



ESTUDO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA AO ABRIGO DO REGULAMENTO DO SGCIE

MIGUEL ALEXANDRE FERREIRA ALVES PEREIRA

novembro de 2021

ESTUDO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA AO ABRIGO DO REGULAMENTO DO SGCIE

Miguel Alexandre Ferreira Alves Pereira



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia

2021

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Miguel Alexandre Ferreira Alves Pereira, Nº 1161224, 1161224@isep.ipp.pt

Orientação científica: Prof. Dr. Custódio João Pais Dias, cpd@isep.ipp.pt

Empresa: IEP

Supervisão: Dr. Modesto Cerqueira de Moraes, cm@iep.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2021

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Custódio João Pais Dias, pelas oportunidades de trabalho e de aprendizagem que me proporcionou, pela disponibilidade demonstrada ao longo deste processo, e pelo sentido crítico com que acompanhou o desenvolvimento do meu trabalho.

Agradeço também ao IEP nas pessoas da sua direção, e em particular ao Doutor Modesto de Moraes, e aos Engenheiros Vasco Nogueira e Miguel Lopes, sobretudo pelos conselhos dados e por um espírito de equipa contagiante, que muito enriqueceu a minha experiência na empresa.

Agradeço, por fim, aos meus pais, irmão, namorada, e amigos, pelas palavras de incentivo ao longo de o meu percurso académico.

Resumo

O presente relatório dá expressão ao trabalho realizado em contexto de estágio curricular no IEP, e enquadra-se no âmbito da unidade curricular de Dissertação/Estágio do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia, do ISEP.

As medidas para a indústria que o Plano Nacional Energia e Clima (PNEC 2030) considera indispensáveis para assegurar a concretização dos objetivos e metas para o país, em matéria de energia e clima, focam-se sobretudo na redução do consumo de energia primária, e na promoção da inovação, tendo em vista a eficiência e a descarbonização.

É nesta contextura que a monitorização dos consumos energéticos de instalações consumidoras intensivas de energia, e a avaliação dos impactos das medidas implementadas no quadro das obrigações regulamentares do Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), ganham sentido instrumental, permitindo não só aferir o grau de concretização dos objetivos, como também fornecer informação suscetível de ser mobilizada para processos de melhoria.

Sendo este o ambiente normativo e institucional do objeto da investigação, procedeu-se à avaliação da eficácia das medidas implementadas em oito indústrias distintas, todas sujeitas à realização de uma auditoria energética (AE) e de um Plano de Racionalização dos Consumos de energia (PREn).

Numa segunda fase, elaborou-se um projeto fotovoltaico (FV) para autoconsumo, para uma das oito empresas estudadas, com o objetivo de fazer uma análise comparativa, usando como referência o proposto no PREn da empresa pelo IEP.

Numa terceira e última fase, e devido ao cariz intermitente da energia fotovoltaica, foram estudados sistemas de armazenamento de energia com recurso a baterias mecânicas, a implementar como complemento ao sistema FV. Esta hipótese de trabalho, contudo, não foi validada pela evidência empírica, não se apresentando, por enquanto, como uma solução competitiva, por razões de rentabilidade.

Palavras-Chave

Eficiência energética; Consumidores intensivos de energia; Auditoria energética; Sistema fotovoltaico para autoconsumo; Flywheels.

Abstract

This report gives expression to the work carried out in the context of a curricular internship at IEP, and falls within the scope of the curricular unit of the Master's Dissertation/Internship in Electrotechnical Engineering – Electrical Energy Systems, at ISEP.

The measures for industry that the National Energy and Climate Plan (PNEC 2030) considers essential to ensure the achievement of the country's goals and targets, in terms of energy and climate, are mainly focused on reducing primary energy consumption, and in promoting innovation, with a view to efficiency and decarbonization.

It is in this context that the monitoring of energy consumption of intensive energy consuming installations, and the assessment of the impacts of the measures implemented within the framework of the regulatory obligations of the Intensive Energy Consumption Management System (SGCIE), gain an instrumental meaning, allowing not only to measure the degree of achievement of objectives, as well as providing information that can be mobilized for improvement processes.

This being the normative and institutional environment of the object of the investigation, the effectiveness of the measures implemented in eight different industries was evaluated, all subject to an energy audit (AE) and an Energy Consumption Rationalization Plan (PREn).

In a second phase, a photovoltaic (PV) project for self-consumption was elaborated for one of the eight companies studied, with the objective of making a comparative analysis, using as reference the proposal in the company's PREn by the IEP.

In a third and final phase, and due to the intermittent nature of photovoltaic energy, energy storage systems were studied using mechanical batteries, to be implemented as a complement to the PV system. This working hypothesis, however, was not validated by empirical evidence, not presenting itself, for the time being, as a competitive solution, for reasons of profitability.

Keywords

Energy efficiency; Energy intensive consumers, Energy auditing; Photovoltaic system for self-consumption; Flywheels.

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE TABELAS	XXI
ACRÓNIMOS	XXV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO	2
1.2.OBJETIVOS	7
1.3.CALENDARIZAÇÃO	7
1.4.ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	8
2. A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA	11
2.1.ENQUADRAMENTO LEGAL	14
2.2.O SGCIE	18
3. GESTÃO DE ENERGIA	22
3.1.INDICADORES ENERGÉTICOS	23
3.1.1 Intensidade Energética	23
3.1.2 Consumo Específico de Energia	24
3.1.3 Intensidade Carbónica	25
3.1.4 Valor Acrescentado Bruto	25
3.2.AUDITORIAS ENERGÉTICAS	26
4. MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	29
4.1.MEDIDAS TRANSVERSAIS	30
4.1.1 ILUMINAÇÃO	31
4.1.2 PRODUÇÃO DE CALOR E FRIO	33
4.1.3 MOTORES ELÉTRICOS E VARIADORES ELETRÓNICOS DE VELOCIDADE	35
4.1.4 EFICIÊNCIA DO PROCESSO INDUSTRIAL/OUTROS	36
4.1.5 INTEGRAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS	37
4.1.6 AR COMPRIMIDO	38

4.2.MEDIDAS SETORIAIS	39
4.2.1 INDÚSTRIA ALIMENTAR E DE BEBIDAS.....	39
4.2.2 INDÚSTRIA DE TÊXTIL E VESTUÁRIO	40
4.2.3 INDÚSTRIA DE PRODUTOS MINERAIS NÃO METÁLICOS	42
4.2.4 OUTRAS INDÚSTRIAS PRESENTES NO SGCIE	43
5. ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA	46
5.1.ESTUDOS ANTECEDENTES	46
5.1.1 EMPRESA A	46
5.1.2 EMPRESA B	47
5.1.3 EMPRESA C	48
5.1.4 EMPRESA D	48
5.1.5 EMPRESA E	49
5.1.6 EMPRESA F.....	50
5.1.7 EMPRESA G.....	51
5.1.8 EMPRESA H.....	52
5.1.9 RESUMO DOS ESTUDOS DE CASO.....	52
5.2.IMPACTO DAS AUDITORIAS ENERGÉTICAS NA PRODUTIVIDADE INDUSTRIAL.....	53
5.2.1 PRODUTIVIDADE DA EMPRESA A	54
5.2.2 PRODUTIVIDADE DA EMPRESA B	59
5.2.3 PRODUTIVIDADE DA EMPRESA C	64
5.2.4 RESUMO DO IMPACTO DAS AUDITORIAS ENERGÉTICAS NA PRODUTIVIDADE INDUSTRIAL.....	69
5.3.EFICÁCIA DAS MEDIDAS IMPLEMENTADAS NOS DIVERSOS SETORES INDUSTRIAIS.....	71
5.3.1 MEDIDAS SETORIAIS E TRANSVERSAIS APLICADAS NOS ESTUDOS DE CASO	71
5.3.2 EFICÁCIA DAS MEDIDAS IMPLEMENTADAS NOS ESTUDOS DE CASO	72
5.3.2.1. SUBSTITUIÇÃO DA ILUMINAÇÃO.....	72
5.3.2.2. ELIMINAÇÃO DE FUGAS DE AR COMPRIMIDO	73
5.3.2.3. IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA AUTOCONSUMO	74
5.3.2.4. SUBSTITUIÇÃO DE MOTORES E UTILIZAÇÃO DE VEV.....	76
5.3.2.5. MONITORIZAÇÃO DOS CONSUMOS DE ENERGIA	77
5.3.2.6. FORMAÇÃO E SENSIBILIZAÇÃO ENERGÉTICA	78
5.3.3 RESUMO DA EFICÁCIA DAS MEDIDAS IMPLEMENTADAS	80
5.4.CASO DE ESTUDO – PROJETO FOTOVOLTAICO PARA AUTOCONSUMO NA EMPRESA E.....	88
5.4.1 CARATERIZAÇÃO DO LOCAL DA INSTALAÇÃO.....	88
5.4.2 DADOS METEOROLÓGICOS DA REGIÃO	90
5.4.3 CARATERIZAÇÃO ENERGÉTICA DA EMPRESA	91
5.4.4 LEGISLAÇÃO	95
5.4.5 ESCOLHA DOS MÓDULOS FV	95
5.4.6 RECONSTRUÇÃO DO MODELO 3D.....	95
5.4.7 ESTUDO DO SOMBREAMENTO	96
5.4.8 DISTRIBUIÇÃO DOS MÓDULOS PELOS INVERSORES.....	98
5.4.9 SIMULAÇÃO NO PVSYSYD	99
5.4.10 ANÁLISE ENERGÉTICA.....	100
5.4.11 CÁLCULO DAS ECONOMIAS GERADAS.....	102

5.4.12	DIMENSIONAMENTO DA CABLAGEM	103
5.4.13	DIMENSIONAMENTO DAS PROTEÇÕES	107
5.4.13.1	DISJUNTOR	107
5.4.13.2	PROTEÇÃO DIFERENCIAL	108
5.4.13.3	DISPOSITIVO DE CORTE GERAL	108
5.4.13.4	DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO CONTRA SOBRETENSÕES	109
5.4.13.5	LIGAÇÃO À TERRA	109
5.4.14	ESQUEMAS UNIFILARES	109
5.4.15	MAPA DE QUANTIDADES	109
5.4.16	ANÁLISE FINANCEIRA	111
5.4.16.1.	VALOR ATUALIZADO LÍQUIDO (VAL).....	112
5.4.16.2.	TAXA INTERNA DE RENTABILIDADE (TIR).....	113
5.4.16.3.	PAYBACK	114
5.4.16.4.	ÍNDICE DE RENTABILIDADE (IR)	115
5.4.17	EVOLUÇÃO DOS INDICADORES ENERGÉTICOS	115
5.4.18	COMPARAÇÃO COM A MEDIDA PROPOSTA NO PRÉN	118
5.5.	CASO DE ESTUDO – ARMAZENAMENTO DE ENERGIA NA EMPRESA E	119
5.5.1	ESCOLHA DA BATERIA	119
5.5.2	CASO 1 – FLYWHEEL PARA PREENCHIMENTO DAS CAVAS DA PRODUÇÃO FV	121
5.5.3	CASO 2 – FLYWHEEL COMO ALTERNATIVA AO SISTEMA FV	126
5.5.4	CASO 3 – FLYWHEEL PARA SUPRIMIR AS HORAS DE PONTAS	129
5.5.5	CASO 4 E 5 – ARMAZENAMENTO EM BATERIAS QUÍMICAS DE ÍONS DE LÍTIO	131
5.5.6	COMPARAÇÃO DOS CASOS ESTUDADOS	133
6.	CONCLUSÕES	137
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	143
	ANEXO A. DATASHEET MÓDULO FV	150
	ANEXO B. RELATÓRIO DO SOMBREAMENTO	152
	ANEXO C. DATASHEET DO INVERSOR	153
	ANEXO D. RELATÓRIO DA SIMULAÇÃO NO PVSYSY	155
	ANEXO E. DATASHEET DISJUNTOR DE 50 A	157
	ANEXO F. DATASHEET DISJUNTOR DE 200 A	158
	ANEXO G. DATASHEET INTERRUPTOR DIFERENCIAL 63 A	159
	ANEXO H. DATASHEET DISPOSITIVO DE CORTE GERAL DE 200A	160
	ANEXO I. DATASHEET DO DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO CONTRA SOBRETENSÕES	161
	ANEXO J. ESQUEMAS UNIFILARES	162
	ANEXO K. ESTRUTURA PARA COLOCAÇÃO DE MÓDULOS FV	167
	ANEXO L. CASH-FLOWS DO PROJETO FV	168

ANEXO M. DATASHEET DA FLYWHEEL	169
ANEXO N. CASH-FLOWS DO CASO 1.....	171
ANEXO O. CASH-FLOWS DO CASO 2	172
ANEXO P. CASH-FLOWS DO CASO 3.....	173
ANEXO Q. CASH-FLOWS DOS CASOS 4 E 5	174

Índice de Figuras

Figura 1	Mix de produção de eletricidade em Portugal Continental[7]	3
Figura 2	Dependência energética na EU em 2018[4]	5
Figura 3	Estimativa de custos evitados com recurso a FER, em 2020 e 2030 (M€)[9]	6
Figura 4	Evolução do consumo de energia final por setor de atividade[4]	12
Figura 5	Consumo no setor industrial por fonte de energia[4]	13
Figura 6	Evolução do consumo final por setor industrial[10]	14
Figura 7	Metas a atingir de acordo com o regulamento do SGCIE[5]	19
Figura 8	Nº de registos de instalações no SGCIE das principais CAE[15]	20
Figura 9	Distribuição do consumo de energia por forma de energia[15]	20
Figura 10	Fórmula de cálculo do VAB utilizando o POC[18]	25
Figura 11	Fórmula de cálculo do VAB utilizando o SNC[19]	25
Figura 12	Fases de uma AE[16]	27
Figura 13	Potencial de redução global com recurso a medidas transversais e setoriais em 2018[20]	30
Figura 14	Circuito eletrónico de um VEV[26]	36
Figura 15	Ficha de Tecido Empresarial – Indústrias Alimentar e de Bebidas[31]	39
Figura 16	Ficha de Tecido Empresarial – Indústrias de Têxtil e Vestuário[32]	41
Figura 17	Ficha de Tecido Empresarial – Indústrias de Produtos Minerais não Metálicos[33]	42

Figura 18	Ficha de Tecido Empresarial – Indústrias da Borracha e do Plástico[34]	43
Figura 19	Ficha de Tecido Empresarial – Indústrias de Fileira de Aço[35]	44
Figura 20	Ficha de Tecido Empresarial – Indústrias de Base Florestal[36]	45
Figura 21	Evolução do CEE da empresa A entre 2009 e 2017	54
Figura 22	Evolução da IE da empresa A entre 2009 e 2017	54
Figura 23	Evolução da IC da empresa A entre 2009 e 2017	55
Figura 24	Relação entre consumo e produção da empresa A em 2009	56
Figura 25	Relação entre consumo e produção da empresa A em 2017	57
Figura 26	Variação do VAB e do consumo energético da empresa A	58
Figura 27	Evolução da produtividade da empresa A ao longo do período do PREn	58
Figura 28	Evolução do CEE da empresa B entre 2009 e 2017	59
Figura 29	Evolução da IE da empresa B entre 2009 e 2017	60
Figura 30	Evolução da IC da empresa B entre 2009 e 2017	60
Figura 31	Relação entre o consumo e produção da empresa B em 2009	62
Figura 32	Relação entre o consumo e produção da empresa B em 2017	62
Figura 33	Variação do VAB e do consumo energético da empresa B	63
Figura 34	Evolução da produtividade ao longo do período do PREn	64
Figura 35	Evolução do CEE da empresa C entre 2009 e 2017	65
Figura 36	Evolução da IE da empresa C entre 2009 e 2017	65
Figura 37	Evolução da IC da empresa C entre 2009 e 2017	66
Figura 38	Relação entre consumo e produção da empresa C em 2009	67

Figura 39	Relação entre consumo e produção da empresa C em 2017	67
Figura 40	Variação do VAB e do consumo energético da empresa C	68
Figura 41	Evolução da produtividade ao longo do período do PReN	69
Figura 42	Redução das emissões de CO ₂ e do consumo energético por medida estudada	80
Figura 43	Redução média do CEE por medida	81
Figura 44	Redução média da IE por medida	81
Figura 45	Redução média da IC por medida	82
Figura 46	Investimento médio das medidas estudadas	83
Figura 47	Economia anual de custos média das medidas estudadas	83
Figura 48	Payback médio das medidas estudadas	84
Figura 49	Vista aérea dos edifícios da empresa E	88
Figura 50	Vista lateral dos edifícios da empresa E	89
Figura 51	Área da instalação dos módulos FV	89
Figura 52	Representação de um modelo 3D do edifício A, no SketchUp	90
Figura 53	Trajetória do Sol no local de instalação	91
Figura 54	Variação dos consumos energéticos entre 2016 e 2020	92
Figura 55	Distribuição do período faturado em 2020	95
Figura 56	Colocação dos módulos FV com recurso ao plugin Skelion, do SketchUp	96
Figura 57	Modelo 3D final, utilizando o SketchUp	97
Figura 58	Suporte dos módulos utilizando o SketchUp	97

Figura 59	Distribuição mensal dos consumos com produção FV	102
Figura 60	Evolução dos CFL ao longo de 25 anos de vida do projeto	112
Figura 61	Evolução da IE entre 2016 e 2020	116
Figura 62	Evolução do CEE entre 2016 e 2020	116
Figura 63	Evolução da IC entre 2016 e 2020	117
Figura 64	Esquema de ligação entre uma flywheel e a rede [49]	120
Figura 65	Ciclo horário semanal MT para o Verão [50]	121
Figura 66	Ciclo horário semanal MT para o Inverno [50]	122
Figura 67	Comparação dos consumos finais com FV e com flywheels	128

Índice de Tabelas

Tabela 1	Tabela-resumo das variáveis obtidas no ano de referência de cada estudo de caso	53
Tabela 2	Indicadores energéticos no ano de referência de cada estudo de caso	53
Tabela 3	Tabela-resumo do cumprimento das metas de redução propostas nas empresas A, B e C	70
Tabela 4	Comparação da produtividade entre as empresas A, B e C	70
Tabela 5	Parâmetros energéticos da substituição da iluminação	73
Tabela 6	Parâmetros económicos da substituição da iluminação	73
Tabela 7	Parâmetros energéticos da eliminação de fugas de ar comprimido	74
Tabela 8	Parâmetros económicos da eliminação de fugas de ar comprimido	74
Tabela 9	Parâmetros energéticos da implementação de um sistema FV	75
Tabela 10	Parâmetros económicos da implementação de um sistema FV	75
Tabela 11	Parâmetros energéticos da substituição de motores e utilização de VEV	76
Tabela 12	Parâmetros económicos da substituição de motores e utilização de VEV	77
Tabela 13	Parâmetros energéticos da monitorização dos consumos de energia	78
Tabela 14	Parâmetros económicos da monitorização dos consumos de energia	78
Tabela 15	Parâmetros energéticos da formação e sensibilização energética	79
Tabela 16	Parâmetros económicos da formação e sensibilização energética	79
Tabela 17	Percentagem de redução do consumo de energia por medida	85

Tabela 18	Porcentagem de redução do consumo de energia por medida “isolada”	86
Tabela 19	Evolução dos consumos energéticos entre 2016 e 2020	92
Tabela 20	Evolução das variáveis de cálculo dos indicadores energéticos	93
Tabela 21	Variação dos indicadores energéticos entre 2016 e 2020	93
Tabela 22	Variação da potência contratada em 2020	94
Tabela 23	Custos do consumo de eletricidade em 2020	94
Tabela 24	Distribuição dos módulos FV pelos inversores	99
Tabela 25	Energia produzida e consumida anualmente após simulação	101
Tabela 26	Custo final e poupança gerada	102
Tabela 27	Tipo e quantidade de cabo prevista	107
Tabela 28	Mapa de quantidades do projeto FV	110
Tabela 29	Variação dos indicadores energéticos	117
Tabela 30	Parâmetros para proposta da medida do PREn	118
Tabela 31	Parâmetros para proposta do projeto FV realizado	118
Tabela 32	Ciclo semanal opcional MT para o Verão e Inverno	122
Tabela 33	Ciclo semanal opcional MT para o Verão e Inverno	125
Tabela 34	Valores dos critérios da avaliação económica do caso 2	127
Tabela 35	Valores de hora de ponta no ano de 2020	129
Tabela 36	Valores dos critérios da avaliação económica do caso 3	130
Tabela 37	Valores dos critérios da avaliação económica do caso 4	132
Tabela 38	Valores dos critérios da avaliação económica do caso 5	132

Tabela 39 Tabela-resumo dos casos de estudo do armazenamento de energia elétrica134

Acrónimos

AC	-	Ar condicionado
ADENE	-	Agência para a Energia
AE	-	Auditoria energética
APREN	-	Associação Portuguesa de Energias Renováveis
AQS	-	Água quente sanitária
ARCE	-	Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia
AT	-	Alta tensão
BT	-	Baixa tensão
CA	-	Corrente alternada
CAE	-	Classificação portuguesa de Atividade Económica
CC	-	Corrente contínua
CEE	-	Consumo Específico de Energia
CFC	-	Clorofluorcarbonetos
CFE	-	Cash-Flows de Exploração
CFI	-	Cash-Flows de Investimento
CFL	-	Cash-Flows Líquidos
CIE	-	Consumidor Intensivo de Energia
CQNUAC	-	Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas para

as Alterações Climáticas

CTS	-	Condições de teste standard
DGEG	–	Direção-Geral de Energia e Geologia
EDA	-	Eletricidade dos Açores
EEM	-	Eletricidade da Madeira
ERSE	-	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
ETAL	-	Estação de Tratamento de Águas Lixiviadas
FER	-	Fonte de Energia Renovável
FV	-	Fotovoltaico
GEE	–	Gases de Efeito de Estufa
IC	–	Intensidade Carbónica
IE	–	Intensidade Energética
IEP	-	Instituto Eletrotécnico Português
IR	-	Índice de Rentabilidade
IRC	-	Rendimento das Pessoas Coletivas
ISEP	-	Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISP	-	Imposto sobre os produtos petrolíferos e energéticos
LED	-	<i>Light emission diode</i>
MEESEE	–	Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia
MIBEL	-	Mercado Ibérico de Eletricidade
MT	-	Média tensão

OLMC	-	Operador Logístico da Mudança de Comercializador
OMIE	-	Operador Logístico da Mudança de Comercializador
ORD	-	Operador de Rede de Distribuição
PIB	-	Produto Interno Bruto
PNAC	-	Programa Nacional para as Alterações Climáticas
PNAEE	-	Plano Nacional de Ação em Eficiência Energética
PNALE	-	Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão
PNEC	-	Plano Nacional Energia e Clima
POC	-	Plano Oficial de Contas
PR	-	Índice de performance
PRE	-	Produção em Regime Especial
PREn	-	Planos de Racionalização dos Consumos de Energia
QGBT	-	Quadro Geral de Baixa Tensão
QGI	-	Quadro Geral dos Inversores
REN	-	Redes Energéticas Nacionais
REP	-	Relatório de Execução e Progresso
RESP	-	Rede Elétrica de Serviço Público
RGCE	-	Regulamento de Gestão do Consumo de Energia
RND	-	Rede Nacional de Distribuição
RNT	-	Rede Nacional de Transporte

RNTGN	- Rede Nacional de Transporte de Gás Natural
RNC	- Roteiro para a Neutralidade Carbónica
SNC	- Sistema de Normalização Contabilística
SGCIE	- Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
SGE	- Sistema de Gestão de Energia
SCADA	- Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados
TIR	- Taxa Interna de Rentabilidade
Tep	- Tonelada equivalente de petróleo
UE	- União Europeia
VAB	- Valor Acrescentado Bruto
VAL	- Valor Atualizado Bruto
VR	- Valor Residual
VEV	- Variador Eletrónico de Velocidade

1. INTRODUÇÃO

“Como diz o ditado, a Idade da Pedra não acabou porque ficamos sem pedras; fizemos a transição para soluções melhores. A mesma oportunidade está diante de nós com a eficiência energética e a energia limpa”.

– Steven Chu, Ex-secretário da Energia dos Estados Unidos da América

A eficiência energética traduz-se no uso de menos energia para realizar a mesma tarefa, ou seja, na eliminação do desperdício de energia. Apesar das tecnologias de energia renovável possuírem, no geral, os mesmos benefícios, a eficiência energética é a maneira mais barata, e normalmente mais imediata, de reduzir o uso dos combustíveis fósseis. Existem grandes oportunidades de melhoria da eficiência energética em diversos setores económicos, sejam eles em edifícios, transportes, indústrias, ou na produção de energia [1].

A eficiência energética é essencial na mitigação das alterações climáticas. Sendo 80% das fontes primárias de energia mundiais combustíveis fósseis, é difícil controlar a mudança climática antropogénica, visto exigir a diminuição dessa dependência. Existem dois tipos de resposta à mudança climática: a mitigação e a adaptação. A primeira consiste na intervenção humana para reduzir as fontes dos gases de efeito estufa (GEE) e potenciar os sumidouros de carbono, depósitos naturais (oceanos, florestas e solos) que absorvem o CO₂ presente na atmosfera. A segunda passa por um processo de ajustamento ao clima atual e futuro, e aos seus efeitos [2, 3].

Portugal, não sendo um país com recursos fósseis, tem vindo a estabelecer objetivos ambiciosos em várias vertentes, com o propósito de reduzir a sua dependência energética, aumentar a sustentabilidade da produção e uso da energia, e, a longo prazo, atingir a neutralidade carbónica em 2050. Em 21 de maio de 2020 foi aprovado o Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030), que define oito objetivos estratégicos, constituindo-se no principal instrumento de política energética da próxima década. Entre esses objetivos, a eficiência energética continua a ser uma prioridade [4].

No âmbito da Estratégia Nacional para a Energia, foi publicado o Decreto-Lei nº71/2008, de 15 de Abril, que por sua vez regulamenta o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia, conhecido por SGCIE. Aqui está definido que as infraestruturas industriais que apresentem consumos anuais superiores 500 tep/ano (toneladas equivalentes de petróleo) são consideradas Consumidores Intensivos de Energia (CIE), sendo, por isso, obrigadas a promover auditorias energéticas no contexto dos seus sistemas produtivos, tendo em vista a implementação de medidas de melhoria da sua eficiência na utilização das várias formas de energia incorporadas nos seus processos [5].

O presente trabalho é dedicado ao estudo da eficiência energética no setor industrial.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A energia passa por diversas fases antes de chegar ao consumidor final, que incluem a exploração dos recursos, a produção, o transporte, a distribuição, e, em alguns casos, o armazenamento. Portugal possui diversas fontes de energia de origem renovável. O aproveitamento destas fontes permite a produção de energia limpa, como a energia hídrica, eólica e solar. No entanto, de maneira a garantir que todas as necessidades energéticas do país sejam cumpridas, são utilizados recursos fósseis, como o carvão, o petróleo, e o gás natural, recursos estes que necessitam de serem importados. O petróleo vem maioritariamente de Angola e da Rússia, o gás natural da Argélia e da Nigéria, e o carvão da Colômbia [6].

Existem duas grandes cadeias de valores de fornecimento de energia ao consumidor: a **cadeia de valores da eletricidade** e a **cadeira de valores do gás natural**.

O **cadeia de valores da eletricidade** possui quatro fases, que se trata da produção, do transporte, da distribuição e do consumo. A eletricidade pode ter origem em fontes renováveis, ou em fontes não renováveis. Em Junho de 2021, foram gerados aproximadamente 25 mil GWh de eletricidade em Portugal Continental, sendo 71,30 % de origem renovável. A [figura 1](#) representa o mix de produção de eletricidade em Portugal Continental e o seu respetivo peso, com base nos dados da Redes Energéticas Nacionais (REN) e com a análise da Associação Portuguesa de Energias Renováveis (APREN) [7].

De referir que o gás natural representa mais de metade da utilização de recursos fósseis. Quanto às fontes renováveis, a produção hídrica possui a maior fatia da produção renovável (e não renovável) no país, seguido pela produção eólica.

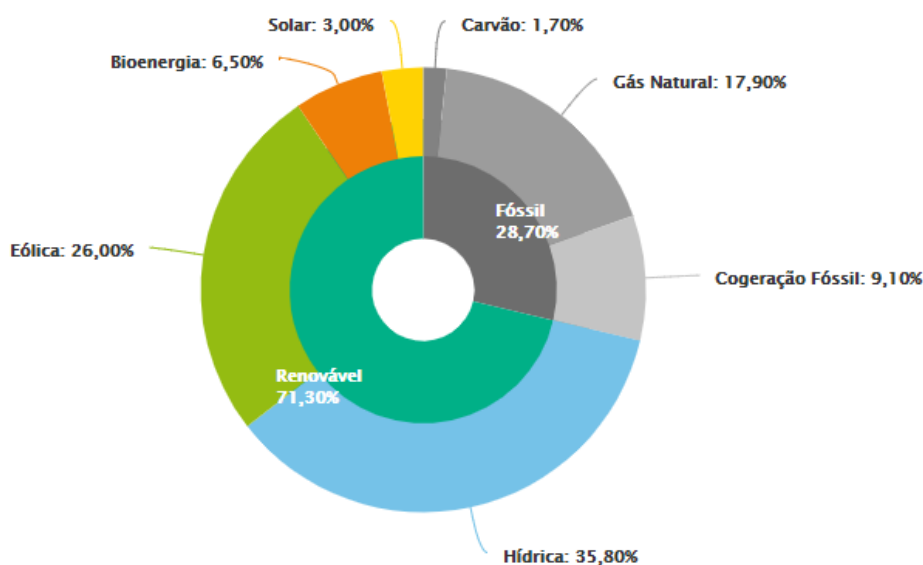


Figura 1 Mix de produção de eletricidade em Portugal Continental[7]

O transporte é realizado com recurso à Rede Nacional de Transporte (RNT), de muito alta tensão e de alta tensão (AT), operada sob concessão da empresa REN. A distribuição de energia é realizada sob a alçada da EDP Distribuição (agora E-REDES), empresa que exerce a atividade de Operador de Rede de Distribuição (ORD), em Portugal Continental. É o titular da concessão para a exploração da Rede Nacional de Distribuição (RND) em média tensão (MT) e AT, e das concessões municipais de distribuição de energia elétrica em baixa tensão (BT). Esta atividade é regulada pela Entidade Reguladora dos Serviços

Energéticos (ERSE). Nos Açores é a Eletricidade dos Açores (EDA) e na Madeira, a empresa de Eletricidade da Madeira (EEM). Finalmente, a energia elétrica é entregue ao consumidor de acordo com as suas necessidades. A atividade de comercialização está aberta a concorrência, e é possível o consumidor mudar livremente de comercializador. A Agência para a Energia (ADENE) é a instituição que exerce a atividade de Operador Logístico da Mudança de Comercializador (OLMC) [6, 8].

A **cadeia de valor do gás natural** está organizada em quatro etapas que constituem quatro áreas de negócio distintas: aprovisionamento, transporte, distribuição e utilização. Como Portugal não possui reservas de gás natural, este combustível fóssil é totalmente importado, principalmente da Argélia e da Nigéria, através do gasoduto Maghreb-Europa. Este recurso também é recebido no seu estado líquido, gás natural liquefeito, que chega nos navios-tanque que atracam no terminal de gás natural de Sines. O gás proveniente do gasoduto Maghreb-Europa é introduzido na Rede Nacional de Transporte de Gás Natural (RNTGN) em alta pressão, que é por sua vez operada pela REN Gasodutos. O gás liquefeito que chega a Sines é transformado na sua forma gasosa para ser introduzido na rede. O gás no gasoduto pode ser direcionado para os consumidores finais ou armazenado. O seu armazenamento é feito em cavernas subterrâneas. A sua concessão pertence à REN Armazenagem. A rede de distribuição de gás natural é constituído por empresas concessionárias, existindo onze distribuidores em Portugal Continental. Tal como no setor elétrico, a atividade de comercialização está aberto a concorrência, e é possível mudar livremente de comercializador [6, 8].

A eletricidade de origem renovável impacta em quatro vertentes: **no mercado de eletricidade; na dependência energética; no setor económico-social; e no setor ambiental** [9].

No **mercado de eletricidade**, a eletricidade produzida a partir de fontes renováveis tem impacto em diferentes parcelas das tarifas de eletricidade, afetando o preço de mercado grossista diário. Se não existisse Produção em Regime Especial (PRE) renovável, o preço da venda por MWh de eletricidade no mercado diário ibérico teria sido, em média, 24,2€ superior [9].

Nos últimos vinte anos, Portugal tem apresentado uma **dependência energética** entre 70% e 90%, por não ter fontes de energia fósseis, como o petróleo ou gás natural.

Como um dos objetivos da política energética nacional, pretende-se reduzir a dependência energética para 65% até 2030, tal como estabelecido no Plano Nacional Energia Clima (PNEC).

Em 2018, Portugal ocupava a 7ª posição na escala de maior dependência energética do exterior, cerca de 20% superior à média europeia, como é possível observar na [figura 2](#) [4].

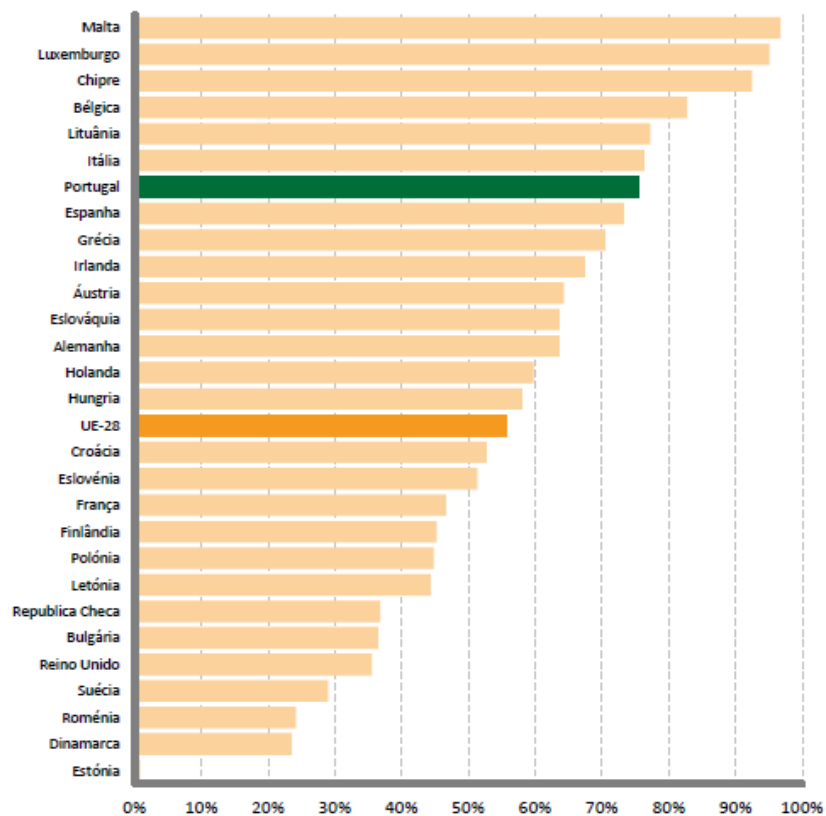


Figura 2 Dependência energética na EU em 2018[4]

A dependência energética de Portugal está relacionada à produção de hidroeletricidade, sendo tanto quanto quanto menor for a produção hídrica. No entanto, Portugal também exporta produtos energéticos, nomeadamente produtos derivados do petróleo, energia elétrica, biomassa e biocombustíveis [4].

Em 2018, pouparam-se aproximadamente 1,2 mil milhões de euros em importações de combustíveis fósseis para produção de eletricidade. Prevê-se que até 2030 estas poupanças ultrapassem os 27 mil milhões de euros [9].

A dependência energética em 2019 foi de 74,2%, tendo descido 1,7% comparativamente a 2018. Essa descida deve-se sobretudo à redução das importações de carvão de origem fóssil, e a um aumento das exportações de biomassa [10].

O **setor económico-social** foi avaliado pelo impacto no Produto Interno Bruto (PIB) e pelo efeito indireto gerado nos restantes setores económicos e no emprego criado. Estima-se que até 2030, a contribuição das fontes de energia renováveis seja 11 mil milhões de euros, cerca de 4,6% do PIB, e que existam um total de 160 mil empregos nesta área. Também se prevê que a contribuição anual para a segurança Social chegue a 116 milhões de euros, e a um total acumulado de cerca de 6 mil milhões de euros se contarmos com o Imposto sobre o Rendimento das Pessoas Coletivas (IRC) e Derrama Municipal [9].

Finalmente, no **setor ambiental**, o principal aspeto a considerar são as reduções das emissões de CO₂, decorrentes destas formas de produção renováveis. Realmente, entre 2014 e 2018, evitaram-se 55 milhões de toneladas de CO₂, e pouparam-se mais de 427 milhões de euros com licenças de CO₂. Estima-se que até 2030 esta redução de emissões seja por volta de 6,7% por ano. A **figura 3** representa a evolução do impacto de cada fonte de energia renovável (FER) na redução das emissões de CO₂, e na redução de custos com licenças CO₂ [9].

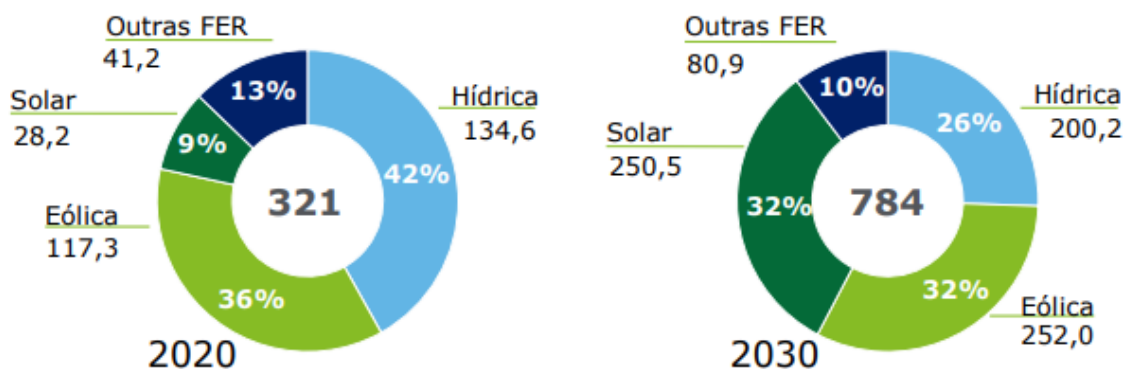


Figura 3 Estimativa de custos evitados com recurso a FER, em 2020 e 2030 (M€)[9]

Em 2030, o custo evitado com licenças de CO₂ será o dobro do valor obtido em 2020, e a energia solar e eólica apresentarão o maior crescimento nesse âmbito.

1.2. OBJETIVOS

Os objetivos desta dissertação consistem na realização de um estudo sobre as medidas de eficiência energética na indústria, de acordo com as obrigações regulamentares do SGCIE.

Pretendeu-se, aproveitando a experiência do IEP na área da eficiência energética, realizar uma avaliação retrospectiva para avaliar o real impacto dessas mesmas auditorias na produtividade das respetivas unidades industriais.

Procurou-se igualmente projetar medidas de eficiência mais arrojadas, uma vez que, após cada ciclo de implementação, se tornam mais difícil as reduções de consumo. Foi o caso de um projeto de um sistema FV para autoconsumo numa das empresas estudadas.

Como complemento ao projeto FV realizado, estudou-se o armazenamento de energia com recurso a baterias mecânicas, e a posterior comparação com baterias químicas, de um ponto de vista energético e económico.

No geral, procuraram-se soluções técnicas e economicamente viáveis, que promovessem a eficiência energética na indústria e, conseqüentemente, reduzissem as emissões dos GEE.

A única ferramenta de cálculo e análise de dados convencionais usada foi o Excel. No projeto FV usou-se o simulador PVSyst, o Google Earth, o SketchUp, com o plugin Skelion incluído, de maneira a ser possível representar o projeto num modelo 3D.

1.3. CALENDARIZAÇÃO

O estágio não seguiu um programa de atividades previamente definido. O trabalho dividiu-se por 7 meses, dos quais 3 foram em casa, e 4 presencialmente no IEP. Na primeira parte foram analisadas oito empresas abrangidas pelo SGCIE, todas com uma AE a ser realizada ou já finalizada. Na segunda parte, já no IEP, foram realizados os estudos e trabalhos já referidos. O plano de trabalho esteve sujeito a alterações consoante o seu desenvolvimento e as conclusões obtidas.

De uma maneira muito sucinta, as tarefas realizadas têm a seguinte ordem cronológica:

1. Análise de oito empresas abrangidas pelo SGCIE;
2. Estudo do impacto das auditorias energéticas na produtividade industrial em três empresas cuja AE já tinha finalizado;
3. Estudo da eficácia das medidas implementadas nas oito empresas analisadas;
4. Realização do estudo da implementação do sistema FV para autoconsumo numa das empresas analisadas;
5. Realização do estudo de sistemas de armazenamento de energia para a mesma empresa onde seria implementado o sistema FV.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

Este relatório encontra-se dividido em seis capítulos.

No [Capítulo 1](#) é feita a introdução ao tema e a contextualização do trabalho sobre o panorama energético em Portugal. Para além disso, são apresentados os objetivos, a estrutura da dissertação, e a calendarização do trabalho realizado.

No [Capítulo 2](#) é abordado o enquadramento legal e objetivos do SGCIE, e são descritas as metas e as etapas que as instalações CIE têm de realizar. É também apresentada uma análise estatística das indústrias inscritas no SGCIE.

No [Capítulo 3](#) é introduzida a gestão de energia, onde são apresentados os principais indicadores energéticos, a constituição das auditorias energéticas, bem como alguns equipamentos de monitorização e medição.

No [Capítulo 4](#) são discutidas as medidas de eficiências energética implementadas na indústria, sendo estas classificadas como transversais ou setoriais.

No [Capítulo 5](#) é realizado o trabalho propriamente dito. Em [5.1](#) são introduzidas oito empresas distintas, todas sujeitas a auditorias energéticas, três das quais já tinham finalizado o período de auditoria. Em [5.2](#), e utilizando as três empresas onde o período de auditoria já havia finalizado, foi estudado o impacto dessas AE na produtividade. Em [5.3](#),

agora recorrendo a todas as empresas estudadas, foi analisada a eficácia das medidas implementadas no respetivo setor industrial. Finalmente, e em função dos resultados obtidos, em 5.4 foi realizado um projeto FV para autoconsumo para uma dessas empresas anteriores onde já tinha sido previsto implementar um sistema FV. Concluído o projeto, em 5.5 foi estudada a possibilidade de complementar o sistema FV com armazenamento de energia estacionário, com recurso a baterias mecânicas denominadas flywheels.

O [Capítulo 6](#) é reservado para as conclusões obtidas na realização de todas as análises e projetos.

Finalmente, são identificadas as [referências bibliográficas](#).

A parte final do documento está destinada aos anexos.

2. A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA

A eficiência energética, para além de uma oportunidade de otimização, é cada vez mais uma necessidade. O setor da indústria consiste num dos setores com maiores consumos energéticos e com forte dependência de recursos energéticos não renováveis. Como é possível observar na [figura 4](#), em 2018, o setor dos transportes continuou a ser o principal consumidor de energia (35,7%), seguido do setor industrial (29,5%), setor doméstico (17,7%), setor dos serviços (14,2%) e em último lugar, o setor da agricultura e pesca (2,8%) [\[4, 11\]](#).

