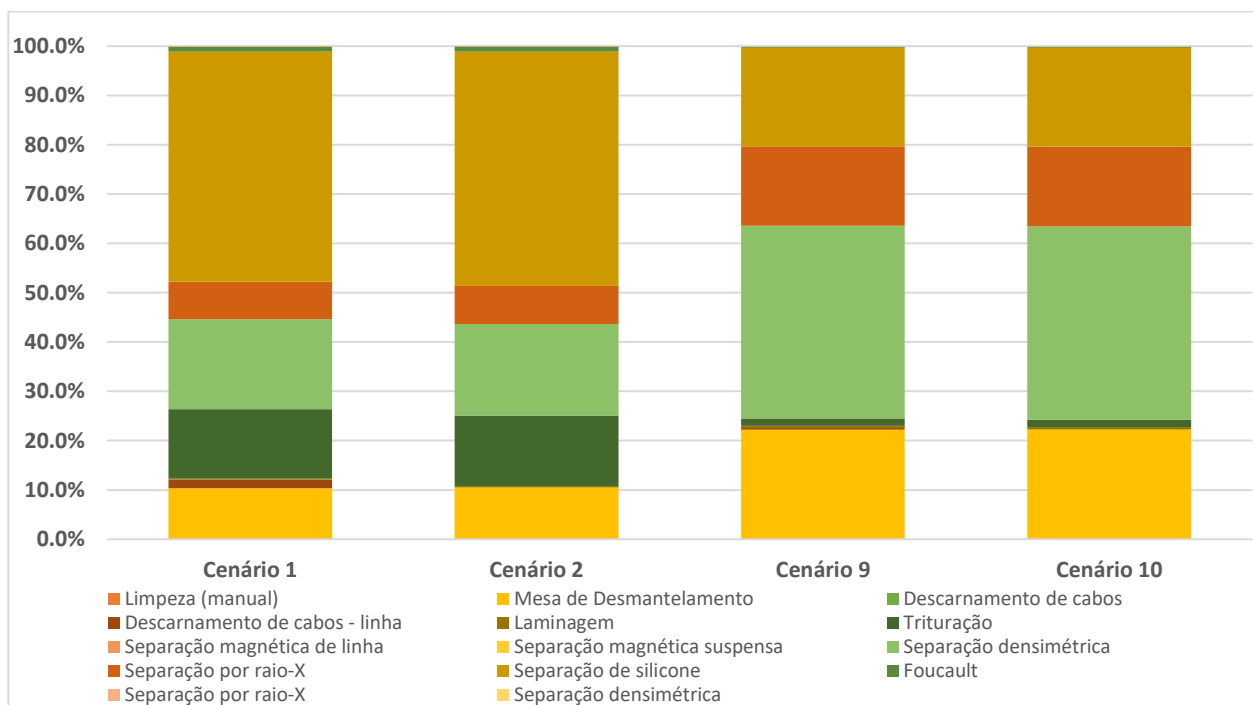


Figura 25 - Representação gráfica da quantificação dos impactes ambientais referentes à proposta nº1 para cada etapa de processamento.

### 5.5.3.2. Proposta nº2

A Tabela 80 compara os resultados obtidos nos diferentes cenários considerados para a proposta nº2, de acordo com a unidade funcional e para a categoria de impacte ambiental analisada. A Figura 26 demonstra a contribuição de cada etapa de processamento para cada cenário em específico. Analisando os resultados obtidos, é possível concluir que o cenário 12 apresenta o melhor desempenho ambiental, seguido do cenário 11. Isto pode dever-se essencialmente ao facto destes cenários terem em consideração a maior capacidade de produção, o que por sua vez contribui para um menor consumo de energia elétrica. No caso dos cenários 3 e 4, os processos que mais contribuem para o impacte ambiental são o processo que ocorre na mesa de desmantelamento com corte quente e a separação do silicone. Já no caso dos cenários 11 e 12, apenas a mesa desmantelamento com corte quente apresenta maior contribuição para o impacte geral de cada cenário.

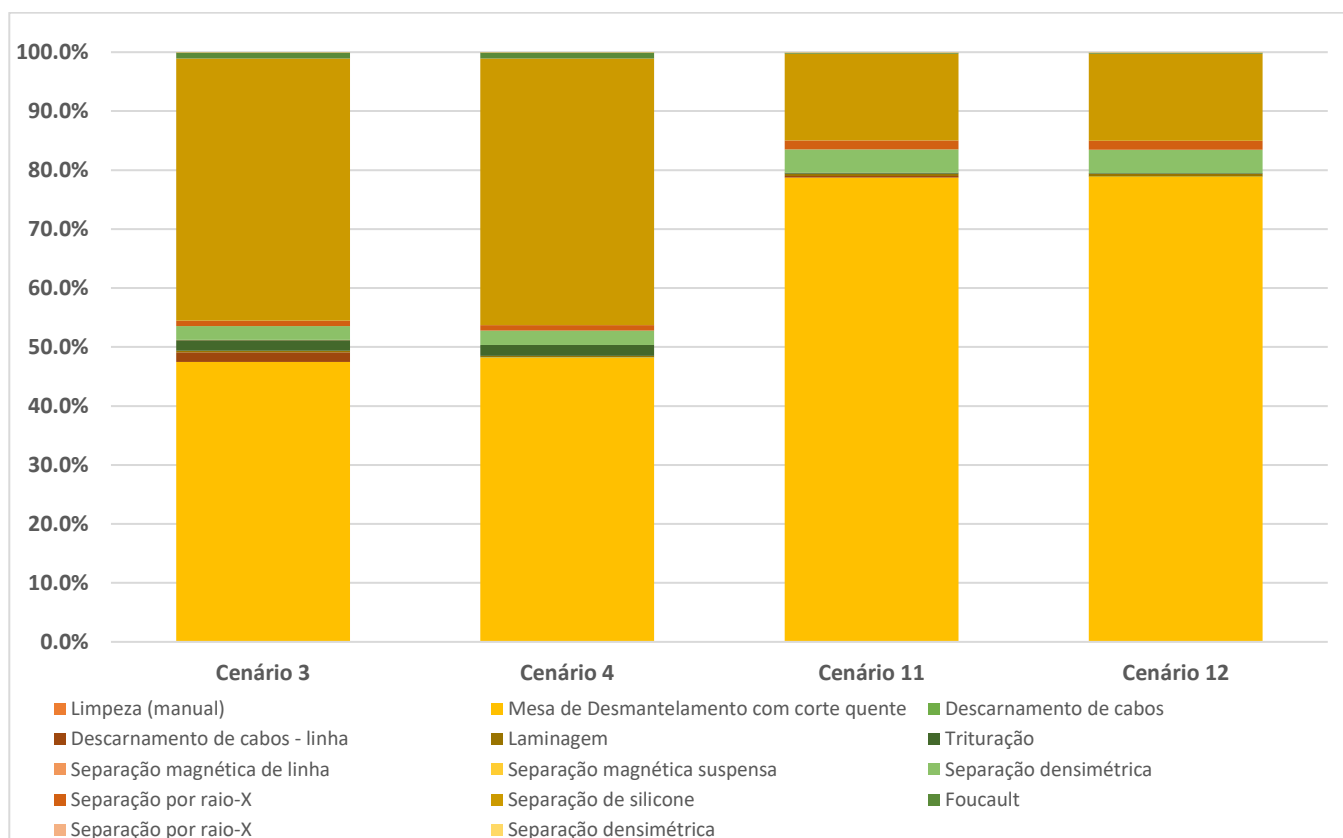


Figura 26 - Representação gráfica da quantificação dos impactes ambientais referentes à proposta nº2 para cada etapa de processamento.

Tabela 80 - Quantificação dos impactes ambientais referentes à proposta nº2 para cada etapa de processamento.

Processo	Cenário 3 [kg CO2 eq.]	Cenário 4 [kg CO2 eq.]	Cenário 11 [kg CO2 eq.]	Cenário 12 [kg CO2 eq.]
Limpeza Manual	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Mesa de Desmantelamento com corte quente	7.55E-01	7.55E-01	7.55E-01	7.55E-01
Descarnamento de cabos	-	2.61E-04	-	1.30E-04
Descarnamento de cabos - linha	2.63E-02	-	2.63E-03	-
Laminagem	3.89E-03	3.89E-03	3.89E-03	3.89E-03
Trituração	2.89E-02	2.89E-02	1.45E-03	1.45E-03
Separação magnética em linha	1.41E-04	-	7.99E-05	-
Separação magnética suspenso	-	0.00E+00	-	0.00E+00
Mesa densimétrica	3.76E-02	3.76E-02	3.76E-02	3.76E-02
Separação Raio-X (Vidro)	1.46E-02	1.46E-02	1.46E-02	1.46E-02
Separação Silicone	7.07E-01	7.07E-01	1.41E-01	1.41E-01
<i>Foucault</i>	1.60E-02	1.60E-02	1.60E-03	1.60E-03
Separação Raio-X	3.13E-04	3.13E-04	3.13E-04	3.13E-04
Mesa densimétrica	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04
<b>TOTAL</b>	<b>1.59E+00</b>	<b>1.56E+00</b>	<b>9.58E-01</b>	<b>9.56E-01</b>

### 5.5.3.3. Proposta nº3

A Tabela 81 e a Figura 27 comparam os resultados obtidos nos diferentes cenários considerados para a proposta nº 3, de acordo com a unidade funcional e para a categoria de impacto ambiental analisada. Nesta proposta, o processo de desmantelamento apresenta maior número de etapas de processamento, o que contribui para que o resultado do impacto ambiental destes quatro cenários seja superior. Foi considerada, a adição de um ciclo térmico. Através da análise dos resultados obtidos, pode-se concluir que a adição deste ciclo tem uma grande influência nos resultados. Verifica-se que esta etapa é a que mais contribui para o impacto ambiental da proposta, tanto para os cenários que consideram a câmara térmica, como para os que consideram a estufa. É de salientar que a câmara térmica apresenta pior desempenho ambiental comparativamente com a estufa e que isto pode dever-se essencialmente ao facto de a câmara térmica ter um elevado consumo energético. Contudo, este tem uma capacidade produtiva superior comparativamente à estufa, o que numa análise para uma maior quantidade de painéis poderia influenciar significativamente os resultados, podendo assim mudar as conclusões anteriormente tecidas.

Tabela 81 - Quantificação dos impactes ambientais referentes à proposta nº3 para cada etapa de processamento.