De referir que no setor dos serviços estão incluídos os serviços públicos, serviços privados de saúde e educação, o comércio, a hotelaria, a restauração, entre outros [\[4\]](#).

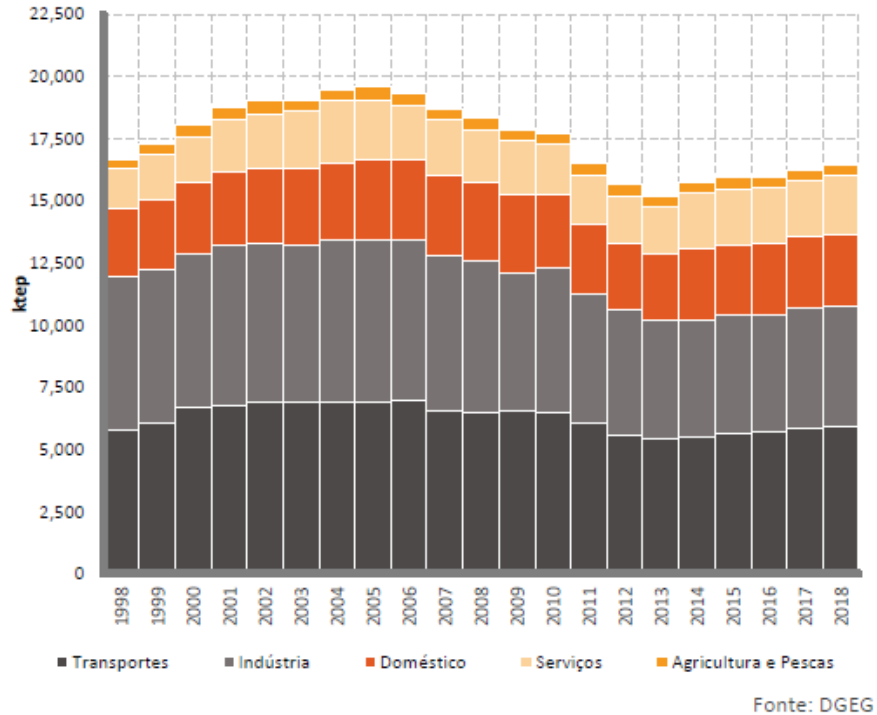


Figura 4 Evolução do consumo de energia final por setor de atividade[4]

O setor industrial propriamente dito inclui a indústria transformadora, a extrativa, construções e obras públicas. A [figura 5](#) apresenta o consumo na indústria, onde foi excluído o consumo próprio das refinarias e das centrais termoelétricas, tal como o consumo de produtos utilizados em fins não energéticos [4].

Em 2018, da totalidade de energia consumida na indústria, 31% correspondia a eletricidade, que aumentou 5% no decorrer da década em questão. A contribuição do petróleo apresentou uma descida significativa, de 22% para 13%, enquanto o gás natural aumentou de 18% para 26%. O calor proveniente da cogeração variou entre os 21% e os 29%. A biomassa apresenta a menor percentagem de contribuição para a leque de energia consumida no setor industrial.

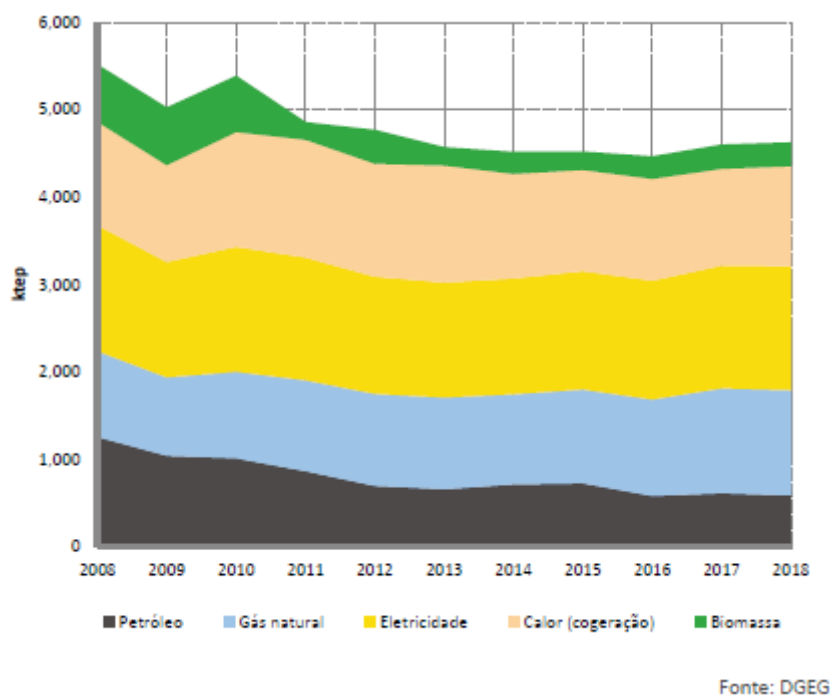


Figura 5 Consumo no setor industrial por fonte de energia[4]

Segundo o relatório do balanço energético da Direção Geral da Energia e Geologia (DGEG) correspondente ao ano de 2019, o consumo de energia primária manteve-se ao nível de 2018. A [figura 6](#) representa a evolução do consumo final do setor industrial, entre 2014 e 2019 [\[10\]](#).

Em 2019, o setor da pasta, papel e artigos de papel foi responsável por 30,2% do consumo na indústria. Logo de seguida a indústria dos minerais não metálicos (cerâmica, vidro e cimento) representou 21,8%. As industriais dos setores da química, plásticos e borracha representaram 11,8% do consumo, e a siderurgia, metalurgia e metalo-eleto-mecânicas contribuíram com 10% da totalidade de consumos. Os restantes setores têm apresentado cerca de 26% no período de tempo em estudo [\[10\]](#).

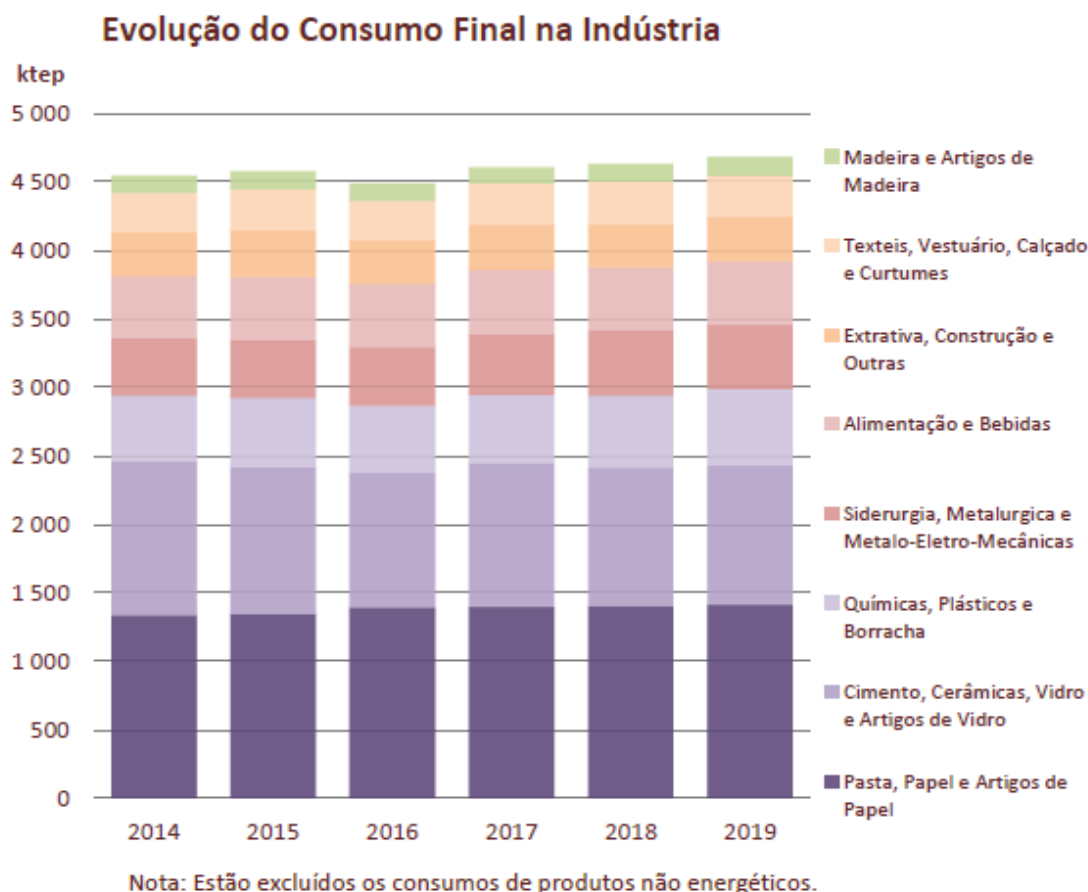


Figura 6 Evolução do consumo final por setor industrial[10]

2.1. ENQUADRAMENTO LEGAL

A Diretiva 2012/27/EU estabelece um conjunto de medidas com vista a alcançar 20% de eficiência energética até 2020, que significa que o consumo energético não deveria ser superior a 1483 Mtep de energia primária, ou 1086 Mtep de energia final [12].

Em 2015, no Acordo de Paris (AP) foram estabelecidos objetivos de longo prazo no âmbito da contenção do aumento da temperatura média global a um máximo de 2°C acima dos níveis pré-industriais, com um compromisso internacional de não ultrapassar 1,5°C, valor definido como máximo para garantir a continuação da vida no planeta sem nenhuma alteração disruptiva. Na Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (CQNUAC), realizada em 2016, Portugal assumiu o objetivo de atingir a Neutralidade Carbónica até 2050, tendo sido desenvolvido o Roteiro para a

Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050), publicado pela Resolução de Conselho de Ministros nº 107/2019, de 1 de julho. Em articulação com os objetivos do RNC2050, e sabendo que a década atual, 2021-2030, é essencial para obter maiores reduções das emissões de GEE, foram estabelecidas metas ambiciosas, encontradas no PNEC, que se trata do principal instrumento de política energética na década corrente, e num rumo a um futuro neutro em carbono [13].

Em 2018, e face ao AP, a Diretiva 2012/27/EU foi alterada, como parte do “*Clean energy for all Europeans package*”, de maneira a incidir até 2030 e além. Nesta diretiva atualizada, a meta de eficiência energética foi definida como 32,5% até 2030, significando que o consumo energético não deverá ultrapassar 1273 Mtep de energia primária, ou 956 Mtep de energia final. Depois da saída do Reino-Unido, os valores foram estabelecidos em 1128 Mtep e 846 Mtep, com a nomenclatura apresentada anteriormente [12].

Em Portugal, existem diversas normas e estratégias legais que definem as metas e objetivos a alcançar [14]. Assim, por ordem cronológica, os documentos legais de maior relevância são:

- Portaria nº228/90, de 27 de março

Foi colocado em execução o primeiro Regulamento da Gestão do Consumo de Energia, com aplicação às instalações CIE. Devido à dificuldade de aplicação deste Regulamento ao setor dos transportes, que é responsável por um elevado consumo de energia primária, é aprovado um regulamento próprio, denominado Regulamento da Gestão do Consumo de Energia para o Setor dos Transportes.

- Resolução do Conselho de Ministros nº169/2005, de 24 de outubro

Aprovada a Estratégia Nacional para a Energia, que prevê como uma das medidas para promoção de eficiência energética a reforma do Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (RGCE), com o objetivo de atualizá-lo conforme as novas exigências relativamente à emissão de GEE, e de promover acordos para utilização racional de energia.

- Resolução do Conselho de Ministros nº104/2006, de 23 de agosto

É aprovado o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC 2006), atualizado a partir do PNAC 2004 estabelecido na Resolução do Conselho de Ministros nº119/2004, de 31 de julho, e são estabelecidas três medidas adicionais para o setor da indústria: alteração do imposto sobre os produtos petrolíferos e energéticos (ISP) como mecanismo de redução dos GEE; definição de um novo RGCE para promover a eficiência energético no setor industrial; revisão do RGCE para o setor dos transportes.

- Decreto-Lei nº71/2008, de 15 de abril

Regula o SGCIE e define quais as instalações são consideradas CIE, com uma extensão da sua aplicação a um conjunto mais abrangente de empresas e instalações, com vista ao aumento da sua eficiência energética, salvaguardando a respetiva base competitiva na perspetiva da economia global, e, ao mesmo tempo, que incentive a eficiência energética.

- Despacho nº17313/2008, de 26 de junho

São publicados os fatores de conversão para tep e dos fatores usados para o cálculo da Intensidade Carbónica (IC) pela emissão de GEE, referidos a quilograma de CO₂ equivalente (kg CO₂ equiv.). É previsto a verificação das quantidades e características das diferentes formas de energia consideradas da instalação CIE.

- Despacho nº17449/2008, de 27 de junho

São apresentados os elementos a considerar na realização de auditorias energéticas, na elaboração do PReN e nos relatórios de execução e progresso (REP).

- Portaria nº1530/2008, de 29 de dezembro

São fixadas as taxas do ISP relativo aos combustíveis industriais, quando estes são consumidos por empresas que não estejam abrangidas pelo Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE) ou por um Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE).

- Decreto-Lei nº319/2009, de 3 de novembro

São estabelecidos objetivos e instrumentos que devem ser utilizados para obter uma melhor relação custo-eficácia na melhoria da eficiência na utilização final de energia.

- Portaria nº320-D/2011, de 30 de dezembro

São fixadas as taxas do ISP aplicáveis no continente aos petróleos e aos fuelóleos, produtos petrolíferos com função de lubrificante, e a outros combustíveis industriais, como carvão e coque.

- Lei nº7/2013, de 22 de janeiro

É aprovado o regime de acesso e exercício das atividades de realização de auditorias energéticas, de elaboração de PReN e de REP, no âmbito do SGCIE, e no âmbito de aplicação do RGCE para o setor dos transportes, alterando o Decreto-Lei nº71/2008, de 15 de abril.

- Portaria nº111/2015, de 21 de abril

No âmbito da lei nº7/2013, de 22 de janeiro, vista anteriormente, é aqui estabelecido o valor das taxas aplicáveis aos pedidos de reconhecimento e registo de técnicos e de emissão de cartões de identificação de técnicos reconhecidos e registados no âmbito do SGCIE.

- Decreto-Lei nº68-A/2015, de 30 de abril

Transposição para a ordem jurídica interna a Diretiva nº2012/27/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro de 2012, das disposições relativas a eficiência energética e cogeração. É alterado pela segunda vez o Decreto-Lei nº71/2008, de 15 de abril, que regula o SGCIE, com o objetivo de promover a eficiência energética e de monitorizar os consumos energéticos em instalações CIE.

- Despacho nº6472/2016, de 17 de maio

É alterado o Código de Contas subjacente às rubricas de cálculo do Valor acrescentado bruto (VAB), no âmbito do SGCIE, no nº1.2 do Despacho nº17449/2008, de 27 de junho.

- Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020, de 10 de julho

Na Resolução do Conselho de Ministros nº53/2020, de 10 de julho, e em articulação com os objetivos RNC2050, foi aprovado o PNEC 2030, tornando-se no principal instrumento de política energética e climática nacional em vigor para a década atual, numa tentativa de alcançar uma eficiência energética de 32,5% em 2030, sendo este um período fundamental para obter a neutralidade carbónica em 2050.

2.2. O SGCIE

No âmbito da Estratégia Nacional para a Energia, foi publicado o Decreto-Lei nº71/2008, de 15 de abril, que regula o SGCIE, tendo já sido alterado pela Lei nº7/2013, de 22 de janeiro, e pelo Decreto-Lei nº68-A/2015, de 30 de abril. Este regulamento aplica-se às instalações CIE, que possuam consumos energéticos superiores ou iguais a 500 tep/ano, resultando da revisão RGCE, que se trata de uma medida constante do Plano Nacional de Ação em Eficiência Energética (PNAEE) [5].

O Decreto-Lei nº71/2008 define as instalações CIE, com o objetivo principal de aumentar a sua eficiência energética, sem desprezar a respetiva base competitiva no panorama económico nacional. O SGCIE antevê que as instalações CIE realizem auditorias energéticas de maneira a incidir sobre a utilização de energia e a promover a eficiência energética, com recurso a fontes de energia renováveis. Prevê igualmente a elaboração e execução dos PREn, que, quando aprovados, constituem ARCE, de acordo com os parâmetros da DGEG, onde o seu cumprimento está associado à obtenção de incentivos pelos operadores dessas instalações.

No âmbito da aplicação do Regulamento, é obrigatória a realização de auditorias energéticas e a elaboração do PREn que leve à melhoria de 6% ou 4% da Intensidade Energética (IE) e do Consumo Específico de Energia (CEE), quando se trata de instalações de consumo igual ou superior a 1000 tep/ano ou inferior àquele valor, respetivamente, durante um período de 8 anos, e à manutenção da IC. Após a aprovação do PREn por parte da DGEG, é constituído o ARCE, onde é associado a obtenção de incentivos com o seu cumprimento. O ARCE tem uma duração de 8 anos, sendo que em cada dois anos é realizado um REP. No total, são executados quatro REP. No último, denominado REP Final, é possível verificar se as metas foram alcançadas [5].

A [figura 7](#) apresenta as metas do PReN a cumprir, e o período definido entre cada etapa [5].

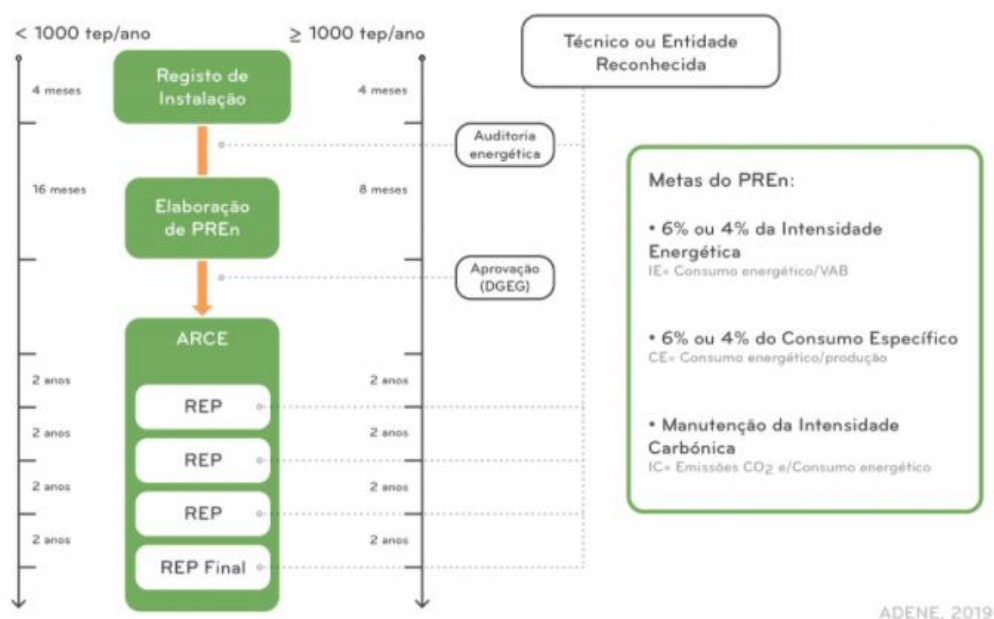


Figura 7 Metas a atingir de acordo com o regulamento do SGCIE[5]

A metodologia de cálculo dos indicadores energéticos previamente referidos será abordada em [3.1](#).

Desde a entrada em vigor do SGCIE até Agosto de 2021, foram registadas no sistema 1348 instalações. Em meados de 2016, o nº de instalações com um consumo menor que 1000 tep igualou o nº de instalações com consumo superior ou igual a 1000 tep. A partir de 2017, acabaria mesmo por ultrapassar, sendo cada vez maior a diferença entre as duas. Em 2021, 54% dos registos correspondem a empresas com consumo inferior a 1000 tep, tendo sido verificado um aumento de 22% desse tipo de registos desde 2008 [15].

De acordo com [4], em 2018, 60% das instalações CIE que se encontravam registadas no SGCIE estavam localizadas nos distritos de Porto (16%), Aveiro (15%), Braga (15%), e Lisboa (14%).

Relativamente ao setor de atividade, 33% das instalações registadas no SGCIE pertenciam ao setor das Indústrias Alimentares (14,2%), Fabricação de Têxteis (11,9%) e de Fabricação de Artigos de Borracha e de Matérias Plásticas (7,4%). A [figura 8](#), apresenta o

top 10 das Classificação portuguesa de Atividade Económica (CAE) com maior nº de registos de instalações em 2021 [15].

Top 10 das CAE com maior nº de Registos de Instalações

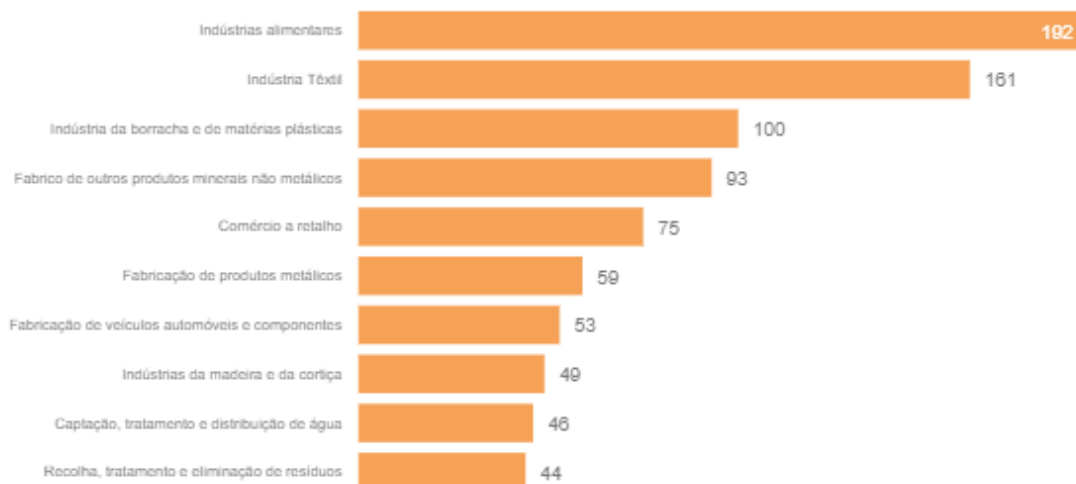


Figura 8 Nº de registos de instalações no SGCIE das principais CAE[15]

Como era de esperar, os diferentes tipos de indústrias necessitam de diferentes tipos de formas de energia para funcionarem. No mesmo âmbito, a figura 9 apresenta o top 10 da forma de energia mais consumida em 2021 [15].

Top 10 de consumo de energia por forma de energia

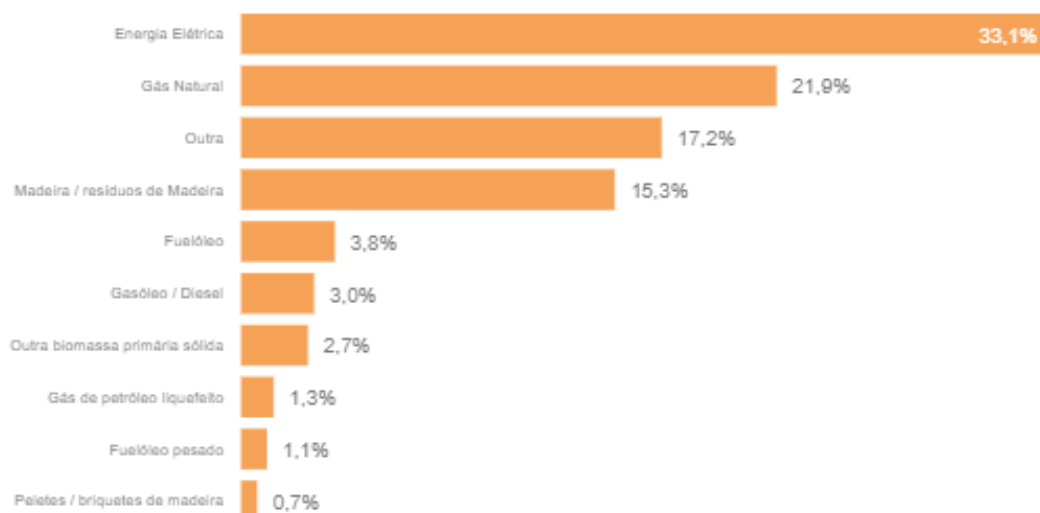


Figura 9 Distribuição do consumo de energia por forma de energia[15]

A energia elétrica e o gás natural em conjunto representam em média 50% do consumo total de energia em 2021.

A tipo de energia varia conforme o tipo de indústria. Por exemplo, a indústria alimentar possui maioritariamente consumo de energia elétrica e de gás natural. No entanto, o consumo de fuelóleo atingiu os 19,3%, enquanto a madeira/resíduos de madeira não foi praticamente utilizada, com apenas 0,2% na desagregação dos consumos de energia. A indústria têxtil apresenta uma utilização de gás natural acima dos 50%. A energia elétrica representa 27%, e não há qualquer utilização de recursos de madeira e biomassa. Já na indústria da borracha e de matérias plásticas, o consumo de energia é maioritariamente elétrico, com 67,5%. Face à média de 1,3%, este tipo de indústria utiliza gás de petróleo liquefeito na ordem dos 6% [15].

As CAE que apresentam maior consumo elétrico são a captação, tratamento e distribuição de água com 99,9%, o comércio a retalho apresenta 87,2% e a fabricação de veículos automóveis e componentes 71,2% [15].

As CAE que apresentam maior consumo de gás natural são o fabrico de outros produtos minerais não metálicos com 78,71%, seguido pela indústria têxtil com 51,8% e, finalmente, a fabricação de produtos metálicos com 37,7% [15].

A madeira/resíduos de madeira são maioritariamente consumidos na indústria da madeira e da cortiça, onde obteve um valor de 35,43%. A energia elétrica também é muito utilizada neste tipo de indústria, com um valor de 38,48% [15].

3. GESTÃO DE ENERGIA

A gestão de energia pode ser definida como uma estratégia de otimização do consumo de energia, com recurso a sistemas e procedimentos adequados, de maneira a reduzir as necessidades de energia por unidade de produção [16]. Tem como objetivos:

- Otimizar a utilização em toda a estrutura consumidora;
- Minimizar os custos e desperdícios energéticos sem perder qualidade, e sem afetar a produção;
- Minimizar o impacto ambiental.

Num processo industrial é essencial a utilização racional de energia, o que só é possível sabendo de que forma é utilizada a energia na respetiva empresa, quer nas tecnologias de processo, quer nas tecnologias dos serviços auxiliares. Desta maneira é possível a identificação de medidas de racionalização energética.

Um Sistema de Gestão de Energia (SGE) tem como objetivo providenciar uma visão global do estado de funcionamento de uma instalação, estabelecendo padrões de consumo e determinando o consumo específico dos vários setores consumidores. No entanto, quando não é possível a instalação de um SGE, algumas instalações industriais optam por criar modelos de gestão, que tem por base leituras e registos manuais que são efetuados num período repetitivo previamente estabelecido.

Este capítulo foi maioritariamente redigido com base no *Manual de Auditorias Energéticas na Indústria* [16]. Aqui é abordado como é realizado o cálculo dos indicadores energéticos, e como são realizadas e constituídas as auditorias energéticas. Em 3.1, referente aos indicadores energéticas, foi igualmente abordado a metodologia de cálculo do VAB, parâmetro importante para o cálculo da IE.

3.1. INDICADORES ENERGÉTICOS

As instalações industriais podem ser caracterizadas por vários indicadores de desempenho energético, denominados indicadores energéticos. Estes têm como objetivo obter um acompanhamento da evolução da eficiência energética na instalação, e permitem verificar o impacto das medidas de eficiência energética implementadas [16].

Apesar de existirem vários indicadores energéticos em Portugal, a legislação relativa à eficiência energética na indústria impõe a determinação de três indicadores, para o período de referência (ano civil anterior à data da auditoria) [16]. Estes indicadores são:

- Intensidade Energética (IE);
- Consumo Específico de Energia (CEE);
- Intensidade Carbónica (IC).

Visto que é necessário saber o Valor Acrescentado Bruto (VAB) para calcular a IE, é também abordado a forma de cálculo dessa parcela de caráter contabilístico.

3.1.1 INTENSIDADE ENERGÉTICA

A IE é determinada a partir do quociente entre o consumo total de energia primária (“E” em kgep) e o Valor Acrescentado Bruto (“VAB” em euros) das atividades empresariais da instalação industrial em questão [16].

$$IE = \frac{E}{VAB} \quad (1)$$

3.1.2 CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA

O CEE é determinado pela razão entre o consumo de energia primária (“E” em kgep), e a produção (“P” em unidades de produção). O CEE é aplicado tanto a um produto em específico como a todo a instalação, como apenas uma secção de produção [16].

$$CEE = \frac{E}{P} \quad (2)$$

Para efetuar o cálculo é necessário desagregar os consumos de energia por produto ou processo, e calcular-se o CEE para cada uma dessas parcelas individuais. Com recurso aos dados mensais de consumo de energia e de produção, é possível estabelecer dois tipos de correlações gráficas, que fornecem informações importantes sobre o desempenho energético da indústria. A primeira relaciona os valores mensais de produção (P) com o consumo de energia mensal (E). Pelo Método dos Mínimos Quadrados obtém-se a seguinte equação, onde a ordenada na origem (E_0) representa a energia utilizada sob condições de produção nula, ou seja, as perdas; o declive (c) consiste na energia necessária para a produção [16].

$$E = E_0 + c \times P \quad (3)$$

A segunda correlação, na prática a mais utilizada, consiste na representação gráfica da variação do CEE com a produção, com valores mensais. Para este caso, apresenta-se a seguinte equação.

$$CEE = \frac{E_0 + c \times P}{P} = \frac{E_0}{P} + c \quad (4)$$

A reta obtida, novamente com recurso ao Método dos Mínimos Quadrados, apresenta doze pontos que correspondem a um período de doze meses. É igualmente obtido o valor do coeficiente de correlação linear (R^2). O CEE é menor quanto maior for a produção, uma vez que o aumento do volume de produção não é proporcional a um aumento equivalente do consumo de energia [16].

O R^2 quantifica a maior ou menor discrepância entre os consumos energéticos estimados pela reta e os valores obtidos na prática, em função da produção. Quanto mais próximo esse valor for da unidade, mais fiável é a previsão do valor de energia consumida para qualquer valor de produção. Outra informação que se pode obter é a do potencial de economia de energia, que será tanto maior quanto menor for o valor do coeficiente.

3.1.3 INTENSIDADE CARBÓNICA

A IC é obtida pelo quociente entre o valor das emissões de gases de efeito de estufa, que resultam da utilização de energia no processo produtivo (referidos a tCO₂e) e o consumo total de energia primária (em tep) [16].

$$IC = \frac{Emissões}{E} \quad (5)$$

3.1.4 VALOR ACRESCENTADO BRUTO

O VAB é a riqueza gerada na produção, descontado o valor dos bens e serviços consumidos para a obter, como é o caso de matérias-primas [17]. Apesar de não ser considerado um indicador energético, é, como visto em 3.1.1, um parâmetro insubstituível para o cálculo da IE.

Pode ser calculado utilizando o Plano Oficial de Contas (POC), como está descrito Despacho nº17449/2008, de 27 de junho ou utilizando o Sistema de Normalização Contabilística (SNC), como apresentado no Despacho nº6472/2016, de 17 de maio, despacho este que procedeu à alteração do Código de Contas subjacente às rubricas de cálculo do VAB, no âmbito do SGCIE [18, 19].

Utilizando o POC ou o SNC, o VAB é calculado como demonstrado respetivamente na figura 10 e figura 11.

$$\text{VAB} = \text{Vendas (POC 71)} + \text{Prestações de serviços (POC 72)} + \text{Proveitos suplementares (POC 73)} + \text{Trabalhos para a própria empresa (POC 75)} - \text{Custo das mercadorias vendidas e das matérias consumidas (POC 61)} - \text{Fornecimentos e serviços externos (POC 62)} - \text{Outros custos e perdas operacionais (POC 65)}$$

Figura 10 Fórmula de cálculo do VAB utilizando o POC[18]

$$\text{VAB} = \text{Vendas (SNC 71)} + \text{Prestações de serviços (SNC 72)} + \text{Proveitos suplementares (SNC 781)} + \text{Trabalhos para a própria empresa (SNC 74)} - \text{Custo das mercadorias vendidas e das matérias consumidas (SNC 61)} - \text{Fornecimentos e serviços externos (SNC 62)} - \text{Outros custos e perdas operacionais (SNC 688)}$$

Figura 11 Fórmula de cálculo do VAB utilizando o SNC[19]

O valor do VAB é fornecido pela respetiva empresa à entidade encarregue de realizar a AE e estabelecer um PReN.

3.2. AUDITORIAS ENERGÉTICAS

A AE consiste numa ferramenta que possibilita o gestor de energia identificar onde, quando e como, se consome energia numa instalação industrial, permitindo conhecer os consumos de energia, a eficiência energética dos equipamentos, os fluxos energéticos, e qual é o potencial de melhoria nos consumos energéticos sem colocar em causa a qualidade do produto final. De uma maneira geral, uma AE é a colocação em prática de ideias de conservação energética, identificando soluções com viabilidade técnico-económica que aumentem a eficiência energética e que reduzam o peso da fatura energética nos custos totais [16].

Para qualquer instalação industrial implementar um SGE, necessita previamente de realizar uma avaliação energética, de acordo com a ISO 50 001, que se trata de um documento normativo internacional com um conjunto de requisitos que permite às organizações implementarem um SGE de maneira a melhorar o seu desempenho energético. De salientar que qualquer instalação pode realizar uma AE se tiver o objetivo de otimizar o consumo energético da instalação ou promover a sua eficiência energética.

As AE podem ser divididas em dois tipos:

- AE preliminar;
- AE detalhada.

A AE preliminar, também designada por auditoria simples, tem como objetivo realizar um diagnóstico da situação energética da instalação. Para tal, é feita uma observação visual para identificação de falhas, e é feita uma recolha de dados sobre o consumo específico de energia. Ocasionalmente podem também ser realizadas algumas medições em determinadas áreas.

A auditoria detalhada, tal como o nome indica, é designada para realizar um levantamento aprofundado da situação energética, onde são analisadas as quantidades de energia utilizadas em cada operação do processo de fabrico. Este tipo de auditoria inclui cálculos

de redução de custos de energia, apresenta um estudo técnico-económico de viabilidade de investimentos para a eventual implementação de medidas identificadas.

As fases de uma AE dependem do tipo das instalações, da sua dimensão e do seu âmbito. De uma maneira geral, a metodologia de uma AE é composta pelas seguintes etapas presentes na [figura 12 \[16\]](#).



Figura 12 Fases de uma AE[16]

Após a recolha dos dados, vem o planeamento da intervenção, que constitui uma das etapas mais importantes do processo. Inicialmente, é enviado um pedido de informação, que deve reunir dados gerais da instalação, descrição do processo produtivo, dados de produção, entre outros. De seguida, é realizada uma visita às instalações, onde é possível estabelecer objetivos e recolher informação, identificar os principais pontos a monitorizar e identificar os equipamentos/setores consumidores principais.

As medições em campo podem durar entre um a três dias, dependendo da complexidade. Nesta fase é dedicada especial atenção ao processo produtivo e sistemas auxiliares, efetuam-se monitorizações, determinam-se rendimentos energéticos e constrói-se o diagrama de carga global da instalação, entre outros. Termina com a identificação de medidas de racionalização de consumo de energia.

Na realização de uma AE são necessários equipamentos para a recolha de dados de consumos energéticos. As monitorizações têm como objetivo a aquisição de informação no local, num determinado período de tempo, em todo o sistema dito relevante do ponto de vista energético. Estas monitorizações apoiam igualmente a determinação de poupanças energéticas relativas às medidas propostas de utilização racional de energia.

Neste âmbito, as principais gamas de equipamentos utilizados para a realização de medições e monitorizações consistem nos seguintes [16]:

- Equipamentos de monitorização elétrica;
- Equipamentos de gases de combustão;
- Equipamentos de medição de humidade;
- Equipamentos de medição de temperatura;
- Equipamentos de medição de caudal.

Após a recolha e análise de todos os dados, é elaborado um relatório de AE com intuito de apresentar ao Gestor de Energia toda a informação detalhada recolhida. Neste ponto são analisados os rendimentos energéticos dos principais equipamentos consumidores e comparados com possíveis alternativas disponíveis no mercado. Da mesma maneira, é importante a análise dos processos de correções de práticas comportamentais. A AE é apenas o primeiro passo na implementação de gestão de energia. O auditor deve apresentar num PReN as medidas de eficiência energética que pretendem ser implementadas, para que se possa alcançar a melhoria do desempenho energético pretendido.

Deve estar presente num relatório de auditoria [16]:

- Sumário executivo;
- Objetivos e enquadramento da AE;
- Identificação da instalação auditada;
- Contabilidade energética;
- Análise dos equipamentos de produção, distribuição e utilização de energia;
- Determinação dos indicadores energéticos e comparação com valores do ano de referência.

A contabilidade energética permite relacionar os diversos consumos e formas de energia com a produção, e calcular o CEE. A criação de mapas-tipo é essencial para aferir o estado energético da instalação e dos equipamentos consumidores de energia. Essas tabelas devem ter, para um determinado período de tempo, o consumo de energia, o custo de energia, e os dados de produção. Neste âmbito, é necessário converter todos os consumos e produções de todas as formas de energia para a mesma unidade. Para o SGCIE, essa unidade é a tonelada equivalente de petróleo (tep).

4. MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A energia constitui um custo variável com termos fixos nas empresas, sendo responsável por uma fatia considerável dos custos totais, podendo em alguns setores de atividade chegar mesmo aos 50%. Em [2.2](#) foram abordadas os principais setores industriais registados no SGCIE. No entanto, a oportunidade de redução dos consumos energéticos e a melhoria da eficiência energética varia conforme o tipo de indústria onde as medidas de eficiência energética são aplicadas. Esses setores apresentam várias vertentes de melhoria da eficiência energética, potencial na redução do consumo de energia e redução do impacto ambiental.

O presente capítulo aborda o tipo de medidas de eficiência energética existentes, transversais e setoriais, fornecendo uma análise estatística atualizada das principais medidas existentes em diversos setores industriais, e o seu respetivo impacto.

4.1. MEDIDAS TRANSVERSAIS

As medidas de eficiência energética que constam no PREn e que têm como objetivo a redução dos consumos de energia nas instalações são designadas por transversais, quando são comuns a qualquer setor de atividade, ou por setoriais, quando são para setores de atividade específicos.

As medidas transversais são as mais aplicadas e representam em média 91% da totalidade do potencial económico de energia. Em 2018, o valor acumulado das medidas transversais correspondia a 225 mil tep, ou seja, 5,9% do consumo total de energia primária dos PREn acumulados [4]. De acordo com o relatório síntese mais recente do SGCIE, de abril 2018, o potencial de redução global corresponde aproximadamente a 146 mil tep por ano, sendo que as medidas transversais, como visto anteriormente, totalizam um potencial de redução muito mais expressivo, como é possível ver na [figura 13 \[20\]](#).

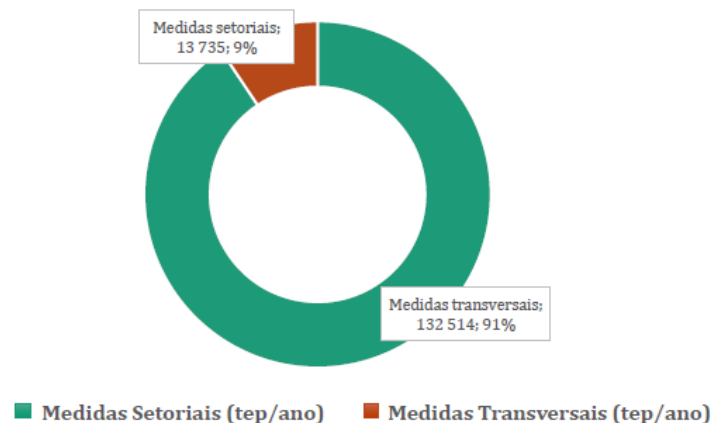


Figura 13 Potencial de redução global com recurso a medidas transversais e setoriais em 2018[20]

A análise das principais medidas transversais permite identificar aquelas que, tipicamente, proporcionam um maior potencial de redução de energia aliado a um menor custo de investimento, tornando-se assim mais atrativas.

O relatório síntese do SGCIE de 2018 [20] aborda as principais medidas transversais no setor industrial. O potencial de redução global com recurso a medidas transversais é aproximadamente 133 mil tep por ano. A recuperação de calor é a medida que possui o maior potencial de redução, correspondendo a 22,5% do potencial total. Outros parâmetros abordados são o período de retorno do investimento (Payback), o custo de redução por tep,

a redução dos GEE, e, finalmente, o número de instalações que integram essas medidas transversais. As medidas transversais nos principais setores de atividade económica registados no SGCIE também são apresentadas. A indústria agroalimentar, a indústria têxtil, o fabrico de produtos minerais não metálicos (que envolve a indústria cerâmica), e a indústria da borracha e de matérias plásticas consistem nos principais setores de atividade económica, onde são implementadas medidas transversais. Todos os setores referidos possuem um elevado potencial de redução global, sendo a indústria têxtil a que mais se destaca. No entanto, já na redução dos GEE, a indústria alimentar supera os restantes setores.

De acordo com as estatísticas do SGCIE entre 2008 e 2020, existiu [15]:

- Investimento de 493,3 milhões de euros;
- Economia de poupança de 145,6 milhões de euros;
- Redução dos GEE de 776 mil tCO₂;
- Poupança de 175,2 mil tep (91,4%) de medidas transversais;
- Poupança de 16,4 mil tep (8,6%) de medidas setoriais.

As principais medidas transversais traduzem quatro grupos de atuação tecnológica [21]:

- Iluminação;
- Produção de Calor e Frio;
- Sistema acionados por Motores Elétricos;
- Eficiência do processo industrial / Outros.

4.1.1 ILUMINAÇÃO

Como visto anteriormente, a iluminação faz parte das medidas transversais que mais se destacam no setor industrial. A substituição das armaduras de iluminação por outras mais eficientes tem vindo a acontecer na maioria das empresas. Para verificar o tipo e a eficiência das lâmpadas, deve-se adotar os seguintes critérios [22]:

- Substituição direta de lâmpadas de vapor de mercúrio por lâmpadas de iodetos metálicos, o que significa uma poupança de até 50%;
- Em zonas de tetos altos, instalar lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, que produzem maior iluminação com menores custos de manutenção;

- Utilização de balastros eletrónicos associados às lâmpadas fluorescentes de alta-frequência, que em comparação com o convencional, proporcionam uma poupança até 25% do consumo energético, e uma maior duração, até 50% superior;
- Utilização da tecnologia *light emission diode* (LED) para iluminação de interior e fachadas, substituindo as lâmpadas incandescentes.