Processo	Cenário 5 [kg CO2 eq.]	Cenário 6 [kg CO2 eq.]	Cenário 13 [kg CO2 eq.]	Cenário 14 [kg CO2 eq.]
Limpeza Manual	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Mesa de Desmantelamento	1.57E-01	1.57E-01	1.57E-01	1.57E-01
Descarnamento de cabos	-	2.61E-04	-	1.30E-04
Descarnamento de cabos - linha	2.63E-02	-	2.63E-03	-
Laminagem	2.94E-03	2.94E-03	2.94E-03	2.94E-03
Câmara Térmica	1.96E+01	-	1.96E+01	-
Estufa	-	1.41E+00	-	1.41E+00
Manipulação por ventosas	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Trituração	2.89E-02	2.89E-02	1.45E-03	1.45E-03
Separação magnética em linha	1.41E-04	-	8.88E-05	-
Separação magnética suspenso	-	0.00E+00	-	0.00E+00
Mesa densimétrica	3.76E-02	3.76E-02	3.76E-02	3.76E-02
Separação Raio-X (Vidro)	1.46E-02	1.46E-02	1.46E-02	1.46E-02
Separação Silicone	7.07E-01	7.07E-01	1.41E-01	1.41E-01
<i>Foucault</i>	1.60E-02	1.60E-02	1.60E-03	1.60E-03
Separação Raio-X	3.13E-04	3.13E-04	3.13E-04	3.13E-04
Mesa densimétrica	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04
<b>TOTAL</b>	<b>2.06E+01</b>	<b>2.38E+00</b>	<b>2.00E+01</b>	<b>1.77E+00</b>

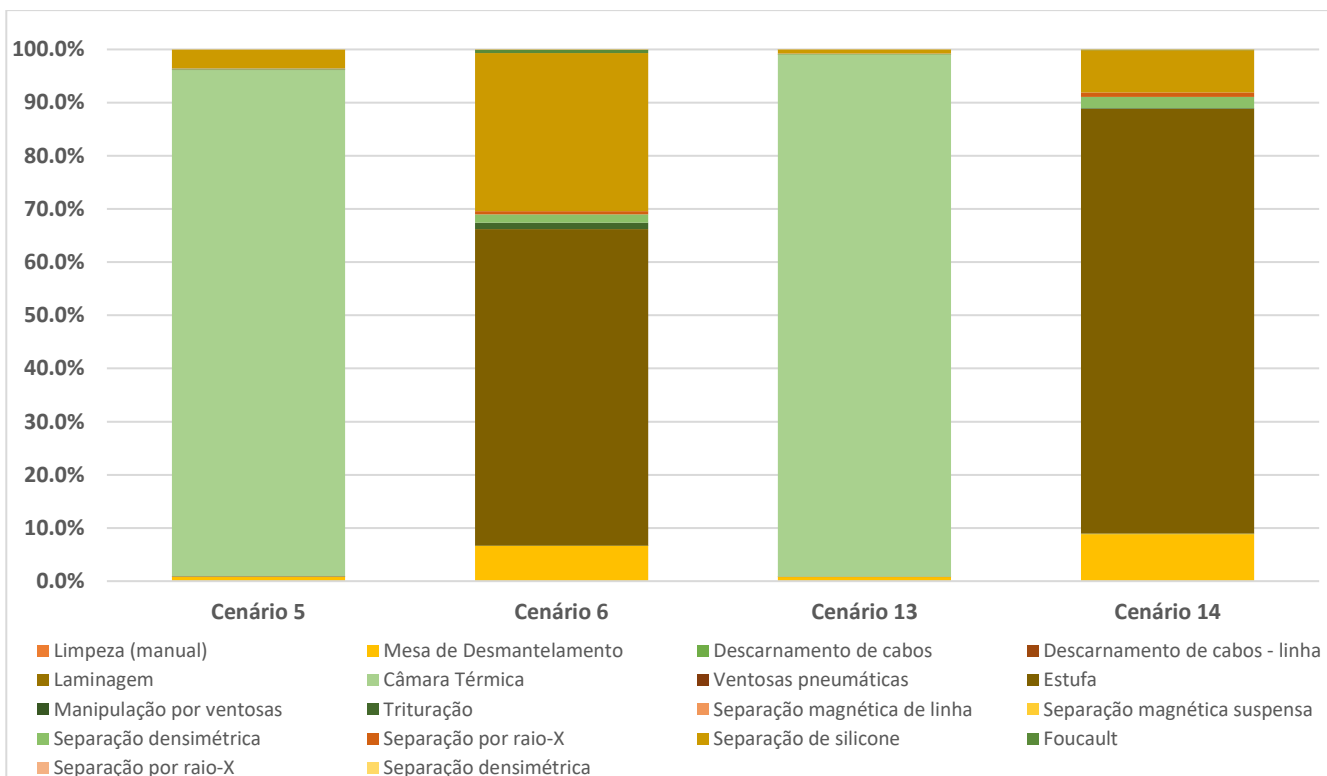


Figura 27 - Representação gráfica da quantificação dos impactes ambientais referentes à proposta nº3 para cada etapa de processamento.

#### 5.5.3.4. Proposta nº4

A Tabela 82 compara os resultados obtidos nos diferentes cenários considerados para a proposta nº 4, de acordo com a unidade funcional e para a categoria de impacte ambiental analisada. A Figura 28 demonstra a contribuição de cada etapa de processamento para cada cenário em específico. Analisando os resultados obtidos, é possível concluir que o cenário 16 apresenta melhor desempenho ambiental, seguido do cenário 15. Para ambos os cenários, a separação do silicone é a etapa de processamento que mais contribui para o impacte ambiental da linha de desmantelamento, com exceção dos cenários 15 e 16 em que a mesa de desmantelamento também apresenta relevância. Os cenários 15 e 16 apresentam um impacte significativamente inferior comparativamente aos restantes. Isto pode dever-se essencialmente ao facto destes cenários terem em consideração a maior capacidade de produção e pelo facto de não ter sido considerado consumo energético para o processo da lâmina a quente.

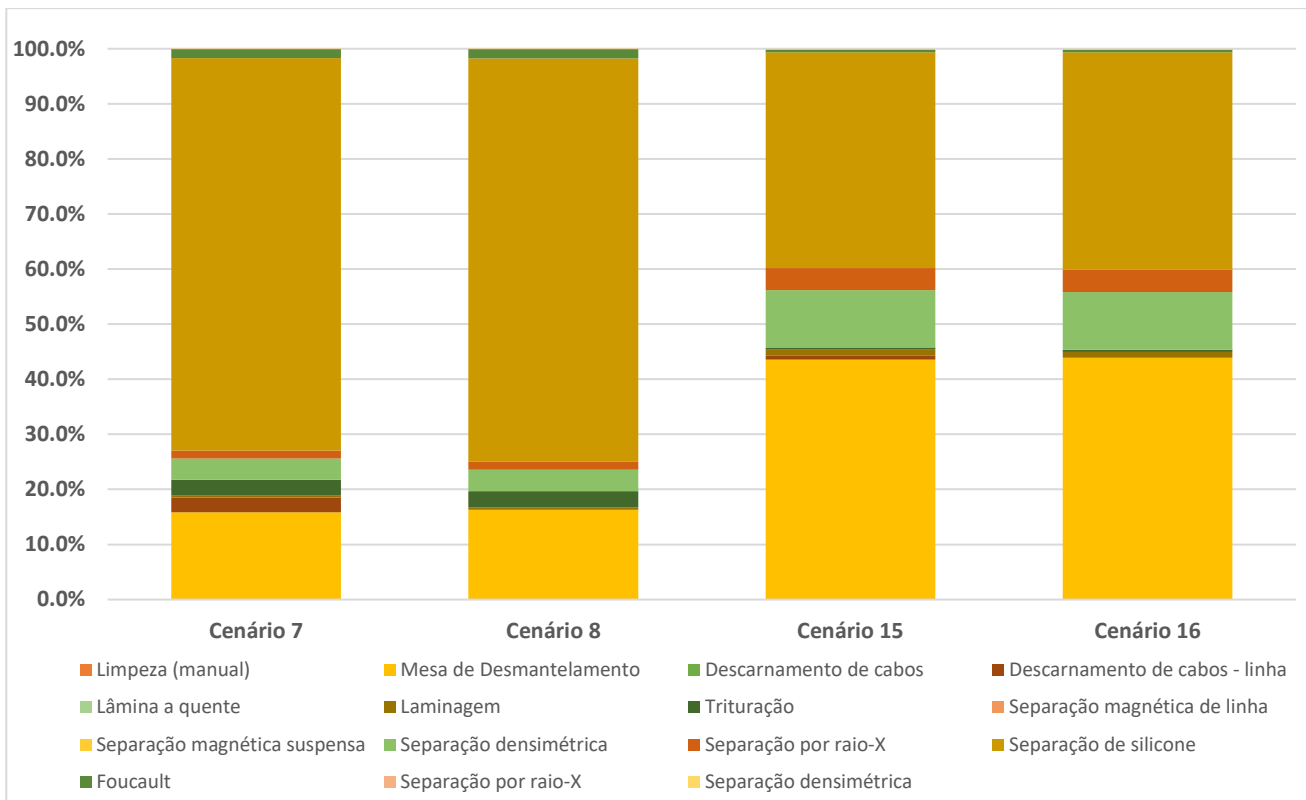


Figura 28 - Representação gráfica da quantificação dos impactos ambientais referentes à proposta nº4 para cada etapa de processamento.

Tabela 82 - Quantificação dos impactos ambientais referentes à proposta nº4 para cada etapa de processamento.

Processo	Cenário 7 [kg CO2 eq.]	Cenário 8 [kg CO2 eq.]	Cenário 15 [kg CO2 eq.]	Cenário 16 [kg CO2 eq.]
Limpeza Manual	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Mesa de Desmantelamento	1.57E-01	1.57E-01	1.57E-01	1.57E-01
Descarnamento de cabos	-	2.61E-04	-	1.30E-04
Descarnamento de cabos - linha	2.63E-02	-	2.63E-03	-
Lâmina a quente	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Laminagem	3.89E-03	3.89E-03	3.89E-03	3.89E-03
Trituração	2.89E-02	2.89E-02	1.45E-03	1.45E-03
Separação magnética em linha	1.41E-04	-	8.88E-05	-
Separação magnética suspenso	-	0.00E+00	-	0.00E+00
Mesa densimétrica	3.76E-02	3.76E-02	3.76E-02	3.76E-02
Separação Raio-X (Vidro)	1.46E-02	1.46E-02	1.46E-02	1.46E-02
Separação Silicone	7.07E-01	7.07E-01	1.41E-01	1.41E-01
<i>Foucault</i>	1.60E-02	1.60E-02	1.60E-03	1.60E-03
Separação Raio-X	3.13E-04	3.13E-04	3.13E-04	3.13E-04
Mesa densimétrica	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04
<b>TOTAL</b>	<b>9.92E-01</b>	<b>9.66E-01</b>	<b>3.61E-01</b>	<b>3.58E-01</b>

### 5.5.3.5. Comparação de Cenários

A Tabela 83 compara os resultados obtidos nos diferentes cenários para a unidade funcional. Foi possível concluir que os cenários 15 e 16 apresentam melhor desempenho ambiental, comparativamente aos restantes cenários, e que os cenários 5 e 13 apresentam o pior desempenho ambiental. Na Figura 29, está representada graficamente a comparação de todas as etapas de processamento para cada cenário e para a categoria de impacto ambiental analisada. Assim, foi possível concluir que o pior desempenho ambiental dos cenários 5 e 13 deve-se essencialmente ao ciclo térmico realizado com a câmara térmica. É de salientar que a separação de silicone (cor castanha no gráfico) também apresenta um impacto ambiental significativo, no caso de alguns cenários.

Tabela 83 – Quadro resumo da quantificação do impacto ambiental para cada cenário.