Outro aspeto a ter em conta, é o nível de iluminação em diferentes zonas de trabalho. Deve-se reduzir a iluminação em zonas menos utilizadas, como os corredores. Nesses pontos menos críticos, deve-se equacionar a utilização de menores pontos de luz, ou mesmo a substituição do sistema de iluminação por outro mais adequado [22].

Existem dispositivos de controlo do sistema que permitem fazer uma gestão mais adequada da utilização da iluminação. Os detetores por infravermelhos são uma solução adequada às casas de banho ou vestiários, ligando a luz automaticamente. Outra solução são os interruptores temporizados nos armazéns e refeitórios. Nas zonas exteriores, como parques de estacionamento, pode-se usar controlos automáticos programados à hora, ou através de células sensíveis ao movimento. Finalmente, a utilização de *dimmers* permite regular a intensidade luminosa de uma lâmpada, adaptando-a ao ambiente onde está inserida [22].

A substituição das lâmpadas convencionais por LED tem vindo a ser uma das soluções mais evidentes e sugeridas no setor industrial. Este tipo de iluminação apresenta diversas vantagens como [23]:

- Baixos consumos de energia;
- Durabilidade, sendo menos vulnerável a provocar danos externos;
- Vida útil, chegando em média, a aguentar 50 mil horas de vida;
- Benefícios ambientais, por não possuírem mercúrio ou clorofluorcarbonetos (CFCs) na sua constituição, podendo ser totalmente recicláveis;
- Velocidade de funcionamento;
- Operação sem ruído;
- *Low Heat*, produzem muito menos calor que as fontes de iluminação tradicionais;
- Funcionamento a temperaturas baixas;
- Controlo e ajuste de iluminação fácil e rápido.

4.1.2 PRODUÇÃO DE CALOR E FRIO

No regulamento do SGCIE, um dos quatro grupos tecnológicos no setor industrial que engloba todos os doze setores da Indústria Transformadora denomina-se Produção de Calor e Frio. Esta engloba [21]:

- Sistemas de cogeração;
- Sistemas de combustão;
- Recuperação de calor;
- Frio industrial .

A **cogeração** consiste na produção simultânea de energia térmica e energia mecânica (convertida em elétrica), a partir de um único combustível. Permite aproveitar o calor antes perdido no processo produtivo, aumentando assim a eficiência energética. Existem diversas tecnologias utilizadas em sistemas de cogeração, como turbinas a gás, turbinas a vapor, motores de ciclo Otto, ou Diesel, entre outros [22].

Convém realçar que estes sistemas não reduzem o consumo de energia. Este é constante. Mas apresentam diversas vantagens ao nível industrial, como [21, 22]:

- Redução da fatura energética;
- Garantia de abastecimento de energia térmica à instalação;
- Possibilidade de a unidade industrial ser autossuficiente do ponto de vista energético;
- Em caso de excesso de produção, possibilidade de venda de eletricidade à rede de distribuição nacional;
- Redução dos custos de produção;
- Melhoria no fornecimento e distribuição da eletricidade aos processos industriais;
- Contribuição para a redução das emissões de GEE.

Apesar das numerosas vantagens apresentadas, um sistema de cogeração apresenta alguns inconvenientes, como o facto de o calor só poder ser usado perto do centro produtor, e o investimento ser relativamente elevado [22].

Para o setor têxtil que se assume como consumidor intensivo de energia elétrica e térmica, a cogeração constitui um fator de competitividade fundamental. Contribui para a Estratégia de Independência Energética Nacional, dado o seu impacto na redução da IE, e os benefícios que a redução da fatura energética nacional provoca [24]. Outros setores de atividade onde é benéfico a instalação de unidades de cogeração são indústrias ou serviços que consomem grandes quantidades de energia térmica, como é o caso da refinação, petroquímica e química, pasta e papel, cerâmica e alimentar [25].

Nos **sistemas de combustão**, as medidas para aumentar a eficiência energética são implementadas em caldeiras, fornos, secadores, sistemas de geração e distribuição de vapor. Um dos principais objetivos é diminuir as perdas térmicas. Para isso pode-se reduzir a temperatura de saída dos gases de combustão, diminuir o caudal mássico desses gases, ou substituir os isolamentos térmicos por outros mais eficazes [21].

A **recuperação de calor** é um processo que utiliza várias tecnologias, e que recupera energia térmica de diversas fontes, como gases de combustão, ar de exaustão, água de arrefecimentos, entre outros. As tecnologias mais comuns para recuperação deste calor são [21]:

- Permutadores de calor;
- Bombas de calor e recompressão mecânica de vapor;
- Operações multi-estágio, como evaporadores multi-efeito e expansão de vapor.

Para além dessas tecnologias, a limpeza de permutadores de calor por ácido é uma medida importante para renovar a superfície interna dos tubos.

A grande parte do **frio industrial** é obtido com recurso a sistemas de refrigeração por compressão. A aplicação de novos sistemas de refrigeração pode incluir [21]:

- Utilização de motores a gasolina;
- Termo acumulação;
- Novos fluidos de refrigeração.

A implementação de estratégias de controlo e otimização nos sistemas já existentes podem levar a melhorias de 30% no que se refere à eficiência energética.

4.1.3 MOTORES ELÉTRICOS E VARIADORES ELETRÔNICOS DE VELOCIDADE

Os motores elétricos são equipamentos aplicados em vários setores de atividade. O seu consumo de energia depende de vários fatores, como a sua eficiência, o controlo de velocidade, a qualidade da rede de alimentação, entre outros, sendo, conseqüentemente, uma carga importante no panorama onde é inserido [26]. São responsáveis por 70% do consumo de eletricidade na indústria europeia. Do custo associado a um motor elétrico, 95% provém da sua utilização, enquanto 3% é do investimento inicial, e 2% da sua manutenção. Para diminuir os custos e obter poupança energética aconselha-se a verificar como é feito o arranque dos motores. Para além disso, deve-se registar se os motores de indução utilizam variador eletrónico de velocidade (VEV). A utilização destes equipamentos diminuiu os picos de potência nos arranques, e adequa o consumo à carga, resultando numa poupança energética [22].

Os sistemas acionados por motores elétricos engloba medidas transversais como [21]:

- Otimização de motores pela substituição por motores mais eficientes;
- Utilização de VEV;
- Sistemas de bombagem;
- Sistemas de ventilação;
- Sistemas de compressão.

A grande maioria dos motores utilizados na indústria são motores de corrente alternada (CA), com velocidade aproximadamente constante. A implementação de um VEV proporciona uma poupança substancial de energia, menos desgaste nos componentes mecânicos, e até melhora a produtividade e a qualidade dos produtos [26].

Os VEV, também chamados fontes de frequência variável, substituem todos os sistemas utilizados para arranque dos motores de indução. Existem diversos tipos de configurações no circuito eletrónico dos VEV, que variam consoante o tipo de motor e a gama de potência. A tipologia mais comum utiliza inversores na configuração, como é demonstrado na [figura 14](#). Com uso do retificador CA (corrente alternada) para CC (corrente contínua), a alimentação trifásica é convertida para tensão contínua, seguido por um andar de filtragem. Na saída há um inversor que converte a tensão continua numa tensão trifásica de frequência e amplitude ajustáveis. A velocidade do motor é proporcional à frequência de saída. Assim sendo, o ajuste da frequência permite controlar a velocidade do motor [26].

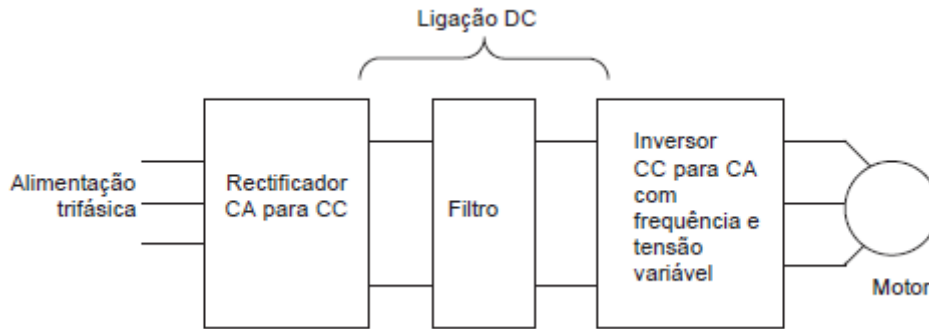


Figura 14 Circuito eletrônico de um VEV[26]

Outros tipos de VEV são: Inversor por fonte de tensão; Modulação por largura de impulso; Inversor por fonte de corrente; VEV para motores de indução de rotor bobinado; Inversores com comutação pela carga; Cicloinversores [26].

Relativamente aos campos de aplicação, existe maior potencial para conservação de energia nas bombas, ventiladores e compressores, que em conjunto representam 60% das aplicações da força motriz na indústria, especificamente na de papel, refinarias e outras indústrias químicas. Outros exemplos de aplicação são os moinhos, elevadores e transportadores [22, 26].

De uma maneira sucinta, os VEV apresentam benefícios como: Aumento da vida útil do motor; economias de energia em média entre 20% e 30%; arranques suaves, que reduz as pontas de potência; redução da manutenção; melhoria da produtividade e da qualidade do produto.

4.1.4 EFICIÊNCIA DO PROCESSO INDUSTRIAL/OUTROS

A gestão da energia consumida é uma tarefa que engloba várias medidas, tais como o planeamento, a monitorização e a implementação de estratégias de controlo. Normalmente o custo de implementação dessas medidas é baixo, comparativamente às medidas transversais que abrangem diretamente os consumos de energia e a produtividade da empresa. Atualmente, os sistemas de controlo de processos modernos não são exclusivos para a eficiência energética, mas também para a otimização da produção, da qualidade do produto e da segurança dos trabalhadores [21].

Esta medida transversal inclui [21]:

- Monitorização e controlo;
- Tratamento de efluentes;
- Integração de processos;
- Manutenção de equipamentos consumidores de energia;
- Isolamentos térmicos;
- Transportes;
- Formação e sensibilização de recursos humanos;
- Redução da energia reativa.

A sensibilização das empresas e dos seus funcionários para a adoção de metodologias mais eficientes em termos energéticos é crucial para a melhoria da eficiência e da competitividade das empresas. Ao mesmo tempo, a formação é um fator chave para o desenvolvimento de uma empresa. Nesse âmbito deve ser contemplada a formação na área da eficiência energética para todos os colaboradores [27].

4.1.5 INTEGRAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

O recurso às energias renováveis em detrimento dos combustíveis fósseis é um imperativo das gerações atuais e futuras, sendo cada vez mais uma necessidade. As instalações fotovoltaicas apresentam-se como uma fonte alternativa e complementar na produção e consumo de energia elétrica. Ao nível industrial, é cada vez mais comum a sua implementação, complementando as necessidades de eletricidade dos sistemas.

Existem dois tipos principais de utilização de energia proveniente do sol: o solar térmico e o solar fotovoltaico (FV) [22].

O **solar térmico** é responsável pelo aproveitamento da energia do sol e na sua transformação em calor, ideal para aquecimento de água. É utilizado em máquinas de refrigeração, que utilizam o calor para a produção do frio. Outras aplicações usuais são no aquecimento de águas para balneários, para pré-aquecimento de águas para caldeiras e aquecimento de águas para secções de decalques [22, 28].

O solar FV é utilizada em ambiente empresarial de maneira a suprimir parte do consumo total de energia da instalação. O seu dimensionamento é feito de acordo com as necessidades elétricas da empresa. Possui vantagens como [22, 29]:

- Produção de energia limpa;
- Utilização de energia gratuita, proveniente do Sol;
- Custos de operação e manutenção reduzidos em comparação com outros sistemas renováveis;
- Tempo de vida útil até 25 anos;
- Redução da fatura elétrica.

Atualmente, o armazenamento de energia é um aspeto a considerar quando existem energias renováveis intermitentes em questão. A utilização de baterias, sejam elas químicas ou mecânicas, permite responder ao problema do desfasamento entre as horas de produção e de consumo. O excesso de energia produzida por um sistema FV pode ser armazenado durante o dia para consumir à noite. As baterias mais comuns atualmente são as baterias de íões de lítio. No entanto, existem outras opções, como as baterias de chumbo-ácido e níquel-cádmio, ou mesmo baterias que aproveitam a energia potencial como as flywheels.

4.1.6 AR COMPRIMIDO

O ar comprimido é umas das formas de energia mais utilizada na indústria transformadora. É importante garantir que o ar admitido no compressor vem do exterior, ou de um ponto mais frio. Por cada 4% de redução na temperatura do ar admitido, obtém-se uma redução do consumo em 1%. O ar comprimido é também um dos tipos de energia mais caros na indústria, devido ao investimento elevado nos equipamentos, ao consumo intensivo de energia elétrica necessário ao seu funcionamento, e devido a utilizações que podem ser deficientes. As perdas de ar comprimido por todo o sistema devem ser verificadas periodicamente. Para tal a fábrica deve estar parada, sem consumo de ar comprimido [22].

Algumas medidas de eficiência energética consistem em [30]:

- Escolha de um compressor de ar corretamente dimensionado para as necessidades do processo;
- Admissão de ar frio nos compressores;
- Eliminação de fugas do circuito de ar comprimido;

- Regular a pressão de trabalho em função da utilização;
- Instalação de eletroválvulas nos equipamentos principais consumidores de ar;
- Efetuar manutenção periódica do compressor;
- Desligar o compressor nos períodos de paragem.

4.2. MEDIDAS SETORIAIS

Para além das medidas transversais apresentadas em 4.1, que se aplicam à generalidade das instalações industriais, existem medidas que se podem aplicar a setores industriais específicos. Como referido anteriormente, o impacto deste tipo de medidas é muito inferior ao impacto obtido a partir das medidas transversais. O presente capítulo aborda de uma forma bastante sucinta as medidas setoriais implementadas em alguns dos principais setores industriais em Portugal que fazem parte do SGCIE.

4.2.1 INDÚSTRIA ALIMENTAR E DE BEBIDAS

A indústria alimentar e de bebidas em Portugal ocupa um espaço de relevância na economia portuguesa. Em termos percentuais de exportações, foi o setor da indústria que mais cresceu. É constituída por diversos subsectores, como é possível observar na [figura 15 \[31\]](#).

Nome do Setor	Subsetores em análise	CAE
	Alimentar	
	Abate de animais, preparação e conservação de carne e de produtos à base de carne	101
	Preparação e conservação de peixes, crustáceos e moluscos	102
	Preparação e conservação de frutos e de produtos hortícolas	103
	Produção de óleos e gorduras animais e vegetais	104
	Indústria de laticínios	105
	Transformação de cereais e leguminosas; fabricação de amidos, de féculas e de produtos afins	106
	Fabricação de produtos de padaria e outros produtos à base de farinha	107
Indústrias Alimentares e de Bebidas	Fabricação de outros produtos alimentares, exceto açúcar, café e chá	108, exceto 1081 e 1083
	Indústria do açúcar	1081
	Indústria do café e do chá	1083
	Fabricação de alimentos para animais	109
	Bebidas	
	Indústria das bebidas, exceto vinho, cerveja, refrigerantes e água	11, exceto 1102, 1105 e 1107
	Indústria do vinho	1102
	Fabricação de cerveja	1105
	Fabricação de refrigerantes; produção de águas minerais naturais e de outras águas engarrafadas	1107

Figura 15 Ficha de Tecido Empresarial – Indústrias Alimentar e de Bebidas[31]

Em 2016, 32% desta indústria localizava-se no Norte, e 31,6% no Centro. Possuía 15% do VAB da Indústria Transformadora. A grande maioria das empresas pertencentes a este

setor eram alimentares (86%), enquanto o restante eram empresas de bebidas (16%). Para o mesmo ano, 67% das empresas no subsetor alimentar eram padarias. Já para o subsetor das bebidas, as empresas dedicadas à produção de vinha ocupava o lugar do topo [31].

Uma das potencialidades do contributo do produto deste setor para a eficiência energética está ligada ao desenvolvimento de produtos que reduzam o consumo energético na produção, e nas fases do seu ciclo de vida. Outro aspeto a otimizar consiste na dimensão das embalagens a transportar. A energia necessária para transportar uma unidade de produto pode ser minimizada em função da otimização da dimensão da embalagem. A valorização de desperdícios e resíduos alimentares também consiste numa boa alternativa [27].

Mais especificamente, algumas medidas setoriais a aplicar neste tipo de indústria são [21]:

- Otimização da esterilização; (por feixe de eletrões; com autoclave horizontal; isolamento e substituição de máquinas acondicionadoras)
- Processos de separação com membranas;
- Mudança de moinhos horizontais para verticais;
- Destilação sobre vácuo.

A indústria alimentar apresenta-se atualmente como o setor com maior número de empresas no plano do SGCIE.

4.2.2 INDÚSTRIA DE TÊXTIL E VESTUÁRIO

A indústria têxtil consiste num dos setores com maior consumo de energia térmica. Essa energia é consumida nas diferentes etapas do processo, como a secagem, lavagem e engomagem, e pode ser consumida de forma direta ou através de permutadores de calor. Neste contexto, é um setor onde é interessante a implementação de sistemas de recuperação de calor [16].

Os subsetores pertencentes a esta indústria transformadora estão apresentados na [figura 16](#) [32].

Em 2016, o VAB desta indústria foi de 11% do VAB total da Indústria Transformadora. Para além disso, 76,1% das indústrias existentes pertenciam à região Norte. Do total de empresas pertencentes a este setor, 71% eram do subsetor do vestuário, enquanto 29%

eram do setor têxtil, apesar que o VAB era aproximadamente 50% para cada subsetor. A fabricação de outros têxteis corresponde a 77% das empresas pertencentes ao subsetor têxtil. A confecção de artigos de vestuário, exceto artigos de peles com pêlo corresponde a 94% das empresas do subsetor vestuário [32].

Nome do Setor	Subsetores em análise	CAE
Indústrias de Têxteis e Vestuário	Têxteis	
	Preparação e fiação de fibras têxteis	131
	Tecelagem de têxteis	132
	Acabamento de têxteis	133
	Fabricação de outros têxteis	139
	Vestuário	
	Confeção de artigos de vestuário, exceto artigos de peles com pêlo	141
	Fabricação de artigos de peles com pêlo	142
	Fabricação de artigos de malha	143

Figura 16 Ficha de Tecido Empresarial – Indústrias de Têxtil e Vestuário[32]

Neste setor é sempre essencial que as empresas desenvolvam novos produtos e que se adaptem às necessidades dos mercados atuais. De um ponto de vista ambiental, o maior impacto do ciclo de vida de um produto têxtil e vestuário deve-se ao elevado consumo de água, energia e detergentes na lavagem e conservação. Deste modo, produtos com menores necessidades de energia e consumo de materiais aumenta a eficiência do produto ao longo do seu ciclo de vida. O desenvolvimento da produção de fibras nacionais reduz a dependência de fornecedores externos, diminuindo o consumo de energia em termos de transporte [27].

As principais medidas setoriais aplicadas nesta indústria são [21]:

- Otimização do funcionamento dos banhos;
- Otimização dos processos de produção têxtil;
- Pré-secagem mecânica/infravermelha (IV);
- Aquecimento de águas por painéis solares;
- Tecnologias de corte e união de peças.

A indústria têxtil é atualmente o segundo setor com maior número de empresas inscritas no SGCIE.

4.2.3 INDÚSTRIA DE PRODUTOS MINERAIS NÃO METÁLICOS

A Indústria de Produtos Minerais não Metálicos engloba diversos subsetores, como é possível observar na [figura 17](#). Destes destacam-se os setores dos produtos cerâmicos, o setor do vidro, e o setor do cimento (que engloba outros da mesma categoria) [\[33\]](#).

Nome do Setor	Subsetores em análise	CAE
Indústrias de Produtos Minerais não Metálicos	Pedra, Cimento, Cal, Gesso, Betão e outros	
	Fabricação de cimento, cal e gesso	235
	Fabricação de produtos de betão, gesso e cimento	236
	Serragem, corte e acabamento de rochas ornamentais e de outras pedras de construção	237
	Fabricação de produtos abrasivos e de outros produtos minerais não metálicos	239
	Produtos Cerâmicos	
	Fabricação de produtos cerâmicos refratários	232
	Fabricação de produtos cerâmicos para a construção	233
	Fabricação de outros produtos de porcelana e cerâmicos não refratários	234
	Vidro	
	Fabricação de vidro e artigos de vidro	231

Figura 17 Ficha de Tecido Empresarial – Indústrias de Produtos Minerais não Metálicos[\[33\]](#)

Em 2016, esta indústria possuía 6% do VAB total da indústria transformadora. Ao mesmo tempo, 36% das indústrias existentes pertenciam à região Centro, e 32,3% à região Norte. Da totalidade de empresas pertencentes a este setor, 60% faziam parte do subsetor da pedra, cimento, cal, gesso, betão e outros. 30% eram do subsetor dos produtos cerâmicos, e finalmente os restantes 10% do subsetor da indústria do vidro. A serragem, corte e acabamento de rochas ornamentais e de outras pedras de construção corresponde a 72,3% das empresas pertencentes ao subsetor da Pedra, Cimento, Cal, Gesso, Betão e outros. A fabricação de outros produtos de porcelana e cerâmicos não refratários corresponde a 82,5% das empresas do subsetor dos produtos cerâmicos [\[33\]](#).

Algumas medidas setoriais a aplicar neste tipo de indústria são [\[21\]](#):

- Otimização de fornos e de secadores (melhorias no design e funcionamento de fornos e secadores; recuperação do excesso de calor de fornos);
- Extrusão com vapor;
- Extrusão dura;
- Otimização de produção de pó;
- Utilização de combustíveis alternativos;
- Utilização de vidro usado (reciclado);
- Otimização de moagens (das matérias-primas; do cimento);

- Redução da utilização de clínquer no cimento;
- Utilização de gás natural.

O setor cerâmico é constituído por vários segmentos produtivos e possui um bom potencial de desenvolvimento. A aplicação de novas tecnologias ao processo cerâmico, como por exemplo, a utilização de nanotecnologias, pode impulsionar este setor para novos mercados, que por sua vez pode fazer gerar novas riquezas para a indústria nacional. O potencial de economia de energia manifesta-se mais neste setor ao nível do pavimento, com a recuperação de calor [22, 27].

O fabrico de produtos minerais não metálicos assume-se como um dos principais setores industriais inscritos no SGCIE.

4.2.4 OUTRAS INDÚSTRIAS PRESENTES NO SGCIE

O setor industrial da Borracha e do Plástico é um dos principais setores mais representados atualmente no SGCIE. Divide-se em dois subsectores, como é possível observar na [figura 18 \[34\]](#).

Nome do Setor	Subsetores em análise	CAE
Indústrias da Borracha e do Plástico	Borracha	
	Fabricação de artigos de borracha	221
	Plástico	
	Fabricação de artigos de matérias plásticas	222

Figura 18 Ficha de Tecido Empresarial – Indústrias da Borracha e do Plástico[34]

Em 2016, este setor estava maioritariamente representado no Norte do país. A grande maioria das empresas pertenciam ao setor do plástico (88%), enquanto apenas 12% faziam parte do subsector da borracha [34].

Algumas medidas setoriais aplicadas a este setor industrial são [21]:

- Novas operações de separação;
- Utilização de novos catalisadores;
- Otimização das destilações.

O setor de Indústrias de Fileira de Aço engloba os subsectores de fabricação de produtos metálicos, e a fabricação de veículos automóveis e componentes, dois subsectores com

presença no top 10 dos setores com maior nº de registo no SGCIE. Nesta Indústria existem vários subsetores, como está representado na [figura 19 \[35\]](#).

Nome do Setor	Subsetores em análise	CAE
Indústrias da Fileira do Aço	Indústria metalúrgica de base	
	Siderurgia e fabricação de ferro-ligas	241
	Fabricação de tubos, condutas, perfis ocios e respetivos acessórios, de aço	242
	Outras atividades da primeira transformação do aço	243
	Obtenção e primeira transformação de metais preciosos e de outros metais não ferrosos	244
	Fundição de metais ferrosos e não ferrosos	245
	Fabricação de produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos	
	Fabricação de elementos de construção em metal	251
	Fabricação de reservatórios, recipientes, caldeiras e radiadores metálicos para aquecimento central	252
	Fabricação de geradores de vapor (exceto caldeiras para aquecimento central)	253
	Fabricação de armas e munições	254
	Fabricação de produtos forjados, estampados e laminados; metalurgia dos pós	255
	Tratamento e revestimento de metais; atividades de mecânica geral	256
	Fabricação de cutelaria, ferramentas e ferragens	257
	Fabricação de outros produtos metálicos	259
	Fabricação de máquinas e de equipamentos, n.e.	
	Fabricação de máquinas e de equipamentos para uso geral	281
	Fabricação de outras máquinas para uso geral	282
	Fabricação de máquinas e de tratores para a agricultura, pecuária e silvicultura	283
	Fabricação de máquinas-ferramentas, exceto portáteis	284
	Fabricação de outras máquinas e equipamento para uso específico	289
	Fabricação de veículos automóveis, reboques, semirreboques e componentes para veículos automóveis	
	Fabricação de veículos automóveis	291
	Fabricação de carroçarias, reboques e semirreboques	292
	Fabricação de componentes e acessórios para veículos automóveis	293
	Fabricação de outro equipamento de transporte	
	Construção naval	301
	Fabricação de material circulante para caminho-de-ferro	302
	Fabricação de aeronaves, de veículos espaciais e equipamento relacionado	303
	Fabricação de veículos militares de combate	304
	Fabricação de equipamento de transporte, n.e.	309

Figura 19 Ficha de Tecido Empresarial – Indústrias de Fileira de Aço[35]

Na totalidade do VAB da indústria transformadora, 23% provém deste setor industrial. A fabricação de produtos metálicos consiste em 81% da totalidade das empresas neste setor. No subsetor da fabricação de produtos metálicos, exceto máquinas e equipamentos, a fabricação de elementos de construção em metal possui o maior número de empresas, com 43,8% da totalidade de empresas. No subsetor da fabricação de veículos automóveis, reboques, semirreboques e componentes para veículos automóveis, a fabricação de componentes e acessórios para veículos automóveis consiste em 70,7% do nº de empresas. Apesar da fabricação de veículos automóveis apenas ser 4,4% do total de empresas, o seu VAB corresponde a 20,7% [35].

As principais medidas setoriais aplicadas são [21]:

- Reutilização de desperdícios;
- Melhoria da qualidade dos ânodos e dos cátodos;
- Otimização de fornos.

Para concluir, a indústria da madeira e da cortiça são um subsetor das Indústrias de Base Floresta. Como indica a [figura 20](#), os subsetores são os seguintes [36].

Nome do Setor	Subsetores em análise	CAE
Indústrias de Base Florestal	Madeira	
	Serração, aplainamento e impregnação de madeira	161
	Fabricação de artigos de madeira, de espartaria e de cestaria, exceto mobiliário	162, exceto 16293 a 16295
	Cortiça	
	Indústria de preparação da cortiça	16293
	Fabricação de rolhas de cortiça	16294
	Fabricação de outros produtos de cortiça	16295
	Pasta e Papel	
	Fabricação de pasta, de papel e cartão (exceto canelado)	171
	Fabricação de papel e de cartão canelados e de artigos de papel e de cartão	172

Figura 20 Ficha de Tecido Empresarial – Indústrias de Base Florestal[36]

Em 2016, 51,2% das empresas pertencentes a este setor industrial localizavam-se no Norte de Portugal. Conjuntamente, a indústria da madeira e da cortiça constituem 90% da totalidade de empresas presentes no setor. No entanto, o subsetor da pasta e papel perfazem 54% do VAB total, valor superior ao do subsetor da madeira e cortiça juntos. No subsetor da madeira, 86% das empresas fabricavam artigos de madeira, de espartaria e de cestaria, com exceção de mobiliário. No subsetor da cortiça, 54% das empresas eram dedicadas à fabricação de rolhas. No subsetor da pasta e papel, 93% das empresas fabricavam papel e cartão canelados e outros artigos de papel e cartão [36].

Finalmente, as principais medidas setoriais da indústria de base florestal são [21, 27]:

- Transportadores mecânicos em vez de pneumáticos;
- Aproveitamento de subprodutos de biomassa;
- Otimização de fornos de secagem contínua;
- Gaseificação/Queima de licor negro e outros resíduos;
- Otimização de secagens (formação de papel a seco, secagem por impulso, entre outros).

5. ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA

5.1. ESTUDOS ANTECEDENTES

Neste subcapítulo são apresentados oito estudos de caso distintos. É feita uma análise das suas características energéticas e produtivas. É apresentada a CAE, o período da AE e do PREn. São referidas as medidas propostas e a desagregação de consumo. Na parte final é apresentada uma tabela resumo, onde estão presentes os valores dos indicadores energéticos no ano de referência do PREn de cada empresa. Em 3.1 foi apresentada a metodologia de cálculo dos indicadores energéticos e do VAB, essencial para a compreensão dos valores obtidos, da sua evolução e das metas propostas.

5.1.1 EMPRESA A

A empresa A possui o CAE 10412, referente à produção de azeite e tem como designação do produto o embalamento de azeite e óleo.

A AE realizou-se no ano de 2010, sendo o período do PREn compreendido entre 2010 e 2017. O ano de referência do PREn é 2009. Nesse ano a empresa A apresentou um

consumo total de 468,2 tep, não sendo necessário a realização de uma AE. No entanto, de forma voluntária esta foi realizada. Possui uma meta de redução de 4% do valor da IE e do CE, e pelo menos manter o valor da IC.

O consumo total por forma de energia foi:

- 88,6% de energia elétrica;
- 11,2% de gás de petróleo liquefeito;
- 0,2% de gasóleo/diesel.

As medidas propostas inicialmente foram:

- Eliminação das fugas de ar comprimido, a ser implementado em 2010;
- Substituição dos compressores existentes por um com VEV e recuperação do calor através de permutador para produção de água quente sanitária (AQS) e aquecimento dos depósitos de azeite, a ser implementado em 2016.

5.1.2 EMPRESA B

A empresa B possui o CAE 13941, referente à fabricação de cordoaria e tem como designação do produto malhas.

Tal como no estudo A, a AE realizou-se no ano de 2010, sendo o período do PREn compreendido entre 2010 e 2017. O ano de referência do PREn é 2009. Nesse ano a empresa B apresentou um consumo total de 634,2 tep, devendo ser objeto de auditorias energéticas periódicas, de 8 em 8 anos, de acordo com o Decreto-Lei nº71/2008, de 15 de Abril, com uma meta de redução de 4% do valor da IE e do CEE, e pelo menos manter o valor da IC.

O consumo total por forma de energia foi:

- 96,8% de energia elétrica;
- 3,2% de gás de petróleo liquefeito.

As medidas propostas inicialmente foram:

- Redução da potência de iluminação dos armazéns e produção, a ser implementado em 2015;

- Redução de fugas na rede de ar comprimido, a ser implementado em 2011;
- Substituição do compressor GA45 por um compressor com VSD, a ser implementado em 2017.

5.1.3 EMPRESA C

A empresa C possui o CAE 38212, referente ao tratamento e eliminação de outros resíduos não perigosos, não tendo designação do produto.

A AE realizou-se no ano de 2010, sendo o período do PREn compreendido entre 2010 e 2017. O ano de referência do PREn é 2009. Nesse ano a empresa C apresentou um consumo total de 556,9 tep, devendo ser objeto de auditorias energéticas periódicas, de 8 em 8 anos, de acordo com o Decreto-Lei nº71/2008, de 15 de Abril, com uma meta de redução de 4% do valor da IE e do CEE, e pelo menos manter o valor da IC.

O consumo total por forma de energia foi:

- 44,9% de energia elétrica;
- 55,04% de gásóleo/diesel;
- 0,06% de combustível para motor (gasolina).

As medidas propostas inicialmente foram:

- Aproveitamento da energia do biogás, a ser implementado em 2010;
- Substituição de motores das lagoas de arejamento da estação de tratamento de águas lixiviadas (ETAL), a ser implementado em 2010;
- Gestão da frota de veículos pesados, a ser implementado em 2010.

5.1.4 EMPRESA D

A empresa D possui o CAE 13301, referente ao branqueamento e tingimento e tem como designação do produto tinturaria e acabamentos (toneladas de tecido).

A AE realizou-se no ano de 2019, sendo o período do PREn compreendido entre 2019 e 2026. O ano de referência do PREn é 2018. Nesse ano a empresa D apresentou um consumo total de 2940,9 tep, devendo ser objeto de auditorias energéticas periódicas, de 8 em 8 anos, de acordo com o Decreto-Lei nº71/2008, de 15 de Abril, com uma meta de redução de 6% do valor da IE e do CEE, e pelo menos manter o valor da IC.

O consumo total por forma de energia foi:

- 30% de energia elétrica;
- 0,6% de gasóleo/diesel;
- 38,8% de gás natural;
- 13,1% de vapor;
- 2,2% de água quente;
- 13,5% de peletes/briquetes de madeira;
- 1,8% de energia fotovoltaica.

As medidas propostas inicialmente foram:

- Isolamento das tubagens, a ser implementado em 2021;
- Alteração para motor de 25 kW caldeira termofluido, a ser implementado em 2021;
- Redução de fugas de ar comprimido, a ser implementado em 2020;
- Sistema de monitorização de consumos de energia, a ser implementado em 2025;
- Instalação de um sistema FV, a ser implementado em 2021;
- Isolamento das tubagens e depósitos de 20 m³, a ser implementado em 2021;
- Substituição de duas Jet's, a ser implementado em 2023.

5.1.5 EMPRESA E

A empresa E possui o CAE 29320, referente à fabricação de outros componentes e acessórios para veículos automóveis e tem como designação do produto cabos e sistema de conforto.

A AE realizou-se no ano de 2017, sendo o período do PReN compreendido entre 2017 e 2024. O ano de referência do PReN é 2016. Nesse ano a empresa E apresentou um consumo total de 1865 tep, devendo ser objeto de auditorias energéticas periódicas, de 8 em 8 anos, de acordo com o Decreto-Lei nº71/2008, de 15 de Abril, com uma meta de redução de 6% do valor da IE e do CEE, e pelo menos manter o valor da IC.

O consumo total por forma de energia foi:

- 98,67% de energia elétrica;
- 1,33% de gasóleo/diesel.

As medidas propostas inicialmente foram:

- Monitorização dos consumos de energia, a ser implementado em 2018;
- Alteração da iluminação existente por LED, a ser implementado em 2019;
- Instalação de um sistema FV, a ser implementado em 2023.

5.1.6 EMPRESA F

A empresa F possui o CAE 27320, referente à fabricação de outros fios e cabos elétricos e eletrónicos e tem como designação do produto condutores elétricos.

A AE realizou-se no ano de 2020, sendo o período do PREn compreendido entre 2020 e 2027. O ano de referência do PREn é 2019. Nesse ano a empresa F apresentou um consumo total de 1035,3 tep, devendo ser objeto de auditorias energéticas periódicas, de 8 em 8 anos, de acordo com o Decreto-Lei nº71/2008, de 15 de Abril, com uma meta de redução de 6% do valor da IE e do CEE, e pelo menos manter o valor da IC.

O consumo total por forma de energia foi:

- 97,6% de energia elétrica;
- 2% de gasóleo/diesel;
- 0,4% de gás de petróleo liquefeito.

As medidas propostas inicialmente foram:

- Redução de fugas na rede de ar comprimido, a ser implementado a cada dois anos, iniciando em 2021;
- Substituição do compressor, a ser implementado em 2024;
- Substituição da máquina TR5 por um motor CA com VEV, a ser implementado em 2022;
- Utilização de eletroválvulas de ar comprimido, a ser implementado em 2022;
- Formação e sensibilização, a cada dois anos, a começar em 2021;

- Substituição da máquina E6 por um motor CA com VEV, a ser implementado em 2022;
- Substituição da máquina E14 por um motor CA com VEV, a ser implementado em 2022.

5.1.7 EMPRESA G

A empresa G possui o CAE 22292, referente à fabricação de outros artigos de plástico, n.e, e tem como designação do produto plástico fabricado.

A AE realizou-se no ano de 2017, sendo o período do PReN compreendido entre 2017 e 2024. O ano de referência do PReN é 2016. Nesse ano a empresa G apresentou um consumo total de 979,1 tep, devendo ser objeto de auditorias energéticas periódicas, de 8 em 8 anos, de acordo com o Decreto-Lei nº71/2008, de 15 de Abril, com uma meta de redução de 4% do valor da IE e do CEE, e pelo menos manter o valor da IC.

O consumo total por forma de energia foi:

- 99,9% de energia elétrica;
- 0,01% de gásóleo/diesel.

As medidas propostas inicialmente foram:

- Instalação de iluminação LED no exterior, a ser implementado em 2017;
- Redução de fugas de ar comprimido, a ser implementado em 2018;
- Alteração da linha 3 por outra linha de produção com índice superior de eficiência energética, a ser implementado em 2017 e 2018;
- Alteração da iluminação fluorescente da nave por LED, a ser implementado entre 2019 e 2022;
- Alteração da iluminação fluorescente dos laboratórios por LED, a ser implementado em 2018 e 2019;
- Ajuste das temperaturas de conforto do ar condicionado (AC) do escritório, a ser implementado em 2018;
- Implementação de um sistema de monitorização de consumos, a ser realizado desde 2019 até ao final do período do PReN;

- Implementação de ações de sensibilização de consumos energéticos, durante todo o período do PREn.

5.1.8 EMPRESA H

A empresa H possui o CAE 2229, referente à fabricação de outros artigos de plástico e tem como designação do produto plásticos.

A AE realizou-se no ano de 2017, sendo o período do PREn compreendido entre 2017 e 2024. O ano de referência do PREn é 2006. Nesse ano a empresa H apresentou um consumo total de 781,7 tep, devendo ser objeto de auditorias energéticas periódicas, de 8 em 8 anos, de acordo com o Decreto-Lei nº71/2008, de 15 de Abril, com uma meta de redução de 4% do valor da IE e do CEE, e pelo menos manter o valor da IC.

O consumo total foi em forma de energia elétrica.

As medidas propostas inicialmente foram:

- Monitorização dos consumos de energia, a ser implementado em 2019 e 2020;
- Substituição de iluminação por tecnologia LED, a ser implementado em 2017, 2018 e 2019;
- Redução de fugas de ar comprimido, a ser implementado em 2017 e 2018.

5.1.9 RESUMO DOS ESTUDOS DE CASO

Na [tabela 1](#) estão apresentados os valores do consumo, VAB, produção e emissões de CO₂. Por sua vez, a [tabela 2](#) indica os valores obtidos dos respetivos indicadores energéticos no ano de referência do respetivo PREn de cada estudo de caso.

Para o consumo total de energia e os indicadores energéticos que utilizam o consumo para o seu cálculo, foi considerado apenas 50% da energia resultante de resíduos endógenos e de outros combustíveis renováveis.

Tabela 1 Tabela-resumo das variáveis obtidas no ano de referência de cada estudo de caso

Estudo de caso	Consumo (tep)	VAB (€)	Produção (t)	Emissões CO ₂ (tCO ₂)
A	468,2	3 901 411 €	40852,4	1048,1
B	634,2	2 977 419 €	3255	1395,4
C	556,9	2 580 792 €	145032	1497,6
D	2913,8	2 712 941 €	3406	6284,8
E	1865	22 800 571 €	365352819 (un.)	4099,5
F	1035,3	3 310 512 €	7971	2284
G	979,1	4 723 681 €	12224	2141,1
H	781,7	3 106 107 €	1553,2	1708,8

Tabela 2 Indicadores energéticos no ano de referência de cada estudo de caso

Estudo de caso	IE (kgep/€)	CEE (kgep/t)	IC (tCO ₂ /tep)
A	0,12	11,46	2,24
B	0,213	194,84	2,2
C	0,216	3,84	2,69
D	1,074	855,505	2,14
E	0,082	0,005	2,2
F	0,313	129,883	2,21
G	0,207	80,097	2,19
H	0,252	0,503	2,19

5.2. IMPACTO DAS AUDITORIAS ENERGÉTICAS NA PRODUTIVIDADE INDUSTRIAL

Como objetivo inicial, foi proposto fazer uma avaliação retrospectiva das auditorias energéticas e validar o seu real impacto na produtividade das unidades industriais. Em 3.2 foi discutida a constituição e o processo da realização das auditorias energéticas.

Para ser possível validar o impacto na produtividade das empresas, foram utilizados os estudos de caso apresentados em 5.1, especificamente o estudo de caso A, B e C, visto serem os únicos já completamente finalizados. Isto permite obter uma perspetiva global da evolução dos indicadores energéticos e da eficiência da empresa, e confirmar se os objetivos foram ou não cumpridos.

5.2.1 PRODUTIVIDADE DA EMPRESA A

Tal como visto em 5.1.1, a empresa A tinha como meta a redução de 4% do valor do CEE e da IE, e pelo menos manter o valor da IC.

A figura 21 apresenta a evolução do CEE ao longo dos 8 anos de duração do PReN, que tinha como meta definida 11,00 kgep/t. A figura 22 apresenta a evolução do IE, cuja meta estabelecida era 0,118 kgep/€. A figura 23 apresenta a evolução do IC, com a meta a atingir 2,24 tCO₂/tep.