Processo	Cenários															
	Proposta 1				Proposta 2				Proposta 3				Proposta 4			
	1	2	9	10	3	4	11	12	5	6	13	14	7	8	15	16
kg CO2 eq.	1.51	1.49	0.71	0.71	1.59	1.56	0.96	0.96	20.64	2.38	20.01	1.77	0.99	0.97	0.36	0.36

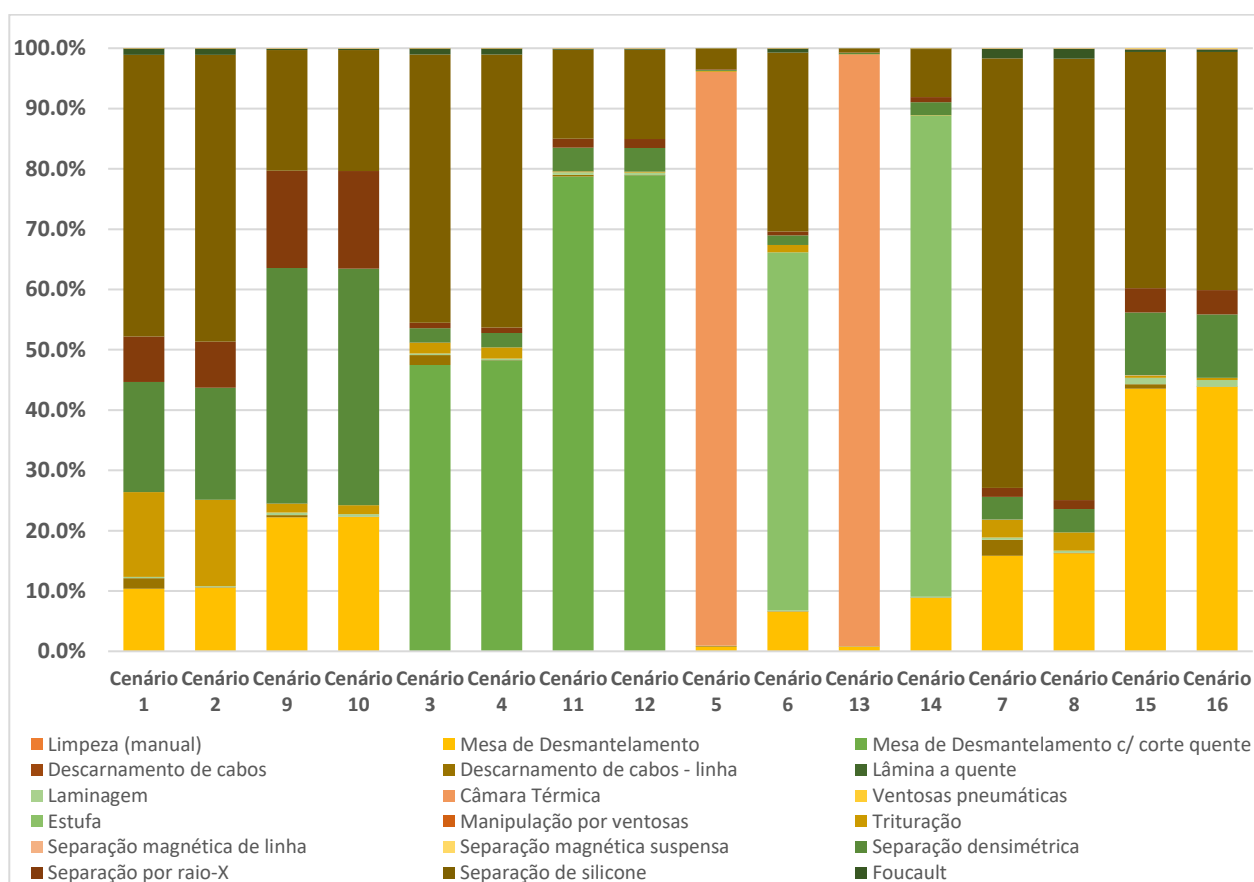


Figura 29 - Representação gráfica da quantificação dos impactos ambientais de todos os cenários e para cada etapa de processamento.



## 5.6. Conclusões e sugestões futuras sobre a análise ambiental

Na realização do presente estudo ambiental relativo à implementação de uma linha de desmantelamento de um painel fotovoltaico foi possível concluir que a proposta nº 4 apresenta melhor desempenho ambiental relativamente às outras propostas. Contudo, apenas os cenários 15 e 16 apresentam o melhor desempenho ambiental, relativamente a todos os restantes cenários. Conclui-se que os cenários 5 e 13, referentes à proposta nº 3, são os que apresentam pior desempenho ambiental, devendo-se essencialmente ao uso da câmara térmica. Relativamente à proposta nº 1, o cenário 10 é o que apresenta melhor desempenho ambiental. Na proposta nº 2, é o cenário 12 e na proposta nº 3, o cenário 14, sendo na proposta nº 4 o cenário 16. Posto isto, é possível concluir que, quando se considera a maior capacidade de produção dos equipamentos, o descarnamento de cabos isolado da linha e a separação magnética em suspensão, os resultados apresentam melhor desempenho ambiental. É importante mencionar a influência que a adição do ciclo térmico tem no impacte ambiental da linha de desmantelamento e da relevância que para alguns cenários a linha de separação de silicone (separação do silício) apresenta.

Os resultados deste estudo são apenas aplicados à linha de desmantelamento de um painel fotovoltaico com um peso de 18.20 kg. Para diferentes características e quantidades de painéis, um novo estudo deve ser realizado, uma vez que o tempo de processamento será conseqüentemente diferente.

Numa perspetiva de melhoria e continuidade do projeto, seria relevante realizar uma análise piloto, de forma a ser possível obter dados de consumo energético mais realistas. Seria pertinente o estudo ambiental poder ser estendido ao caso de se ter uma maior quantidade mássica de painéis (45 e 90 painéis), pois todas as conclusões tecidas ao longo deste relatório poderão vir a sofrer grandes alterações com esta abordagem. No entanto, as diferenças entre cenários e os resultados económicos obtidos sustentam a robustez deste trabalho, ainda que realizado com as aproximações necessárias.

Por fim, também seria relevante perceber qual seria a mudança que os resultados sofreriam se apenas se considerasse energias renováveis como fonte energética.

## 6. REFERÊNCIAS

1. João Labrincha, Paula Seabra, Rui Novais, André Capitão. *Relatório final do Projeto WEEECYCLE*. s.l. : Universidade de Aveiro, 2020.
2. *Comprehensive recycling of silicon photovoltaic modules incorporating organic solvent delamination – technical, environmental and economic analyses*. Pablo Dias, Lucas Schmidt, Marina Monteiro Lunardi, Nathan L Chang, Gustavo Spier, Richard Corkish, Hugo Veit. s.l. : Resources, Conservation and Recycling, 2021, Vol. 165.
3. ISO 14040. *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*. 2006.
4. SimaPro database . *Manual of Methods*. PRé Sustainability B.V. All rights reserved. 2020.

### 6.1. Websites

Alibaba - <https://www.alibaba.com/>  
Brico Butikk - <https://www.bricobutikk.pt/>  
Concessus - <https://concessus.pt/>  
Google – <https://www.google.pt/>  
Kaiser+Kraft - <https://www.kaiserkraft.pt/>  
NPC Incorporated - <https://www.npcgroup.net/eng/>  
Paralab - <https://paralab.pt/>  
Portal Energia - <https://www.portal-energia.com/>  
Tomra - <https://www.tomra.com/>

## ANEXO I – Equipamentos sem valor de transporte

Os equipamentos sobre os quais não foi fornecido um valor de transporte estão listados de seguida:

- Mesa de desmantelamento;
- Descarnador de cabos – linha;
- Separador magnético de linha;
- Separador magnético suspenso;
- Separador por correntes *Foucault*;
- Mesa de desmantelamento com corte a quente;
- Separador de sílica e borracha;
- Mesa densimétrica;
- Raio-X;
- Braço pneumático de elevação por ventosas;
- Transportador de tapete;
- Transportador de tapete inclinado (customizado).

## ANEXO II – Características dos equipamentos

Tabela A 1 – Lista das características técnicas dos diferentes equipamentos utilizados.

Processo	Potência [kW]	Capacidade de produção [kg/h]; [n° painel/seg]; [m3/h]
Limpeza Manual	0.0	N/A
Mesa de Desmantelamento	36.0	1 painel / 40 s
Mesa de Desmantelamento com corte quente	115.2	1 painel / 60 s
Descarnamento de cabos	2.2	600 - 1200 [kg/h]
Descarnamento de cabos em linha	37.0	100 - 1 000 [kg/h]
Lâmina a quente	0.0	N/A
Laminagem	24.0	26 [m3/h]
Câmara térmica	50.0	8 000 [kg/h]
Estufa	3.6	300 - 1000 [kg/h]
Ventosas	0.0	Manual
Trituração	18.5	500 - 10 000 [kg/h]
Separação magnética em linha	4.0	120 - 190 [m3/h]
Separação magnética suspenso	0.0	1 000 - 20 000 [kg/h]
Mesa densimétrica	24.0	500 [kg/h]
Separação Raio-X (Vidro)	10.0	500 [kg/h]
Separação Silicone	194.0	200 - 1 000 [kg/h]
<i>Foucault</i>	18.0	2 - 20 [m3/h]
Separação Raio-X	10.0	500 [kg/h]
Mesa densimétrica	24.0	500 [kg/h]

# RELATÓRIO DA 2ªFASE

**Análise de viabilidade de implementação de processos de reciclagem de painéis fotovoltaicos e reutilização de materiais resultantes em novos processos produtivos**

## Índice

0. Introdução .....	128
1. Enquadramento.....	129
2. Metodologia.....	130
2.1. Critérios de seleção .....	130
2.2. Abordagem às empresas .....	133
2.3. Lista de empresas contactadas.....	134
2.3.1. Alumínio .....	134
2.3.2. Vidro temperado .....	136
2.3.3. EVA.....	137
2.3.4. Silício triturado .....	138
2.3.5. <i>Tedlar</i> triturado.....	138
2.3.6. Cobre triturado.....	139
2.3.7. Cabos .....	140
2.3.8. Prata triturada .....	140
2.3.9. Estanho e chumbo .....	141
2.4. Empresas contactadas pela E-Cycle .....	141
3. Análise de mercado .....	143
3.1. Resultados dos contactos por CAE .....	143
3.2. Resultados dos contactos por dimensão .....	144
3.3. Resultados dos contactos por localização.....	145
3.4. Resultados com implementação potencial.....	147
3.4.1. Resultados de CAE, dimensão e localização.....	147
3.5. Resultados detalhados por empresa.....	149
4. Discussão e conclusão .....	152
5. Referências .....	153
6. Anexos .....	154
6.1. Anexo A- Formulário enviado aos associados da E-Cycle.....	154

## Índice de Tabelas

Tabela 84 - Materiais, divisão, designação, secção e especificidade do CAE das empresas.....	132
Tabela 85 - Lista de empresas contactadas referentes ao material alumínio.....	134
Tabela 86 - Lista de empresas contactadas referentes ao material vidro temperado.....	136
Tabela 87 - Lista de empresas contactadas referentes ao material EVA. ....	137
Tabela 88 - Lista de empresas contactadas referentes ao material silício triturado. ....	138
Tabela 89 - Lista de empresas contactadas referentes ao material <i>tedlar</i> triturado.....	139
Tabela 90 - Lista de empresas contactadas referentes ao material cobre triturado. ....	139
Tabela 91 - Lista de empresas contactadas referentes ao material cabos.....	140
Tabela 92 - Lista de empresas contactadas referente ao material prata.....	140
Tabela 93 - Lista de empresas contactadas referentes aos materiais estanho e chumbo.....	141
Tabela 94- Lista de empresas associadas da E-Cycle contactadas através do formulário desenvolvido em conjunto pelo INEGI e a E-Cycle.....	141
Tabela 95- Respostas das empresas que demonstraram potencial interesse de incorporação de materiais provenientes de painéis fotovoltaicos .....	150

## Índice de Figuras

Figura 30 - Setores de mercado com potencial para a reutilização e incorporação dos materiais recuperados provenientes do desmantelamento dos painéis fotovoltaicos.....	129
Figura 31 – Mapa exemplificativo da divisão de Portugal por regiões. ....	131
Figura 32 - Número de empresas contactadas por CAE. ....	143
Figura 33 - Distribuição das empresas contactadas pela sua dimensão.....	144
Figura 34 - Distribuição das empresas contactadas: a) por regiões e b) por distritos, de Portugal. ....	145
Figura 35 - Número e percentagem de respostas obtidas e não obtidas pelo contacto a empresas. ....	147
Figura 36 - Número e percentagem de empresas, com interesse, de grande, média e pequena dimensão. ....	148
Figura 37 - Número e percentagem de empresas, com interesse, distribuídas por região. ....	148
Figura 38 - Formulário de identificação potenciais empresas interessadas na aquisição de diferentes materiais provenientes de painéis fotovoltaicos enviado aos associados E-Cycle. ....	154
Figura 39 - Continuação do formulário enviado aos associados E-Cycle.....	155
Figura 40 - Continuação do formulário enviado aos associados E-Cycle.....	156
Figura 41 - Continuação do formulário enviado aos associados E-Cycle.....	157



## 0. Introdução

Com o crescente desenvolvimento e aumento da quantidade de equipamentos de produção de energias renováveis, torna-se necessário encontrar uma solução para os resíduos provenientes de painéis fotovoltaicos. O desmantelamento e a reciclagem de painéis, no seu fim de vida útil, constituem atualmente um problema que é comprovado pela inexistência de empresas dedicadas à reciclagem destes materiais, que potenciaria a economia de recursos naturais, bem como a redução do respetivo custo de produção.

Para expor questões de reciclagem destes recursos, criar conhecimento sobre potenciais oportunidades para as empresas e apoiar a conservação do ambiente, neste estudo é analisada e discutida a importância da implementação de linhas de reciclagem, assim como possíveis tipos de empresas interessadas na valorização dos materiais resultantes.

O projeto visa, assim, identificar oportunidades de implementação de estratégias de economia circular, a fim de evitar a extração de novas matérias-primas e que os materiais provenientes do desmantelamento dos painéis fotovoltaicos se transformem em resíduos, promovendo a sua valorização.

De modo a dar continuidade à primeira fase do estudo sobre análise de viabilidade técnico-económica da implementação de processos de reciclagem de painéis fotovoltaicos, pretendeu-se analisar a possibilidade de reutilização e incorporação dos materiais resultantes da sua reciclagem. Desta forma, na segunda fase deste projeto, procedeu-se à análise de mercado nacional com potencial interesse em incorporar os materiais provenientes do desmantelamento dos painéis fotovoltaicos.

O presente relatório apresenta, por capítulos, os tópicos abaixo descritos:

- Capítulo 1. Introdução à análise de análise de reutilização e incorporação dos materiais resultantes da reciclagem de painéis fotovoltaicos
- Capítulo 2: Enquadramento da análise de reutilização e incorporação dos materiais resultantes da reciclagem de painéis fotovoltaicos
- Capítulo 3. Metodologia e abordagem utilizada para desenvolvimento da análise
- Capítulo 4. Lista de empresas contactadas para a execução da análise de mercado
- Capítulo 5. Resultados da análise de mercado
- Capítulo 6: Discussão e conclusões dos resultados

Este estudo tem potencial para servir como uma base quantitativa no apoio à implementação de processos de reciclagem de painéis fotovoltaicos, sugerindo direções futuras no que respeita à valorização dos materiais daí resultantes e da recetividade do mercado nacional para absorver estes materiais.

## 1. Enquadramento

No seguimento da análise de viabilidade técnico-económica da implementação de processos de reciclagem de painéis fotovoltaicos, tornou-se crucial analisar a reutilização e incorporação dos materiais resultantes da reciclagem desses painéis. Esta análise focou-se em nove materiais constituintes dos painéis fotovoltaicos, nomeadamente:

1. Alumínio (perfil ou triturado);
2. Vidro temperado (triturado ou inteiro);
3. Acetato-Vinilo de Etileno (EVA) (triturado);
4. Silício (triturado);
5. *Tedlar* (triturado);
6. Cabos (triturados ou inteiros);
7. Cobre (triturado);
8. Prata (triturada);
9. Estanho, chumbo, outros materiais (triturados).

Em 2021, o INEGI realizou um estudo preliminar, com o objetivo de identificar o mercado-alvo nacional potencial para reutilização e incorporação dos materiais recuperados provenientes do desmantelamento dos painéis fotovoltaicos.

Foram identificados setores preferenciais e segmentos de mercado, com base no estudo de boas práticas desenvolvido até aqui, nomeadamente: a indústria transformadora, o setor da construção, o setor energético e os operadores de tratamento de resíduos. Nesta fase, foram ainda considerados setores como a aviação, o automóvel e a eletrónica, no entanto, estes terão um potencial superior quando se perspetiva o cenário internacional.

Em seguida, encontram-se apresentados os setores considerados relevantes para o desenvolvimento da análise e identificação de mercado nacional para os materiais resultantes referidos (Figura 30).



Figura 30 - Setores de mercado com potencial para a reutilização e incorporação dos materiais recuperados provenientes do desmantelamento dos painéis fotovoltaicos.

## 2. Metodologia

### 2.1. Critérios de seleção

De forma a identificar claramente as empresas que poderiam ser incluídas nesta análise, foram definidos 3 critérios relevantes analisados de forma sequencial. Em primeiro lugar, o CAE (Classificação Portuguesa das Atividades Económicas por ramos de atividade) das empresas, depois a sua dimensão e, por fim, a sua localização geográfica.

Na primeira etapa, foi realizada a pesquisa das indústrias mais relevantes e que utilizam os materiais referidos nos seus processos de forma individual, identificando o CAE específico e os setores das empresas que potencialmente poderiam ter interesse nestes materiais.

O código CAE é uma compilação das áreas de atividade das empresas, de acordo com Decreto-Lei 381/2007, sendo a **versão vigente CAE REV 3**. Cada empresa, independentemente do seu ramo de atividade, está abrangida por um ou mais códigos CAE.

Iniciou-se a pesquisa do mercado nacional pelo CAE (sua divisão, designação, secção e ainda pelo CAE específico e respetiva designação), com o objetivo de encontrar empresas com ramos de atividade distintos e selecionar, para cada CAE específico, uma lista de empresas a contactar para identificar o potencial interesse nos materiais.

Através da classificação portuguesa das atividades económicas, revisão 3, foi possível aceder à classificação e agrupamento das unidades estatísticas produtoras de bens e serviços, segundo a atividade económica, e organizar, de forma coordenada e coerente, a informação por ramo de atividade económica nos diversos domínios.

Um dos subcritérios de seleção inicial foi privilegiar empresas com potencial para efetuar a incorporação direta destes materiais na sua cadeia de valor, tentando evitar intermediários (sucatas). Outro subcritério utilizado foi contemplar apenas o mercado nacional, de forma a que as empresas portuguesas pudessem reter valor económico no país.

A pesquisa foi realizada individualmente, para cada material, e para o efeito foram utilizadas como bases de dados o *Insight View*, SICAE e o *Kompass Portugal*.

Através do *Insight View* foi possível selecionar o CAE pretendido e recolher informação das empresas, nomeadamente os seus contactos, dimensão e localização. Com o SICAE foi possível, através do nome da empresa, pesquisar os CAE secundários. O *Kompass* foi utilizado para realizar a pesquisa direta de materiais específicos, através do qual se encontraram empresas que utilizam as matérias-primas consideradas. Deste modo, foi identificado o respetivo CAE e, posteriormente, foi possível sinalizar outras empresas do mesmo ramo.

Na Tabela 84 encontram-se definidos os materiais, a divisão, designação, secção e especificidade do CAE considerados após aplicação deste critério de seleção.

Passando ao segundo critério, dada a complexidade da lista de empresas para alguns dos materiais considerados, as empresas foram contempladas no estudo mediante a sua dimensão.

Neste estudo, foram contactadas empresas de grande, média, pequena e micro dimensão, tendo-se privilegiado as empresas com maior dimensão, acreditando-se que teriam uma estrutura e organização adequadas, como departamentos dedicados e colaboradores mais direcionados ao tema da economia circular e à valorização destes materiais.

Como terceiro critério, foram identificadas as localizações destas empresas, tendo sido organizadas por regiões e por distritos, como demonstrado na Figura 31.



Figura 31 – Mapa exemplificativo da divisão de Portugal por regiões.

Tabela 84 - Materiais, divisão, designação, secção e especificidade do CAE das empresas.

Material	CAE					
	Divisão	Designação	Secção	Designação	Específico	Designação
1- Alumínio (perfil ou triturado)	25	Fabricação de produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos	C	Indústrias transformadoras	25120	Fabricação de portas, janelas e elementos similares em metal
	24	Indústrias metalúrgicas de base	C	Indústrias transformadoras	24420	Obtenção e primeira transformação de alumínio
	24	Indústrias metalúrgicas de base	C	Indústrias transformadoras	24540	Fundição de outros metais não ferrosos
	38	Recolha, tratamento e eliminação de resíduos; valorização de materiais	E	Captação, tratamento e distribuição de água; saneamento, gestão de resíduos e despoluição	38321	Valorização de resíduos metálicos
	46	Comércio por grosso (inclui agentes), exceto de veículos automóveis e motociclos	G	Comércio por grosso e a retalho; reparação de veículos automóveis e motociclos	46690	Comércio por grosso de outras máquinas e equipamentos
2- Vidro temperado (triturado ou inteiro)	23	Fabricação de outros produtos minerais não metálicos	C	Indústrias transformadoras	23120	Moldagem e transformação de vidro plano
	23	Fabricação de outros produtos minerais não metálicos	C	Indústrias transformadoras	23190	Fabricação e transformação de outro vidro (inclui vidro técnico)
3- EVA (acetato-vinilo de etileno) (triturado)	13	Fabricação de têxteis	C	Indústrias transformadoras	13962	Fabricação de têxteis para uso técnico e industrial
	22	Fabricação de artigos de borracha e de matérias plásticas	C	Indústrias transformadoras	22210	Fabricação de chapas, folhas, tubos e perfis de plástico
	46	Comércio por grosso (inclui agentes), exceto de veículos automóveis e motociclos	G	Comércio por grosso e a retalho; reparação de veículos automóveis e motociclos	46494	Outro comércio por grosso de bens de consumo
4- Silício (triturado)	23	Fabricação de outros produtos minerais não metálicos	C	Indústrias transformadoras	23992	Fabricação de outros produtos minerais não metálicos diversos
5- <i>Tedlar</i> (triturado)	22	Fabricação de artigos de borracha e de matérias plásticas	C	Indústrias transformadoras	22210	Fabricação de chapas, folhas, tubos e perfis de plástico
	46	Comércio por grosso (inclui agentes), exceto de veículos automóveis e motociclos	G	Comércio por grosso e a retalho; reparação de veículos automóveis e motociclos	46494	Outro comércio por grosso de bens de consumo
6- Cabos (triturados ou inteiros)	27	Fabricação de equipamento elétrico	C	Indústrias transformadoras	27320	Fabricação de outros fios e cabos elétricos e eletrónicos
7- Cobre (triturado)	07	Extração e preparação de minérios metálicos	B	Indústrias extrativas	07290	Extração e preparação de outros minérios metálicos não ferrosos
	24	Indústrias metalúrgicas de base	C	Indústrias transformadoras	24440	Obtenção e primeira transformação de cobre
	25	Fabricação de produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos			25940	Fabricação de rebites, parafusos e porcas
	28	Fabricação de máquinas e de equipamentos			25992	Fabricação de outros produtos metálicos diversos
	38	Recolha, tratamento e eliminação de resíduos; valorização de materiais	E	Captação, tratamento e distribuição de água; saneamento, gestão de resíduos e despoluição	38321	Fabricação de outras máquinas diversas para uso específico
8- Prata (triturada)	24	Indústrias metalúrgicas de base	C	Indústrias transformadoras	24410	Obtenção e primeira transformação de metais preciosos
	32	Outras indústrias transformadoras	C	Indústrias transformadoras	32122	Fabricação de artigos de joalheria e de outros artigos de ourivesaria
9- Estanho, chumbo (triturados)	24	Indústrias metalúrgicas de base	C	Indústrias transformadoras	24430	Obtenção e primeira transformação de chumbo, zinco e estanho
	25	Fabricação de produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos	C	Indústrias transformadoras	25992	Fabricação de outros produtos metálicos diversos
	07	Extração e preparação de minérios metálicos	B	Indústrias extrativas	07290	Extração e preparação de outros minérios metálicos não ferrosos

## 2.2. Abordagem às empresas

Depois de reunidos os nomes e os dados necessários, procedeu-se aos contactos em duas fases. Na primeira fase, foi efetuado o contacto via correio eletrónico e por via telefónica com as empresas contempladas no estudo, tendo sido abordados os seguintes tópicos:

- o contexto e o objetivo do trabalho;
- em que materiais provenientes do desmantelamento dos painéis fotovoltaicos poderia existir interesse por parte da empresa;
- em que processos produtivos e respetivas etapas a empresa iria considerar a sua incorporação;
- quais as características que o material requeria para incorporar nos processos produtivos da empresa;
- se a incorporação destes materiais apenas seria considerada a partir de uma dada quantidade mínima;
- qual seria a gama de preço que a empresa estaria disposta a pagar por estes materiais, considerando que seriam semelhantes aos dos seus atuais fornecedores.