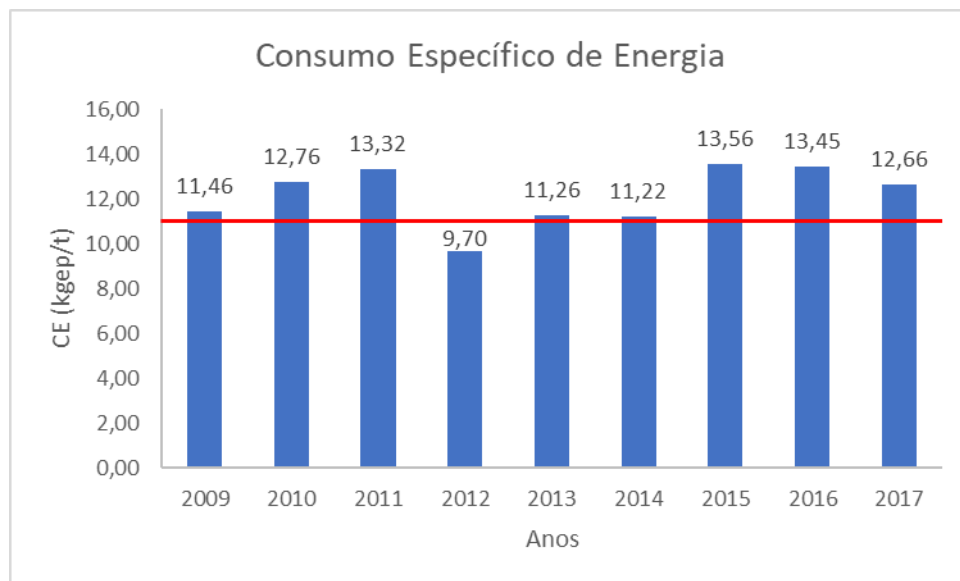


Figura 21 Evolução do CEE da empresa A entre 2009 e 2017

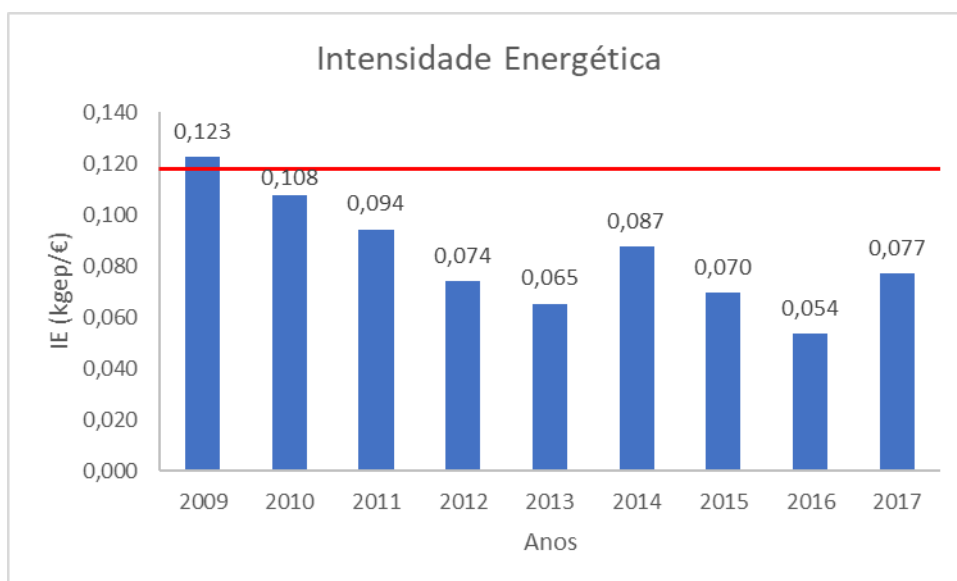


Figura 22 Evolução da IE da empresa A entre 2009 e 2017

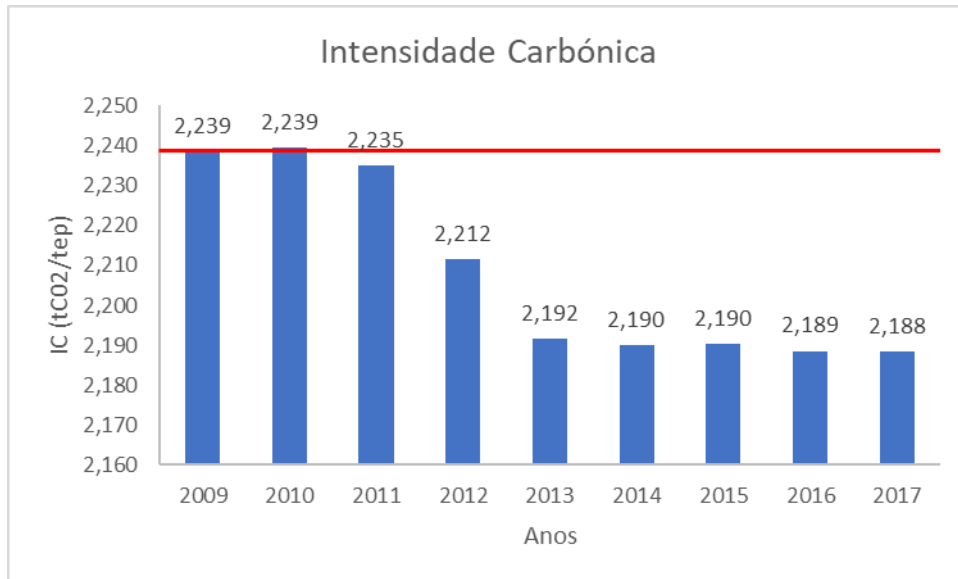


Figura 23 Evolução da IC da empresa A entre 2009 e 2017

Observando as retas horizontais, que representam o valor da meta a atingir, conclui-se que o CEE foi o único indicador energético que não atingiu a meta estabelecida.

Tendo por base os resultados apresentados, relativos aos diferentes indicadores de desempenho energético da empresa A, concluiu-se que a empresa continua a ser capaz de contribuir para a otimização das metas propostas. É de salientar que, devido à elevada preocupação na otimização dos processos produtivos e auxiliares, durante o ano de 2016, foram implementadas diversas medidas, não previstas inicialmente:

- Instalação de um sistema solar FV em regime de autoconsumo;
- Substituição dos sistemas de aquecimento pontuais (com garrafas de 11 kg com gás propano), por sistemas centralizados alimentados por bombas de calor;
- Substituição de todos os empilhadores a gás por equivalentes elétricos.

Para além dessas medidas implementadas, foi prevista uma futura substituição dos transformadores a óleo por transformadores secos, que resultará numa diminuição de perdas de transformação entre 3% a 5%.

No final de 2015 foi concluída a instalação do sistema FV para autoconsumo, com uma potência de pico de 107,12 kWp.

O ciclo de auditoria terminou com a empresa A estando abaixo dos 500 tep, com 456,9 tep. Dois dos indicadores energéticos apresentaram melhorias significativas em relação ao ano

de referência, com uma diminuição de 37% da IE, e de 2,24% da IC. No entanto, o indicador restante, CEE, apresentou-se 15% acima do expectável, devido à introdução de novas linhas produtivas e à instalação de sistemas de climatização em espaços anteriormente não climatizados, para melhoria das condições de armazenagem e conforto térmico.

Como explicado em 3.1.2, o coeficiente de correlação linear permite relacionar o consumo de energia e a produção, existindo uma parcela de energia consumida independentemente da produção.

A figura 24 e figura 25 apresentam a reta que relaciona o consumo de energia e a produção, no ano de início e de fim do PREn. Também se encontra representado a equação da reta e o coeficiente obtido.

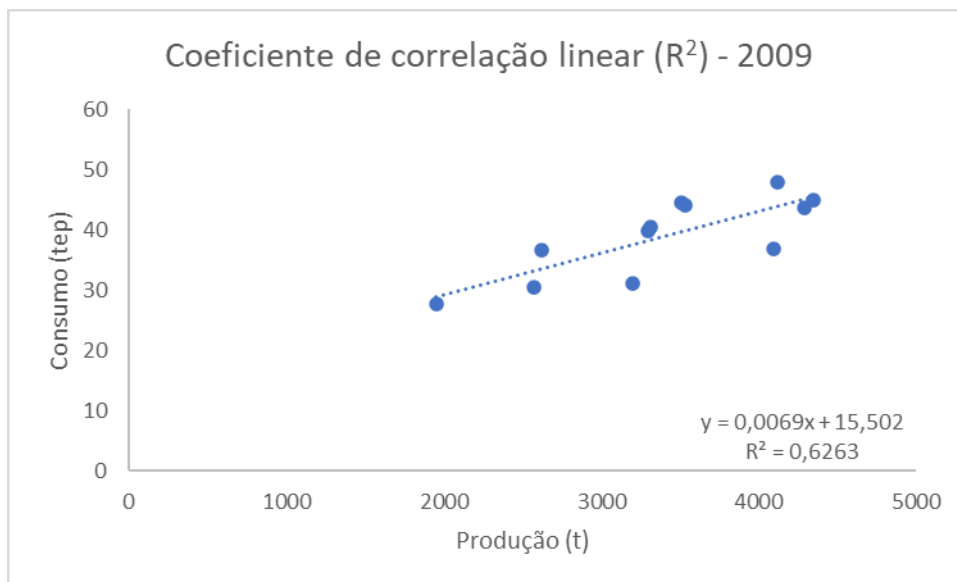


Figura 24 Relação entre consumo e produção da empresa A em 2009

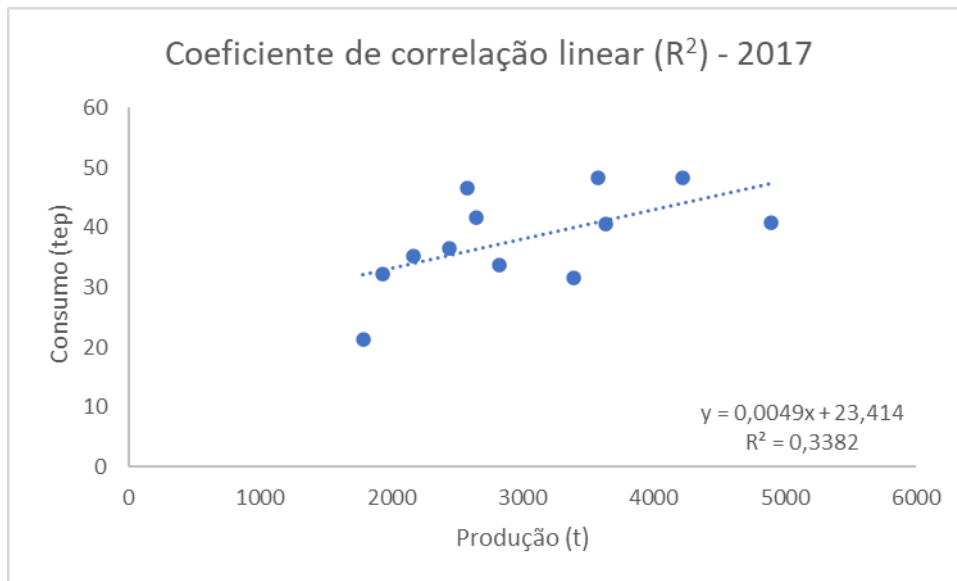


Figura 25 Relação entre consumo e produção da empresa A em 2017

A reta obtida nas figuras anteriores permite efetuar previsões com pouca fiabilidade, visto que os pontos estão bastante dispersos. Pelas equações obtidas é possível determinar o consumo base, ao anular a produção ($x = 0$). Para o primeiro caso, o consumo base é 15,5 tep, enquanto para o segundo caso é 23,4 tep. O coeficiente de correlação linear (R^2) diminuiu, consequência da alteração das linhas de produção, que diminuiu o consumo, e refletiu uma descida acentuada da produção. Pelas mesmas razões, a diminuição do coeficiente representa também um aumento no potencial de economia.

Finalmente, a produtividade da empresa pode ser definida como a relação entre o VAB e o consumo energético, que basicamente consiste no indicador energético denominado IE. Visto que se pretende obter um VAB elevado e um consumo baixo, quanto mais baixo for o valor da IE, melhor é a produtividade da empresa.

A [figura 26](#) representa a relação entre o VAB e o consumo de energia, ao longo dos 8 anos de duração do PREn. A [figura 27](#) representa a evolução da produtividade ao longo do período do PREn. O VAB apresentou um crescimento até 2016, onde foram alteradas as linhas de produção e que causou uma diminuição do VAB e do consumo.

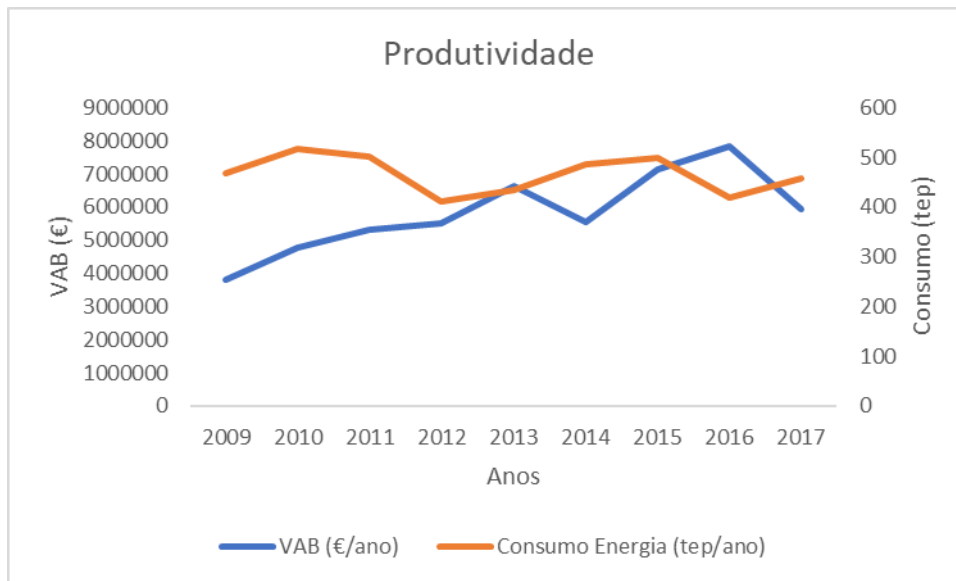


Figura 26 Variação do VAB e do consumo energético da empresa A

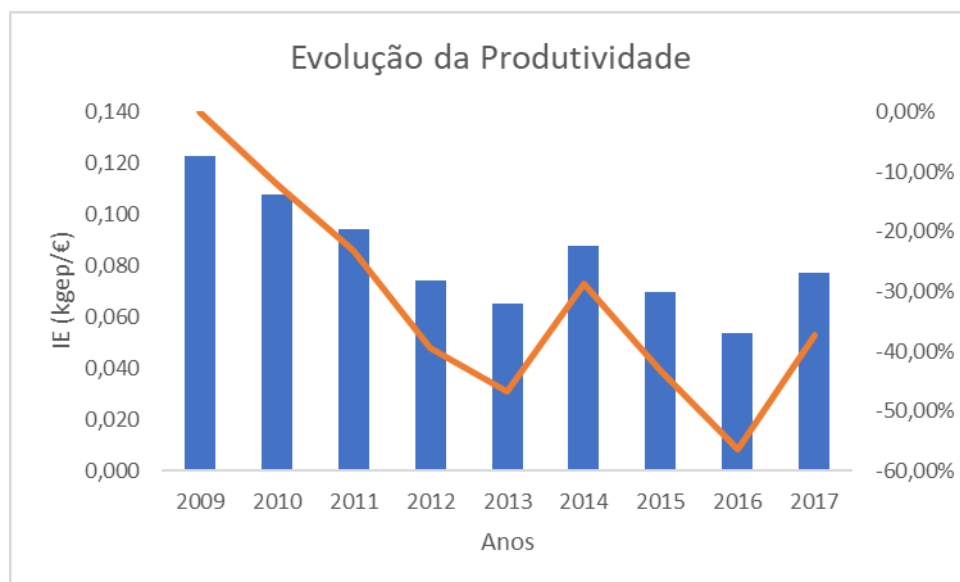


Figura 27 Evolução da produtividade da empresa A ao longo do período do PREn

Tal como referido anteriormente, a produtividade da empresa é tanto maior quanto menor for o valor da IE. Dito isto e observando o gráfico presente na [figura 27](#), em termos percentuais este indicador energético tem vindo a tornar-se mais baixo ao longo do período do PREn. No ano de 2016 foi atingido um valor máximo de decréscimo na ordem dos 56% em relação ao ano de referência. Esse valor piorou no ano final, 2017, devido às razões já indicadas, que fizeram aumentar o consumo de energia e, conseqüentemente, piorar o indicador energético. No entanto, em 2017 obteve-se uma redução da IE de 37% em

comparação com o ano de 2009, tendo sido cumprido o objetivo de redução proposto no PREn.

5.2.2 PRODUTIVIDADE DA EMPRESA B

A empresa B, 5.1.2, tinha como meta a redução de 4% do valor do CEE e da IE, e pelo menos manter o valor da IC. Para este caso, só estavam disponíveis os valores calculados em cada REP, ou seja, a cada dois anos.

A figura 28 apresenta a evolução do CEE ao longo dos 8 anos de duração do PREn, que tinha como meta definida 187,02 kgep/t. A figura 29 apresenta a evolução da IE, cuja meta estabelecida era 0,204 kgep/€. A figura 30 apresenta a evolução do IC, com a meta a atingir 2,20 tCO₂/tep.

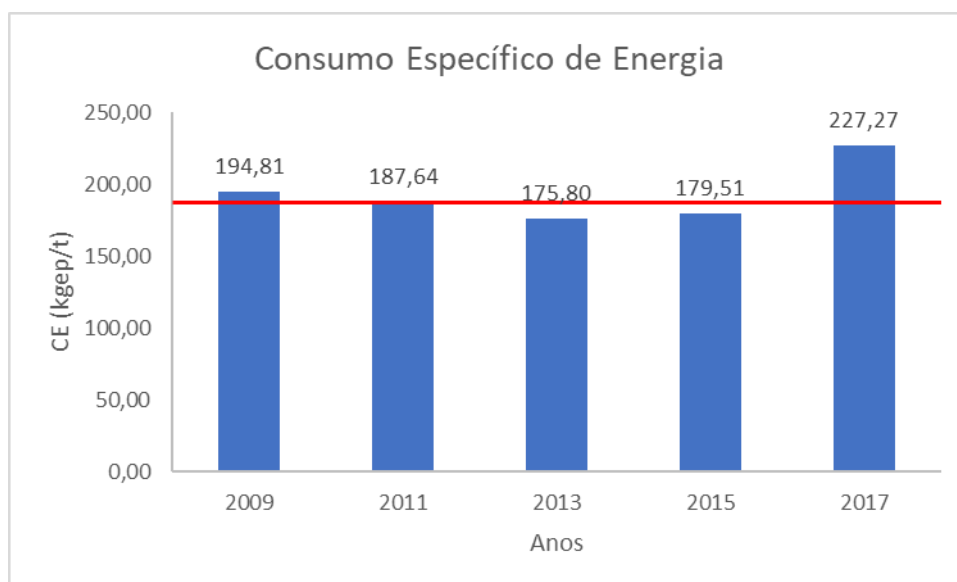


Figura 28 Evolução do CEE da empresa B entre 2009 e 2017

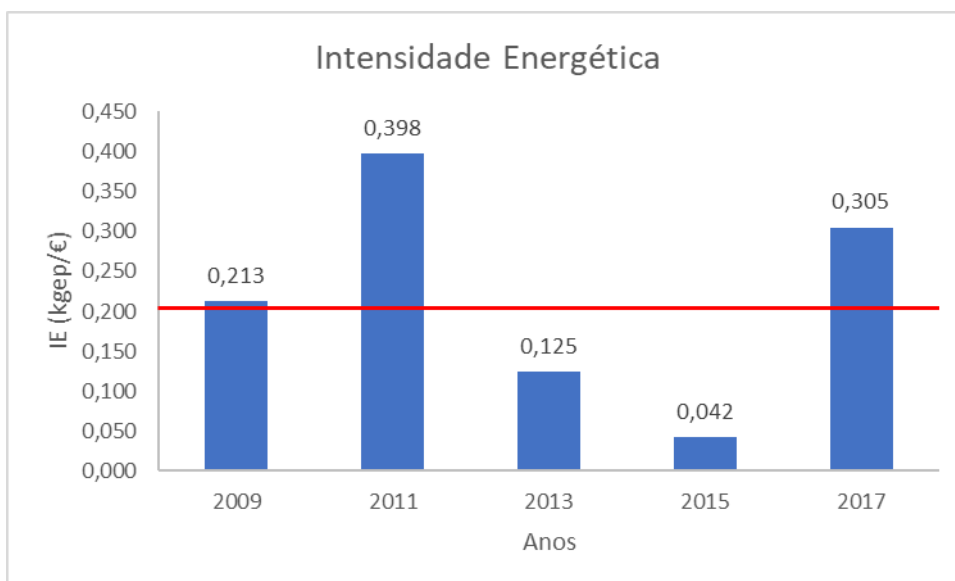


Figura 29 Evolução da IE da empresa B entre 2009 e 2017

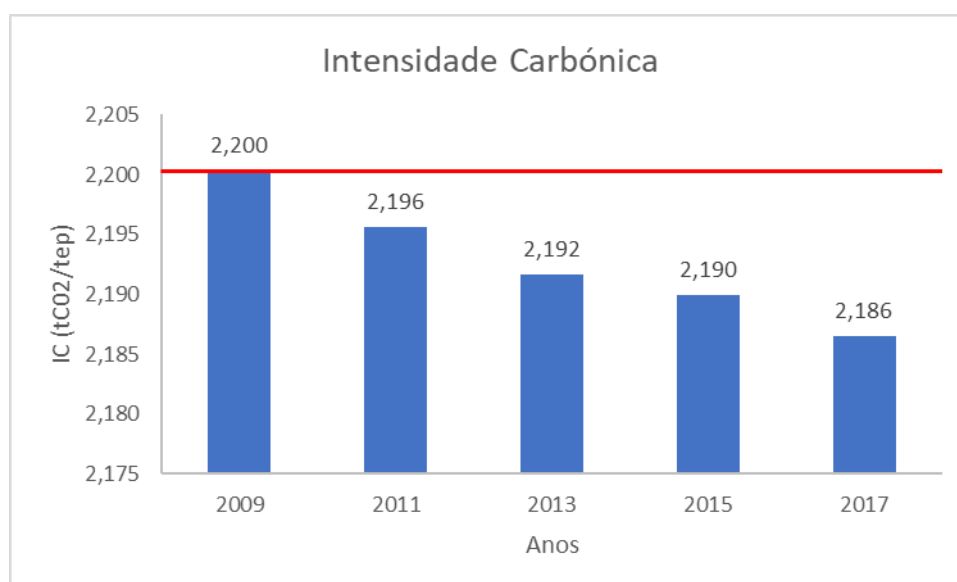


Figura 30 Evolução da IC da empresa B entre 2009 e 2017

Observando as retas horizontais que representam o valor da meta a atingir em cada uma das figuras, conclui-se que a IC, que se pretendia pelo menos manter, foi o único indicador energético a atingir a meta.

O ciclo de auditoria terminou com a empresa B com um valor de consumo de energia de 800 tep, valor superior ao valor de referência obtido em 2009, 634,1 tep.

As medidas acordadas no ARCE foram implementadas na sua totalidade até ao ano de 2013, e resultaram numa redução efetiva do consumo específico de cerca de 8% em 2015,

comparativamente ao ano de referência (2009), atingindo assim as metas previstas no ARCE. Assim, a empresa B demonstra uma preocupação efetiva com a redução de energia e com a preocupação de cumprir o acordado no âmbito do SGCIE. Contudo, as exigências do mercado obrigam a uma constante evolução, quer a nível do processo de fabrico, quer a nível de equipamentos. Deste modo:

- A subcontratação que faziam na compra de filme, passou a ser fabricado internamente, com a compra de mais uma extrusora nova, o que levou a um aumento de consumo de energia, sem existir um aumento de produção (produto vendável);
- Em resposta às exigências de mercado (malha vendável), houve uma necessidade de melhorar a qualidade do produto vendável, o que implica um output mais baixo, (cadência de produção), mantendo o mesmo consumo de energia.

Estas alterações não estavam previstas à data da elaboração do PREn, e vêm introduzir um acréscimo de consumo energético, sem proporcional acréscimo do volume produzido vendável. A aquisição de novas extrusoras reflete a necessidade de evolução, tendo como objetivo aprimorar e garantir a qualidade do filme utilizado no produto final.

Como foi possível analisar, apenas a IC cumpriu a meta estabelecida no PREn. O CEE apresentou um aumento de 16% relativamente ao ano de referência. Ao mesmo tempo, a IE obteve um aumento mais significativo, na ordem dos 44%. No caso do CEE, o aumento deveu-se ao já referido, aumento do consumo de energia, não acompanhado pelo aumento da produção. A IE teve uma variação abrupta durante o período de auditoria. Inicialmente, após implementação das medidas propostas, o indicador estava encaminhado para atingir a meta estabelecida. Com a implementação das medidas não previstas, o VAB teve um aumento abrupto, que levou a uma redução de 80% em 2015 face ao ano de referência, melhor valor da IE obtidos durante os 8 anos. Com o aumento do consumo energético, o decréscimo da produção e do VAB, o indicador aumentou substancialmente, e finalizou-se o período do PREn com um valor 43% acima da meta.

A [figura 31](#) e [figura 32](#) apresentam a reta que relaciona o consumo de energia e a produção, no ano de início e de fim do PREn. Também se encontra representado a equação da reta e o coeficiente obtido.

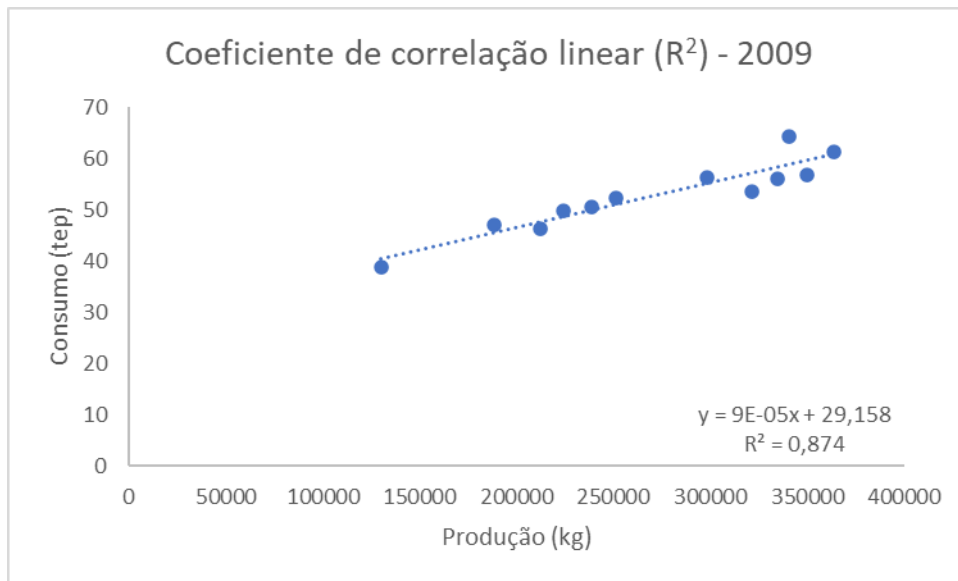


Figura 31 Relação entre o consumo e produção da empresa B em 2009

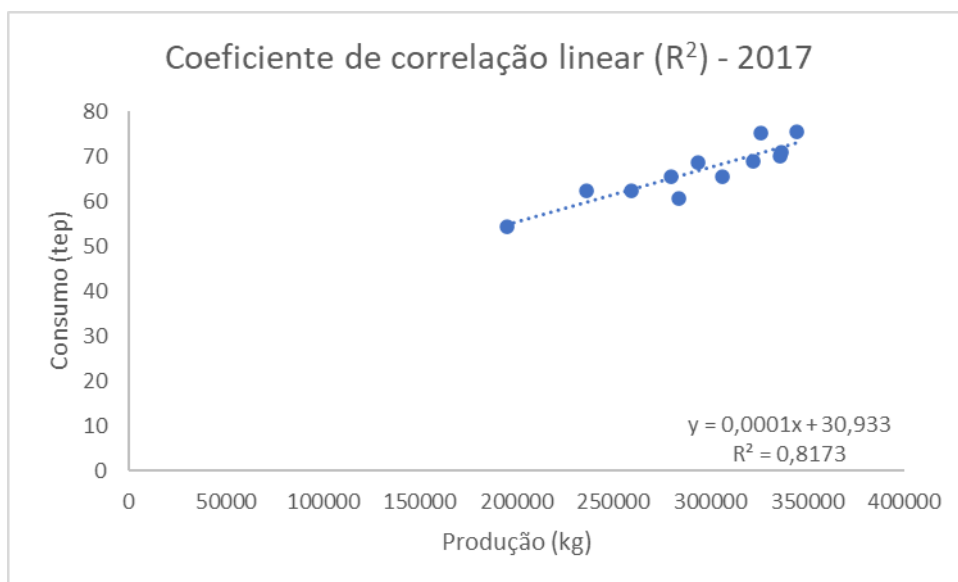


Figura 32 Relação entre o consumo e produção da empresa B em 2017

As retas obtidas em ambas as figuras anteriores permitem efetuar previsões com alguma fiabilidade, visto que os pontos acompanham as retas e, ao contrário da empresa A, não estão dispersos. Pelas equações é possível determinar o consumo base, anulando a produção ($x=0$). Para o primeiro caso, o consumo base é 29,15 tep (valor de energia consumida quando todos os sectores produtivos estão parados), e o coeficiente de correlação linear (R^2) obtido é 0,874, valor considerado bom, permitindo efetuar previsões com bastante fiabilidade dos consumos energéticos da instalação em função da produção.

Outra informação que se pode obter do coeficiente de correlação é a do potencial de economia de energia, que será tanto maior quanto menor for o valor do coeficiente. No caso em estudo, o potencial de economia de energia está ainda presente. No segundo caso, o consumo base é 30,93 tep. O coeficiente de correlação linear diminuiu para 0,817, o que demonstra que as medidas não previstas que vieram interferir nas metas estabelecidas e aumentaram o consumo energético da empresa (e os indicadores energéticos) também aumentaram o potencial de economia de energia.

Tal como em 5.2.1, a produtividade da empresa pode ser definida como a relação entre o VAB e o consumo energético, ou seja, a IE. A figura 33 representa essa relação, ao longo dos 8 anos de duração do PREn. A figura 34 representa a evolução da produtividade ao longo do período do PREn.

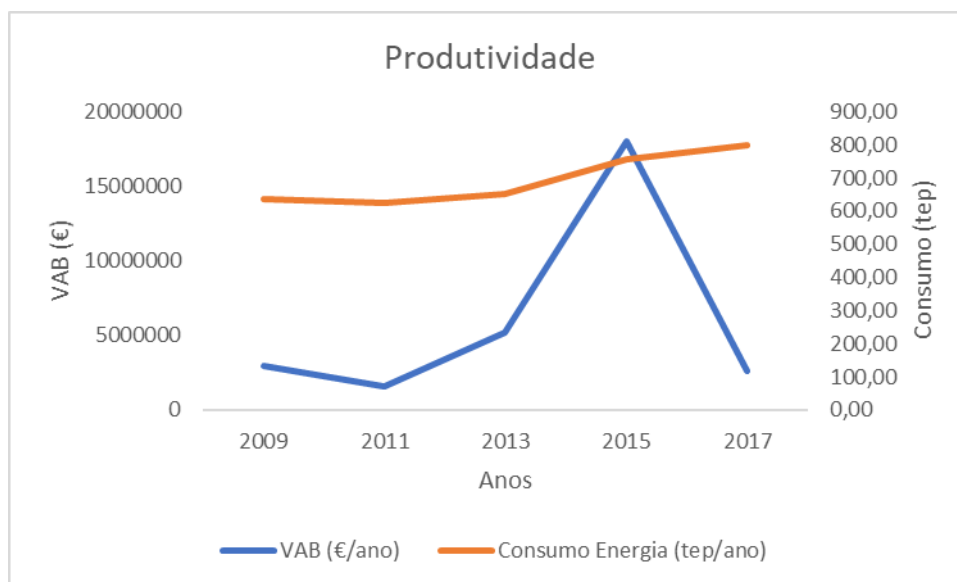


Figura 33 Variação do VAB e do consumo energético da empresa B

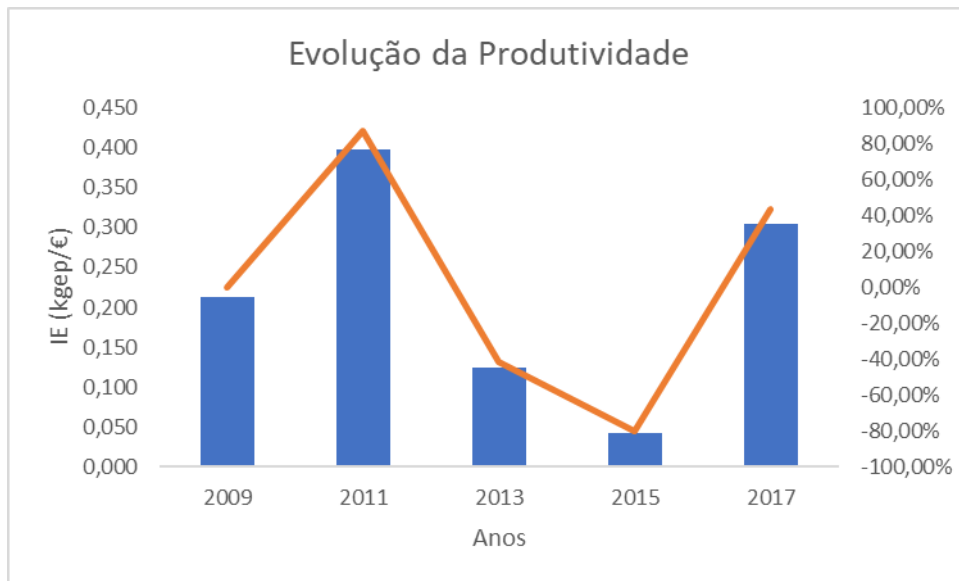


Figura 34 Evolução da produtividade ao longo do período do PREn

O consumo de energia aumentou a um ritmo constante desde 2009 até 2017. O VAB apresentou um crescimento abrupto entre 2013 e 2015, e depois um decréscimo igualmente significativo entre 2015 e 2017.

Tal como referido anteriormente, a produtividade da empresa é tanto maior quanto menor for o valor da IE. Dito isto e observando o gráfico presente na [figura 34](#), em termos percentuais este indicador energético tem uma evolução variável ao longo do período do PREn.

No ano de 2015 foi atingido um valor máximo de decréscimo na ordem dos 80% em relação ao ano de referência. No entanto, no ano do REP final, 2017, o valor piorou substancialmente visto que o consumo aumentou e o VAB diminuiu a pico, aumentando a IE em 43% em comparação com 2009, piorando a produtividade da empresa B.

5.2.3 PRODUTIVIDADE DA EMPRESA C

A empresa C, [5.1.3](#), tinha como meta a redução de 4% do valor do CEE e da IE, e pelo menos manter o valor da IC.

A [figura 35](#) apresenta a evolução do CEE ao longo dos 8 anos de duração do PREn, que tinha como meta definida 3,69 kgep/t. A [figura 36](#) apresenta a evolução do IE, cuja meta estabelecida era 0,207 kgep/€. Finalmente, a [figura 37](#) apresenta a evolução do IC, com a meta a atingir 2,69 tCO₂/tep.

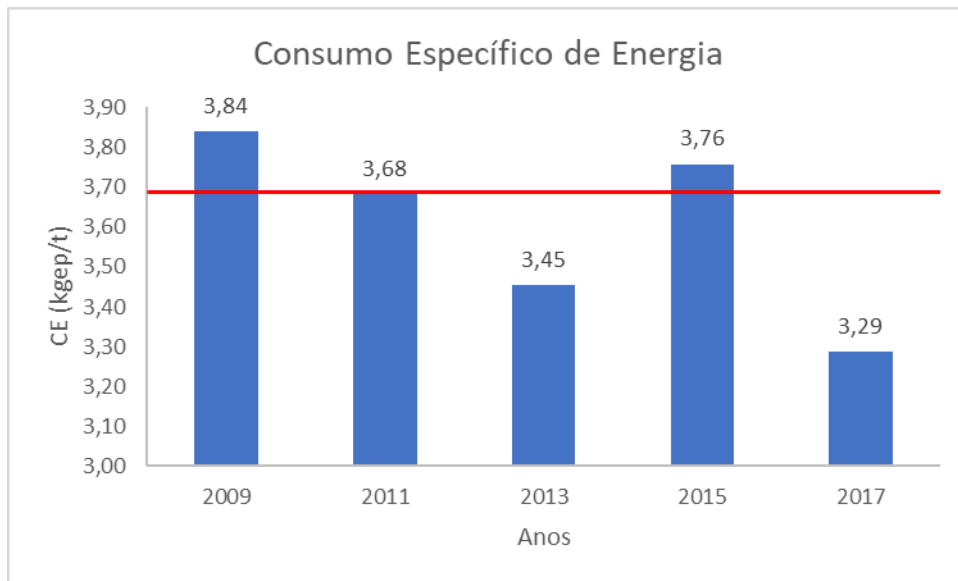


Figura 35 Evolução do CEE da empresa C entre 2009 e 2017

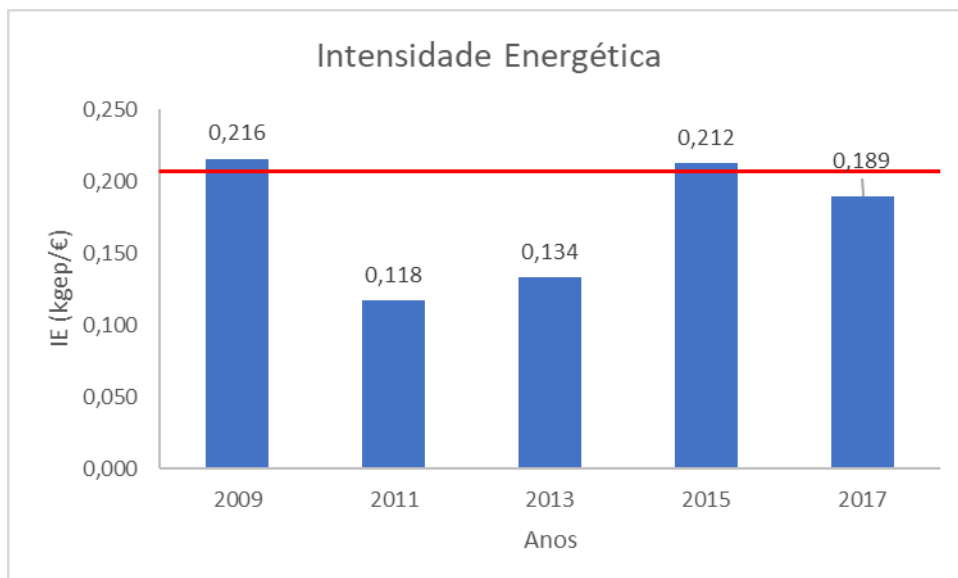


Figura 36 Evolução da IE da empresa C entre 2009 e 2017

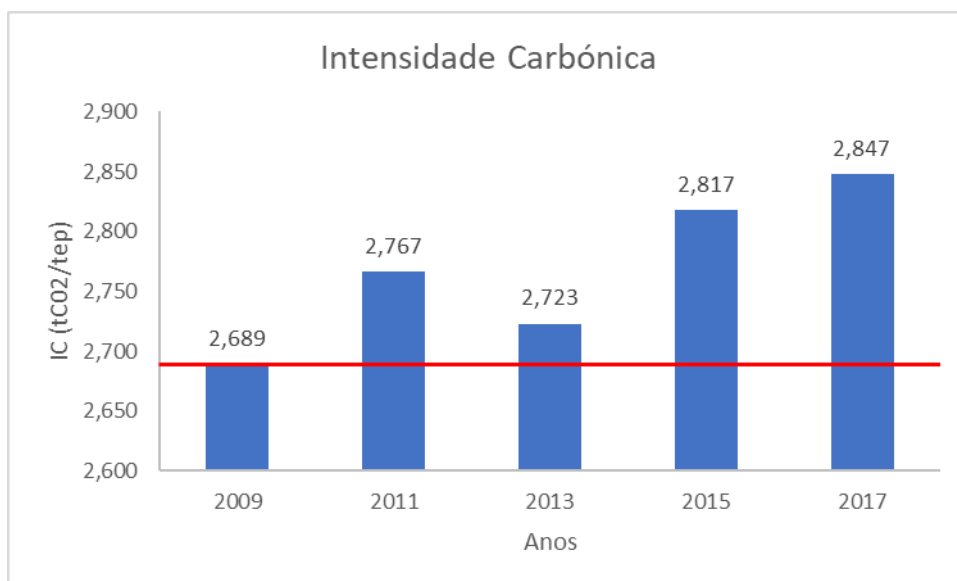


Figura 37 Evolução da IC da empresa C entre 2009 e 2017

Observando as retas horizontais que representam o valor da meta a atingir, contrariamente às empresas A e B, a IC foi o único indicador energético a não atingir a meta estabelecida.

Cabe salientar que a eliminação da medida biodiesel no PReN (suspensa no final de 2014), foi consequência da ocorrência de algumas avarias nos motores das máquinas e camiões, podendo estar relacionadas com o uso desse combustível. No respetivo REP, foi suspeitado que o controlo de qualidade deste tipo de combustíveis não seja conciliável com as exigências tecnológicas dos motores diesel atuais. Em alternativa, foi feita a otimização dos circuitos da recolha seletiva, bem como facultada formação aos colaboradores sobre condução eficiente. Acresce ainda que foi opção da empresa C, no final do ano de 2015, renovar parte da frota de camiões afetos à recolha seletiva, através da aquisição de dois novos camiões. Tal medida contribuiu para a redução do consumo de gasóleo em 2016 na ordem dos 8% face a 2015. No entanto, tendo por base os resultados apresentados, relativos aos diferentes indicadores de desempenho energético da empresa em questão, bem como o conjunto de adversidades e condicionalismos existentes, pode-se concluir que, de uma forma geral, a empresa foi capaz de contribuir para o cumprimento das metas que se propôs alcançar no ARCE. Com ou sem produção, o produto associado tem de estar sempre a trabalhar.

O ciclo de auditoria terminou com a empresa C a obter um consumo igual a 435 tep, valor inferior a 500 tep. Dois dos indicadores energéticos apresentaram melhorias significativas

em relação ao ano de referência, com uma diminuição de 12,37% da IE, e de 14,39% do CEE. No entanto, a IC um aumento de 5,9% acima do expectável.

A [figura 38](#) e [figura 39](#) apresentam a reta que relaciona o consumo de energia e a produção, no ano de início e de fim do PReN. Também se encontra representado a equação da reta e o coeficiente obtido.

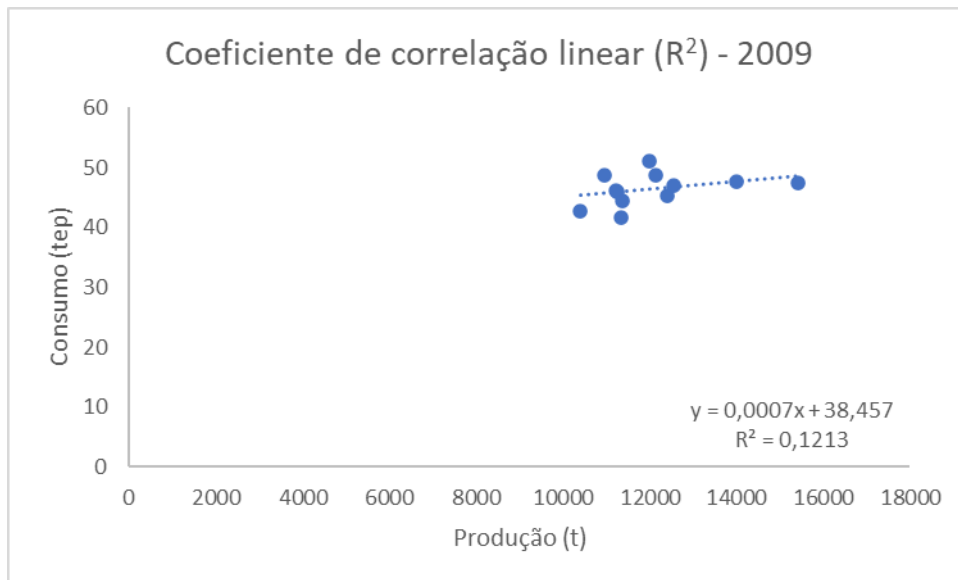


Figura 38 Relação entre consumo e produção da empresa C em 2009

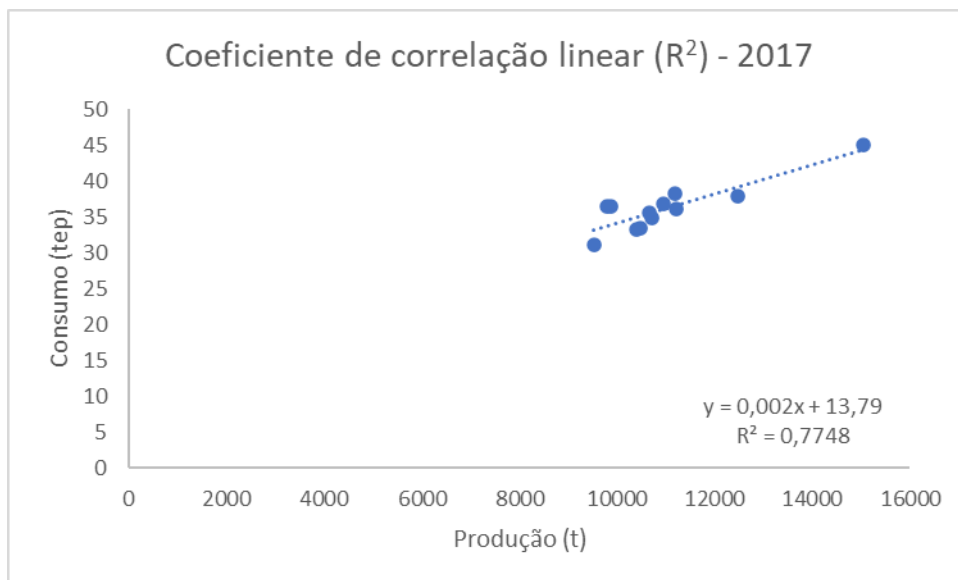


Figura 39 Relação entre consumo e produção da empresa C em 2017

Para o primeiro caso, a reta obtida permite efetuar previsões com pouca fiabilidade, visto que os pontos estão relativamente dispersos. Pela equação é possível determinar o consumo base, anulando a produção ($x=0$), sendo este 38,45 tep. Para o segundo caso já é possível fazer previsões com mais fiabilidade. Como é possível observar na [figura 39](#), os pontos estão mais juntos, e o coeficiente de correlação linear (R^2) aumentou significativamente, de 0,12 para 0,77. O consumo residual da empresa, quando a sua produção é nula, é 13,79 tep, tendo também diminuído em comparação com o ano de referência. Este aumento do coeficiente representa que o potencial de economia existente no início da auditoria foi aproveitado, mas ainda existe espaço para melhoria.

Novamente, a produtividade da empresa pode ser definida como a relação entre o VAB e o consumo energético, que basicamente consiste no indicador energético da IE. Visto que se pretende obter um VAB elevado e um consumo baixo, quanto mais baixo for o valor da IE, melhor é a produtividade da empresa.

A [figura 40](#) representa a relação entre o VAB e o consumo de energia, ao longo dos 8 anos de duração do PREn. A [figura 41](#) representa a evolução da produtividade ao longo do período do PREn.

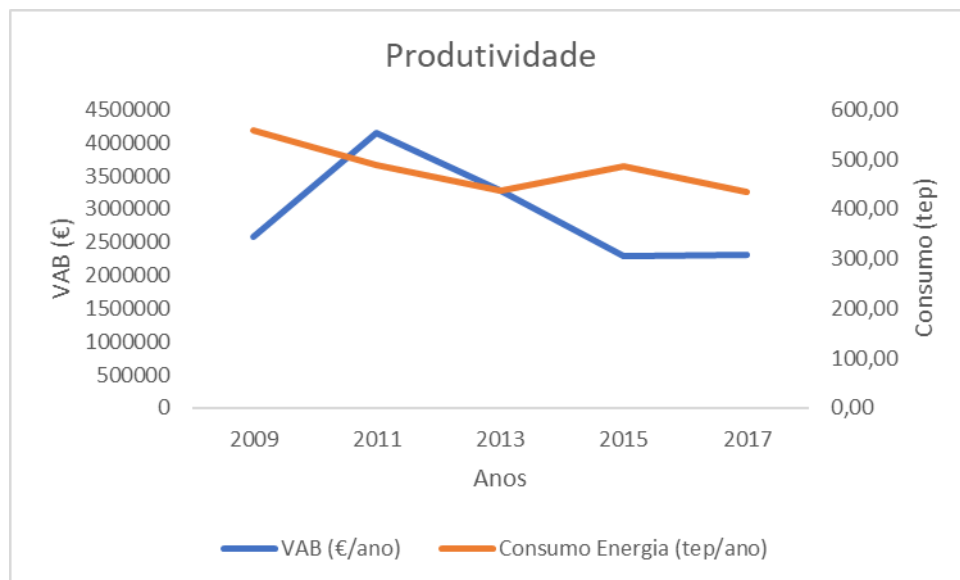


Figura 40 Variação do VAB e do consumo energético da empresa C



Figura 41 Evolução da produtividade ao longo do período do PREn

O VAB aumentou até 2011. A partir desse momento foi sempre decrescendo até atingir o valor de 2015, e manter-se praticamente inalterado até ao final do período da auditoria. O consumo de energia desceu ao longo do período do PREn, tendo apresentado um aumento entre 2013 e 2015, seguido logo por um decréscimo proporcional até 2017.

O valor da IE, que permite verificar a evolução da produtividade da empresa ao longo do período do PREn, apresentou períodos inconstantes. Pela [figura 41](#), no ano do 1º REP, 2011, foi atingido um valor máximo de decréscimo, sendo este 45,5% inferior em relação ao ano de referência. Esse valor foi piorando até 2015, onde a redução da IE comparativamente ao ano de referência já era apenas 1,5%. No ano final da auditoria, 2017, o valor da IE estava 12,3% abaixo do valor inicial, tendo cumprido o objetivo de redução de 4% proposto no PREn. A produtividade da empresa C apresenta uma tendência de melhoria.

5.2.4 RESUMO DO IMPACTO DAS AUDITORIAS ENERGÉTICAS NA PRODUTIVIDADE INDUSTRIAL

Em relação à produtividade da empresa antes e após a AE, conclui-se que, de uma maneira geral, a auditoria e o PREn influenciam de uma forma positiva a produtividade das empresas. Nestes três estudos de caso em que a AE já tinha finalizado, a produtividade apenas piorou na empresa B, pelas razões já mencionadas anteriormente. Conclui-se também que qualquer alteração na empresa que afete o VAB ou o consumo de energia, vai

afetar a produtividade da mesma, proporcional com o aumento ou redução dessas variáveis. O objetivo passa por obter o melhor VAB possível para um consumo de energia menor possível.

Pretende-se aqui agrupar as empresas analisadas anteriormente de forma a ver de uma maneira sucinta, na [tabela 3](#), se as metas de redução propostas foram ou não cumpridas.

Tabela 3 Tabela-resumo do cumprimento das metas de redução propostas nas empresas A, B e C

Metas de redução dos indicadores energéticos			
Empresa	CEE	IE	IC
A	Não cumpre	Cumpre	Cumpre
B	Não cumpre	Não cumpre	Cumpre
C	Cumpre	Cumpre	Não cumpre

A [tabela 4](#) apresenta uma comparação da produtividade das três empresas:

Tabela 4 Comparação da produtividade entre as empresas A, B e C

Comparação da produtividade		
Empresa	Melhor valor da IE	Valor final da IE
A	0,054 kgep/€ (2016)	0,077 kgep/€ (2017)
B	0,042 kgep/€ (2015)	0,305 kgep/€ (2017)
C	0,118 kgep/€ (2011)	0,189 kgep/€ (2017)

A empresa que obteve o melhor valor de produtividade foi a B em 2015. No entanto, em 2017 essa mesma empresa apresentou o pior valor das três empresas em questão. No final da auditoria, a empresa que possuía a melhor produtividade foi a empresa A.

5.3. EFICÁCIA DAS MEDIDAS IMPLEMENTADAS NOS DIVERSOS SETORES INDUSTRIAIS

Para o segundo objetivo foi proposto fazer a validação e comparação das medidas implementadas nos diversos setores industriais. As medidas implementadas podem ser divididas em dois grupos: transversais e setoriais. Este tipo de medidas foram introduzidas em 4.1 e 4.2, respetivamente. Utilizando os estudos de caso analisados em 5.1, procedeu-se ao estudo das medidas implementadas de maneira a validar e comparar a sua eficácia.

5.3.1 MEDIDAS SETORIAIS E TRANSVERSAIS APLICADAS NOS ESTUDOS DE CASO

Em 5.1 foram apresentadas as medidas propostas inicialmente em cada PReN. No entanto, nem todas as medidas foram implementadas, e existiram alguns casos em que foram implementadas medidas adicionais para além das previstas no início da AE.

Para o conjunto em estudo, em média, foram propostas no PReN a implementação de 4,7 medidas por empresa. A grande parte destas medidas fazem parte do grupo de medidas transversais. Destas destacam-se:

- Substituição da iluminação;
- Eliminação de fugas de ar comprimido;
- Sistema FV para autoconsumo;
- Substituição de motores e utilização de VEV;
- Monitorização dos consumos de energia;
- Formação e sensibilização energética

Para além das medidas mencionadas acima, existiram também medidas ditas “isoladas”, ou seja, que não faziam parte do grande grupo de medidas transversais aplicadas às empresas estudadas. Estas medidas foram:

- Aproveitamento da energia do biogás;
- Gestão da frota de veículos pesados;
- Isolamento das tubagens e depósitos;
- Substituição de Jet's para tinturaria;
- Alteração da linha de produção por outra com índice superior de eficiência energética;
- Ajuste da temperatura de conforto dos AC's no escritório.

5.3.2 EFICÁCIA DAS MEDIDAS IMPLEMENTADAS NOS ESTUDOS DE CASO

Para analisar a eficácia de uma medida de eficiência energética é necessário avaliar os parâmetros energéticos e económicos da mesma. Na componente energética, pretende-se saber, para um determinado valor de consumo base da empresa, qual é o valor da redução do consumo de energia e dos indicadores energéticos que a medida proposta trará, estando também incluído a redução das emissões de GEE. Do ponto de vista económico, pretende-se saber qual terá de ser o investimento para implementar a medida, qual a economia de custos, e qual o período de retorno do investimento.

Nas oito empresas em conjunto, foram obtidos os seguintes valores:

- Investimento total = 3,71 milhões de euros;
- Economia anual de custos = 1,59 milhões de euros;
- Redução das emissões de CO₂ = 1273,25 t;
- Redução do consumo de energia = 659,7 tep;
- Redução do CEE = 71,45 kgep/t;
- Redução da IE = 0,147 kgep/€;
- Redução da IC = 1,137 tCO₂/tep.

5.3.2.1. SUBSTITUIÇÃO DA ILUMINAÇÃO

A medida transversal referente à iluminação foi introduzida em [4.1.1](#).

A substituição da iluminação existente por LED foi proposta em quatro das oito empresas. A [tabela 5](#) e [tabela 6](#) apresentam os parâmetros energéticos e económicos relativos à implementação desta medida, sendo que a primeira linha corresponde aos valores médios, a segunda linha aos valores totais, e a terceira e última linha à contribuição dessa medida para o total de todas as medidas propostas para as oito empresas.

Tabela 5 Parâmetros energéticos da substituição da iluminação

Parâmetros energéticos	Redução consumo [tep]	Redução emissão CO ₂ [t]	Redução CEE [kgep/t]	Redução IE [kgep/€]	Redução IC [tCO ₂ /tep]
Média	29,15	63,7	0,166	0,003	0,044
Total	174,9	382,2	0,995	0,018	0,262
% do total	26,51 %	30,02 %	1,39 %	12,24 %	23,04 %

Tabela 6 Parâmetros económicos da substituição da iluminação

Parâmetros económicos	Investimento [€]	Economia anual de custos [€]	Payback médio [anos]
Média	33274,17	12320,33	2,88
Total	199645,0	73921,98	
% do total	5,38 %	4,65 %	

A substituição da iluminação por soluções mais eficientes é uma medida bastante usual na indústria. Como é possível observar nas tabelas acima, essa substituição constituiu um quarto da redução total do consumo energético das oito empresas em questão. Para além disso, proporciona uma redução das emissões de CO₂ na ordem dos 30%. Relativamente aos parâmetros económicos, o investimento apenas constituiu cerca de 5% da totalidade a investir e o Payback médio é baixo, sendo, portanto, uma medida transversal eficaz e eficiente.

5.3.2.2. ELIMINAÇÃO DE FUGAS DE AR COMPRIMIDO

A medida transversal referente ao ar comprimido foi introduzida em [4.1.6](#).

A eliminação de fugas de ar comprimido foi proposta em seis das oito empresas. A [tabela 7](#) e [tabela 8](#) apresentam os parâmetros energéticos e económicos relativamente à implementação dessa medida nas respetivas empresas.

Tabela 7 Parâmetros energéticos da eliminação de fugas de ar comprimido

Parâmetros energéticos	Redução consumo [tep]	Redução emissão CO ₂ [t]	Redução CEE [kgep/t]	Redução IE [kgep/€]	Redução IC [tCO ₂ /tep]
Média	7,37	16,14	0,65	0,001	0,01
Total	66,3	145,3	5,87	0,012	0,127
% do total	10,35 %	11,41 %	8,22 %	8,16 %	11,17 %

Tabela 8 Parâmetros económicos da eliminação de fugas de ar comprimido

Parâmetros económicos	Investimento [€]	Economia anual de custos [€]	Payback médio [anos]
Média	12853,39	3166,51	4,62
Total	115680,5	28498,56	
% do total	3,12 %	1,79 %	

Analisando os parâmetros apresentados nas tabelas acima, a eliminação de fugas de ar comprimido é uma medida bastante comum nos PREN. Nos estudos de caso, esta medida prevê uma redução do consumo de energia na ordem dos 10%. Possui um investimento e Payback baixo, sendo uma medida fácil e relativamente barata para executar, para além das vantagens energéticas apresentadas.

5.3.2.3. IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA AUTOCONSUMO

A medida transversal relativa à integração de energias renováveis foi introduzida em [4.1.5](#). Neste caso específico, trata-se de um sistema solar FV para autoconsumo.

A medida da implementação do sistema FV para autoconsumo foi proposta em três das oito empresas. Este tipo de medidas não são consideradas uma medida de eficiência energética visto não existir redução real dos consumos, ou seja, o consumo da empresa é o mesmo, mas a energia necessária comprada à rede para satisfazer as necessidades energéticas é menor. Pode ser considerada uma medida de energia renovável. Devido a isto, a ADENE não permite que na elaboração de uma AE a integração de um sistema FV para autoconsumo (ou outra medida de energia renovável) seja a única medida proposta.

A [tabela 9](#) e [tabela 10](#) possuem os parâmetros energéticos e económicos relativos às três empresas onde foi previsto a implementação de um sistema FV para autoconsumo.

Tabela 9 Parâmetros energéticos da implementação de um sistema FV

Parâmetros energéticos	Redução consumo [tep]	Redução emissão CO ₂ [t]	Redução CEE [kgep/t]	Redução IE [kgep/€]	Redução IC [tCO ₂ /tep]
Média	38,27	83,63	5,99	0,009	0,08
Total	114,80	250,90	17,97	0,028	0,24
% do total	17,40 %	19,71 %	25,15 %	19,05 %	21,11 %

Tabela 10 Parâmetros económicos da implementação de um sistema FV

Parâmetros económicos	Investimento [€]	Economia anual de custos [€]	Payback médio [anos]
Média	100302,67	18315,00	5,90
Total	300908,00	54945,00	
% do total	8,11 %	3,45 %	

Pela análise dos valores apresentados nas tabelas acima, é possível confirmar que a medida para implementar um sistema FV para autoconsumo é vantajosa do ponto de vista energético. Para os casos estudados, permitiu uma redução de aproximadamente 17% do

consumo energético, percentagem considerável para uma medida que só foi implementada em três das oito empresas. Para além disso, previu-se uma redução dos indicadores energéticos e das emissões de CO₂ na ordem dos 20%. Apesar do investimento ser o mais elevado de todas as medidas, também possui a maior economia anual de custos média, e o Payback médio é aceitável considerando o tempo de vida útil da tecnologia, e as vantagens para a empresa e o ambiente.

5.3.2.4. SUBSTITUIÇÃO DE MOTORES E UTILIZAÇÃO DE VEV

A medida transversal referente aos motores elétrico e à utilização de VEV foi introduzida em 4.1.3.

A medida da substituição dos motores e utilização de VEV foi proposta em quatro das oito empresas. A indústria está muito dependente da utilização de máquinas elétricas, o que implicam um elevado consumo energético. Dito isto, é imperativo possuir equipamentos com o maior rendimento e eficiência possível. A substituição de motores por outros mais eficientes tem sido uma medida transversal muito utilizada nas auditorias energéticas. Para além disso, a utilização de VEV permite maior controlo sobre o arranque dos motores, etapa caracterizada por altos consumos de energia.

A [tabela 11](#) e [tabela 12](#) apresentam os parâmetros energéticos e económicos relativamente à substituição de motores e à utilização de VEV.

Tabela 11 Parâmetros energéticos da substituição de motores e utilização de VEV

Parâmetros energéticos	Redução consumo [tep]	Redução emissão CO ₂ [t]	Redução CEE [kgep/t]	Redução IE [kgep/€]	Redução IC [tCO ₂ /tep]
Média	20,33	44,43	2,74	0,006	0,05
Total	122	266,6	16,452	0,036	0,305
% do total	18,49 %	20,94 %	23,03 %	24,49 %	26,82 %

Tabela 12 Parâmetros económicos da substituição de motores e utilização de VEV

Parâmetros económicos	Investimento [€]	Economia anual de custos [€]	Payback médio [anos]
Média	20367,75	9381,93	2,22
Total	122206,5	56291,6	
% do total	3,29 %	3,54 %	

Pelos valores apresentados nas tabelas acima, a substituição de motores e a utilização de VEV representam uma grande percentagem na redução de consumos, emissões, e na redução dos indicadores energéticos, com um impacto semelhante à implementação de um sistema FV. Em termos económicos, quer o investimento quer a economia anual de custos constituem apenas uma pequena parte do total, e o Payback médio é relativamente baixo.

5.3.2.5. MONITORIZAÇÃO DOS CONSUMOS DE ENERGIA

A medida transversal referente à eficiência do processo industrial foi introduzida em [4.1.4](#). Engloba a monitorização dos consumos de energia.

A medida da monitorização dos consumos de energia foi proposta em quatro das oito empresas. É necessário um sistema de recolha de informações para ser permitido acompanhar, avaliar e controlar sistematicamente todos os fatores que influenciam o consumo energético na empresa. Apesar de um sistema de monitorização não implicar uma redução direta de consumos de energia, permite determinar as fontes de consumo menos eficientes, procedendo-se a uma substituição ou melhoria rapidamente.

A [tabela 13](#) e [tabela 14](#) apresentam os valores energéticos e económicos previsto para a implementação de um sistema de monitorização dos consumos de energia.

Tabela 13 Parâmetros energéticos da monitorização dos consumos de energia

Parâmetros energéticos	Redução consumo [tep]	Redução emissão CO ₂ [t]	Redução CEE [kgep/t]	Redução IE [kgep/€]	Redução IC [tCO ₂ /tep]
Média	6,80	14,85	0,47	0,001	0,01
Total	27,2	59,4	1,872	0,004	0,042
% do total	4,12 %	4,67 %	2,62 %	2,72 %	3,69 %

Tabela 14 Parâmetros económicos da monitorização dos consumos de energia

Parâmetros económicos	Investimento [€]	Economia anual de custos [€]	Payback médio [anos]
Média	9036,25	3026,15	3,93
Total	36145	12104,61	
% do total	0,97 %	0,76 %	

Como já esperado, os valores de redução de consumos de energia são apenas uma fração da redução prevista nas oito empresas. Na vertente económica, quer o investimento quer a economia anual de custos são baixos, nem chegando a 1% do investimento total nas oito empresas em estudo.

5.3.2.6. FORMAÇÃO E SENSIBILIZAÇÃO ENERGÉTICA

Tal como no caso anterior, a medida transversal referente à eficiência do processo industrial foi introduzida em 4.1.4 e engloba a formação e sensibilização energética.

A medida da formação e sensibilização energética foi proposta em apenas duas das oito empresas. Trata-se de uma medida de redução de consumos através de práticas mais sustentáveis e eficientes na indústria. As pessoas não estão normalmente mentalizadas sobre a matéria de eficiência energética. Com formação nessa área é possível reduzir os consumos indiretamente. O simples ato de limpar a roupa e o chão com ar comprimido, ter

ar condicionado ligado no inverno, ou luzes acesas desnecessariamente traduz-se em consumos de energia desnecessários, fáceis de evitar.

A [tabela 15](#) e [tabela 16](#) apresentam os parâmetros energéticos e económicos previstos para as medidas de formação e sensibilização energética.

Tabela 15 Parâmetros energéticos da formação e sensibilização energética

Parâmetros energéticos	Redução consumo [tep]	Redução emissão CO ₂ [t]	Redução CEE [kgep/t]	Redução IE [kgep/€]	Redução IC [tCO ₂ /tep]
Média	1,95	4,25	0,15	0,00	0,004
Total	3,9	8,5	0,296	0,00	0,007
% do total	0,59 %	0,67 %	0,41 %	0,00 %	0,62 %

Tabela 16 Parâmetros económicos da formação e sensibilização energética

Parâmetros económicos	Investimento [€]	Economia anual de custos [€]	Payback médio [anos]
Média	4500	952	5,75
Total	9000	1904	
% do total	0,24 %	0,12 %	

Tal como na monitorização dos consumos energéticos, a redução dos consumos energéticos é muito baixo. A redução da IE prevista é nula visto este tipo de medidas não influenciar o VAB e reduzir quase insignificativamente o consumo de energia. Nos parâmetros económicos, tal como no caso anterior, o valor a investir a economia anual de custos também são baixos.

5.3.3 RESUMO DA EFICÁCIA DAS MEDIDAS IMPLEMENTADAS

De todas as medidas proposta no PReN das empresas estudadas, a implementação de um sistema FV para autoconsumo assume-se como a medida com maior relevância. Apresenta a maior redução de consumos energéticos (redução na compra de energia à rede), das emissões de CO₂ e dos indicadores energéticos. No entanto, como já referido em 5.3.1.3, também apresenta um maior investimento associado, que é rapidamente recuperável, visto também existir um valor de economia anual de custo elevado. A substituição dos motores e respetiva utilização de VEV, e a substituição da iluminação vêm logo atrás, todos com valores elevados na redução de consumos.

Como já era esperado, as medidas que apresentam menores valores em termos de redução de consumos são a monitorização dos consumos de energia, e a formação e sensibilização. Estas duas medidas transversais permitem uma redução indireta dos consumos energéticos das empresas onde são aplicadas. O controlo dos consumos permite detetar e efetuar alterações a equipamentos ou tarefas rapidamente de maneira a aumentar a sua eficiência, enquanto a formação e sensibilização fornece conhecimentos na área da eficiência energética aos trabalhadores de uma respetiva empresa, para que nas tarefas que realizem no local de trabalho não constituam um gasto desnecessário.

A [figura 42](#) apresenta uma comparação gráfica dos valores médios de redução das emissões de CO₂, e do consumo energético por medida transversal estudada em 5.1.

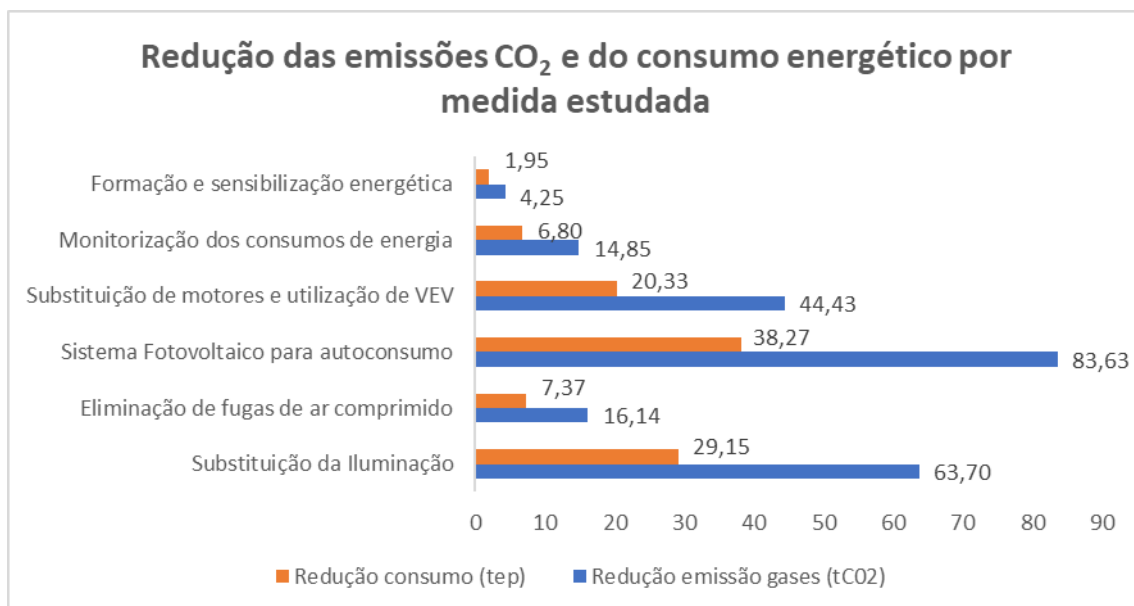


Figura 42 Redução das emissões de CO₂ e do consumo energético por medida estudada

As emissões de CO₂ reduzidas pela implementação do sistema FV para autoconsumo estão relacionadas com a energia (não) comprada à rede. Como ainda existe uma percentagem significativa de energia produzida com matérias-primas fósseis, que implicam emissões de CO₂ para a atmosfera, o sistema FV, ao utilizar o sol para produzir energia para consumo próprio, faz com que uma determinada quantidade de energia não seja comprada à rede, reduzindo assim de forma indireta as emissões de CO₂. Relativamente ao impacto das medidas estudadas nos indicadores energéticos, a [figura 43](#), [figura 44](#) e [figura 45](#) apresentam a redução média do CEE, IE e IC, respetivamente.

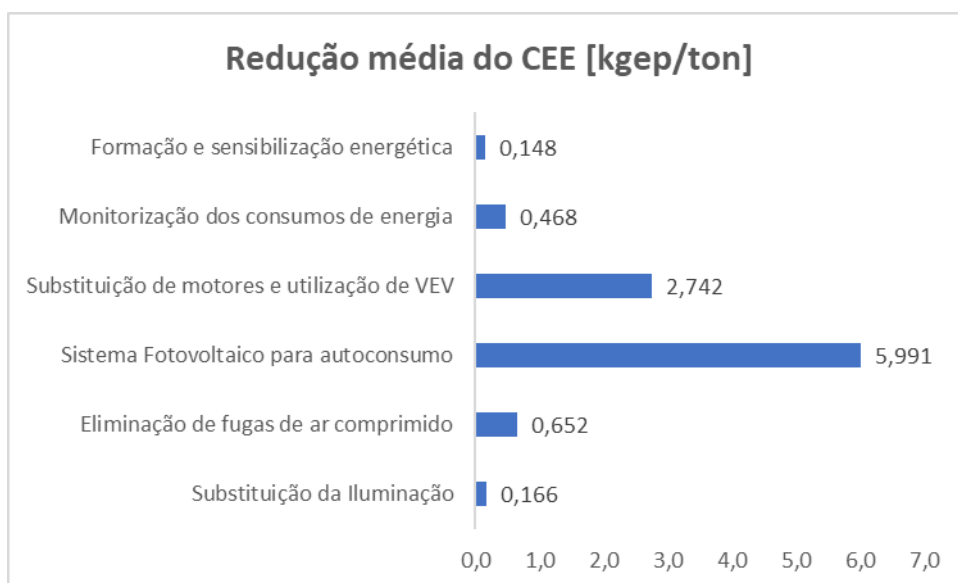


Figura 43 Redução média do CEE por medida

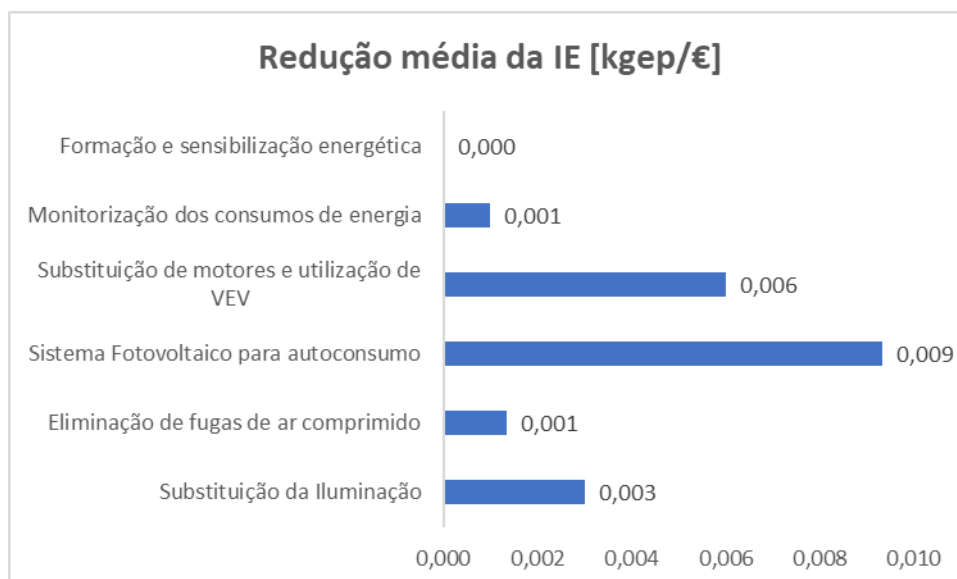


Figura 44 Redução média da IE por medida

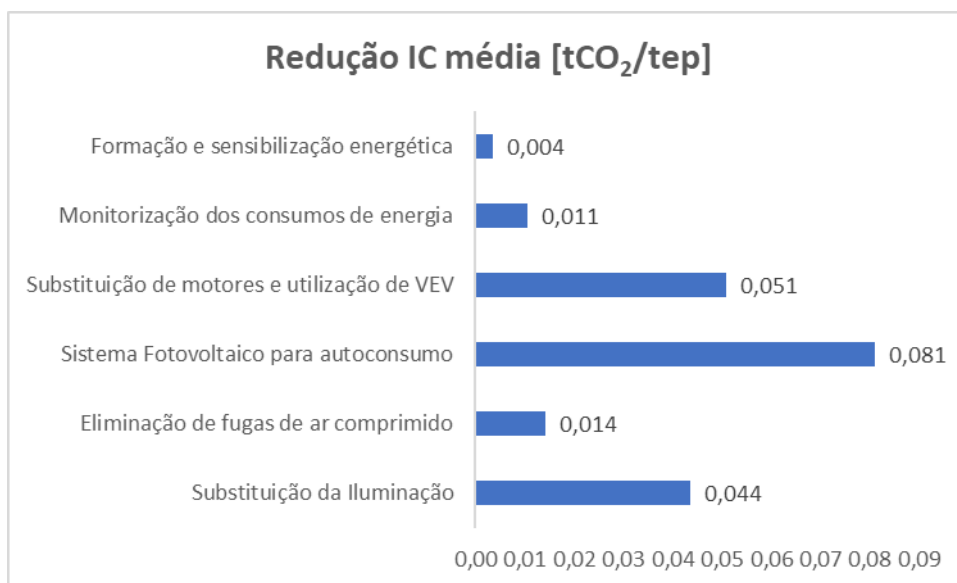


Figura 45 Redução média da IC por medida

Como já referido, a implementação de um sistema FV para autoconsumo constitui a medida que permite obter, em média, a maior redução dos consumos energéticos. Para além disso, representa a maior redução média nos três indicadores energéticos. A substituição de iluminação e motores são medidas onde também se espera uma redução elevada. Por outro lado, a monitorização e a formação energética, representam os menores valores reduzidos, sendo difícil calcular o impacto real desse tipo de medidas que reduz os consumos energéticos indiretamente.

Relativamente aos parâmetros económicos, a [figura 46](#), [figura 47](#) e [figura 48](#) apresentam os valores médios do investimento, da economia anual de custos e do Payback, respetivamente. Apesar da economia anual de custos da medida fotovoltaica sobrepor-se às outras, o Payback não deixa de ser o superior da lista de medidas estudadas, visto que o valor do investimento é considerável.

A iluminação e a substituição de motores representam o segundo e terceiro maiores investimentos, e economia de custos, respetivamente, mas com um Payback médio relativamente baixo.

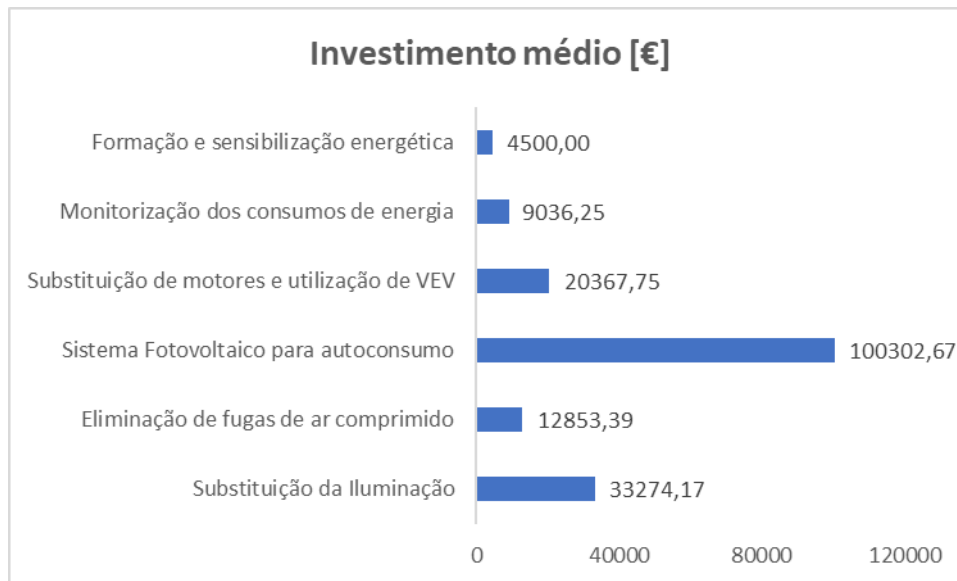


Figura 46 Investimento médio das medidas estudadas

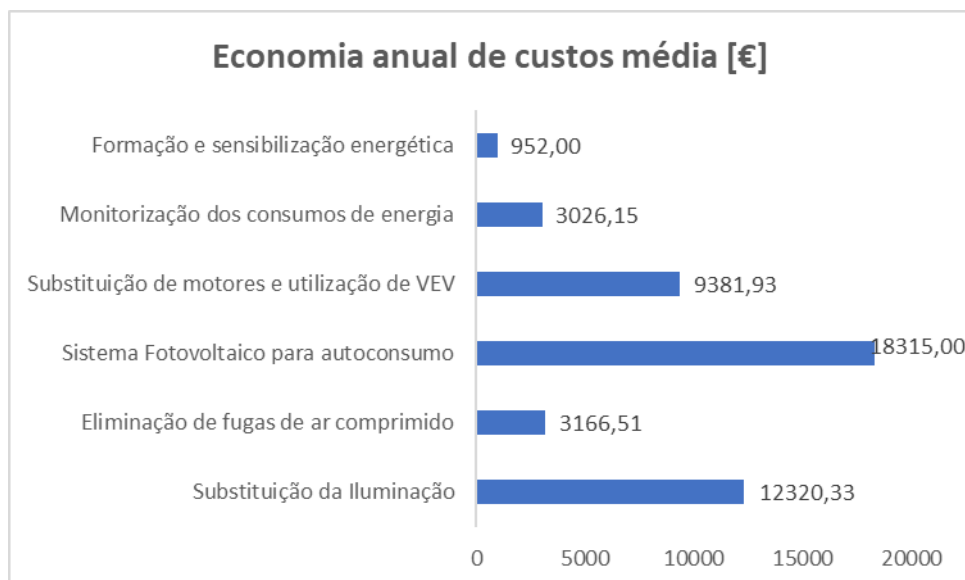


Figura 47 Economia anual de custos média das medidas estudadas

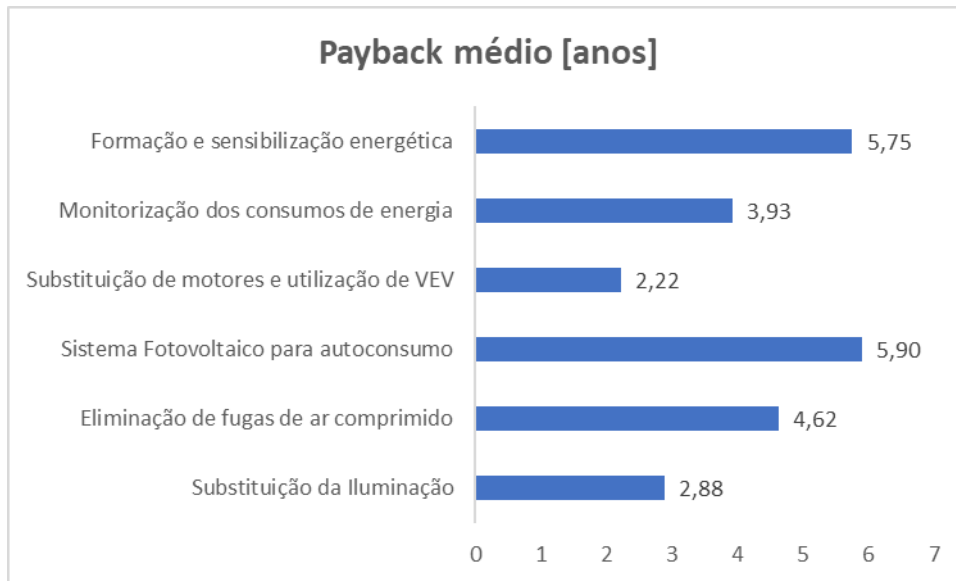


Figura 48 Payback médio das medidas estudadas

As medidas de formação, sensibilização e monitorização de consumos fazem parte do grupo de medidas passivas, com atuação indireta nos parâmetros energéticos e financeiros da empresa. Os valores previstos para redução de consumos, investimento e economia anual de custos no respetivo PReN dependem do rigor da recolha e tratamento da informação por parte do pessoal responsável pela parte energética na respetiva empresa. São medidas que devem ser aplicadas em paralelo com as outras medidas de eficiência energética. O seu impacto depende do tratamento da informação recolhida, que permite realizar uma manutenção preditiva dos equipamentos. Dito isto, os valores obtidos é uma estimativa da ADENE e podem não corresponder aos valores reais obtidos, por uma larga margem, dependendo sempre do tipo de indústria, consumos, e da responsabilidade e rigor das pessoas encarregues da recolha dos dados.

Outra perspetiva de análise da eficácia das medidas propostas é através do cálculo da percentagem de redução do consumo de uma respetiva medida no total de redução dos consumos da empresa. A [tabela 17](#) apresenta a percentagem de redução do consumo de energia de cada medida principal estudada anteriormente, por empresa. Inicialmente apresenta a percentagem de redução do consumo de energia, que comparado com o total de redução do consumo da empresa obtém-se o impacto dessa medida na própria empresa. Neste âmbito e devido às conclusões já obtidas anteriormente, não se considerou a medida de monitorização dos consumos e a sensibilização energética.

Tabela 17 Percentagem de redução do consumo de energia por medida

Medida	Empresa	Redução do consumo	Total de redução do consumo	% de redução do consumo na empresa
Substituição da Iluminação	B	1,96 %	5,08 %	38,51 %
	E	5,12 %	6,67 %	76,69 %
	G	1,68 %	5,39 %	31,05 %
	H	6,49 %	7,6 %	85,35 %
Eliminação de fugas de ar comprimido	A	3,35 %	16 %	20,79 %
	B	1,77 %	5,08 %	34,78 %
	D	0,47 %	6,56 %	7,11 %
	F	0,15 %	7,51 %	2,06 %
	G	0,17 %	5,39 %	3,22 %
	H	0,61 %	7,6 %	8,08 %
Sistema FV para autoconsumo	A	7,95 %	16 %	49,27 %
	D	1,98 %	6,56 %	30,18 %
	E	1,07 %	6,67 %	30,18 %
Substituição de motores e utilização de VEV	A	4,83 %	16 %	29,93 %
	C	1,42 %	8,35 %	16,99 %
	D	0,88 %	6,56 %	13,34 %
	F	6,38 %	7,51 %	84,94 %

É possível observar que a mesma medida de eficiência energética aplicada a diferentes tipos de indústria possui um peso diferente. Para as empresas estudadas, a iluminação, por exemplo, teve um impacto que varia entre aproximadamente 30 % e 85 %. Já a implementação de um sistema FV, que apresenta valores superiores de redução do consumo de energia, varia entre 30 % e 50 %, tendo assim, em algumas situações, menor peso que uma medida de iluminação. A substituição por motores mais eficientes tem uma variação mais acentuada, que vai de 13 % até 85 %. Já a eliminação de fugas de ar comprimido varia entre 2 % a 35 %.

Em 5.3.1 referiu-se também algumas medidas “isoladas”, que não fazem parte do grupo de medidas apresentadas acima. A [tabela 18](#) apresenta o impacto de cada uma dessas medidas na respectiva empresa onde foram implementadas.

Tabela 18 Percentagem de redução do consumo de energia por medida “isolada”

Medida	Empresa	Redução do consumo	Total de redução do consumo	% de redução de consumo na empresa
Aproveitamento da energia do biogás	C	4,17 %	8,35 %	49,89 %
Gestão da frota de veículos pesados	C	2,76 %		33,12 %
Isolamento das tubagens e depósitos	D	1,34 %	6,56 %	20,40 %
Substituição de Jet's para tinturaria	D	0,47 %		7,17 %
Alteração da linha de produção	G	2,15 %	5,39 %	39,96 %
Ajuste da temperatura de conforto dos AC's	G	0,09 %		1,70 %

Na empresa G foi previsto a alteração de uma linha de produção, a que corresponde a um elevado investimento e respetivo retorno. No entanto, há benefícios associados à redução dos indicadores energéticos e à redução do consumo de energia a longo prazo, para além dos benefícios ao nível produtivo. É importante proceder-se a este tipo de alterações nos equipamentos industriais, quer do ponto de vista da eficiência energética, quer do ponto de vista da segurança e produtividade. A outra medida consiste no ajuste da temperatura de conforto dos AC's, medida com pouco impacto energético, mas fácil de executar.

Na empresa D, cuja atividade é branqueamento e tingimento, foi previsto a substituição de Jet's para tinturaria. Essa medida, no grande conjunto de medidas previstas para essa empresa, apresenta apenas um impacto de 7 %. Tal como no exemplo anterior, esta medida possui um Payback muito alto, superior a 30 anos, devido ao seu elevado investimento. Este tipo de medidas, mesmo não sendo economicamente viáveis, são necessárias para cumprir as metas de redução e aumentar a eficiência energética do processo produtivo da empresa. Devido à atividade produtiva da empresa D, o isolamento das tubagens e dos depósitos trata-se de uma medida com grande impacto, correspondendo a 20 % da redução total dos consumos de energia da mesma.

Para uma empresa mais pequena, como é o caso da empresa C, a gestão da frota de veículos pesados, apesar de apresentar uma redução do consumo na ordem dos 3 %, o seu impacto na redução do consumo total previsto é 33 %. O aproveitamento da energia do biogás representa aproximadamente 50 %.