Numa segunda fase, procedeu-se à elaboração de um formulário em conjunto com a E-Cycle (Anexo A), com questões idênticas, que foi enviado aos seus associados com o objetivo de ampliar a amostra do estudo e obter um maior número de respostas.

## 2.3. Lista de empresas contactadas

Tendo o contacto sido feito em duas fases, apresenta-se nas 85 a 93 a lista de empresas contactadas na primeira fase, por correio eletrónico e via telefone, por material, referindo o CAE, CAE secundário, setor de atividade, dimensão da empresa e sua localização geográfica. Por questões de confidencialidade, os nomes das empresas e localizações exatas foram omitidos.

### 2.3.1. Alumínio

O alumínio é um material metálico resistente. Devido ao seu ponto de fusão, torna-se maleável e apto para a mecanização e fundição. Desta forma, é um material que facilmente poderá ser valorizado e com potencial aplicação em perfis, ligas, lingotes de alumínio, entre outros, nas mais diversas aplicações no mercado. Na Tabela 85, encontra-se a lista de empresas contactadas, dado o potencial interesse no alumínio.

Tabela 85 - Lista de empresas contactadas referentes ao material alumínio.

CAE	CAE secundário	Setor de atividade	Dimensão da empresa	Região	Distrito
25120	-	Produção e comercialização de portões, portas, persianas, grades em alumínio	Grande	Norte	Braga
25120	-	Fabricação de sistemas de janelas de metal	Grande	Norte	Porto
25120	-	Fabricação de aço para construção e metalomecânica	Média	Norte	Porto
25120	-	Construção metálica, fachadas de alumínio	Grande	Centro	Viseu
25120	-	Fabricação e comercialização de portões e janelas de alumínio	Grande	Norte	Porto
25120	-	Fabricação e comercialização de portões e janelas de aço e alumínio	Média	Centro	Santarém
24420	25610 25620	Extrusão, produção de perfis de alumínio e tratamento de superfícies	Grande	Norte	Braga
24420	-	Extrusão e transformação de alumínio	Média	Norte	Braga
24420	-	Extrusão, tratamento de superfície e comercialização de perfis de alumínio e acessórios	Grande	Norte	Braga
24420	-	Mineração- Extrusão de alumínio, tratamento e lacagem de perfis	Média	Norte	Porto

Tabela 85- (continuação).

CAE	CAE secundário	Setor de atividade	Dimensão da empresa	Região	Distrito
24420	-	Transformação de resíduos de alumínio em lingotes de alumínio	Média	Norte	Viana do Castelo
24420	24530 25610	Fabricação de portas de alumínio	Média	Norte	Braga
24420	25610 25732	Extrusão e tratamento de superfície de perfis de ligas de alumínio	Grande	Centro	Aveiro
24420	-	Transformação de alumínio em produtos acabados ou semiacabados	Grande	Lisboa	Lisboa
24540	-	Fundição injetada e mecanização de peças	Pequena	Centro	Aveiro
24540	24440 38321 46771	Produção de ligas e lingotes	Grande	Centro	Aveiro
24540	-	Fabricação de ligas de bronze e fundição contínua	Média	Lisboa	Lisboa
24540	35113	Produção de peças através da fundição de alumínio	Média	Alentejo	Évora
24540	-	Produção de peças em alumínio por fundição injetada a incorporar em produtos próprios e em subcontratação	Média	Centro	Aveiro
24540	25620	Fundição injetada	Média	Norte	Braga
24540	25620	Fabricação de peças fundidas por gravidade em alumínio	Média	Norte	Braga
24540	-	Indústria transformadora Fundição de outros metais não ferrosos	Média	Centro	Leiria
24540	-	Recicladora de metais não ferrosos para produção de alumínio em lingotes e em estado líquido	Pequena	Centro	Aveiro
24540	-	Fabricação de máquinas de automação	Média	Centro	Aveiro
38321	46771 38312 38322	Valorização de resíduos metálicos	Pequena	Lisboa	Lisboa
46771	38321 38322 45110	Reciclagem de metais, separação e valorização em materiais ferrosos e não ferrosos enviados para fundições da especialidade	Pequena	Centro	Aveiro
46771	38321 38220 38311	Comércio por grosso de sucatas e de desperdícios metálicos	Grande	Centro	Santarém



Tabela 85- (continuação).

CAE	CAE secundário	Setor de atividade	Dimensão da empresa	Região	Distrito
46771	68200 38321 38112	Reciclagem, valorização e comércio de resíduos e desperdícios metálicos ferrosos e não ferrosos	Grande	Centro	Santarém
46771	38321 38322 38311	Comércio de sucatas, desmantelamento doméstico, industrial e recolha de resíduos	Pequena	Centro	Aveiro
46750	-	Comércio por grosso de produtos químicos, cerâmicos, tintas, plástico, metalurgia, argamassas e alimentação animal	Grande	Centro	Aveiro
46690	-	Fabricação de semicondutores de energia renovável	Grande	Lisboa	Lisboa
46690	-	Fabricação de aparelhos elétricos e eletrónicos	Grande	Lisboa	Lisboa
46690	-	Comércio por grosso de outras máquinas e equipamentos	Grande	Algarve	Faro
46690	-	Fabricação de equipamentos médicos	Grande	Lisboa	Lisboa
46690	-	Comércio por grosso de outras máquinas e equipamentos	Média	Centro	Santarém
46690	-	Fabricação de aparelhos elétricos e eletrónicos	Média	Lisboa	Lisboa
46690	-	Fabricação de máquinas de automação	Média	Norte	Braga

### 2.3.2. Vidro temperado

A reciclagem do vidro permite a poupança de matérias-primas e, conseqüentemente, um menor consumo de recursos minerais e industriais. Este recurso poderá ser valorizado e incorporado noutros processos produtivos. Na Tabela 86, encontra-se a lista de empresas contactadas com potencial interesse em vidro temperado.

Tabela 86 - Lista de empresas contactadas referentes ao material vidro temperado.

CAE	CAE secundário	Setor de atividade	Dimensão da empresa	Região	Distrito
23120	25610 25120	Sistemas de vidro e alumínio para a arquitetura	Média	Norte	Porto
23120	-	Fabricação de vidro, cerâmica e concreto	Média	Norte	Vila Real

Tabela 86 - (continuação).

CAE	CAE secundário	Setor de atividade	Dimensão da empresa	Região	Distrito
23120	-	Fabricação de vidro, cerâmica e concreto	Média	Centro	Viseu
23120	-	Indústria transformadora Moldagem e transformação de vidro plano	Média	Norte	Porto
23120	-	Transformação de todas as categorias de vidro para obras de construção	Média	Centro	Aveiro
23120	-	Indústria especializada no processamento de vidro plano	Média	Centro	Aveiro
23120	-	Indústria transformadora Moldagem e transformação de vidro plano	Média	Algarve	Faro
23120	-	Fabricação de vidro, cerâmica e concreto	Média	Norte	Porto
23190	23120	Fabricação aquários	Média	Norte	Braga
23190	23120	Fabricação de material em vidro para laboratório	Média	Centro	Leiria
23190	23120	Indústria transformadora Fabricação e transformação de outro vidro (inclui vidro técnico)	Pequena	Norte	Braga
23190	23120	Indústria transformadora Fabricação e transformação de outro vidro (inclui vidro técnico)	Pequena	Centro	Leiria
47521	23120 43340	Comércio a retalho de ferragens e de vidro plano, em estabelecimentos especializados	Micro	Lisboa	Lisboa

### 2.3.3. EVA

A pesquisa para a incorporação do acetato-vinilo de etileno (EVA) teve por base a indústria de polímeros, nomeadamente espumas, com o auxílio do *Kompass* Portugal, tendo em conta os CAE selecionados. Este material é muito utilizado na indústria do calçado. Na Tabela 87, encontra-se a lista de empresas contactadas com potencial interesse em EVA.

Tabela 87 - Lista de empresas contactadas referentes ao material EVA.

CAE	CAE secundário	Setor de atividade	Dimensão da empresa	Região	Distrito
13962	-	Indústria de Têxteis Técnicos, Revestimentos, Laminação, Colagens Diretas e Colagens Sandwich com colas, resinas e polímeros HOT MELT termocolantes	Micro	Norte	Porto
22210	46610	Comércio e a produção de tubos fabricados em matérias plásticas (PVC, PU, EVA, EPDM, PE, etc) e acessórios	Pequena	Centro	Aveiro

Tabela 4 - (continuação).

CAE	CAE secundário	Setor de atividade	Dimensão da empresa	Região	Distrito
22210	13950 13920	Produção de espumas e tecidos não tecidos	Grande	Centro	Aveiro
46900	15202	Comércio e Indústria de Espumas para Calçado	Pequena	Norte	Porto

### 2.3.4. Silício triturado

O silício é um material valioso, sendo muito importante a sua incorporação em novas cadeias de valor. No entanto, em Portugal, não foi encontrada qualquer empresa que processe silício. Em alternativa, foram contactadas empresas que utilizam diferentes minerais em várias aplicações. Na Tabela 88, encontra-se a lista de empresas contactadas com potencial interesse em silício triturado.

Tabela 88 - Lista de empresas contactadas referentes ao material silício triturado.

CAE	CAE secundário	Setor de atividade	Dimensão da empresa	Região	Distrito
46762	33200 23910	Produtos e equipamentos para a preparação de superfícies por jateamento	Pequena	Norte	Porto
43992	46732 33200 47523	Revestimentos refratários; Construção de fornos industriais; Construção e reparação de chaminés industriais; Materiais térmicos para a indústria.	Grande	Lisboa	Lisboa
23992	08121	Extração e transformação de pedras e areias	Média	Centro	Santarém

### 2.3.5. Tedlar triturado

Não foram encontradas empresas que fabriquem *tedlar*, em Portugal. Deste modo, sendo este um material termoplástico, foram contactadas empresas que processam este tipo de materiais. Na Tabela 89, estão apresentadas as empresas contactadas com potencial interesse em *tedlar* triturado.

Tabela 89 - Lista de empresas contactadas referentes ao material *tedlar* triturado.

CAE	CAE secundário	Setor de atividade	Dimensão da empresa	Região	Distrito
22292	29320	Processamento de termoplásticos de alta performance	Média	Centro	Leiria
22292	35113	Processamento de termoplásticos de alta performance	Média	Centro	Leiria

### 2.3.6. Cobre triturado

O cobre é um material muito utilizado na produção de materiais condutores de eletricidade e que poderá ser incorporado em diferentes cadeias de valor. Na pesquisa realizada, foram contactadas empresas em diferentes níveis da cadeia de valor do cobre, desde a própria extração e processamento, até à reciclagem. Na Tabela 90, encontra-se a lista de empresas contactadas com potencial interesse em cobre triturado.

Tabela 90 - Lista de empresas contactadas referentes ao material cobre triturado.

CAE	CAE secundário	Setor de atividade	Dimensão da empresa	Região	
25734	25940	Fabrico de ferramentas em aço e/ou metal duro na área de anti desgaste	Pequena	Centro	Aveiro
07290	08121	Exploração mineira de zinco, chumbo e cobre.	Grande	Alentejo	Beja
07290	-	Exploração mineira	Grande	Centro	Castelo Branco
28992	28930	Concebe, produz e monta equipamentos	Grande	Norte	Porto
38321	46720 38311 38322	Reciclagem de metais ferrosos e não-ferrosos	Grande	Norte	Porto
07290	24430 24440 01702	Exploração mineira	Grande	Alentejo	Beja
24440	24540	Fundição e acabamentos de metais não ferrosos	Pequena	Norte	Porto
24440	-	Fabrico de componentes metálicos	Pequena	Norte	Braga
46720	-	Fabrico de aços rápidos, aços para ferramentas, aços para moldes e materiais especiais	Média	Centro	Aveiro

### 2.3.7. Cabos

A pesquisa realizada para a incorporação de cabos elétricos, teve como foco empresas produtoras de cabos elétricos para várias aplicações. Na Tabela 91, encontra-se a lista de empresas contactadas com potencial interesse em cabos.