Pela análise dos valores obtidos na [tabela 17](#) e [tabela 18](#), é possível concluir que o impacto de uma medida de eficiência energética na redução dos consumos de energia varia consoante o tipo de indústria onde esta é aplicada. A variação depende de vários fatores, como do processo produtivo da empresa, da utilização dos equipamentos, da tecnologia presente, e até da competência profissional dos trabalhadores. No entanto, há medidas que se sobrepõem a outras no que toca à redução dos consumos energéticos. A implementação de um sistema FV para autoconsumo tem-se assumido como uma alternativa limpa e de grande potencial em empresas que tenham grandes necessidades elétricas. Apesar do elevado investimento convém ter em conta que com a evolução dos preços da energia e os incentivos nas energias renováveis, é previsto que os parâmetros financeiros obtidos para um projeto FV em 2021 sejam mais apelativos que para os projetos referidos nos estudos de caso. Assim sendo, procedeu-se à realização de um projeto FV para autoconsumo

proposto na empresa E, de maneira a ser possível comparar os parâmetros energéticos e financeiros de ambos e tirar conclusões.

5.4. CASO DE ESTUDO – PROJETO FOTOVOLTAICO PARA AUTOCONSUMO NA EMPRESA E

No âmbito do estudo da influência das medidas de eficiência energética na indústria, foi proposto a realização de um projeto FV para autoconsumo na empresa E, a quem já tinha sido proposto no respetivo PReN para o ano de 2023. Este projeto, realizado numa perspetiva académica, servirá como meio de consolidação de conhecimento adquirido durante o percurso académico e uma ponte entre a proposta da medida na AE e o trabalho necessário realizar para estudar a viabilidade energética e financeira. Serve também de comparação com a medida proposta em 2016.

5.4.1 CARATERIZAÇÃO DO LOCAL DA INSTALAÇÃO

O local onde se pretende instalar o FV localiza-se na Maia, Porto. A empresa E, apresentada em 5.1.5, trata-se de uma empresa de fabrico de acessórios e equipamentos industriais ligados ao setor automóvel. O único espaço disponível para se realizar a exploração é o seu telhado. A vista aérea sobre os edifícios está representada na [figura 49](#).



Figura 49 Vista aérea dos edifícios da empresa E

A zona é plana, com uma elevação de 67 metros.

Como estabelecido inicialmente, a instalação deveria acontecer nos telhados que se situam no edifício da direita, de agora em diante denominado “Edifício A”. Futuramente, prevê-se

um alargamento para o edifício da esquerda, “Edifício B”, após alteração da cobertura do telhado. Recorrendo às imagens disponibilizadas pelo Google Earth, foram feitas as medições do edifício.

O edifício A tem uma altura de 7,5 metros, 50 metros de comprimento e 38 metros de largura. Possui dois telhados com dimensões e inclinações iguais, representados na [figura 50](#).



Figura 50 Vista lateral dos edifícios da empresa E

Utilizando a ferramenta de desenho do Google Earth, foi delineado a área dos telhados onde seriam implementados os módulos FV, conforme a sua orientação, tal como representado na [figura 51](#).



Figura 51 Área da instalação dos módulos FV

Apesar dos telhados serem idênticos, daqui em diante o telhado a vermelho será denominado “Telhado 1”, enquanto o telhado a amarelo será o “Telhado 2”. A inclinação corresponde a 15° enquanto o azimute é -30° .

Utilizando as características do Edifício A e dos seus telhados, recorreu-se ao *software* SketchUp, para criar um modelo 3D da fábrica. A [figura 52](#) representa o primeiro modelo construído com recurso ao SketchUp, com base nas medições efetuadas. As caixas de ventilação foram representadas com o objetivo de visualizar a sombra projetada sobre o telhado.

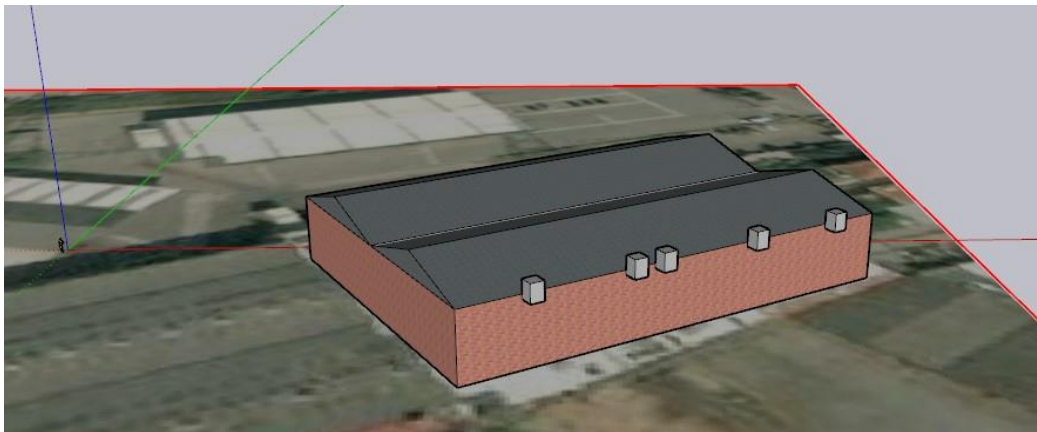


Figura 52 Representação de um modelo 3D do edifício A, no SketchUp

5.4.2 DADOS METEOROLÓGICOS DA REGIÃO

Utilizando o software PVGIS e o PVsyst, foram recolhidos os dados meteorológicos da região. O PVGIS permitiu saber qual a inclinação e orientação ótima dos módulos FV a serem implementados no projeto, de forma a rentabilizar a irradiação solar e a produção nesse local. O PVsyst permitiu obter uma representação da trajetória do sol em função do azimute e da altura do ano, como indica a [figura 53](#).

Também foi possível obter os valores da irradiação horizontal total, irradiação difusa horizontal, temperatura, velocidade do vento, humidade relativa para cada mês, assim como o seu valor anual, apesar destes dados não serem essenciais para a realização deste projeto.

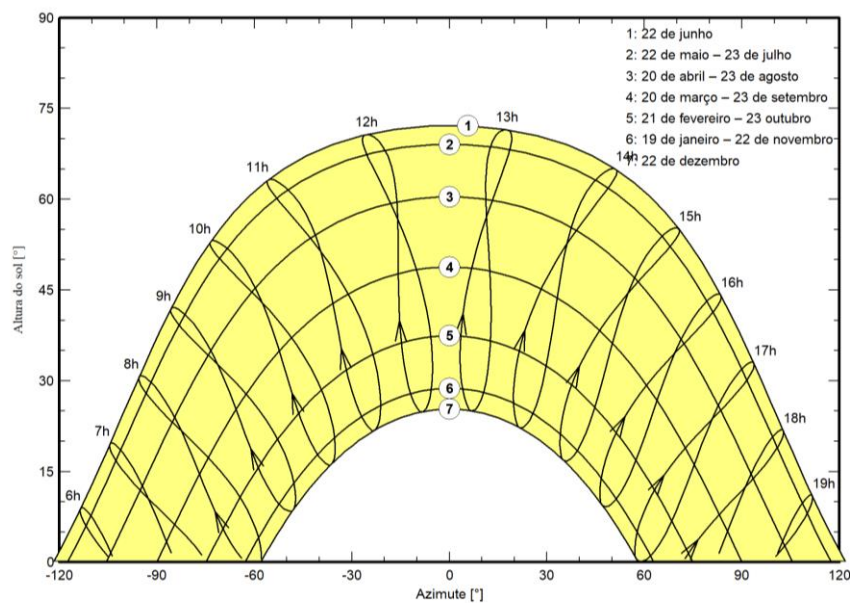


Figura 53 Trajetória do Sol no local de instalação

5.4.3 CARATERIZAÇÃO ENERGÉTICA DA EMPRESA

A energia elétrica consiste em 99% do consumo energético da empresa E, sendo o restante 1% gasóleo. A variação do consumo desde o ano da realização da AE (ano de referência) até 2020 está presente na [tabela 19](#), em tep.

Tabela 19 Evolução dos consumos energéticos entre 2016 e 2020

Período em Análise	Ano de Ref. (2016)	1ºREP		2ºREP	
		2017	2018	2019	2020
	tep	tep	tep	tep	tep
Janeiro	151	169	194	182	123
Fevereiro	153	157	165	156	106
Março	161	173	178	156	95
Abril	154	151	174	143	24
Mai	165	182	181	143	34
Junho	146	162	162	98	56
Julho	162	166	168	108	75
Agosto	152	165	146	100	71
Setembro	163	172	164	120	89
Outubro	162	181	162	113	90
Novembro	164	168	156	107	81
Dezembro	131	127	120	114	62
TOTAL	1 864	1 974	1 970	1 540	906

A figura 54 apresenta graficamente a evolução do consumo energético na empresa.

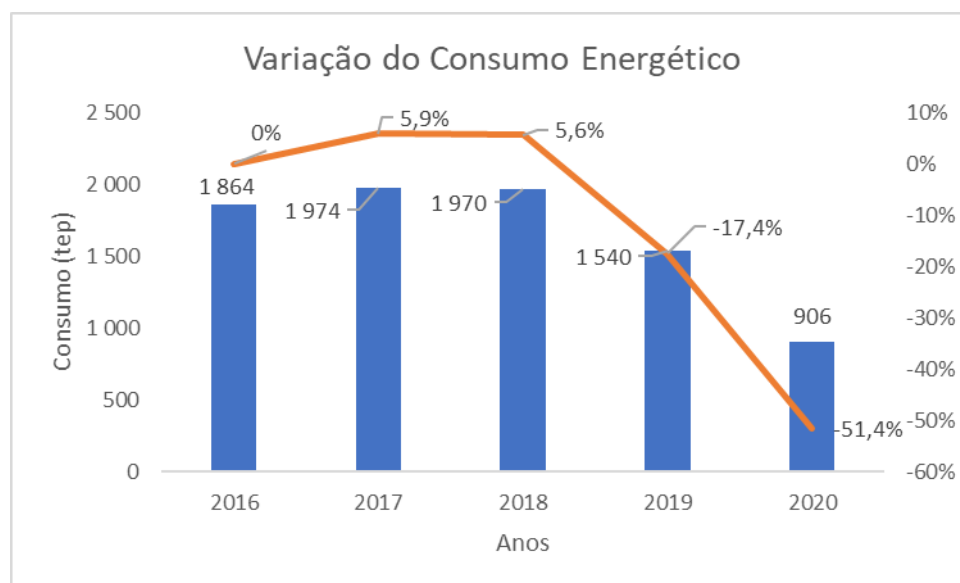


Figura 54 Variação dos consumos energéticos entre 2016 e 2020

Relativamente ao ano de referência, o consumo diminuiu 51,4%, consequência da diminuição drástica da produção, que baixou 91%. Apesar da produção já estar em queda nos últimos anos, foi entre 2019 e 2020 que mais se manifestou, possível efeito da pandemia de COVID-19 e da utilização condicionada da empresa.

O gasóleo corresponde a precisamente 1,7% do consumo da empresa, ou seja, a 15,7 tep referentes ao ano de 2020.

Para a evolução dos indicadores energéticos (IE, IC e CEE) é necessário saber o VAB, o consumo, a produção e as emissões de CO₂. Estes valores são fornecidos pela empresa, e estão presentes na [tabela 20](#).

Tabela 20 Evolução das variáveis de cálculo dos indicadores energéticos

Anos	Energia Consumida [tep]	VAB [€/ano]	Produção [un]	tCO ₂
2016	1 864	22 800 571,42	365 352 819	4 098
2017	1 974	-	105 062 324	4 339
2018	1 970	22 610 758,04	99 464 100	4 258
2019	1 559	23 226 651,38	78 083 758	3 427
2020	906	14 744 680,03	31 678 915	1 995
Variação	-51%	-35%	-91%	-51%

Apesar de não possuir o valor do VAB referente a 2017, é possível verificar que a redução da produção foi o principal fator para a redução do consumo de energia e das emissões de CO₂. A [tabela 21](#) apresenta a evolução dos indicadores energéticos entre 2016 e 2020.

Tabela 21 Variação dos indicadores energéticos entre 2016 e 2020

Anos	Intensidade Energética [kgep/€]	Consumo Específico de Energia [kgep/un]	Intensidade Carbónica [tCO ₂ e/tep]
2016	0,082	0,0051	2,198
2017	-	0,0188	2,198
2018	0,087	0,0198	2,162
2019	0,067	0,0200	2,162
2020	0,061	0,0286	2,202
Variação	-25%	460%	0,18%

A meta de redução no período de 8 anos é de 6% para a IE e para o CEE, enquanto para a IC é pelo menos manter o valor de referência. Na evolução presente na acima, a IE já tinha conseguido atingir o objetivo, enquanto a IC aumentou num valor quase irrelevante. O CEE foi o indicador que mais se destacou, com um aumento de 460%. Como visto em [3.1.2](#), o CEE é obtido com o quociente do consumo pela produção. Apesar do consumo e da produção terem diminuído drasticamente, a redução do primeiro foi de 51%, enquanto a redução do segundo foi 91%, justificando este aumento.

A IE referente a 2017 não foi possível calcular por falta do VAB.

A potência contratada pela empresa varia mensalmente conforme as suas necessidades energéticas ao longo do ano. A [tabela 22](#), relativa ao ano 2020, apresenta essa variação. Em média, a potência contratada é 1100 kW. As potências contratadas no mês de Abril e Maio estão abaixo do usual devido ao confinamento que ocorreu nessa altura, que fez com que alguns serviços e linhas de produção parassem.

Tabela 22 Variação da potência contratada em 2020

Potência contratada (kW)	
Janeiro	1566
Fevereiro	1474
Março	1458
Abril	520
Maio	570
Junho	769
Julho	1165
Agosto	1165
Setembro	1165
Outubro	1162,5
Novembro	1162,5
Dezembro	1162,5

Os valores de consumo de eletricidade são apresentados na [tabela 23](#), juntamente com o seu respetivo custo e o custo por kWh.

Tabela 23 Custos do consumo de eletricidade em 2020

Consumo Eletricidade (kWh)	4140848
Custos totais (€)	379779,91
Média custo kWh (€)	0,090

O período tarifário faturado é representado na [figura 55](#), para o ano de 2020. A energia consumida em período de cheias corresponde a mais de metade do consumo elétrico da empresa, com um valor de aproximadamente 52%. Os restantes períodos (ponta, vazio normal e super vazio) possuem uma percentagem semelhante, na ordem dos 16%.

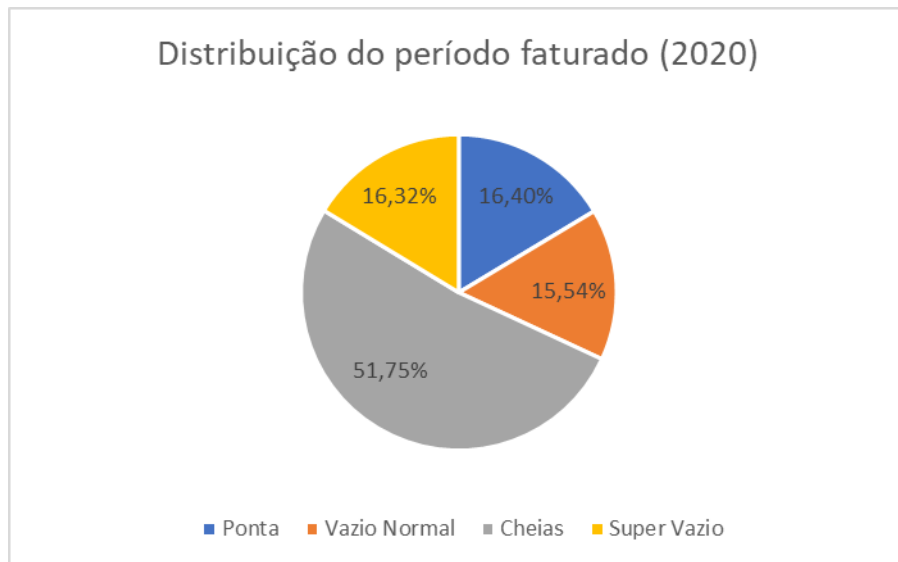


Figura 55 Distribuição do período faturado em 2020

5.4.4 LEGISLAÇÃO

O Decreto-Lei nº 153/2014 refere que a potência de ligação da unidade de produção de autoconsumo tem de ser inferior à potência contratada na instalação de consumo. Outro aspeto a considerar é que a potência da unidade de produção não pode ultrapassar duas vezes a potência de ligação, ou seja, a potência autorizada para instalação é, no máximo, 2200 kW, valor difícil de alcançar com a área disponível.

5.4.5 ESCOLHA DOS MÓDULOS FV

Sabendo as características energéticas da empresa, foi feita a seleção dos módulos FV. Os módulos escolhidos pertencem à marca Jinko Solar, e têm a designação “JKM 300M-60”, possuindo 300 W de potência, um bom rendimento e uma boa relação qualidade/preço. É composto por silício monocristalino, e assegura uma degradação linear da sua performance até 25 anos e com uma garantia de 10 anos. Para consulta das características do respetivo módulo, a sua *datasheet* encontra-se disponível no [Anexo A](#).

5.4.6 RECONSTRUÇÃO DO MODELO 3D

Utilizando o *plugin* Skelion para o SketchUp, foram acrescentados os módulos ao modelo 3D previamente construído, representado na [figura 52](#). Utilizando uma colocação vertical

dos módulos, e sabendo que estes possuem 1,65m de comprimento e 0,992m de largura, obteve-se o representado na [figura 56](#).

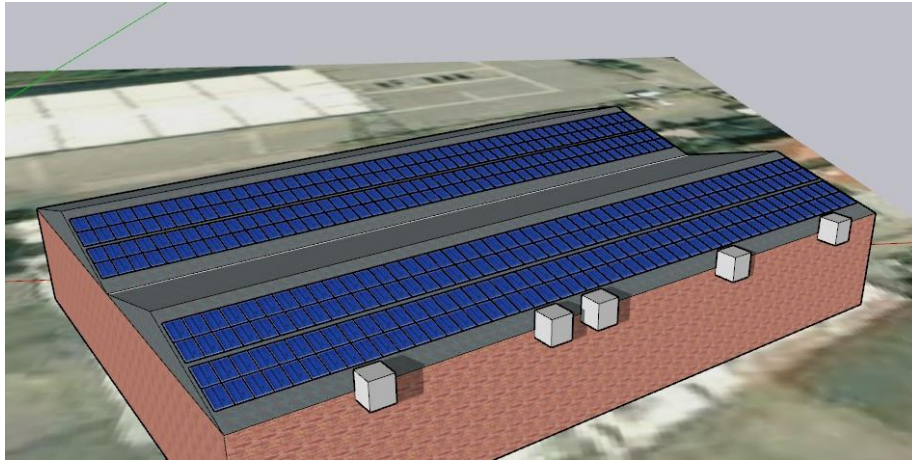


Figura 56 Colocação dos módulos FV com recurso ao plugin Skelion, do SketchUp

Com esta disposição, ocupando a área total disponível para instalação, com exceção do espaçamento entre módulos previsto para efetuar manutenção, foram contabilizados quatrocentos módulos FV, duzentos por telhado, sendo isto o equivalente a 120 kW de potência instalada.

5.4.7 ESTUDO DO SOMBREAMENTO

Para saber o impacto do sombreamento na eficiência da instalação, foi realizado um estudo do sombreamento à estrutura da [figura 56](#). Para tal, foi necessário saber a sombra que o Edifício B projetava no Edifício A. Após ter sido representado o Edifício B no SketchUp, com dimensões semelhantes ao edifício inicial, mas com um ligeiro avanço e uma menor inclinação de telhado, foi possível simular a sombra que este edifício projetava nos módulos. Utilizando a ferramenta do SketchUp “*Shadows*” foi possível avaliar a evolução da sombra projetada ao longo do ano, e mesmo durante um dia específico. Os módulos que estavam sujeitos a sombras foram removidos para não comprometerem a eficiência do projeto. Para compensar essa remoção, foi colocado uma estrutura de suporte em cada telhado, com módulos na horizontal. A [figura 57](#) representa o modelo 3D final, já considerando todas as alterações efetuadas. A sombra representada na figura foi obtida considerando a estação do inverno, às 16h de 31 de Dezembro.

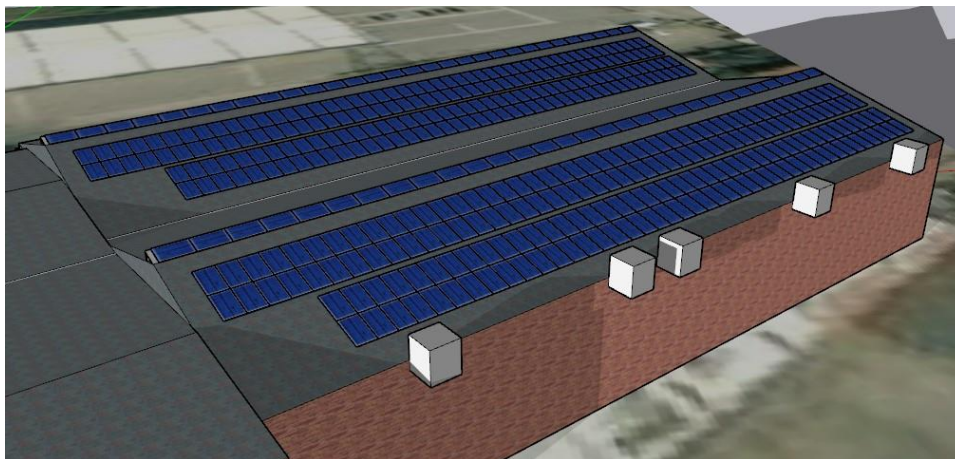


Figura 57 Modelo 3D final, utilizando o SketchUp

A [figura 58](#) apresenta uma vista lateral do telhado, para possibilitar a observação mais detalhada do suporte desenhado.

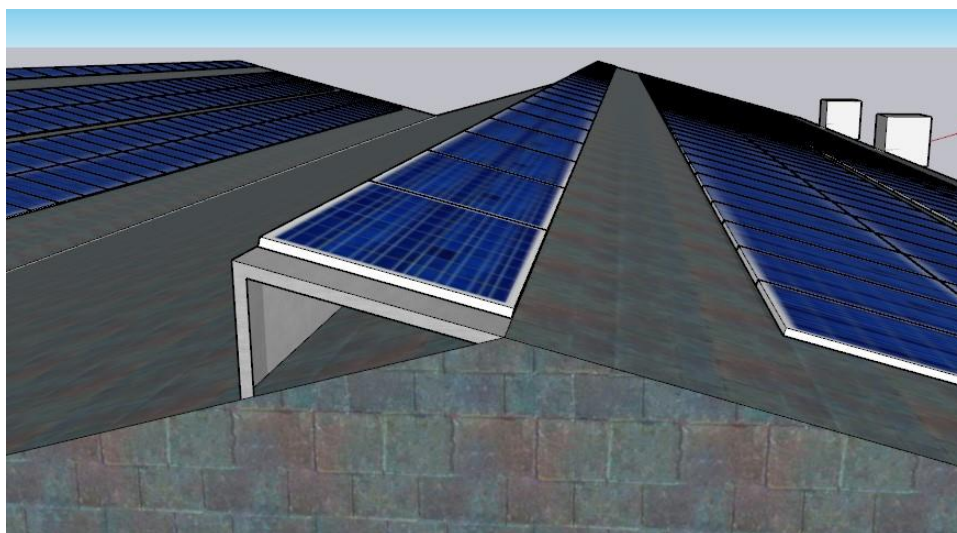


Figura 58 Suporte dos módulos utilizando o SketchUp

A contagem final dos módulos FV é 428, distribuídos igualmente por cada telhado e suporte. Assim, é atribuído a cada telhado 184 módulos e a cada suporte trinta. A potência de instalação final é 128,4 kWp.

Ainda no SketchUp, foi executado um estudo de sombreamento com recurso ao *plugin* Skelion. No relatório obtido, presente no [Anexo B](#), visualiza-se que as perdas de sombreamento totais foram 0,17%, sendo que na época fria chegaram a um valor máximo de 0,83% e na época quente, a um valor de mínimo de 0%.

5.4.8 DISTRIBUIÇÃO DOS MÓDULOS PELOS INVERSORES

Os inversores permitem que a energia produzida pelos módulos FV seja utilizada para alimentar os equipamentos da instalação, convertendo CC em corrente CA.

O dimensionamento dos inversores foi realizado com recurso ao simulador PVSyst. Após referir a potência a instalar e os módulos FV a usar, definiu-se o inversor, o número de inversores necessários, tendo em atenção o número de entradas CC, o número de strings, e o número de módulos por string.

O inversor escolhido foi o SUN2000_36KTL 400 V_{AC}, com uma potência nominal de 36 kW. Este inversor possui oito entradas CC, e quatro entradas MPPT. Para uma consulta mais detalhadas, ver a sua *datasheet* no [Anexo C](#).

De acordo com o obtido no simulador, prevê-se 19 strings, com um n° máximo de 23 módulos por string, e um n° total de três inversores, sendo assim 108 kW de potência de inversores.

A distribuição das strings pelos inversores segue a estrutura da [tabela 24](#).

Pela tabela interpreta-se que:

- O inversor 1 possui sete strings de 23 módulos;
- O inversor 2 possui sete strings de 23 módulos;
- O inversor 3 possui quatro strings de 21 módulos e uma string de 22 módulos.

As sete strings do inversor 1 têm como destino o Telhado 1.

As sete strings do inversor 2 têm como destino o Telhado 2.

Das quatro strings de 21 módulos do inversor 3, duas em conjunto com a string de 22 módulos segue para o Telhado 1, enquanto as restantes duas strings de 21 módulos vão para o Telhado 2.

Tabela 24 Distribuição dos módulos FV pelos inversores

Inversor 1			Inversor 2			Inversor 3		
MPPT	Entrada	Nº de módulos	MPPT	Entrada	Nº de módulos	MPPT	Entrada	Nº de módulos
1	1	23	1	1	23	1	1	22
	2	23		2	23		2	21
2	3	23	2	3	23	2	3	21
	4	23		4	23		4	21
3	5	23	3	5	23	3	5	21
	6	23		6	23		6	0
4	7	23	4	7	23	4	7	0
	8	0		8	0		8	0

5.4.9 SIMULAÇÃO NO PVSYS

No simulador PVSyst foram preenchidos os seguintes parâmetros:

- Potência instalada;
- Módulo FV;
- Inversor;
- Orientação (inclinação e azimute);
- Valores mensais de consumo de 2020.

Após serem cumpridas todas as condições de quedas de tensão e de aquecimento na cablagem e se ter ajustado o número de strings, bem como o número de módulos por string, procedeu-se à simulação.

Da simulação é obtido um relatório, presente no [Anexo D](#), que por sua vez apresenta:

- Características do projeto;
- Perdas do grupo;
- Produção do sistema;
- Produções normalizadas (por kWp instalado);
- Índice de performance (PR);
- Balanços energéticos;
- Diagrama de perdas.

Em “Balanços e resultados principais” é onde se encontra a produção fotovoltaica em cada mês e a redução de consumos.

5.4.10 ANÁLISE ENERGÉTICA

No relatório obtido após simulação no PVSyst, [anexo D](#), na coluna “EArray” no “Balanços e resultados principais”, são fornecidos os dados de produção à saída do grupo FV. Na coluna “E_User” estão presentes os valores de energia fornecida ao consumidor. A coluna “EFrGrid” refere-se à energia de rede, ou seja, a energia que vem do RESP (rede elétrica de serviço público), após consumida a energia proveniente do grupo FV.

De uma maneira simplificada:

$$E_{FrGrid} = E_{User} - E_{Array} \quad (6)$$

A coluna “EGrid” apresenta os valores de excesso de energia. Esse excesso seria previsto para venda à rede, no entanto, como ocorre em apenas Abril de 2020, mês cujo consumo atingiu um mínimo histórico devido à pandemia, não se prevê qualquer excesso durante o funcionamento normal. De qualquer maneira, caso volte a existir um mês com consumos atípicos, o excedente pode ser injetado na RESP, com uma remuneração paga ao produtor.

De acordo com o n°4 do artigo 8° do Decreto-lei n°76/2019, de 3 de junho, a remuneração da energia elétrica fornecida à RESP, é calculada de acordo com a seguinte expressão [37]:

$$Rm(\text{índice } PREi, m) = E(\text{índice } PREi, m) \times Prm(\text{índice } MIBEL - PT, m) - Enc(\text{índice } PREi, m) \quad (7)$$

Sendo,

- R_m (índice PRE_i, m) - A remuneração da energia elétrica fornecida à RESP pelo produtor i no mês m , em (euro);
- E (índice PRE_i, m) - A energia elétrica fornecida à RESP pelo produtor i no mês m , em kWh;
- P_{rm} (índice MIBEL-PT, m) - A média aritmética simples dos preços horários de fecho do mercado diário, afetos à área portuguesa do Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL), publicados pelo Operador do Mercado Ibérico, pelo espanhol (OMIE), ajustada ao perfil de produção do produtor i , relativos ao mês m , em (euro)/kWh;
- Enc (índice PRE_i, m) - Os encargos, nos termos definidos pela ERSE, suportados com a representação em mercado do produtor i , nomeadamente os desvios à programação, devido à participação na área portuguesa do MIBEL, a tarifa de acesso à rede e outros encargos, relativos ao mês m , em (euro);
- m - O mês a que se refere a contagem da energia elétrica fornecida à RESP pelo produtor i .

Em Agosto de 2021, o preço médio diário do OMIE para Portugal é de 116,73 euros/MWh [38].

Voltando ao sistema FV simulado, a [tabela 25](#) apresenta de uma forma sucinta os parâmetros mais importantes para uma análise energética da simulação.

Tabela 25 Energia produzida e consumida anualmente após simulação

Energia produzida (MWh)	203,11
Energia consumida (MWh)	2618,58
Energia da rede (MWh)	2415,48

Relativamente ao consumo total de eletricidade da empresa em 2020, que se tratava de 2821,7 MWh, houve uma redução do consumo de 7,2%.

Para o ano de 2020, a distribuição mensal dos consumos segue a forma da [figura 59](#):

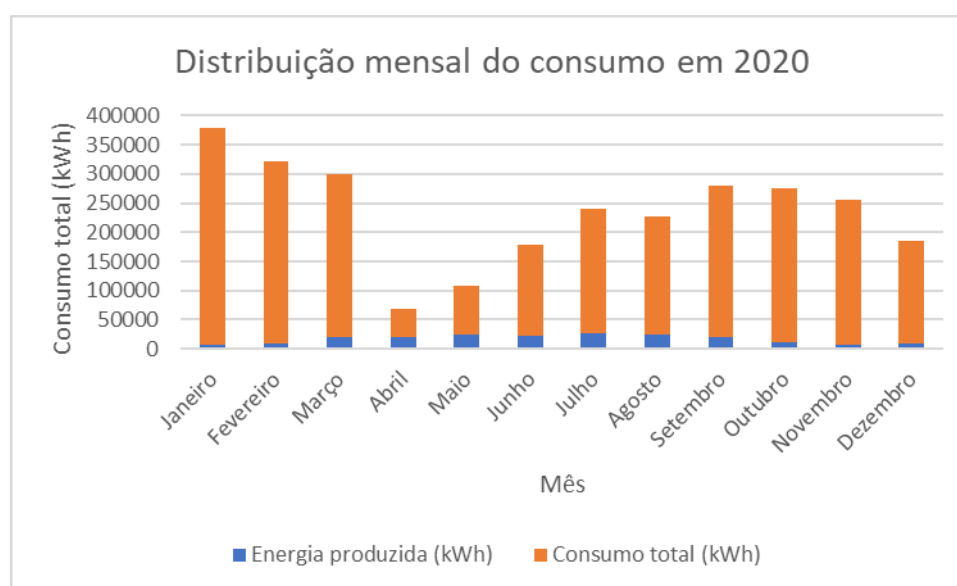


Figura 59 Distribuição mensal dos consumos com produção FV

A azul está a energia produzida mensalmente pelo grupo FV, enquanto a laranja está a energia total consumida mensalmente, para o ano de 2020. De referir novamente que este foi um ano atípico, sendo os consumos normalmente superiores.

5.4.11 CÁLCULO DAS ECONOMIAS GERADAS

Como referido anteriormente, o grupo FV prevê uma redução dos consumos elétricos da empresa. Essa redução corresponde a um custo de compra de energia à rede que deixará de existir, tornando-se assim numa poupança, ou economia gerada. A [tabela 26](#) apresenta os valores de custo por kWh de 2020, a poupança gerada pelo grupo FV e o custo final da energia elétrica.

Tabela 26 Custo final e poupança gerada

Média custo kWh (€)	0,090
Poupança (€)	17932,28
Custo final (€)	361847,63

A produção FV, de acordo com o preço da energia em 2020, vai gerar uma economia anual de aproximadamente 18000 €, reduzindo o custo final da eletricidade em 4,72%.

5.4.12 DIMENSIONAMENTO DA CABLAGEM

A cablagem necessária para sistemas FV divide-se em cablagem para ligações CC e CA.

- As ligações CC são feitas entre o(s) módulo(s) FV(s) e o(s) inversor(es).
- As ligações CA são feitas entre o(s) inversor(es), o QGI (quadro geral dos inversores) e o QGBT (quadro geral de baixa tensão).

A secção do cabo é calculada recorrendo à seguinte fórmula [39]:

$$S = \frac{2 \times L_M \times I_{FI}}{u \times \delta} \quad (8)$$

Em que:

- 2: condutor de ida e volta (1 se trifásico);
- L_M : Comprimento dos condutores (m);
- I_{FI} : Corrente de módulo ou fileira (A);
- u : Queda de tensão (V) – (1% x U_{MPP})
- δ : condutividade do material (cobre=56m/ Ωmm^2).

Os cabos precisam de cumprir a condição de queda de tensão e a condição de aquecimento. Com a secção definida, deve-se verificar a condição da queda de tensão recorrendo à seguinte expressão:

$$\Delta U = 2 \times I_S \times L * \left(\frac{\rho}{S} * \cos\varphi * \sin\varphi \right) \times \frac{100\%}{230} \quad (9)$$

Em que:

- 2: coeficiente para circuitos monofásicos (1 se trifásico);
- I_{FI} : Corrente de módulo ou fileira (A);
- L_M : Comprimento dos condutores (m);
- ρ : resistividade dos condutores à temperatura em serviço normal (cobre=0,0225 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$);
- S : secção dos condutores (mm^2);
- $\cos \varphi$: fator de potência ($\cos \varphi = 1$; $\sin \varphi = 0$)

- 230: tensão nominal (400V se trifásico)

A queda de tensão máxima permitida para as condições de teste standard (CTS) corresponde a 1% em sistemas ligados à rede [39].

A condição de aquecimento é verificada com recurso à seguinte condição:

$$I_B \leq I_Z \quad (10)$$

Em que:

- I_B : Corrente de serviço (A);
- I_Z : Corrente máxima admitida pelo cabo escolhido (A).

5.4.12.1 CABLAGEM CC

Na parte CC da instalação, existem dois cabos que ligam cada módulo FV ao respetivo inversor, uma para o polo positivo e outro para o negativo.

Para o caso mais desfavorável, ou seja, a string que se encontra a uma maior distância do respetivo inversor, a distância é 65,5 m. Considerando a altura do chão a que fica o inversor, e o comprimento do cabo a vir do telhado, a distância total da string mais desfavorável é 75 m.

De acordo com o simulador, a corrente de serviço é 9,22 A e a tensão numa string de 23 módulos é 486 V.

No cálculo da secção, considerou-se o pior caso, ou seja, o maior comprimento da cablagem e o número máximo de módulos numa única string. Pela expressão em (8) obtém-se:

$$S = \frac{2 \times 75 \times 9,22}{(0,01 \times 486) \times 56} = 5,08 \text{ mm}^2 \quad (11)$$

A secção estipulada superior corresponde a 6 mm². No entanto, essa secção e a secção de 10mm² não cumpriam a condição de queda de tensão, então aumentou-se para 16 mm².

A condições de queda de tensão e aquecimento foram seguidamente calculadas com base em (9) e (10):

$$\Delta U = \frac{2 \times 75 \times 9,22 \times \left(\frac{0,0225}{16}\right)}{230} * 100 = 0,85\% < 1\% \quad (12)$$

$$9,22 \text{ A} \leq 86 \text{ A} \quad (13)$$

Para ser possível dispensar proteções contra sobreintensidades, a norma IEC 60364-7-712 aconselha que [39]:

$$I_z \geq 1,25 \times I_{CC(CTS)} \quad (14)$$

Como $I_{CC(CTS)}$ é 10,02 A, a condição é respeitada.

O cabo escolhido foi o XV (1x16) mm², com condutor de cobre e isolamento com XLPE. O preço por metro considerado foi 2,37€ [40].

5.4.12.2 CABLAGEM CA

Para a cablagem CA, é necessário o dimensionamento de dois tipos de cabos, um para fazer a ligação do inversor ao QGI, e o outro para fazer a ligação entre o QGI e o QGBT.

Novamente, é necessário garantir que as condições de aquecimento e queda de tensão sejam verificadas. Os cabos CA são compostos por três fases, neutro e terra, e devem ser isolados a XLPE.

Para o primeiro caso, sabendo que o sistema é trifásico, a distância entre cada inversor e o QGI é 20 m e a corrente máxima de serviço é 48,2 A, a secção do cabo é novamente com base em (8):

$$S = \frac{\sqrt{3} \times 20 \times 48,2}{(0,01 \times 400) \times 56} = 7,45 \text{ mm}^2 \quad (15)$$

Apesar da secção imediatamente acima ser 10mm², devido à condição da queda de tensão, aumentou-se a secção para 25 mm², que possui uma corrente máxima admissível de 110A.

Com base nas seguintes equações foram obtidos os seguintes valores da condição da queda de tensão e da condição de aquecimento:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \times 48,2 \times 20 \times \left(\frac{0,0225}{25}\right)}{400} * 100 = 0,38\% < 1\% \quad (16)$$

$$48,2 A \leq 110 A \quad (17)$$

Prevê-se o uso do cabo XV (3x25+2G16) mm². O preço por metro considerado foi 17,42€ [41].

Para o segundo caso, do QGI para o QGBT é necessário 10 m de cabo. Neste caso, a corrente que terá de suportar corresponde à corrente de saída dos três inversores, ou seja, 144,6 A. Com estes valores, a secção do cabo é calculada:

$$S = \frac{\sqrt{3} \times 10 \times 144,6}{(0,01 \times 400) \times 56} = 11,18 \text{ mm}^2 \quad (18)$$

A secção imediatamente acima é 16 mm², no entanto, para que a corrente máxima de serviço fosse inferior à corrente máxima admissível, considerou-se um cabo com 70 mm², que possui uma corrente máxima admissível de 210 A.

O cálculo da condição da queda de tensão e da condição de aquecimento segue nas seguintes expressões:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \times 10 \times 144,6 \times \left(\frac{0,0225}{70}\right)}{400} \times 100 = 0,20\% < 1\% \quad (19)$$

$$144,6 A \leq 210 A \quad (20)$$

Por conselho do coorientador, foi escolhido o cabo RVK (3x70+2G35) mm², devido à sua flexibilidade em comparação com o cabo XV. O preço por metro considerado foi 44,32 € [42].

Sucintamente, a [tabela 27](#) apresenta o tipo de cabo e a quantidade necessária:

Tabela 27 Tipo e quantidade de cabo prevista

Tipo de cabo	Quantidade (m)
XV (1x16) mm ²	2850
XV (3x25+2G16) mm ²	60
RVK (3x70+2G35) mm ²	10

5.4.13 DIMENSIONAMENTO DAS PROTEÇÕES

Relativamente às proteções necessárias para os circuitos CA e CC da instalação FV, apenas é necessário dimensionar a parte CA da instalação, ou seja, da saída dos inversores até a QGI e QGBT.

A *datasheet* do inversor escolhido, no [Anexo C](#), diz que os inversores possuem para-raios do tipo II para CA e CC, proteção contra sobreintensidades CA, entre outras. A norma IEC 60364-7-712 refere que deve ser instalado um aparelho de corte geral ao inversor nos lados CC e CA [\[39\]](#).

5.4.13.1 DISJUNTOR

Os disjuntores da parte CA estão previstos para proteger cada cabo que interconecta os inversores ao QGI, e o cabo que conecta o QGI ao QGBT. Para dimensionar o disjuntor é necessário respeitar as condições de sobrecarga do cabo [\[43\]](#).

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (21)$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_Z \quad (22)$$

Em que:

- I_B : Intensidade da corrente de serviço;
- I_N : Intensidade nominal do disjuntor;
- I_2 : Intensidade convencional de funcionamento do disjuntor

- I_z : Intensidade máxima admissível no cabo.

Para proteção do cabo que liga o inversor ao QGI:

$$48,2 A \leq 50 A \leq 110 A \quad (23)$$

$$80 A \leq 159,5 A \quad (24)$$

Prevê-se o uso de um disjuntor de calibre 50 A da Hager, com referência HDA051L, [Anexo E](#), para cada um dos três cabos que fazem a ligação entre os três inversores ao QGI.

Para proteção do cabo do QGI ao QGBT:

$$144,6 A \leq 200 A \leq 210 A \quad (25)$$

$$290 A \leq 304,5 A \quad (26)$$

Para este cabo é necessário um disjuntor de calibre 200 A da Hager, com referência HHT201DR, presente no [Anexo F](#).

5.4.13.2 PROTEÇÃO DIFERENCIAL

Um interruptor diferencial foi dimensionado de maneira a garantir proteção contra contactos indirectos no lado CA da instalação. Este interruptor tem uma sensibilidade de 300 mA, corrente nominal de 63 A, e será colocado a montante dos disjuntores. O interruptor diferencial é da Hager, é tetra polar e possui a referência CFC663A.

A *datasheet* está presente no [Anexo G](#).

5.4.13.3 DISPOSITIVO DE CORTE GERAL

Um interruptor de corte geral também foi previsto, com uma corrente nominal de 200 A, e vai-se situar no QGBT 1. O interruptor é da Hager, com referência HA408.

A sua *datasheet* encontra-se no [Anexo H](#).

5.4.13.4 DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO CONTRA SOBRETENSÕES

Um dispositivo de sobretensão deve ser instalado no barramento do QGI de maneira a proteger o sistema FV contra descargas atmosféricas. O limitador é da Hager, com referência SPA401, tetra polar.

É possível ver as suas características na sua *datasheet* no [Anexo I](#).

5.4.13.5 LIGAÇÃO À TERRA

Na parte CC da instalação, está previsto um cabo de ligação à terra, que terá a mesma secção do cabo CC, ou seja, 16 mm². Este cabo serve para ligar todas as estruturas metálicas à terra da instalação. Considerou-se metade da quantidade de cabo utilizada para o cabo CC, 1425 m.

O cabo utilizado para este efeito é o H07V-R (1x16) mm². Foi considerado o preço por metro de 1,85€ [44].

5.4.14 ESQUEMAS UNIFILARES

No [Anexo J](#) estão representados todos os esquemas unifilares da instalação fotovoltaica, desde os módulos até ao QGBT. Os esquemas foram realizados com recurso ao AutoCAD. A [folha 1](#) apresenta o esquema de ligação CA, a [folha 2](#), [folha 3](#) e [folha 4](#) o esquema de ligação CC para o inversor 1, 2 e 3, respetivamente, e finalmente a [folha 5](#) representa o esquema de ligação CC/CA, de uma forma mais sucinta.

5.4.15 MAPA DE QUANTIDADES

Para saber o investimento é necessário saber a quantidade total de cada produto e serviço. A execução do projeto foi previsto demorar duas semanas e envolver dez trabalhadores. Supondo que cada trabalhador leva trezentos euros por dia, obteve-se um valor de mão de obra de 30 mil euros.

É prevista a utilização de quatro unidades de estrutura para os módulos FV presentes na [figura 58](#), da marca Sunfer Energy, com referência CVE915XL, e com limite de 15 módulos por estrutura. A respetiva *datasheet* está presente no [Anexo K](#).

A [tabela 28](#) apresenta o mapa de quantidades do projeto. O valor total do orçamento a preços de mercado é 117023,60 € (com IVA incluído). Sem IVA esse valor é 95141,21€. Se aplicarmos um desconto comercial de 20%, o valor orçamentado passará a totalizar 76112,97 €.

Tabela 28 Mapa de quantidades do projeto FV

Nome	Quantidade	Preço
Módulo JKM 300M-60	428 un	61554,96 €
Inversor SUN2000-36KTL400Vac	3 un	9156,06 €
Cabo XV (1x16) mm2	2850 m	6754,50 €
Cabo XV (3x25+2G16) mm2	60 m	1045,20 €
Cabo RVK (3x70+2G35) mm2	10 m	443,20 €
Cabo H07V-R (1x16) mm2	1425 m	2636,25 €
Limitador Sobretensão	1 un	829,99 €
Disjuntor 50 A	3 un	501,03 €
Disjuntor 200 A	1 un	681,03 €
Interruptor diferencial 300 mA 63 A	3 un	318,51 €
Interruptor corte geral 200 A	1 un	117,64 €
Estrutura módulos	4 un	2985,32 €
Mão de obra	1	30000 €
Total		117023,60 €

Sabendo que a potência instalada é 128,4 kWp, 128,4 mil Wp, o projeto iria custar 0,59 €/Wp, valor baixo comparativamente ao valor de referência indicado, 0,8 €/Wp.

5.4.16 ANÁLISE FINANCEIRA

Os fluxos financeiros de um projeto de investimento, também denominados cash-flows, podem ser divididos em Cash-Flows de Investimento (CFI), Cash-Flows de Exploração (CFE) e Valor Residual (VR). Os CFI obtêm-se pela soma entre o investimento em capital fixo e o investimento em capital circulante. O VR consiste no valor do conjunto do capital fixo e do capital circulante no final da vida do projeto. É calculado pela diferença entre o valor da aquisição e o somatório das depreciações e amortizações. Finalmente, o CFE resultam da diferença entre as receitas e as despesas estimadas ao longo do período de vida do projeto. Podem ser calculadas pela soma das depreciações/amortizações, provisões, encargos financeiros, imparidades e resultado líquido do período [45].

Os Cash-Flows Líquidos (CFL) consistem na diferença entre o CFE e o CFI ocorridos em cada período [45].

$$CFL = CFE - CFI \quad (27)$$

No Anexo L, está representada a evolução dos cash-flows. A coluna 1 apresenta os valores dos CFI, a coluna 2 os valores dos CFE, a coluna 3 o resultado obtido aplicando a expressão (27) que determina o CFL, e finalmente, a coluna 4 apresenta o valor acumulado dos CFL. No fim estão presentes os valores totais de todas as variáveis em estudo. Para isto foi considerado um tempo de vida do projeto de 25 anos.

Os CFE são calculados usando os preços da energia que seria comprada à rede se não existisse produção para autoconsumo, em cada mês de 2020. Foi considerando uma redução de 1% a cada ano devido a perdas de eficiência dos circuitos e módulos.

Na figura 60 está representada a evolução dos CFL acumulados, de acordo com a tabela no Anexo L, ao longo dos 25 anos de vida do projeto.

No total foi obtido um valor dos CFE igual a 398416,92 €, e um CFL acumulado de 322303,95 €.

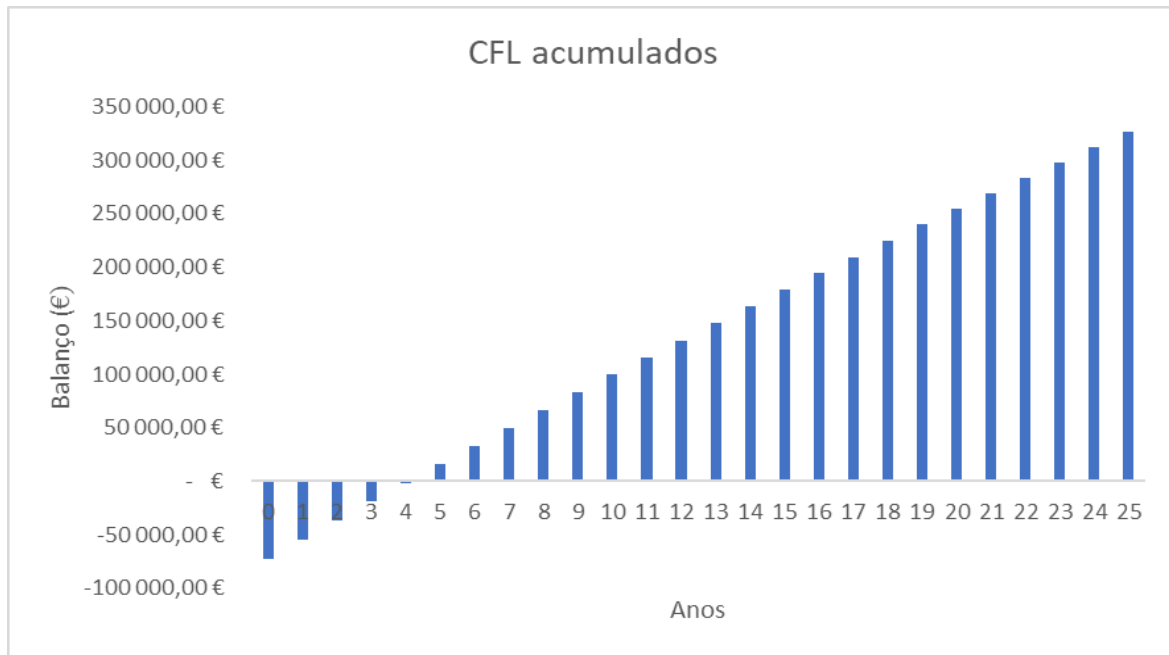


Figura 60 Evolução dos CFL ao longo de 25 anos de vida do projeto

Os critérios de avaliação económica e financeira de projetos de investimento mais usados são [45]:

- VAL – Valor atualizado líquido (ou *NPV – Net present value*);
- TIR – Taxa interna de rentabilidade (ou *IRR – Internal rate of return*);
- Payback – Período de recuperação do investimento (ou *PBP - Payback period*);
- IR – Índice de rentabilidade (ou *PI – Profitability Index*).

5.4.16.1. VALOR ATUALIZADO LÍQUIDO (VAL)

O VAL consiste na atualização da série anual dos CFL para o momento inicial do projeto de investimento. Permite calcular o risco do projeto. Para um projeto de investimento com uma vida útil de “n” anos, o VAL pode ser calculado considerando a seguinte expressão [45]:

$$VAL = \sum_{k=0}^n \frac{(CFE_k - CFI_k)}{(1+r)^k} - \frac{Vr}{(1+r)^n} = \sum_{k=0}^n \frac{CFL_k}{(1+r)^k} - \frac{Vr}{(1+r)^n} \quad (28)$$

Em que:

- CFL_k : Cash-flow líquido do projeto no ano k ;
- Vr : Valor residual do projeto;
- n : vida do projeto (em anos);
- r : taxa de atualização.

Para $n = 25$ anos; $r = 3\%$, e não sendo considerado Vr , obteve-se:

$$VAL = 205651,62 \text{ €}$$

Como o VAL é positivo, é possível concluir que o projeto de investimento é economicamente viável e rentável. Também significa que a taxa de rentabilidade do investimento é superior à taxa de atualização [45].

5.4.16.2. TAXA INTERNA DE RENTABILIDADE (TIR)

A TIR consiste na taxa de atualização dos cash-flows para a qual o VAL é nulo. Um projeto só tem interesse do ponto de vista económico se a TIR for superior à taxa de atualização, ou superior à taxa que o investidor teria se os mesmos capitais fossem investidos num projeto semelhante ou de menor risco. Pode ser calculada pela seguinte expressão [45]:

$$TIR = \sum_{k=0}^n \frac{CFL_k}{(1+r)^k} - \frac{Vr}{(1+r)^n} = 0 \quad (29)$$

Em que:

- CFL_k : Cash-flow líquido do projeto no ano k ;
- Vr : Valor residual do projeto;
- n : vida do projeto (em anos);
- r : taxa de atualização.

Considerando os valores de CFL presente na tabela no [Anexo L](#) obteve-se:

$$TIR = 22 \%$$

Quanto maior a TIR, mais lucrativo é o negócio.

5.4.16.3. PAYBACK

Este critério tem o propósito de determinar o tempo de recuperação do capital investido. Pode também ser entendido como o período de tempo necessário para que o VAL atinja o valor zero [45].

É definido pela seguinte expressão:

$$Payback = p + \frac{|VAL_p|}{(|VAL_p| + |VAL_{p+1}|)} \quad (30)$$

Em que:

- p: ano atual;
- p+1: ano seguinte;
- VAL_p : Valor atualizado líquido no ano p;
- VAL_{p+1} : Valor atualizado líquido no ano p+1.

De acordo com os valores obtidos no [Anexo L](#), o CFL acumulado passou a ser positivo entre o ano 4 e o ano 5. Dito isto, e supondo que:

$$p = 4; \quad VAL_4 = -10425,74 \text{ €}$$

$$p+1 = 5; \quad VAL_5 = 4433,28 \text{ €}$$

Utilizando a interpolação linear representada na expressão (30), o Payback obtido para o projeto é:

$$Payback = 4 + \frac{10425,74}{(10425,74 + 4433,28)} = 4,70 \text{ anos} \quad (31)$$

De acordo com a expressão acima, o valor obtido indica que são preciso 4,70 anos para amortizar o investimento.

5.4.16.4. ÍNDICE DE RENTABILIDADE (IR)

O índice de rentabilidade é um critério utilizado para medir a rentabilidade relativa do projeto por unidade de capital investido. Este índice pode tomar um valor igual, menor ou maior que a unidade, sendo obtido utilizando a seguinte expressão [45]:

$$IR = \frac{\sum_{k=0}^n \frac{CFE_k}{(1+r)^k} + \frac{Vr}{(1+r)^n}}{\sum_{k=0}^n \frac{CFI_k}{(1+r)^k}} \quad (32)$$

Em que:

- CFE_k : Cash-flow de exploração do projeto no ano k ;
- CFI_k : Cash-flow de investimento do projeto no ano k ;
- Vr : Valor residual do projeto;
- n : vida do projeto (em anos);
- r : taxa de atualização.

Considerando os valores de CFE e CFI calculados usando a expressão (32) e presentes na tabela no Anexo L obteve-se:

$$IR = 3,70$$

Como o valor de IR obtido é superior a 1, conclui-se que, nas condições definidas, o VAL é positivo, e que o projeto é rentável. Quanto maior for o IR, maior será a rentabilidade económica do projeto [45].

5.4.17 EVOLUÇÃO DOS INDICADORES ENERGÉTICOS

Em 5.4.3 foram referidos os valores dos indicadores energéticos da empresa E antes da implementação do projeto FV. A figura 61, figura 62 e figura 63 apresentam a variação dos indicadores energéticos desde o ano de referência da AE até 2020, momento do segundo REP.

A reta horizontal a vermelho nas figuras acima representa a meta estabelecida na AE e no PREn.

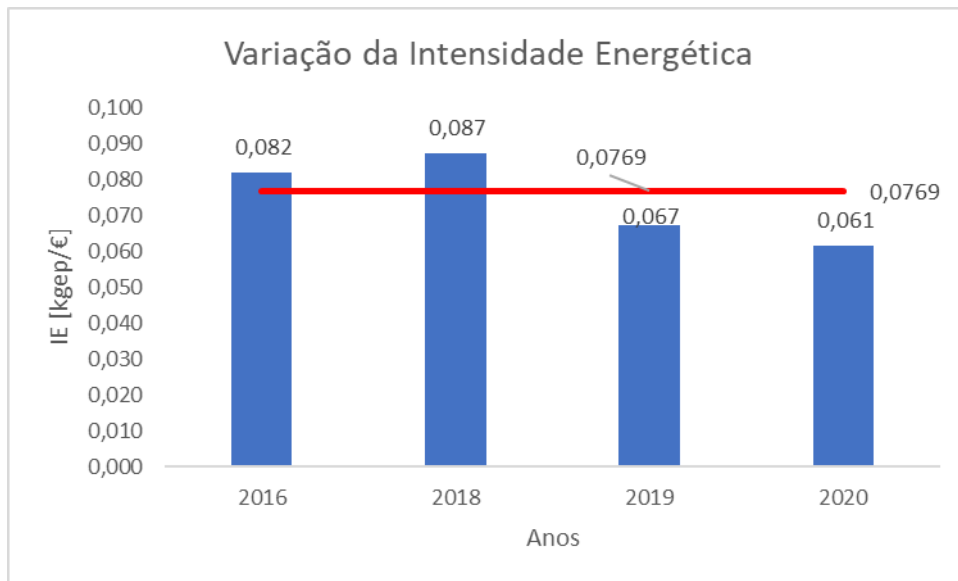


Figura 61 Evolução da IE entre 2016 e 2020

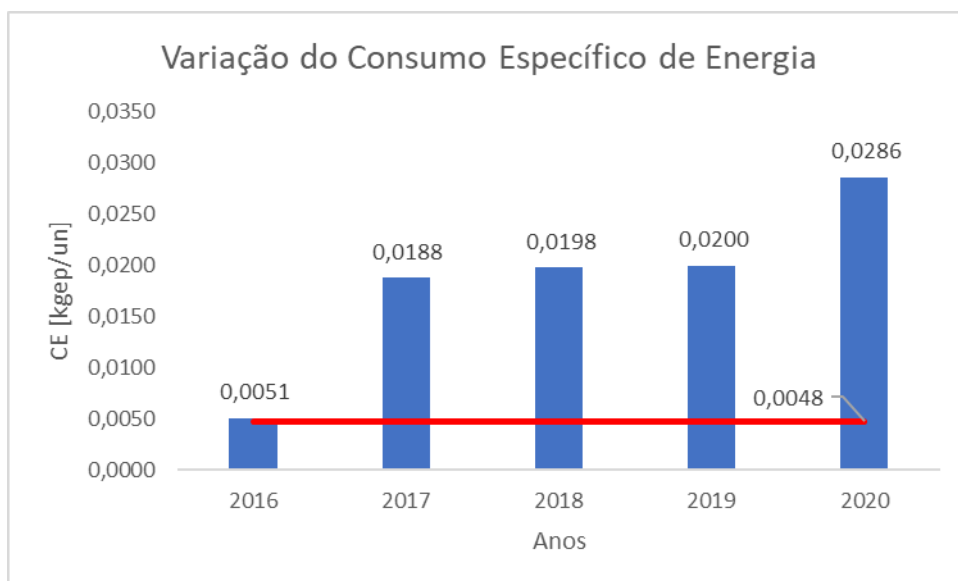


Figura 62 Evolução do CEE entre 2016 e 2020

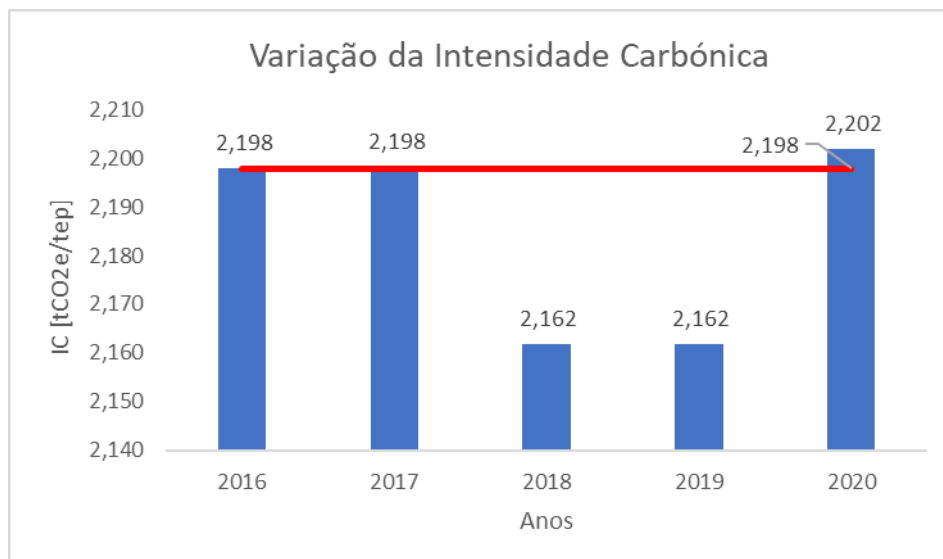


Figura 63 Evolução da IC entre 2016 e 2020

A reta horizontal a vermelho nas figuras acima representa a meta estabelecida na AE e no PREn. Como visto anteriormente, o CEE apresenta-se muito acima do esperado, fruto da discrepância entre a produção e o consumo. Com a implementação do projeto, é previsível que o consumo da empresa desça, visto que o autoconsumo fará com que a necessidade de comprar energia à rede seja menor, o que por sua vez fará com que as emissões de CO₂ diminuam. A [tabela 29](#) apresenta a variação dos indicadores energéticos.

Tabela 29 Variação dos indicadores energéticos

Intensidade Carbônica			
	tCO2	tep	IC
Inicial	1 994,8	906	2,20
Final	1 899,3	862,3	2,20
Variação	-95,5	-43,7	0,00
Consumo Específico de Energia			
	Produção	tep	CE
Inicial	31678915	906	0,029
Final	31678915	862,3	0,027
Variação	0,0	-43,7	0,00138
Intensidade Energética			
	VAB	tep	IE
Inicial	14744680,03	906	0,061
Final	14744680,03	862,3	0,058
Variação	0,0	-43,7	0,00296

Para efetuar os cálculos presentes na tabela acima foi necessário supor que o VAB e a produção não variou durante o tempo de planeamento e execução do projeto.

5.4.18 COMPARAÇÃO COM A MEDIDA PROPOSTA NO PREn

Em 2016, após a realização da AE à empresa, foi composto o PREn, onde foram apresentadas as medidas a serem implementadas até 2024. Uma delas era a implementação de um sistema FV em 2023. A [tabela 30](#) apresenta a economia anual de custos, o investimento, o Payback, e a redução dos três indicadores energéticos propostos no PREn.

Tabela 30 Parâmetros para proposta da medida do PREn

Economia anual de custos (€)	Investimento (€)	Payback (anos)	Redução IE (kgep/€)	Redução CEE (kgep/un)	Redução IC (tCO2/tep)
9100	69500	7,6	0,001	0	0,023

Crê-se que houve um erro do portal da DGEG no cálculo da redução do valor de CEE, visto não fazer sentido este valor ser nulo.

O projeto realizado neste capítulo prevê os seguintes valores dos parâmetros de comparação, presentes na [tabela 31](#).

Tabela 31 Parâmetros para proposta do projeto FV realizado

Economia anual de custos (€)	Investimento (€)	Payback (anos)	Redução IE (kgep/€)	Redução CEE (kgep/un)	Redução IC (tCO2/tep)
17932	76112	4,70	0,00296	0,00138	0,0008

O valor do investimento difere pouco entre os dois projetos. No entanto, analisando os parâmetros financeiros e energéticos, prevê-se uma maior economia anual de custos e menor Payback neste último. Para além disso, os indicadores energéticos preveem uma maior redução à exceção da IC.

De referir que o IEP não está encarregue da realização do projeto. Apenas calcula, com base na tecnologia atual e nas faturas energéticas da empresa, a viabilidade de uma possível implementação do sistema, e os consequentes benefícios, económicos e energéticos.

5.5. CASO DE ESTUDO – ARMAZENAMENTO DE ENERGIA NA EMPRESA E

Após realizado o projeto de dimensionamento de um sistema FV para autoconsumo na empresa E, foi estudada a possibilidade da implementação de um sistema armazenamento de energia. Como se sabe, a produção fotovoltaica é uma fonte de energia intermitente, ou seja, a sua produção não é constante e está dependente das condições meteorológicas. Deste modo, a possibilidade de armazenar energia quando esta não é utilizada no momento é o pretendido. Para lidar com a intermitência, é necessário armazenar energia com recurso a baterias gravíticas, baterias inerciais ou baterias eletroquímicas. Para armazenar energia proveniente da produção solar, utiliza-se normalmente baterias eletroquímicas, como por exemplo as baterias de iões de lítio no estado sólido. No entanto, as baterias inerciais têm vindo a evoluir nos últimos anos com aplicações no armazenamento estacionário. Dito isto, achou-se pertinente o estudo da implementação de uma bateria deste grupo, denominada flywheel [46].

5.5.1 ESCOLHA DA BATERIA

Como já foi referido em 5.4.10, toda a energia produzida no grupo FV previsto implementar na empresa E é consumida, não existindo excessos para armazenar. No entanto, a utilização de baterias possui vantagens em várias vertentes para além do armazenamento do excedente.

Primeiramente, foi necessário escolher uma flywheel. A Amber Kinetics é uma empresa americana líder na produção de sistemas de armazenamento de energia cinética com aplicações na rede elétrica. Fundada apenas em 2008, atualmente já descarregou 203 MWh. O seu conjunto de flywheels consegue descarregar energia suficiente para alimentar 67 mil casas durante 1 hora. Neste momento possuem as flywheels mais eficientes no mercado [47].

Para este estudo, a flywheel escolhida foi **Amber Kinetics M32**. Possui 8 kW de potência de carga e descarga, e uma capacidade de 32 kWh armazenada num rotor de 2 toneladas. Tal como os painéis FV, as flywheels podem ser agrupadas de maneira a aumentar significativamente a sua capacidade.

Para além disso, possui vantagens sobre as baterias eletroquímicas tais como [48]:

- Degradação inexistente ao longo do seu período útil de vida;
- Operação em ambientes quentes e frios, com um intervalo entre -20°C a 50°C ;
- Tempo de resposta rápido (<1 segundo);
- Todos os seus componentes metálicos são recicláveis;
- Possui um período útil de vida muito longo (30 anos);
- O custo associado à operação e manutenção é menor;
- Não necessita de AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado);
- Possui eficiência de carga e descarga (CC) superior a 86 %;
- Não tem limites de ciclos de carga e descarga.

O tempo de descarga é 4 horas. Não emite GEE.

A [figura 64](#) representa o esquema de ligação possível entre uma flywheel e a RESP [49].



Figura 64 Esquema de ligação entre uma flywheel e a rede[49]

O sentido da energia é bidirecional, visto que o objetivo é carregar a flywheel, e depois descarregá-la num período de tempo previamente definido. A energia armazenada pode vir da RESP, ou de um sistema de produção renovável independente, como p.e, produção fotovoltaica ou eólica. A flywheel armazena em CC, sendo necessário um inversor para converter essa energia CC para CA, dependendo da aplicação pretendida. Há também um circuito de comunicação e controlo, compatível com sistemas de supervisão e aquisição de dados (SCADA). No [Anexo M](#) está presente a *datasheet* da flywheel Amber Kinetics M32.

5.5.2 CASO 1 – FLYWHEEL PARA PREENCHIMENTO DAS CAVAS DA PRODUÇÃO FV

Um dos problemas da produção fotovoltaica é a sua intermitência. Para além da produção variar consoante a altura do ano, mesmo num dia de sol no Verão, em que seria expectável obter uma produção quase máxima, é comum o aparecimento de nuvens, que causam a sua diminuição significativamente.

As cavas de produção consistem nos espaços vazios que transformam uma curva de produção ótima na curva real de produção, imperfeita e inconstante. O seu preenchimento representa fornecer energia armazenada previamente de maneira a garantir a produção ótima desejada.

Nesta situação, e visto que toda a energia produzida é consumida, foi estudada a seguinte alternativa:

- Compra de energia no período mais barato (super vazio) e armazenamento na flywheel;
- Utilização dessa energia no período onde a compra de energia é mais cara (ponta e cheias).

Com isto, estudou-se a viabilidade energética e económica destes pressupostos.

A empresa E possui uma tarifa tetra nível, tensão MT, e um ciclo horário semanal com feriados. Segundo a ERSE, o ciclo horário semanal MT para o Verão está presente na [figura 65](#), e o ciclo horário semanal MT para o Inverno, na [figura 66](#) [50]:

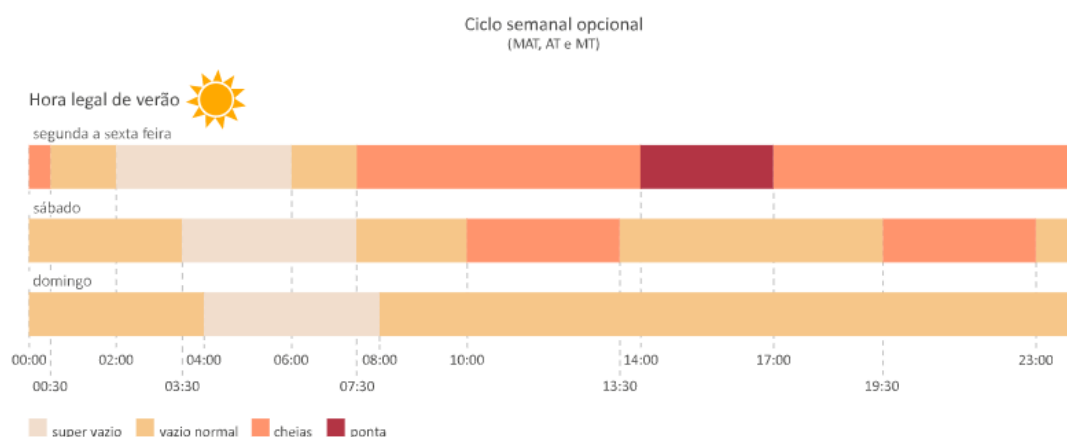


Figura 65 Ciclo horário semanal MT para o Verão[50]

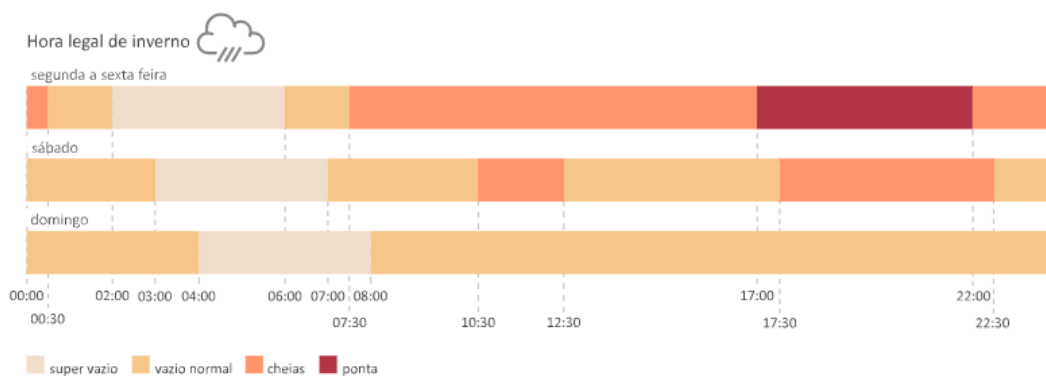


Figura 66 Ciclo horário semanal MT para o Inverno[50]

A tabela 32 apresenta os períodos para cada ciclo apresentados nas figuras acima.

Tabela 32 Ciclo semanal opcional MT para o Verão e Inverno

Ciclo semanal opcional - MT						
Verão			Inverno			
	Semana	Sábado	Domingo	Semana	Sábado	Domingo
Ponta	14h-17h	-	-	17h-22h	-	-
Cheias	7h30-14h	10h-13h30	-	7h30-17h	10h30-12h30	-
	17h-00h30	19h30-23h		22h-0h30	17h30-22h30	
Vazio normal	00h30-2h	7h30-10h	8h-4h	0h30-2h	7h-10h30	8h-4h
	6h-7h30	13h30-19h30		6h-7h30	12h30-17h30	
		23h-3h30			22h30-3h	
Super vazio	2h-6h	3h30-7h30	4h-8h	2h-6h	3h-7h	4h-8h

O preço da compra de energia varia consoante o ciclo em que se encontra da seguinte forma:

- Preço em horário de super vazio: 0,0140 €/kWh;
- Preço em horário de vazio normal: 0,0146 €/kWh;
- Preço em horário de cheias: 0,0407 €/kWh;
- Preço em horário de ponta: 0,0567 €/kWh.

Sabendo que a empresa E funciona todos os dias, considerou-se também a carga e descarga diária. Dito isto, e observando a acima, pretende-se que a descarga seja feita no horário de ponta, durante a semana, no horário de cheias ao sábado, e no horário de vazio normal ao domingo.

Resumindo, a descarga será:

- Cinco dos sete dias em horário de ponta;
- Um dos sete dias em horário de cheias;
- Um dos sete dias em vazio normal.

O custo de carregamento é dado por:

$$Custo_{Carr} = P_{SV} \times E_{FLY} \quad (33)$$

Em que:

- $Custo_{Carr}$ – Custo do carregamento da flywheel (€)
- P_{SV} – Preço da compra de energia em horário de super vazio (€/kWh)
- E_{FLY} – Capacidade de armazenamento da flywheel (kWh)

O custo para carregar a flywheel é o seguinte:

$$Custo_{Carr} = 0,014 \times 32 = 0,45 \text{ €} \quad (34)$$

O valor poupado ao utilizar a energia armazenada na flywheel é calculado dependendo do período da semana (dias uteis, sábado ou domingo), ou, em que período horário é mais benéfico descarregar a energia:

➤ Para os dias úteis, é previsto ser utilizada a energia em horário de ponta:

$$Poupança_{Ponta} = \frac{N^{\circ} \text{ ponta}}{N^{\circ} \text{ dias}} \times P_{Ponta} \times E_{FLY} \quad (35)$$

Em que:

- $Poupança_{Ponta}$ – Poupança gerada ao descarregar a energia em vez de comprar à rede no horário de ponta (€)
- $N^{\circ} \text{ ponta}$ – n° de dias onde é previsto descarregar em horário de ponta
- $N^{\circ} \text{ dias}$ – n° total de dias a considerar
- P_{Ponta} – Preço da compra de energia em horário de ponta (€/kWh)
- E_{FLY} – Capacidade de armazenamento da flywheel (kWh)

O valor da poupança gerada ao descarregar em dias úteis é:

$$Poupança_{Desc} = \frac{5}{7} \times 0,0567 \times 32 = 1,3 \text{ €} \quad (36)$$

➤ Para os sábados, é previsto ser utilizada a energia em horários de cheias:

$$Poupança_{Cheias} = \frac{N^{\circ} \text{ cheias}}{N^{\circ} \text{ dias}} \times P_{Cheias} \times E_{FLY} \quad (37)$$

Em que:

- Poupança_{Cheias} – Poupança gerada ao descarregar a energia em vez de comprar à rede no horário de cheias (€)
- N° cheias – n° de dias onde é previsto descarregar em horário de cheias
- N° dias – n° total de dias a considerar
- P_{Cheias} – Preço da compra de energia em horário de cheias (€/kWh)
- E_{FLY} – Capacidade de armazenamento da flywheel (kWh)

O valor da poupança gerada ao descarregar ao sábado é:

$$Poupança_{Cheias} = \frac{1}{7} \times 0,0407 \times 32 = 0,19 \text{ €} \quad (38)$$

➤ Para os domingos, é previsto ser utilizada a energia em horário de vazio normal:

$$Poupança_{VN} = \frac{N^{\circ} VN}{N^{\circ} \text{ dias}} \times P_{VN} \times E_{FLY} \quad (39)$$

Em que:

- Poupança_{VN} – Poupança gerada ao descarregar a energia em vez de comprar à rede no horário de vazio normal (€)
- N° VN – n° de dias onde é previsto descarregar em horário de vazio normal
- N° dias – n° total de dias a considerar
- P_{VN} – Preço da compra de energia em horário de vazio normal (€/kWh)
- E_{FLY} – Capacidade de armazenamento da flywheel (kWh)

O valor da poupança gerada ao descarregar ao domingo é:

$$Poupança_{VN} = \frac{1}{7} \times 0,0146 \times 32 = 0,07 \text{ €} \quad (40)$$

Finalmente, o balanço por ciclo de carga e descarga é dado por:

$$Balanço_{ciclo} = Poupança_{ponta} + Poupança_{cheias} + Poupança_{VN} - Custo_{carr} \quad (41)$$

Ou seja:

$$Balanço_{semanal} = 1,3 + 0,19 + 0,07 - 0,45 = 1,10 \text{ €} \quad (42)$$

Considerando que um ano tem 365 dias, o balanço anual é:

$$Balanço_{anual} = Balanço_{ciclo} * 365 = 401,79 \text{ €} \quad (43)$$

A economia anual de custos da utilização de uma flywheel sob estas condições é 401,79€.

Considerou-se um investimento previsto para 2019 de \$325/kWh [51], que corresponde a 267,85€/kWh. Sabendo que a flywheel tem capacidade de 32 kWh, o investimento é 8571,20 €.

Para calcular a viabilidade económica do projeto, foi realizada uma tabela, presente no [Anexo N](#), com a evolução dos cash-flows, onde foi considerado a redução de 1% dos proveitos anuais devido a perdas no sistema. A metodologia de cálculo foi a mesma apresentada em [5.4.16](#).

Supondo um período de vida útil do projeto de 30 anos e uma taxa de atualização de 3% foram obtidos os seguintes critérios de avaliação económica e financeira do projeto, conforme apresentado na [tabela 33](#):

Tabela 33 Ciclo semanal opcional MT para o Verão e Inverno

VAL	-1587,52 €
TIR	1,4%
Payback	23,52 anos
IR	0,81

Analisando os valores obtidos, conclui-se facilmente que um projeto com estes pressupostos e objetivos não é rentável a nível económico e financeiro.

Como se previu a utilização diária da flywheel, a energia utilizada anualmente corresponde a 11680 kWh. O preço por kWh para 30 anos é dado por:

$$Preço_{kWh} = \frac{I}{E * n} = \frac{8571,2}{11680 * 30} = 0,0245 \text{ €} \quad (44)$$

Em que:

- I – Investimento (€)
- E – Energia utilizada anualmente (kWh)
- n – Período de vida útil do projeto (anos)

Sabendo que para o projeto de implementação de um sistema FV para autoconsumo, com um tempo de vida útil de 25 anos e um total de 203110 kWh de energia produzida anualmente, foi obtido por cada kWh um preço de 0,0150€, pode-se concluir o preço obtido para o sistema de armazenamento com flywheel é o dobro.

5.5.3 CASO 2 – FLYWHEEL COMO ALTERNATIVA AO SISTEMA FV

Como segundo caso, estudou-se a possibilidade de usar flywheels como alternativa ao sistema FV, comprando a energia à RESP em super vazio, utilizando-a sempre que necessário. De um ponto de vista teórico, existem vantagens em ter um sistema com esta especificidade:

- Não exige um local com uma boa orientação para maximizar a produção,
- Não necessita de um telhado preparado para implementar o sistema;
- Pode ficar enterrado no solo;
- Não necessita de manutenção regular.

Neste âmbito, para igualar a produção FV proposta em 5.5.1, é necessário igualar 203 MWh anuais. Visto que uma flywheel com estas características consegue descarregar anualmente 11680 kWh, são necessárias 18 flywheels, que conseguem armazenar 576 kWh diariamente.

Considerando o preço da flywheel utilizado anteriormente, e supondo uma redução de 20% na instalação de tantas unidades, foi obtido um investimento total de 123425,28 €.

Com o preço de compra de energia em super vazio igual a 0,014 €/kWh, o custo total de carregamento diário das flywheels é 8,06 €. Mais uma vez, a descarga foi prevista acontecer em horas de ponta durante a semana, horas de cheias ao sábado, e horas de vazio normal ao domingo. A poupança obtida por não comprar energia à rede nesses períodos horários foi:

- Para horas de ponta, 23,33 €;
- Para horas de cheias, 3,35 €;
- Para horas de vazio normal, 1,20 €.

O balanço é obtido somando esses três valores e subtraindo o preço a que a energia foi comprada em horário de super vazio. Assim, por ciclo o balanço corresponde a 19,81€. O balanço anual é 7232,26 €.

No [Anexo O](#) está presente a evolução dos cash-flows para este caso.

Foi novamente considerado um período de vida útil do projeto de 30 anos e uma taxa de atualização de 3%. Obtiveram-se os seguintes critérios de avaliação económica e financeira do projeto, conforme apresentado na [tabela 34](#):

Tabela 34 Valores dos critérios da avaliação económica do caso 2

VAL	2280,96 €
TIR	3,15%
Payback	18,53 anos
IR	1,02

Ao contrário do caso em [5.5.2](#), este projeto já é rentável. No entanto, olhando para os valores obtidos, apesar do VAL ser positivo, é muito baixo comparativamente ao valor do investimento. O IR está ligeiramente acima da unidade. O TIR está ligeiramente acima da taxa de atualização considerada. São necessários quase 20 anos para amortizar o investimento.

Concluindo, de um ponto de vista económico e financeiro, este projeto é minimamente rentável, mas não aconselhável levar a cabo, existindo certamente projetos onde o mesmo capital investido traria menor riscos e onde a respetiva TIR fosse maior.

Enquanto o preço por kWh do sistema FV para 25 anos de vida é 0,0150 €, com esta alternativa para 30 anos de vida útil foi obtido 0,0196 €, valor superior ao do sistema FV, mas inferior ao obtido em 5.5.1.

Em média, a energia disponível nas flywheels para utilização mensal é 17520 kWh. Utilizando este valor, a [figura 67](#) compara o consumo final com FV e o consumo final com flywheels.

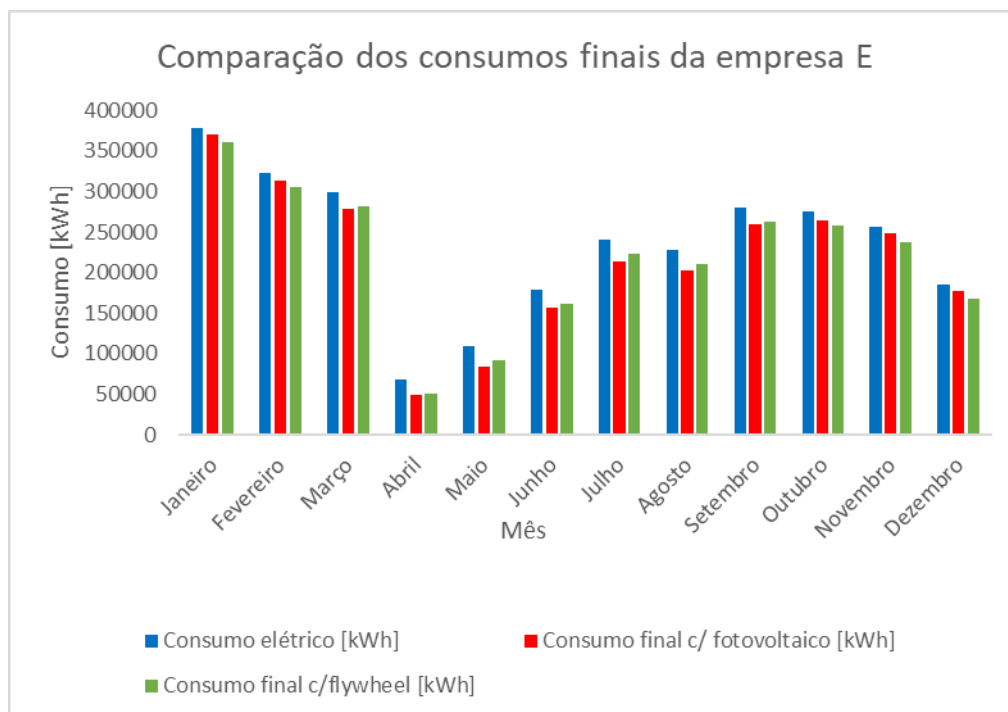


Figura 67 Comparação dos consumos finais com FV e com flywheels

Pela observação da figura acima, é possível concluir que uma das vantagens em ter flywheels em vez de um sistema FV é a previsibilidade. A carga e a descarga destas baterias mecânicas não estão sujeitas a nenhuma influência externa (à exceção de avarias que são raras de ocorrer). Dito isto, nos meses mais frios o consumo é menor com recurso às flywheels, enquanto nos meses mais quentes, a produção fotovoltaica ultrapassa o valor máximo de descarga das flywheels, obtendo assim um menor consumo final da empresa.

5.5.4 CASO 3 – FLYWHEEL PARA SUPRIMIR AS HORAS DE PONTAS

Para o terceiro caso foi estudada a possibilidade da instalação de flywheels para suprimir a energia necessária em horas de ponta, energia esta que representa a maior parte dos custos de energia da empresa em questão.

A [tabela 35](#) mostra a energia mensal de ponta necessária no ano de 2020.

Tabela 35 Valores de hora de ponta no ano de 2020

Ano	Mês	Ponta [kWh]
2020	Janeiro	110169
	Fevereiro	94248
	Março	88241
	Abril	15808
	Mai	22598
	Junho	34398
	Julho	42600
	Agosto	40479
	Setembro	47347
	Outubro	53977
	Novembro	74609
	Dezembro	54448
Total		678922

No total foi utilizado 678922 kWh em horas de ponta em 2020, o que representa uma média diária de 1860,06 kWh. Sabendo que cada flywheel consegue armazenar até 32 kWh, são necessárias 59 flywheels para suprimirem as horas de ponta média diárias. A energia total armazenada anualmente é, desta maneira, 689120 kWh.

Quanto ao investimento, já sabendo que é necessário 8571,2 € por flywheel, é necessário investir 404560,64 € para obter as 59 flywheels. Foi suposto uma redução de 20% do custo total devido à compra e instalação em grande escala.

Seguindo a mesma metodologia, o preço de compra de energia em super vazio é 26,43 € diariamente. O valor poupado ao descarregar essa energia durante períodos de ponta, cheias e vazio normal é:

- Para horas de ponta, 76,46 €;
- Para horas de cheias, 10,98 €;
- Para horas em vazio normal, 3,94 €.

Mais uma vez, o balanço é obtido somando esses três valores e subtraindo o preço a que a energia foi comprada em horário de super vazio. Dito isto, por ciclo o balanço corresponde a 64,95 €. O balanço anual é 23705,73 €.

Mais uma vez, no [Anexo P](#) está presente a evolução dos cash-flows.

Foi considerado um período de vida útil do projeto de 30 anos e uma taxa de atualização de 3%. Obtiveram-se os seguintes critérios de avaliação económica e financeira do projeto, conforme apresentado na [tabela 36](#):

Tabela 36 Valores dos critérios da avaliação económica do caso 3

VAL	7476,47 €
TIR	3,15%
Payback	18,53 anos
IR	1,02

Da mesma maneira que o caso em [5.5.3](#), este projeto está na linha mínima de ser considerado rentável. A única diferença é um ligeiro aumento do VAL, consequência do aumento do valor do investimento. No entanto, o investimento apresentado neste caso é muito elevado, não sendo viável para a maioria das empresas portuguesas.

Mais uma vez, de um ponto de vista económico e financeiro, este projeto não é apelativo.