Tabela 91 - Lista de empresas contactadas referentes ao material cabos.

CAE	CAE secundário	Setor de atividade	Dimensão da empresa	Região	Distrito
27320	29310 27122	Produção e comercialização de cabos elétricos	Grande	Centro	Aveiro
27320	-	Produção e comercialização de cabos elétricos	Grande	Centro	Guarda
27320	-	Cabos para instalações de energia solar fotovoltaica	Grande	Lisboa	Lisboa
27320	38321 38322 27310	Fabricação de cabos energéticos	Grande	Norte	Porto
27320	24420	Fabricação de cabos energéticos	Grande	Norte	Porto
27320	-	Produção e comercialização de cabos elétricos	Grande	Centro	Aveiro
27320	46520 47593	Cabos para sistemas fotovoltaicos	Pequena	Lisboa	Lisboa

### 2.3.8. Prata triturada

Tendo em conta o elevado valor da prata, é essencial incorporar este material noutras cadeias de valor. Em Portugal, foi particularmente difícil encontrar empresas que processam prata, o que levou à pesquisa, de uma forma mais geral, de empresas que processam metais preciosos. Na Tabela 92, encontra-se a lista de empresas contactadas com potencial interesse em prata triturada.

Tabela 92 - Lista de empresas contactadas referente ao material prata.

CAE	CAE secundário	Setor de atividade	Dimensão da empresa	Região	Distrito
24410	47790 47770	Reciclagem e Comércio de Metais Preciosos	Pequena	Norte	Porto
24410	38321	Reciclagem de resíduos contendo cobre e metais preciosos, nomeadamente ouro, prata, platina, paládio e ródio.	Pequena	Norte	Porto

### 2.3.9. Estanho e chumbo

Em relação ao estanho e chumbo, apenas se identificou uma empresa que incorpora especificamente estes materiais no seu processo produtivo. No entanto, várias empresas anteriormente mencionadas também podem ter no seu processo a incorporação de estanho e chumbo. Na Tabela 93, encontra-se a empresa contactada com potencial interesse em estanho e chumbo.

Tabela 93 - Lista de empresas contactadas referentes aos materiais estanho e chumbo.

CAE	CAE secundário	Setor de atividade	Dimensão da empresa	Região	Distrito
46720	-	Importação e comercialização de metais não ferrosos como estanho, chumbo e antimónio	Pequena	Centro	Viseu

## 2.4. Empresas contactadas pela E-Cycle

Conforme referido anteriormente, na segunda fase de contacto, a associação E-Cycle desenvolveu, em conjunto com o INEGI, um formulário que divulgou junto dos seus associados, de forma a ampliar a amostra do estudo. Nesta fase, foram contactadas 18 empresas, que da mesma forma foram caracterizadas pelo seu CAE, dimensão e localização geográfica. A Tabela 11 lista todos estes contactos efetuados.

Tabela 94- Lista de empresas associadas da E-Cycle contactadas através do formulário desenvolvido em conjunto pelo INEGI e a E-Cycle.

CAE	CAE secundário	Setor de atividade	Dimensão	Região	Distrito
28250	46690 22210	Produção, assistência e comercialização de equipamentos de refrigeração e hoteleira	Média	Centro	Santarém
27510	31093 46430 47910	Fabricação de equipamentos de frio	Média	Centro	Aveiro
28250	33120 33200	Fabricação e comercialização de móveis refrigerados e câmaras frigoríficas	Média	Lisboa	Lisboa
47523	-	Comércio de retalho de materiais de construção e bricolage	Média	Norte	Braga
27520	-	Fabricação de equipamentos para a preparação de alimentos e para a utilização de energias renováveis	Média	Norte	Porto
28250	46900 31020 27510	Fabricação de equipamentos de frio doméstico e comercial	Média	Norte	Porto

Tabela 94 - (continuação).

CAE	CAE secundário	Setor de atividade	Dimensão da empresa	Região	Distrito
25991	-	Fabricação de artigos metálicos	Média	Centro	Viseu
46690	43222	Fabricação de máquinas industriais (sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado)	Média	Lisboa	Lisboa
25991	46732 25992 46690	Fabricação de torneiras e equipamentos sanitários	Média	Centro	Aveiro
27400	-	Fabricação de candeeiros	Micro	Norte	Porto
28250	-	Fabricação de equipamentos de cozinha e mobiliário técnico	Média	Norte	Porto
30920	25991	Produção de aros e rodas de bicicletas/ Produção de lava-louças e acessórios em aço inoxidável	Grande	Centro	Aveiro
30920	47640 47910 35113	Fabricação de bicicletas	Grande	Norte	Porto
25991	-	Fabricação de louça em aço inox	Média	Centro	Aveiro
38312	38321 38322	Gestão de resíduos elétricos e eletrónicos	Pequena	Centro	Leiria
38322	25401 25402 33110	Serviços de gestão, tratamento, reciclagem e valorização de resíduos	Grande	Lisboa	Setúbal
24520	24510	Fundição de ferro e aço	Média	Norte	Braga
25620	-	Metalurgia- fabricação de máquinas industriais	Média	Norte	Braga

### 3. Análise de mercado

Para efetuar a pesquisa de mercado, foi realizada uma análise detalhada da lista de empresas previamente sinalizadas, com o objetivo de identificar o mercado-alvo, compreender quais as cadeias de valor com potencial para incorporar os materiais resultantes da reciclagem de painéis fotovoltaicos, bem como as características dessas empresas e a sua localização.

Tendo em conta a informação apresentada nas tabelas anteriores, foi possível agrupar esta informação por CAE, dimensão da empresa e respetiva localização geográfica.

#### 3.1. Resultados dos contactos por CAE

O primeiro critério de seleção para identificar as empresas foi o CAE (principal e secundário). A pesquisa começou por selecionar empresas com o CAE principal apresentado na Tabela 84, no entanto, ao longo da mesma foram encontradas empresas com CAE secundários que não se encontram na referida tabela.

Foram assim identificados 36 CAE principais distintos, num total de 97 empresas contactadas. A Figura 32 ilustra o número total de empresas por CAE identificado.

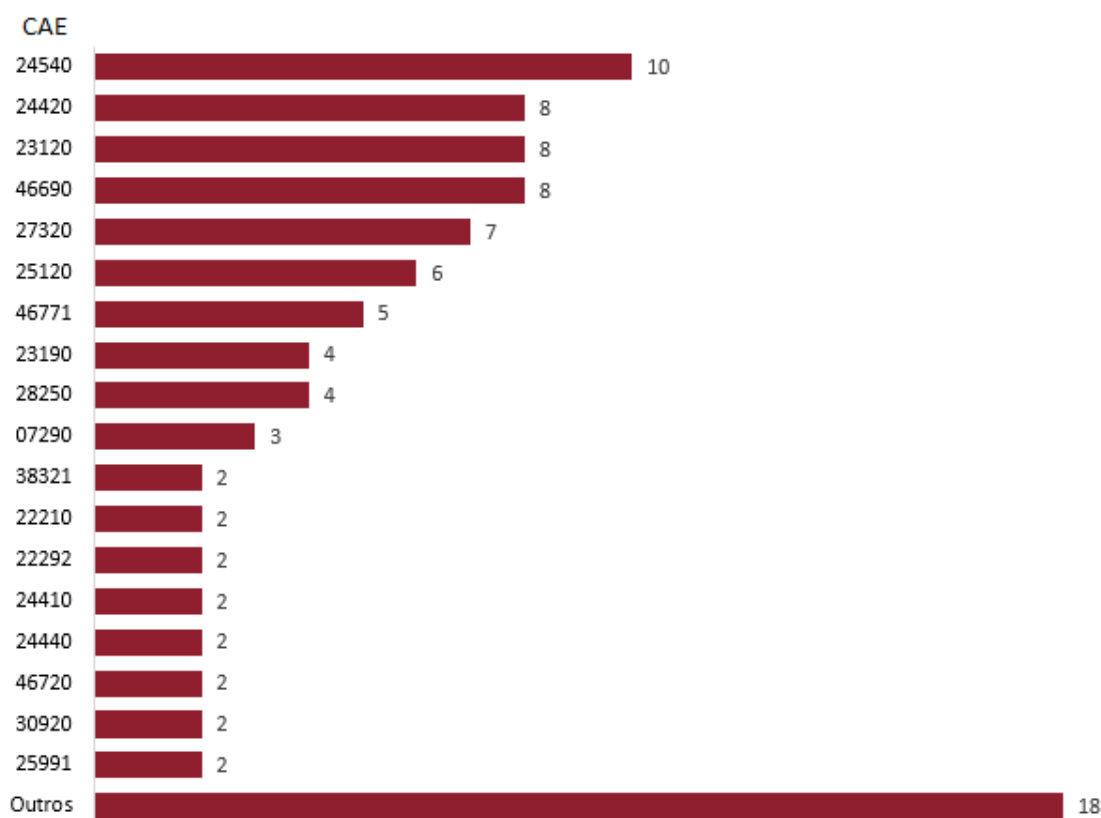


Figura 32 - Número de empresas contactadas por CAE.

Analisando os resultados da Figura 32, foi possível concluir que cerca de 18.6% das empresas contactadas apresentam CAE 24540 e 24420, referente à fundição de outros metais não ferrosos e obtenção e primeira transformação de alumínio, respetivamente. Isto deve-se ao facto de o alumínio,



por ser um material muito versátil, ter a capacidade de ser mais facilmente incorporado nas cadeias de valor relativas aos CAE mencionados.

Cerca de 12.4% do total das empresas contactadas apresentam o CAE 23120 e 23190, referentes à moldagem e transformação de vidro plano e fabricação e transformação de outro vidro (inclui vidro técnico), respetivamente.

As empresas com o CAE 27320 representam 7.2% do total e têm como atividade a fabricação de outros fios e cabos elétricos e eletrónicos, tendo sido contactadas exclusivamente para a incorporação de cabos, sendo este CAE o foco da pesquisa para este material.

As empresas com o CAE 46771, que representam cerca de 5.2% do total das empresas contactadas, são empresas de comércio por grosso de sucatas e de desperdícios metálicos. Cerca de 5 destas empresas foram contactadas com o objetivo de recolher informação relativa ao *pricing* destes materiais e à gama de preços praticada pelo mercado.

Em relação às empresas associadas da E-Cycle contactadas através do formulário, verifica-se que o maior número de empresas apresenta o CAE 28250, relativo à fabricação de equipamento não doméstico para refrigeração e ventilação.

Os restantes CAE indicados na Figura 3, estão distribuídos pelos restantes materiais, encontrando-se 18 CAE na categoria “Outros”, que aparecem apenas uma vez na lista de empresas contactadas.

### 3.2. Resultados dos contactos por dimensão

O segundo critério considerado para a identificação das empresas foi a sua dimensão. Na Figura 32, apresenta-se o número de empresas contactadas por categoria, indicando a respetiva percentagem de distribuição quanto à sua dimensão.

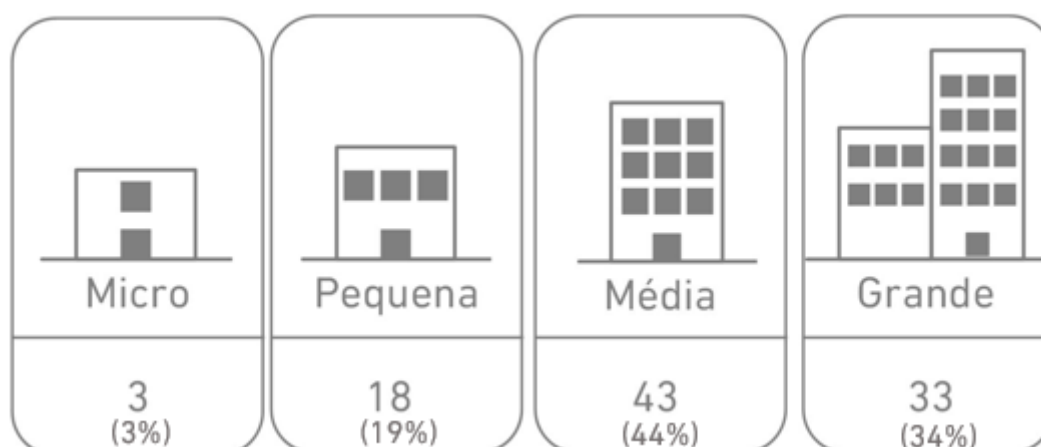


Figura 33 - Distribuição das empresas contactadas pela sua dimensão.

Como resultado desta análise, as empresas de média (44%) e grande dimensão (34%) foram identificadas como as de maior representatividade nesta seleção. No entanto, para análise de mercado não se excluiu empresas de micro e pequena dimensão, uma vez que, ao longo da pesquisa, foram identificadas empresas com potencial interesse em alguns dos materiais específicos.

### 3.3. Resultados dos contactos por localização

A localização das empresas foi o critério final considerado para a sua inclusão na análise de mercado, com o objetivo de perceber a distribuição das empresas no território nacional e, ainda, identificar a possibilidade de criação de simbioses industriais com possíveis operadores de resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos.

Na Figura 34, apresenta-se a distribuição geográfica das empresas. Foram sinalizadas as áreas mais relevantes e com maior incidência de mercado com potencial para a implementação de linhas de reciclagem próximas a estes pontos, ou logisticamente viáveis, que facilitem a troca de materiais e respetiva incorporação em cadeias de valor, com o objetivo da sua valorização.

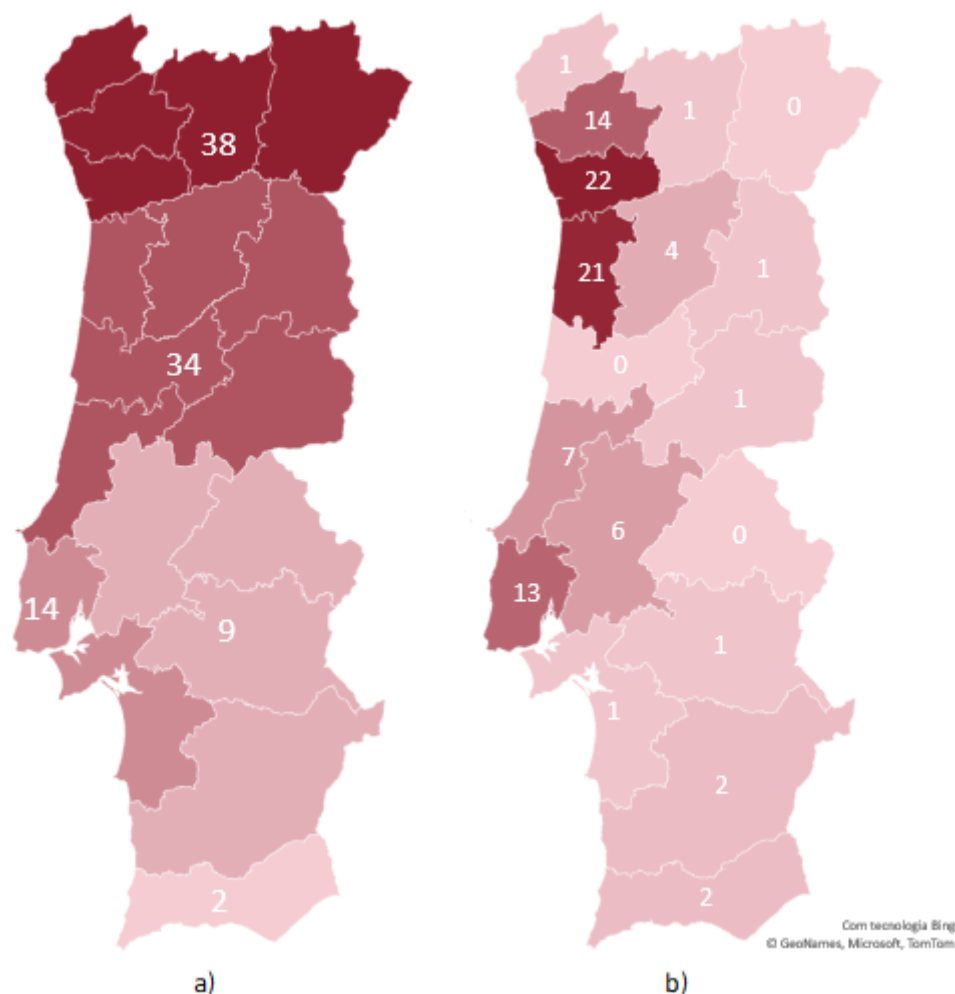


Figura 34 - Distribuição das empresas contactadas: a) por regiões e b) por distritos, de Portugal.

A região Norte e Centro do país foram as que se destacaram pela grande concentração empresarial relevante para a área de pesquisa, com cerca de 39.2% e 35.1% do total das empresas aí localizadas, respetivamente. Em seguida, destaca-se a região de Lisboa (14.4%), Alentejo (9.3%) e por último Algarve (2.1%).

Na análise por distritos, os resultados evidenciam os distritos do Porto, Aveiro, Braga e Lisboa, com cerca de 22.7%, 21.6%, 14.4% e 13.4% de concentração destas empresas, respetivamente.

### 3.4. Resultados com implementação potencial

#### 3.4.1. Resultados de CAE, dimensão e localização

Dos 97 contactos efetuados para diferentes empresas, identificaram-se:

- 18 que referiram não dispor de capacidade para incorporar os materiais em causa, não tendo demonstrado interesse ou não disponíveis para participar desta análise;
- 7 empresas demonstraram potencial interesse de incorporação dos materiais em causa;
- 72 empresas não responderam aos inquéritos.

Foi possível obter respostas de 25 empresas (26% do total), sendo que 7 (7%) destas demonstraram potencial interesse de incorporação de materiais e 18 (19%) não demonstraram interesse ou não apresentaram disponibilidade para participar desta análise. Não se obteve qualquer resposta de 72 (74%) das empresas inquiridas.

Na Figura 35, encontra-se esquematizado o número de empresas e a respetiva distribuição percentual de resposta.

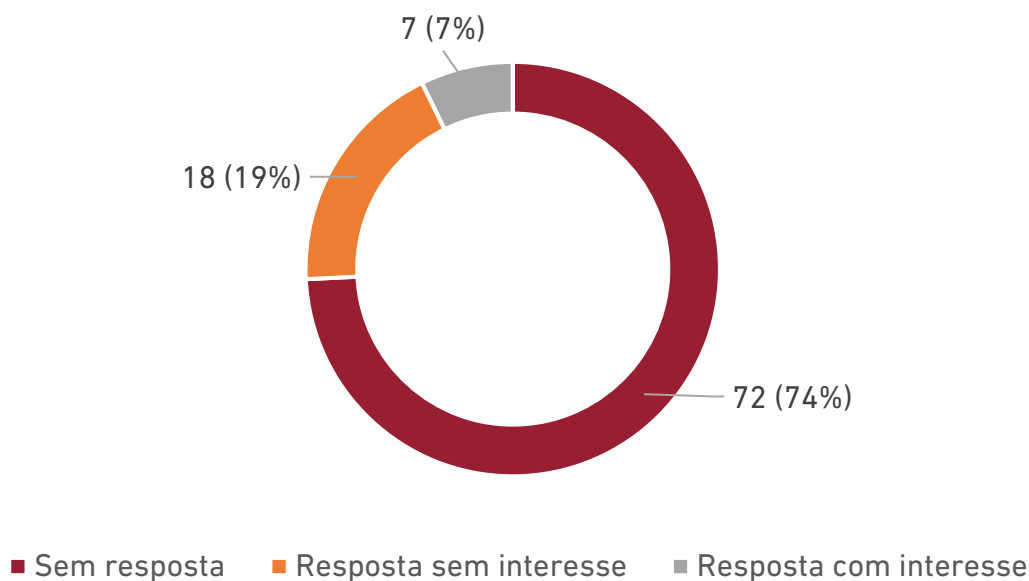


Figura 35 - Número e percentagem de respostas obtidas e não obtidas pelo contacto a empresas.

Tal como referido anteriormente, também foi tida em consideração a dimensão das empresas onde os materiais poderiam ser valorizados.

Como se pode observar pela Figura 36, das empresas interessadas, 4 foram grandes empresas (57%), apenas 1 média empresa (14%) e 2 foram pequenas empresas (29%).

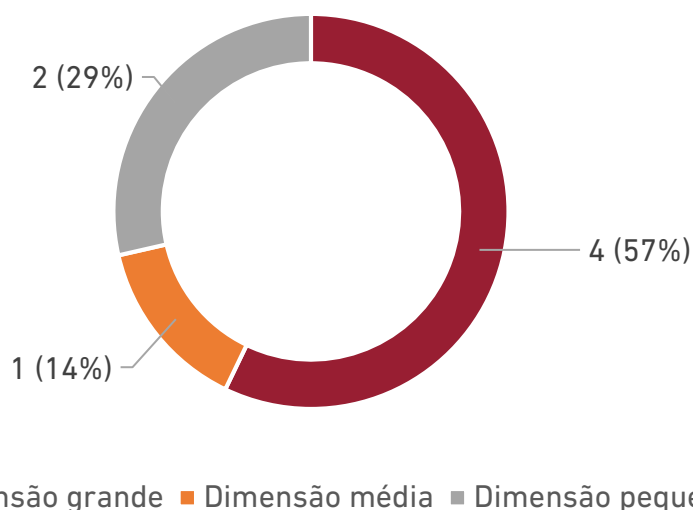


Figura 36 - Número e percentagem de empresas, com interesse, de grande, média e pequena dimensão.

Foram as empresas de maior dimensão que demonstraram maior interesse em criar valor a partir de materiais provenientes da reciclagem de painéis fotovoltaicos, apesar de a amostra de base ao estudo ser pequena para permitir inferir outras conclusões.

Quanto à localização, das respostas de interesse recebidas pelas empresas, 3 localizam-se na região centro (43%), nos distritos de Leiria, Santarém e Aveiro, e 4 estão sediadas na região norte (57%), mais especificamente, 3 no Porto e 1 em Braga.

Na Figura 37, apresenta-se o número e percentagem das empresas das quais se obteve resposta com interesse, distribuídas por região.

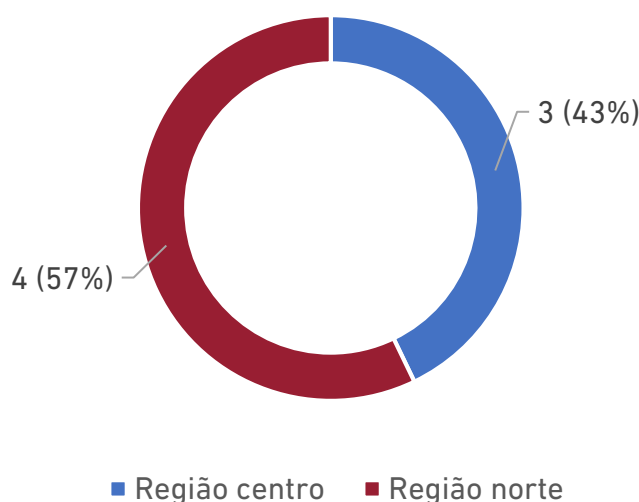


Figura 37 - Número e percentagem de empresas, com interesse, distribuídas por região.

Como se pode verificar, é na região norte e centro que se localizam as empresas com potencial interesse nos materiais.

### 3.5. Resultados detalhados por empresa

Na Tabela 95, apresenta-se a resposta das 7 empresas com potencial interesse de incorporação dos materiais em estudo, incluindo toda a restante informação recolhida no contacto e referida no ponto 3.2. Abordagem às empresas.

Apesar de as empresas contactadas terem sido direccionadas por uma tipologia de material, verificou-se na receção das respostas, que a maioria das empresas demonstrou interesse em mais do que um material.

Excluindo os operadores relacionados com a gestão/valorização de resíduos, de um modo geral, as empresas contactadas manifestaram potencial interesse na incorporação de todos os materiais, nomeadamente, alumínio, vidro temperado, EVA, silício triturado e cobre triturado, excetuando *tedlar*.

A composição química e o grau de pureza dos materiais foram identificadas como as principais características a analisar, após o processo de reciclagem, de forma a garantir a sua incorporação nos processos produtivos das empresas referidas na Tabela 95.

Como se pode verificar pela Tabela 95, nem sempre foi possível obter respostas, por parte das empresas, quanto às etapas dos respetivos processos produtivos com potencial para incorporação dos materiais, quanto às quantidades necessárias, bem como quanto ao preço que estariam dispostos a pagar.

Ainda assim, foi possível inferir uma determinada ordem de grandeza para a valorização dos materiais, com base na informação recolhida junto de empresas comercializadoras dos produtos. De referir que estas empresas fazem gestão e valorização de resíduos metálicos, sendo intermediárias. Das 7 respostas alcançadas, 3 foram provenientes de empresas com setor de atividade nesta área, que apesar de não serem as empresas-alvo, permitiram obter informação acerca da gama de preços praticados.

Tabela 95- Respostas das empresas que demonstraram potencial interesse de incorporação de materiais provenientes de painéis fotovoltaicos

CAE	Setor de atividade	Materiais com potencial interesse	Etapa dos processos que requer o material	Características dos materiais	Quantidades de materiais	Gama de preço +/- pagam por esse material aos seus fornecedores
46771	Comercialização e gestão de resíduos metálicos	1-Alumínio 6- Cabos (triturados ou inteiros) 7- Cobre triturado 8-Prata 9- Estanho e chumbo triturado	Revenda a fundições de metais.	Não ter muitas impurezas.	Sem mínimo exigido	Alumínio: 1500-2000 €/ton Cabos: 1500-4000 €/ton Cobre triturado: 6000-7500 €/ton Prata: 400-500 €/Kg Estanho: 5000-15000 €/ton Chumbo: 1000-1700 €/ton
46771	Reciclagem, valorização e comércio de resíduos e desperdícios metálicos ferrosos e não ferrosos	1- Perfis de alumínio 7- Cabos inteiros 9- Estanho e chumbo triturado	Revenda a fundições, extrusoras, indústria de produção de alumínio, cobre, etc ou com potencial para operadores de resíduos devidamente licenciados.	Materiais devem estar separados por tipologia, sem impurezas ou contaminação (>90-98%).	Sem mínimo exigido	-
46762	Produtos e equipamentos para a preparação de superfícies por jateamento	1- Alumínio 2- Vidro temperado triturado 4- Silício triturado 6- Cobre triturado	Processos de jateamento. Utilizado em operações de limpeza sensíveis seco ou húmido, em equipamentos de pressão ou sucção.	Forma angular Dimensões entre 40-800 µm Densidade ~2.5 g/cm <sup>3</sup> Dureza ~ 6 mohs	Sacos de 25 Kg Paletes de 1200 Kg	Granalha de vidro ronda os 0.30 €/Kg
28992	Concebe, produz e monta equipamentos	1-Alumínio 6-Cobre	Consumem uma pequena quantidade de alumínio na desoxidação das ligas em cada vazamento.	Alumínio: este material tem de estar devidamente limpo de impurezas a fim de não contaminar as ligas em questão. Cobre: necessita de saber a composição química correta, que afeta a composição química do aço a produzir.	Alumínio: 200 Kg/ano Cobre: 3000 Kg/ano	-
38321	Reciclagem de metais ferrosos e não-ferrosos	1- Perfil alumínio 6- Cobre triturado 7- Cabos 9- Chumbo	-	Perfil alumínio: limpo Cabos: sujeito a análise de percentagens Cobre triturado: de primeira sem qualquer contaminação Chumbo: limpo	-	Perfil alumínio: 1500 €/ton Cabos: 1400 €/ton Cobre triturado: 7300 €/ton Chumbo: 1400 €/ton
24520	Fundição de ferro e aço	4- Silício triturado 6- Cobre triturado	Produção de ligas ferrosas Fusão.	Composição química Nível de pureza	1000 Kg	-
46900	Comércio e Indústria de Espumas para Calçado	3- EVA	Vendem material em rolo e cortam em peças.	Densidade: 79 kg/m <sup>3</sup> Composição: 45% EVA virgem; 45% PE reciclado; 10% outros.	100.000 m <sup>2</sup> em rolo	0,4 €/mm <sub>espessura</sub> /m <sup>2</sup> de rolo

Assim, com base nos contactos estabelecidos, obteve-se os seguintes resultados gerais:

- **Alumínio:** 1500-2000 €/ton
- **Cabos:** 1400-4000 €/ton
- **Cobre:** 6000-7500 €/ton
- **Prata:** 400-500 €/Kg
- **Estanho:** 5000-15000 €/ton
- **Chumbo:** 1000-1700 €/ton
- **Granalha de vidro:** 0.30 € /Kg
- **EVA:** 0,4 €/mm<sub>espessura</sub>/m<sup>2</sup> de rolo

Contudo, é importante salientar que os preços indicados, para alguns materiais, têm cotação variável, sujeitos à cotação em bolsa dos metais (LME- *London Metal Exchange*) num determinado período.



## 4. Discussão e conclusão

O aumento da utilização de energia fotovoltaica implica a expansão da capacidade instalada, pelo que o crescente número de painéis fotovoltaicos exigirá uma estratégia de reciclagem e recuperação que precisa de ser estabelecida. A reciclagem de painéis fotovoltaicos é um processo longo e ainda inexistente em Portugal.

Ainda que o número de respostas obtidas neste estudo tenha ficado aquém do esperado, o que revela que este tema ainda não é visto como relevante para muitos *players* do mercado nacional, é notório o interesse de empresas nacionais para a maioria dos materiais que compõem os painéis fotovoltaicos, nomeadamente alumínio, vidro temperado, EVA, silício e cobre triturado.

As características dos materiais serão um requisito importante para este processo, já que ao longo dos contactos com as empresas, algumas delas suscitaram interesse em receber amostras dos materiais. Seria de interesse, no futuro, realizar análises físico-químicas aos materiais, de modo a verificar a sua composição e nível de pureza, imediatamente após o processo de reciclagem dos painéis fotovoltaicos.

As empresas de maior dimensão e da região Norte foram as que demonstraram um maior interesse na incorporação destes materiais, todavia a amostragem é pequena para se retirarem conclusões significativas. Seria proveitoso analisar a possibilidade de se criar simbioses industriais, percebendo localmente o interesse de empresas próximas na troca de recursos e benefícios.

Ao longo deste estudo, constatou-se que a aquisição de dados para estas ações ainda é um desafio, levando à necessidade de impulsionar a comunicação entre as organizações, reduzir o sigilo empresarial e promover as sinergias, trazendo benefícios para ambas as partes, para a sociedade e para o país.

É recomendado que a reciclagem se torne comercialmente necessária, tornando os fabricantes responsáveis pela recuperação de materiais de painéis fotovoltaicos, dando todas as informações necessárias sobre os materiais constituintes, ou dando incentivos à aquisição destes materiais por parte de empresas, cuja área de negócio seja viável.

Desta forma, seria possível atingir a viabilidade económica e o interesse por parte das indústrias seria redobrado, reduzindo a extração de matérias-primas virgens e contribuindo para uma economia circular.

## 5. Referências

João Labrincha, P. S. (2020). *Relatório final do Projeto WEEECYCLE*. Universidade de Aveiro.  
London Metal Exchange. (s.d.). <https://www.lme.com/>.

## 6. Anexos

### 6.1. Anexo A- Formulário enviado aos associados da E-Cycle

Na Figura 38 a 41 está apresentado o formulário enviado aos associados da E-Cycle.

## Estudo de valorização/reutilização de materiais resultantes do desmantelamento de painéis fotovoltaicos.

O INEGI – Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial, que é um Centro de Tecnologia e Inovação reconhecido pela ANI, e a E-Cycle - Associação de Produtores de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos, Entidade Gestora de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos, estão a desenvolver neste momento um **estudo de análise de viabilidade técnico-económica para a implementação de processos de reciclagem de painéis fotovoltaicos e valorização/reutilização dos respetivos materiais resultantes em novos processos produtivos.**

No âmbito deste projeto existe necessidade de identificar potenciais empresas interessadas na aquisição destes materiais resultantes para valorização na sua atividade económica, sem qualquer compromisso, de forma a identificar o potencial de mercado destas soluções, uma vez que se estima que nos próximos anos haverá uma crescente adesão à instalação dos mesmos e consequentemente no futuro, no momento do seu descarte, estarão disponíveis vários materiais aquando do fim de vida dos painéis. Assim, vimos em nome do INEGI contactá-los, no sentido de perceber **se alguns destes materiais provenientes do desmantelamento de painéis fotovoltaicos seriam de interesse para a sua empresa.**

Os resultados do estudo serão apresentados no dia 13 de dezembro num webinar organizado pela E-Cycle, para o qual será convidado posteriormente.

Os dados recolhidos neste inquérito serão confidenciais.

Com este projeto, o INEGI e a E-Cycle, em conjunto com a sua colaboração, esperam poder contribuir para um mundo mais sustentável e mais apto aos desafios tecnológicos que se avizinham.

Muito agradecemos a sua atenção e a colaboração neste estudo. Para qualquer questão estamos disponíveis.

**\*Obrigatório**

1. Nome da empresa \*

Figura 38 - Formulário de identificação potenciais empresas interessadas na aquisição de diferentes materiais provenientes de painéis fotovoltaicos enviado aos associados E-Cycle.

E-mail de contacto \*

---

Telefone de contacto \*

---

**1- Quais seriam os materiais que estariam interessados em adquirir e incorporar no seu negócio (após caracterização adequada)? \***

*Marcar tudo o que for aplicável.*

- 1) Perfil de alumínio e Alumínio triturado
- 2) Vidro temperado (triturado ou inteiro)
- 3) EVA (acetato-vinilo de etileno) triturado (camada polimérica)
- 4) Silício triturado
- 5) Tedlar triturado
- 6) Cabos (triturados ou inteiros)
- 7) Cobre triturado (resultado dos condutores internos)
- 8) Prata triturada
- 9) Estanho ou chumbo
- Nenhum, não estou interessado

**2- Quais são as características essenciais que estes materiais requerem para o seu negócio? \***

*Marcar tudo o que for aplicável.*

- Sem impurezas
- Dimensão
- Forma
- Composição química
- % de pureza
- Outra: \_\_\_\_\_

Figura 39 - Continuação do formulário enviado aos associados E-Cycle.

**3- É produtor/fabricante? \***

Marcar apenas uma oval.

Sim    *Avançar para a pergunta 7*

Não    *Avançar para a pergunta 9*

Parte 2/3

**4- Em que produto o material é incorporado?**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**5- Em que processos produtivos é que incorpora o material?**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

*Avançar para a pergunta 10*

Parte 2/3

**6- É intermediário/revendedor? \***

Marcar apenas uma oval.

Sim    *Avançar para a pergunta 10*

Não

Parte 3/3

Figura 40 - Continuação do formulário enviado aos associados E-Cycle.



MAIS DE 35 ANOS  
A CONVERTER  
CONHECIMENTO  
EM VALOR

**INEGI - Instituto de Ciência e Inovação  
em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial**

Campus da FEUP | Rua Dr. Roberto Frias, 400 | 4200-465 Porto | PORTUGAL  
T. +351 22 957 87 10 | F. +351 22 953 73 52 | [inegi@inegi.up.pt](mailto:inegi@inegi.up.pt)

[www.inegi.pt](http://www.inegi.pt)