Importante referir que para calcular o nº de flywheels necessárias para suprimir toda a energia consumida em horas de ponta foi usado o valor médio diário. Se o objetivo fosse mesmo obter a supressão total da energia de ponta comprada à RESP, não poderia ser usado esse valor, mas sim o maior valor de ponta obtido, de maneira a salvaguardar as necessidades energéticas em alguns períodos do ano. Dito isto, com base nos valores da [tabela 35](#), seriam necessárias 112 flywheels, quase o dobro do valor original. O investimento estaria perto de 1 milhão, e o espaço necessário para colocar tantas flywheels também seria um fator em ter em conta, para além da instalação estar sobredimensionada a maior parte do ano.

5.5.5 CASO 4 E 5 – ARMAZENAMENTO EM BATERIAS QUÍMICAS DE IÕES DE LÍTIO

As baterias químicas, mais especificamente, as baterias de íons de lítio de estado sólido, são um dos sistemas de armazenamento químicos da energia com maiores potencialidades futuras. Têm aplicações na mobilidade elétrica, em diversos dispositivos eletrônicos, e como complemento à produção de energia renovável intermitente. Possuem uma eficiência e densidade energética elevada, sendo, sem a menor das dúvidas, uma das melhores alternativas para diversas aplicações [46].

Os preços dos pacotes de baterias de íons de lítio encontram-se em queda na última década, tendo passado de \$1100/kWh em 2010 para um valor médio de \$137/kWh em 2020. Espera-se que, por 2023, esse preço médio chegue a \$100/kWh, valor que já apareceu num relatório de compra na China [52], [53]. No entanto, o artigo [54] destaca oportunamente que o preço por kWh das baterias de lítio para utilização em veículos elétricos não é o mesmo do preço por kWh para baterias presentes em sistemas de armazenamento de energia estacionários.

A powerpack da Tesla [55], possui uma capacidade de armazenamento de 232 kWh. Inclui 16 cápsulas de baterias, com potência até 130 kW, uma eficiência de 88% num processo de 2h, ou 89,5% num processo de 4h. Em [56], o preço inicial, que já acarreta o custo do inversor, é \$172000, que corresponde a \$741,38/kWh. Depois de aplicados os impostos, esse valor desce para \$127000, que corresponde a \$547,41/kWh. O preço ainda diminuiu mais se forem compradas mais unidades. Com a compra de três powerpacks, que armazenam um total de 696 kWh, e depois de serem considerados os incentivos, o preço total é \$259000, mas que corresponde a \$372,13/kWh. Esse valor na moeda europeia é 311,84€/kWh.

Seguindo a mesma metodologia que os outros casos, e utilizando o melhor (menor) preço por kWh, foi obtido um balanço total por ciclo de 23,94€. O balanço anual é, desta forma, 8738,98€, e a energia total anual é 254040 kWh. Pela evolução dos cash-flows, no Anexo Q, e considerando um período de vida de 15 anos, obtiveram-se os seguintes valores presentes na tabela 37:

Tabela 37 Valores dos critérios da avaliação económica do caso 4

VAL	-119173,93 €
TIR	-6,57%
Payback	28,51 anos
IR	0,45

Pelos valores obtidos acima, o projeto é completamente inviável nos parâmetros e objetivos estabelecidos. Comparando com o valor obtido em 5.5.3 e 5.5.4 (0,0196€/kWh), o melhor preço obtido atualmente para a implementação da powerpack é 0,057€/kWh para 15 anos, três vezes superior ao preço da implementação de um sistema de flywheels da Amber Kinetics. Considerando estes indicadores, a powerpack da Tesla não é viável para este tipo de aplicações atualmente.

Se for considerado o valor médio atingido em 2020, \$137/kWh [53], para uma powerpack da Tesla com as mesmas características do caso anterior, o investimento seria \$31784. Para a moeda europeia, estes valores correspondem a 114,81€/kWh e 26634,99 €. O balanço total obtido por ciclo foi de 7,98€. O balanço anual é 2912,99€, e a energia total anual é 84680 kWh.

Pela evolução dos cash-flows, presentes no Anexo Q, e considerando um período de vida de 15 anos, obtiveram-se os valores presentes na tabela 38:

Tabela 38 Valores dos critérios da avaliação económica do caso 5

VAL	5987,70 €
TIR	6,03%
Payback	9,63 anos
IR	1,22

O preço por kWh para 15 anos é 0,021€. Esse valor é ligeiramente superior ao preço obtido para a implementação de flywheels da Amber Kinetics, no entanto, este caso já é considerado rentável, com VAL positivo, a TIR sendo o dobro da taxa de atualização, e um

IR superior à unidade. Apesar do Payback ainda ser elevado (quase dois terços do tempo de vida útil do projeto) permite amortizar o investimento feito mais rápido que todos os outros casos estudados.

Considerando o valor médio previsto para 2023, \$100/kWh [53], é previsível que a rentabilidade do projeto melhore ainda mais e que o período de amortização do projeto desça, tornando o investimento muito mais apelativo.

5.5.6 COMPARAÇÃO DOS CASOS ESTUDADOS

No total foram estudados cinco casos diferentes. Desses cinco, três estavam relacionados com a utilização de uma ou mais flywheels, e os restantes dois serviram como método comparativo entre as baterias mecânicas e as baterias químicas, nomeadamente as baterias de lítio.

A [tabela 39](#) apresenta um resumo dos parâmetros mais importantes obtidos nos cinco casos.

Pela sua análise, conclui-se que o projeto proposto no caso 5 representa o menor investimento em euros por kWh, sendo este 57% inferior ao investimento necessário para a instalação de uma flywheel, nos termos propostos no caso 1.

No entanto, face à diferença significativa entre o período de vida útil das flywheels e das baterias de lítio, o preço por kWh para a vida útil de ambos os casos difere apenas 14%.

Isso significa que, a longo prazo, a durabilidade das flywheels é um fator a ter em consideração quando se pretende complementar um sistema de produção renovável com armazenamento estacionário.

Por outro lado, os projetos apresentados nos casos 2 e 3 obtiveram os menores preços por kWh para a vida útil considerada. Apesar disso, o elevado investimento que exigem torna-os pouco atrativos de um ponto de vista financeiro.

Tabela 39 Tabela-resumo dos casos de estudo do armazenamento de energia elétrica

Caso	Preço kWh [€]	Investimento [€]	Payback [anos]	Período de vida útil considerado [anos]	Preço kWh para vida útil do projeto [€]
Caso 1 - Flywheel	267,85	8571,20	23,52	30	0,0245
Caso 2 – Flywheels	214,28	123425,28	18,53		0,0196
Caso 3 – Flywheels	214,28	404560,64	18,53		0,0196
Caso 4 – Bateria de Lítio	311,84	217042,00	28,51	15	0,0570
Caso 5 – Bateria de Lítio	114,81	26634,99	9,63		0,0210

Porém, convém ter presente que uma queda acentuada do preço das flywheels – como, aliás, aconteceu com as baterias de lítio na última década -, melhorará o retorno e o risco do investimento. Nesse caso, as flywheels poderão revelar-se como uma solução alternativa de armazenamento estacionário.

Seja como for, e para concluir, os resultados do estudo demonstram que, por enquanto, nenhuma das soluções estudadas é rentável.

O que não invalida o essencial: desde que a tecnologia seja eficiente e as condições de preço de mercado sejam favoráveis, deve ponderar-se o armazenamento da energia produzida em excesso -, ou, não havendo excessos, a sua compra à rede a baixo preço, em horas de super-vazio, para uso futuro.

6. CONCLUSÕES

Depois do anúncio da escassez do petróleo, da subida dos preços e dos seus efeitos sobre as economias, vieram as preocupações com as emissões de gases com efeito estufa e nas alterações climáticas.

Desde o AP, os temas da descarbonização e da transição energética têm marcada a agenda política europeia do setor da energia.

Em Portugal, o PNEC estabelece metas e objetivos em matéria de energias renováveis, eficiência energética, inovação e competitividade, entre outras, assim como um conjunto de medidas para a concretização dos mesmos, constituindo-se, portanto, como o principal instrumento de política nacional em matéria energética e climática para a próxima década.

As medidas para a Indústria que este Plano considera indispensáveis para assegurar a concretização dos objetivos e metas para o país, focam-se sobretudo na redução do consumo de energia primária, e na promoção da inovação, incluindo aqui a utilização de fontes de energia renováveis, tendo em vista a eficiência e a descarbonização.

O SGCIE assume um papel determinante na promoção da eficiência energética na Indústria.

Com efeito, ao monitorizar os consumos, em instalações classificadas como CIE, por intermédio de auditorias energéticas, a sua ação permite não só aferir o grau de concretização dos objetivos, como também fornecer informação suscetível de ser mobilizada para processos de melhoria - Planos de Racionalização dos Consumos de Energia (PREn), e Acordos de Racionalização com a Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG).

É precisamente este o quadro normativo e institucional do “Estudo da Eficiência Energética na Indústria”, principal objeto de investigação.

O trabalho a que este Relatório dá expressão dividiu-se em três fases.

Na primeira, depois de se analisarem as principais características energéticas e de produção de oito empresas registadas no SGCIE, todas sujeitas à realização de uma auditoria e de um PREn, fez-se uma avaliação retrospectiva das AE realizadas.

O primeiro objetivo consistiu em avaliar o impacto das AE na produtividade das unidades industriais em análise. Para tal utilizaram-se os estudos de caso das empresas A, B e C - três das oito empresas registadas que tinham já finalizado o período das AE. Admitiu-se que através desta amostra se consegue obter uma informação aproximada da real evolução dos indicadores energéticos e da eficiência das empresas em geral, e assim verificar se os objetivos são ou não cumpridos.

A análise dos dados mostrou que a produtividade é tanto maior quanto menor for o consumo, e quanto maior for o VAB, concluindo-se, por consequência, que a produtividade das empresas melhorou com as medidas de eficiência energética implementadas.

Estas evidências demonstram de forma inequívoca a importância da ação das AE: ao promoverem a redução dos consumos e a melhoria dos indicadores energéticos, elas influenciam, de facto, de uma forma positiva a produtividade das unidades industriais.

Analisou-se depois a eficácia das medidas implementadas nos diversos setores industriais. Para tal agruparam-se as medidas propostas em cada uma das empresas inicialmente estudadas, tendo-se selecionado as seis principais medidas transversais.

Retiraram-se várias conclusões.

Desde logo, que a eficácia de uma medida varia com o tipo de indústria em que é aplicada, dependendo do processo produtivo da empresa, da utilização dos equipamentos, e até da qualidade dos trabalhadores.

E, adicionalmente, que a medida transversal com maior impacto na redução de consumo de energia, e das emissões de CO₂, consistiu na implementação de um sistema FV para autoconsumo.

Numa segunda fase, e na sequência das conclusões anteriores, elaborou-se um projeto fotovoltaico (FV) para autoconsumo, tendo em conta as características energéticas da empresa E, uma das oito estudadas, e do respetivo edificado. O objetivo era fazer uma análise comparativa do impacto que uma medida de produção de energia renovável como esta pode ter na indústria, utilizando como referência os valores previstos pelo IEP no PReN da empresa.

Constatou-se que os valores de redução dos consumos energéticos e das emissões de CO₂ obtidos são semelhantes aos previstos pelo IEP.

Ainda assim, analisados os parâmetros financeiros e energéticos, o projeto prevê não só uma maior economia anual de custos e um menor Payback - em consequência da queda acentuada dos preços por kWh da tecnologia ocorrida desde 2016 -, como também uma maior redução dos indicadores energéticos, à exceção da IC.

Numa terceira e última fase, e devido ao cariz intermitente da energia fotovoltaica, foi ponderada a instalação de um sistema de armazenamento de energia na empresa E.

Estudaram-se cinco casos: flywheel para preenchimento das cavas da produção FV; flywheel como alternativa ao sistema FV; flywheel para suprimir as horas de pontas; armazenamento com baterias de lítio.

Parece realmente fazer todo o sentido armazenar a energia produzida em excesso – ou, não havendo excessos, comprá-la à rede a baixo preço, em horas de super vazio, para uso futuro. Apesar da racionalidade económica de tal propósito parecer evidente, contudo, a análise mostrou que, por enquanto, nenhuma destas soluções estudadas é competitiva.

Isto, porém, não invalida o essencial: desde que as condições de mercado sejam favoráveis, deve ser ponderado o armazenamento, para uso futuro, dos excessos de energia produzida;

as baterias mecânicas possuem um conjunto de vantagens sobre as eletroquímicas (período útil de vida, eficiência de carga e descarga, condições de operação, ...), revelando-se como uma solução alternativa a considerar no futuro, para armazenamento estacionário.

No entanto, sublinhe-se, com a definição da Estratégia Nacional para o Hidrogénio (EN-H2) - aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros nº63/2020, de 14/08/2020 -, este quadro pode estar em vias de sofrer profundas alterações [57].

Através de uma ação concertada entre política energética e climática e políticas setoriais, nomeadamente a industrial, o governo português pretende criar condições para a produção, armazenamento e consumo de hidrogénio, como alternativa aos recursos fósseis.

Apresentado como uma opção eficiente para promover a transição energética e a descarbonização dos vários sectores da economia, mas também como uma forma de diminuir a dependência externa, a produção de hidrogénio verde, ou renovável, em território nacional terá alegadamente outras vantagens, entre elas o armazenamento em larga escala de energias intermitentes renováveis durante longos períodos.

Mas há quem coloque em causa alguns destes argumentos, afirmando não encontrar racionalidade económica num investimento de 7 mil milhões de euros, a realizar entre 2020 e 2030 - para “instalar até 2030,2 GW [gigawatts] em eletrolisadores para produzir hidrogénio (...), cujo “principal uso seria a substituição de 15% de gás natural através de injeção nas redes” –, que, segundo o estudo *The Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking*, gerará, no máximo, um VAB de 745 milhões de euros por ano para a economia portuguesa, e criará apenas 5000 empregos, e cuja produtividade do capital, medida pelo rácio capital/produto, é três a quatro vezes inferior à obtida nos projetos indústrias [58].

Os subscritores do manifesto “Os erros da Estratégia Nacional para o Hidrogénio”, entre os quais se encontra o professor do Instituto Superior Técnico, Clemente Pedro Nunes, declaram mesmo que esta “Estratégia Nacional para o Hidrogénio (EN-H2) - que na realidade mais não é do que uma “tentativa de armazenagem indireta de eletricidade” -, mantém as graves consequências do regime da Produção em Regime Especial que apoiou precocemente tecnologias renováveis intermitentes e imaturas” [58]. Produzir hidrogénio (verde) através da eletrólise da água, e usando fontes renováveis, por exemplo, triplicará os custos relativamente à sua produção usando o gás natural, mesmo considerando nos

cálculos a captura do CO₂ – mais sensato, alegam, será pensar em produzi-lo através da biomassa florestal ou de resíduos orgânicos fermentados. Produzir eletricidade a partir do hidrogénio terá, por outro lado, e segundo o relatório da *Hydrogen Council, Path to Hydrogen Competitiveness*, de janeiro de 2020, um custo entre 100 e 200 euros por MWh - muito superior ao custo médio entre 40 e 50 euros das fontes alternativas mais eficientes [58].

A consequência desta política energética, assente na subsídio da produção de hidrogénio será, dizem, o desperdício de recursos do país, o aumento das faturas dos consumidores de gás, e dos custos de produção das empresas.

Numa perspetiva micro, para as empresas que encaram a eficiência energética como uma forma de baixar custos de produção e aumentar a competitividade, este alerta estende sobre o desafio da inovação um manto de incerteza e de profunda inquietação.

Referências Bibliográficas

- [1] EESI, “Energy Efficiency | EESI.” <https://www.eesi.org/topics/energy-efficiency/description> (accessed Sep. 07, 2021).
- [2] B. Portugal, *O potencial económico da eficiência energética*. 2015.
- [3] Iberdrola, “Sumidouros de carbono - Iberdrola.” <https://www.iberdrola.com/meio-ambiente/sumidouros-carbono> (accessed Sep. 07, 2021).
- [4] Observatório da Energia; DGEG; ADENE, *Energia em Números - Edição 2020*. 2020.
- [5] SGCIE, “Enquadramento e Objectivos - SGCIE.” <https://sgcie.pt/sistema-de-gestao-dos-consumos-intensivos-de-energia/o-regulamento/enquadramento-e-objectivos/> (accessed Sep. 07, 2021).
- [6] CINERGIA, “Energia no meu país | Cinergia - Centro de Informação para a Energia.” <https://www.cinergia.pt/pt/energia-no-meu-pais> (accessed Sep. 07, 2021).
- [7] APREN, “APREN - Produção.” <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao> (accessed Sep. 07, 2021).
- [8] P. Energia, “Setor Energético – Portugal Energia.” <https://www.portugalenergia.pt/setor-energetico/> (accessed Sep. 07, 2021).
- [9] APREN, “Decisions that matter: Impacto da eletricidade de origem renovável ÍNDICE,” *Deloitte*, 2019.
- [10] Direção-Geral de Energia e Geologia, “DGEG Balanço Energético 2019,” 2020, [Online]. Available: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/balancos-energeticos/balancos-energeticos-nacionais/>.
- [11] Rnae, “Eficiência Energética na empresa,” 2014, [Online]. Available: http://www.rnae.pt/download/Eficiencia_energetica_low.pdf.
- [12] E. Commission, “Energy efficiency directive | Energy.” https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en (accessed Sep. 07, 2021).
- [13] Comissão Europeia, “Plano Nacional Energia E,” *Plano Nac. Energ. E Clima 2021-*

- 2030 (*Pnec 2030*), vol. 2030, no. Pnec 2030, pp. 1–200, 2019.
- [14] SGCIE, “Legislação Comunitária e Nacional - SGCIE.” <https://sgcie.pt/sistema-de-gestao-dos-consumos-intensivos-de-energia/o-regulamento/legislacao-comunitaria-e-nacional/#> (accessed Sep. 07, 2021).
- [15] SGCIE, “Estatísticas - SGCIE.” <https://sgcie.pt/sistema-de-gestao-dos-consumos-intensivos-de-energia/informacao/estatisticas/> (accessed Sep. 07, 2021).
- [16] ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade, “Manual de Auditorias Energeticas na Indústria,” 2019.
- [17] PORDATA, “PORDATA - Valor acrescentado bruto: total e por ramo de actividade (base=2016).” [https://www.pordata.pt/Portugal/Valor+acrescentado+bruto+total+e+por+ramo+de+actividade+\(base+2016\)-2293](https://www.pordata.pt/Portugal/Valor+acrescentado+bruto+total+e+por+ramo+de+actividade+(base+2016)-2293) (accessed Sep. 07, 2021).
- [18] DRE, “Despacho 17449/2008, 2008-06-27 - DRE.” https://dre.pt/web/guest/pesquisa-avancada/-/asearch/3290785/details/4/normal?serie=II&search=Pesquisar&ano=2008&perPage=100&types=DR&_advancedPublicSearch_WAR_drefrontofficeportlet_dreId=700129 (accessed Sep. 07, 2021).
- [19] DRE, “Despacho (extrato) 6472/2016, 2016-05-17 - DRE.” <https://dre.pt/home/-/dre/74468518/details/maximized> (accessed Sep. 07, 2021).
- [20] DGEG, “Relatório Síntese junho 2018 Registo de Instalações,” pp. 1–11, 2018.
- [21] U. Enquadramento and T. Sucinto, “Medidas de Eficiência Energética Aplicáveis à Indústria Portuguesa :,” pp. 1–100, 2008.
- [22] APICER and CTCV, “MANUAL de BOAS PRÁTICAS na Utilização Racional de Energia e Energias Renováveis,” pp. 1–118, 2012.
- [23] SigmaLuminous, “What are the advantages of using LEDs for industrial lighting? – Sigma Luminous.” <https://sigmaluminous.com/what-are-the-advantages-of-using-leds-for-industrial-lighting/> (accessed Sep. 07, 2021).
- [24] T. Manuel, G. Sa, and J. P. Fernandes, “O Sector Têxtil e o futuro da Cogeração,” 2012.
- [25] “COGEN.” <https://www.cogenportugal.com/> (accessed Jan. 31, 2021).
- [26] C. Gaspar, “Eficiência Energética Na indústria *,” *O Electr.*, pp. 50–59, 2015, [Online]. Available:

- https://www.voltimum.pt/sites/www.voltimum.pt/files/pdflibrary/pag._50-59.pdf.
- [27] L. IAPMEI, ADENE, *Estratégia de eficiência energética em PME*, vol. 18, no. 2. 2016.
- [28] Climacom, “Energia Solar Térmica | Climacom.” <https://www.climacom.pt/pt-pt/energia-solar-termica> (accessed Sep. 07, 2021).
- [29] SOLVasto, “Instalações fotovoltaicas na indústria: moda ou fator competitivo?! Solvasto.” <https://solvasto.pt/instalacoes-fotovoltaicas-industria/> (accessed Sep. 07, 2021).
- [30] F. D. E. Carga, “Eficiência energética,” Accessed: Sep. 07, 2021. [Online]. Available: http://www.eficiencia-energetica.com/DetailheConceitos.asp?ID_conteudo=99&ID_area=4&ID_sub_area=10.
- [31] DGAE, “Ficha Tecido Empresarial - Indústrias Alimentares e de Bebidas.” <https://www.dgae.gov.pt/gestao-de-ficheiros-externos-dgae-ano-2018/ficha-tecido-empresarial-industrias-alimentares-e-de-bebidas.aspx> (accessed Sep. 07, 2021).
- [32] DGAE, “Ficha Tecido Empresarial - Indústrias de Têxteis e Vestuário.” <https://www.dgae.gov.pt/gestao-de-ficheiros-externos-dgae-ano-2018/ficha-tecido-empresarial-industrias-de-texteis-e-vestuario.aspx> (accessed Sep. 07, 2021).
- [33] DGAE, “Ficha Tecido Empresarial - Indústrias de Produtos Minerais não Metálicos.” <https://www.dgae.gov.pt/gestao-de-ficheiros-externos-dgae-ano-2018/ficha-tecido-empresarial-industrias-de-produtos-minerais-nao-metalicos.aspx> (accessed Sep. 07, 2021).
- [34] DGAE, “Ficha Tecido Empresarial - Indústrias da Borracha e do Plástico.” <https://www.dgae.gov.pt/gestao-de-ficheiros-externos-dgae-ano-2018/ficha-tecido-empresarial-industrias-da-borracha-e-do-plastico.aspx> (accessed Sep. 07, 2021).
- [35] DGAE, “Ficha Tecido Empresarial - Indústrias da Fileira do Aço.” <https://www.dgae.gov.pt/gestao-de-ficheiros-externos-dgae-ano-2018/ficha-tecido-empresarial-industrias-da-fileira-do-aco.aspx> (accessed Sep. 07, 2021).
- [36] DGAE, “Ficha Tecido Empresarial - Indústrias de Base Florestal.” <https://www.dgae.gov.pt/gestao-de-ficheiros-externos-dgae-ano-2018/ficha-tecido-empresarial-industrias-de-base-florestal.aspx> (accessed Sep. 07, 2021).
- [37] Direção-Geral de Energia e Geologia, “DECRETO-LEI N°162/2019,” 2019.

- [38] OMIE, “OMIE.” <https://www.omie.es/pt> (accessed Sep. 07, 2021).
- [39] J. Morais, *Sistemas Fotovoltaicos - da teoria à prática*. 2009.
- [40] LISBOALED, “CABO XV 1X16.” <https://lisboaled.pt/pvc-rigidos/2669-cabo-xv-1x16.html> (accessed Sep. 07, 2021).
- [41] LISBOALED, “CABO XV 3X25+2G16 PRETO.” <https://lisboaled.pt/pvc-rigidos/2715-cabo-xv-3x25g16-preto.html> (accessed Sep. 07, 2021).
- [42] LISBOALED, “CABO RV-K 3X70+2G35.” <https://lisboaled.pt/pvc-flexiveis/2640-cabo-rv-k-3x70g35.html> (accessed Sep. 07, 2021).
- [43] J. A. B. C. António Augusto Araújo Gomes, Henrique Jorge de Jesus Ribeiro da Silva, *Instalações Eléctricas de Baixa Tensão – Dimensionamento e Protecção de Canalizações Eléctricas*, 2^a. 2019.
- [44] LISBOALED, “CABO H07V - R - 1x16 CINZENTO.” <https://lisboaled.pt/pvc-rigidos/2773-cabo-h07v-r-v-16-cinzento-56011000009> (accessed Sep. 07, 2021).
- [45] M. A. D. M. CARLOS A. MARQUES PINTO, JOSÉ A. M. SALGADO RODRIGUES, AMÉRICO DOS SANTOS, LUÍS T. MELO, *Fundamentos de Gestão*, 7^a. 2018.
- [46] F. D. Santos, *Alterações Climáticas*, 05–2021st ed. 2021.
- [47] A. Kinetics, “Our Pedigree | Amber Kinetics.” <https://amberkinetics.com/company/> (accessed Sep. 07, 2021).
- [48] A. Kinetics, “The Next Frontier in Energy Storage | Amber Kinetics.” <https://amberkinetics.com/product/> (accessed Sep. 07, 2021).
- [49] Amber Kinetics, “Amber Kinetics M32 Datasheet,” 2020, [Online]. Available: <https://amberkinetics.com/wp-content/uploads/2020/05/Amber-Kinetics-DataSheet.pdf>.
- [50] ERSE, “ERSE - Tarifas e preços - eletricidade.” <https://www.erse.pt/atividade/regulacao/tarifas-e-precos-eletricidade/#periodos-horarios> (accessed Sep. 07, 2021).
- [51] SPGLOBAL, “Enel signs deal with Amber Kinetics for flywheel storage system | S&P Global Market Intelligence.” https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/trending/kelbj_3do_pupx-jdv48q2 (accessed Sep. 07, 2021).
- [52] Statista, “• Worldwide - lithium ion battery pack costs | Statista.”

- <https://www.statista.com/statistics/883118/global-lithium-ion-battery-pack-costs/>
(accessed Sep. 07, 2021).
- [53] BloombergNEF, “Battery Pack Prices Cited Below \$100/kWh for the First Time in 2020, While Market Average Sits at \$137/kWh | BloombergNEF.” <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100-kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/> (accessed Sep. 07, 2021).
- [54] CleanTechnica, “Tesla Megapack, Powerpack, & Powerwall Battery Storage Prices Per kWh — Exclusive | CleanTechnica.” <https://cleantechnica.com/2020/10/05/tesla-megapack-powerpack-powerwall-battery-storage-prices/> (accessed Sep. 07, 2021).
- [55] Tesla, “Powerpack - Commercial & Utility Energy Storage Solutions | Tesla.” <https://www.tesla.com/powerpack> (accessed Sep. 07, 2021).
- [56] Electrek, “Tesla reveals insane \$172,000 Powerpack price and here’s why it makes sense - Electrek.” <https://electrek.co/2020/03/31/tesla-powerpack-price-commercial-solar/> (accessed Sep. 07, 2021).
- [57] DRE, “PRESIDÊNCIA DO CONSELHO DE MINISTROS. Resolução do Conselho de Ministros 27/2021,” *Diário da República - I Série-B*, no. 27, pp. 5–13, 2019.
- [58] TERTÚLIA ENERGIA, “Manifesto para a recuperação do crescimento e estabilização econômica pós-covid19,” 2020. [Online]. Available: <https://tertuliaenergia.pt/wp-content/uploads/2020/07/manifesto-erros-estrategia-nacional-hidrogenio-pt.pdf>.

Anexo A. Datasheet módulo FV

www.jinkosolar.com


Eagle PERC 60

280-300 Watt

MONO CRYSTALLINE MODULE

Positive power tolerance of 0~+3%

ISO9001:2008, ISO14001:2004, OHSAS18001 certified factory.
IEC61215, IEC61730 certified products.



PERC
(4BB)



KEY FEATURES

- 
4 Busbar Solar Cell:
4 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offer a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.
- 
High Efficiency:
Higher module conversion efficiency (up to 18.32%) benefit from Passivated Emitter Rear Contact (PERC) technology.
- 
PID RESISTANT:
Limited power degradation of Eagle module caused by PID effect is guaranteed under strict testing condition (85°C/85%RH/96hours) for mass production.
- 
Low-light Performance:
Advanced glass and solar cell surface texturing allow for excellent performance in low-light environments.
- 
Severe Weather Resilience:
Certified to withstand wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).
- 
Durability against extreme environmental conditions:
High salt mist and ammonia resistance certified by TÜV NORD.

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

10 Year Product Warranty - 30 Year Linear Power Warranty

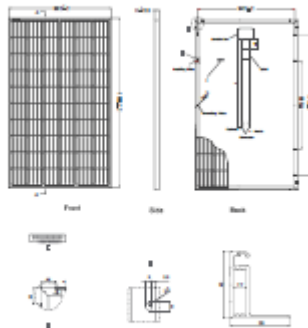








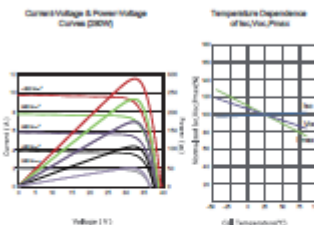

Engineering Drawings



Packaging Configuration

1 Two boxes = One pallet
 20pcs/box, 5pcs/pallet, 720 pcs/40HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	Mono-crystalline PERC, 156x156mm (6 inch)
No. of cells	60 (6x10)
Dimensions	1650x962x40mm (65.00x38.05x1.57 inch)
Weight	19.0 kg (41.9 lb)
Front Glass	Low Iron, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low E, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	10V 1x43mm Length: 900mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM20M-60		JKM25M-60		JKM30M-60		JKM35M-60		JKM30M-60	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	203Wp	209Wp	245Wp	210Wp	260Wp	218Wp	285Wp	220Wp	300Wp	224Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	31.8V	29.7V	32.0V	29.9V	32.2V	30.2V	32.4V	30.4V	32.8V	30.8V
Maximum Power Current (Imp)	6.51A	7.05A	8.95A	7.12A	8.02A	7.15A	8.15A	7.24A	8.21A	7.30A
Open-circuit Voltage (Voc)	38.8V	36.2V	38.7V	36.4V	38.5V	36.6V	38.7V	36.8V	40.1V	37.2V
Short-circuit Current (Isc)	8.48A	7.82A	9.55A	7.72A	8.55A	7.81A	9.61A	7.89A	8.72A	8.01A
Module Efficiency STC (%)	17.11%		17.41%		17.72%		18.02%		18.32%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+60°C									
Maximum system voltage	1000VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	15A									
Power tolerance	0~±3%									
Temperature coefficient of Pmax	-0.38%/°C									
Temperature coefficient of Voc	-0.28%/°C									
Temperature coefficient of Isc	0.05%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45°C									

STC: ☀️ Irradiance 1000W/m² 🌡️ Cell Temperature 25°C ☁️ AM=1.5
 NOCT: ☀️ Irradiance 800W/m² 🌡️ Ambient Temperature 20°C ☁️ AM=1.5 🌬️ Wind Speed 1m/s
 * Power measurement tolerance ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. EN-JKM-300M-60-PERC_1.0_rev2017

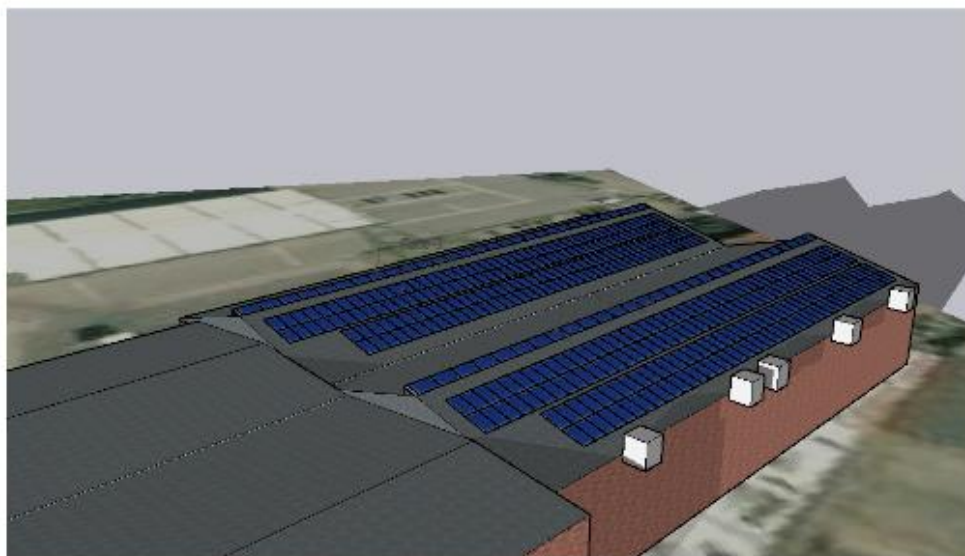
Anexo B. Relatório do sombreamento

Groups analysis

Groups global results				
Solar panels	Nºp.	P. power (Wp)	Power (kWp)	Shading L. (%)
Jinksolar:JKM 300M-60	428	300,00	128,40	0,17

Results for solar modules in each group (grouped by same tilt, azimuth and panel model)							
Group	Model	Nºp.	P. power (Wp)	Power (kWp)	Azimuth	Tilt	Shading L. (%)
1	Jinksolar:JKM 300M-60	428	300,00	128,40	150,00	15,00	0,17

Monthly Shading Losses (%)												
Group	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	0,56	0,15	0,15	0,27	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,30	0,27	0,83
Mean	0,56	0,15	0,15	0,27	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,30	0,27	0,83



Anexo C. Datasheet do inversor



SUN2000-36KTL
Technical Specification

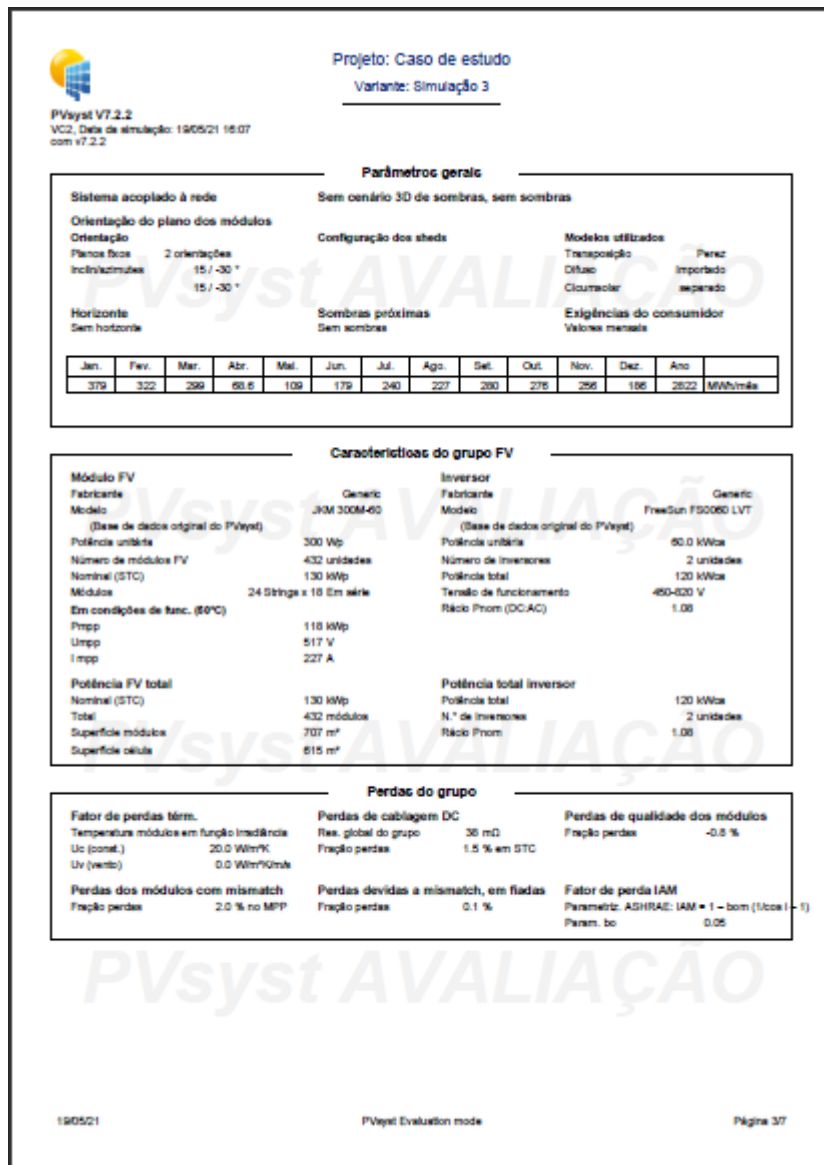
Technical Specification	SUN2000-36KTL
Efficiency	
Max. Efficiency	96.8% @480 V; 96.6% @380 V / 400 V
European Efficiency	96.6% @480 V; 96.4% @380 V / 400 V
Input	
Max. Input Voltage 1	1,100 V
Max. Current per MPPT	23 A
Max. Short-Circuit Current per MPPT	36 A
Start Voltage	250 V
MPPT Operating Voltage Range 4	200 V – 1,000 V
Rated Input Voltage	620 V @380 Vac / 400 Vac; 720 V @480 Vac
Number of MPPT trackers	4
Max. Input number per MPPT tracker	2
Output	
Rated AC Active Power	36,000 W
Max. AC Apparent Power	40,000 VA 5
Max. AC Active Power (cosφ=1)	Default: 40,000 W; 36,000 W optional in settings
Rated Output Voltage	220 V / 380 V; 230 V / 400 V; default: 230 V + PE; 380 V + PE optional in settings 377 V / 480 V; 380 V + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	54.6 A @380 V; 52.2 A @400 V; 43.4 A @480 V
Max. Output Current	60.8 A @380 V; 57.8 A @400 V; 46.2 A @480 V
Adjustable Power Factor Range	0.8 leading – 0.8 lagging
Max. Total Harmonic Distortion	< 3%
Protection	
Input-side Disconnection Device	Yes
Anti-Islanding Protection	Yes
AC Overcurrent Protection	Yes
DC Reverse-polarity Protection	Yes
PV-array String Fault Monitoring	Yes
DC Surge Arrester	Type II
AC Surge Arrester	Type II
DC Insulation Resistance Detection	Yes
Residual Current Monitoring Unit	Yes
Communication	
Display	LED Indicator; WLAN adaptor + FusionSolar APP
RS485	Yes
USB	Yes
Monitoring BUS (MBUS)	Yes (Isolation transformer required)
General Data	
Dimensions (W x H x D)	630 x 550 x 263 mm (24.8 x 21.7 x 11.1 inch)
Weight (with mounting plate)	62 kg (136.7 lb.)
Operating Temperature Range	-25°C – 50°C (-13°F – 140°F)
Cooling Method	Natural Convection
Max. Operating Altitude	4,000 m (13,123 ft.)
Relative Humidity	0 – 100%
DC Connector	Amphenol Helioc H8
AC Connector	Waterproof PG Terminal + CF Connector
Protection Degree	IP65
Topology	Transformerless
Nighttime Power Consumption	< 2.5 W
Standard Compliance (more available upon request)	
Certificate	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 60066, IEC 61683
Grid Code	IEC 61733, VDE-AR-N4105, VDE D126-1-1, BDEW, G840, LTE C 15-713-1, CEI 0-16, CEI 0-21, RD 661, RD 1696, P.O. 12,342 413, EN-50438-Turkey, EN-50438-ireland, C10/11, MSA, Resolution No.7, NRS 007-2-1, AS/NZS 4773.2

1) The maximum input voltage is the upper limit of the DC voltage. Any higher input DC voltage would probably damage inverter.
 2) The DC input voltage beyond the operating voltage range may result in inverter-trip/resetting.
 3) The maximum active power is determined by IEC mode setting. If IEC mode 1 is selected, the maximum active power equals the maximum apparent power. If IEC mode 2 is selected, the maximum active power equals the rated active power.

Version No.04 (20221006)

SOLAR.HUAWI.COM/EN/

Anexo D. Relatório da simulação no PVsyst





Projeto: Caso de estudo
Variante: Simulação 3

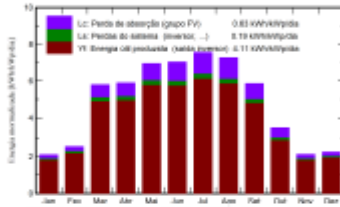
PVsyst V7.2.2
VC2, Data de simulação: 19/05/21 16:07
com v7.2.2

Resultados principais

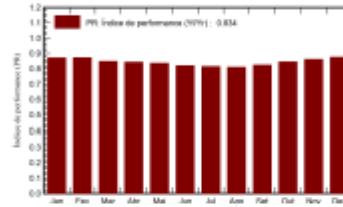
Produção do sistema
Energia produzida 194.2 MWh/ano

Produção específica 1488 kWh/MWplano
Índice de performance (IPR) 83.45 %
Fração solar 6.06 %

Produções normalizadas (por kWp instalado)



Índice de performance (IPR)



Balancos e resultados principais

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEFF	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFFGrid
	kWh/m²	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Janeiro	50.9	25.90	10.29	85.2	62.2	7.74	378.9	7.37	0.000	371.5
Fevereiro	61.4	35.82	9.95	71.1	68.3	8.45	322.4	8.04	0.000	314.4
Março	156.1	44.60	13.06	179.8	174.5	20.85	299.0	19.78	0.000	279.3
Abril	166.4	58.73	13.85	176.9	172.0	20.20	66.5	18.80	0.528	49.8
Mai	211.3	83.14	14.71	215.4	209.7	24.39	106.8	23.33	0.000	85.5
Junho	211.7	88.28	19.49	211.2	206.1	23.46	179.5	22.45	0.000	157.0
Julho	232.4	61.56	20.29	234.2	228.5	25.82	240.2	24.71	0.000	215.5
Agosto	214.3	54.90	21.39	225.4	219.6	24.72	227.2	23.66	0.000	203.6
Setembro	158.0	45.95	20.18	175.9	170.8	19.82	279.7	18.79	0.000	261.0
Outubro	90.7	40.97	17.06	107.1	103.3	12.29	275.1	11.73	0.000	264.3
Novembro	52.1	29.83	13.55	63.8	61.0	7.49	285.6	7.12	0.000	248.5
Dezembro	52.1	24.82	10.06	69.6	66.2	8.28	185.6	7.90	0.000	177.7
Ano	1657.5	557.41	15.35	1795.7	1742.1	203.11	2621.7	193.67	0.528	2628.0


Legendas


GlobHor: Irradiação horizontal total
DiffHor: Irradiação difusa horizontal
T_Amb: Temperatura ambiente
GlobInc: Incidência global no plano das seniores
GlobEFF: Global efetivo, corrigido para IAM e sombras

EArray: Energia efetiva à saída do grupo
E_User: Energia fornecida ao consumidor
E_Solar: Energia do sol
E_Grid: Energia injetada na rede
EFFGrid: Energia de rede

Anexo E. Datasheet disjuntor de 50 A

Ficha técnica
HDA051L





HDA051L

Disjuntor x160 TM 4P-40 50A 18kA

Características técnicas

Arquitetura

Tipo de comando	alternar
Número de polos protegidos	4
Nº de polos	4P
Tipo de polos	4P40
Tipo de caixa	Fita incorporada

Funções

Aparelho equipado com função de proteção	sim
Tipo de proteção	TM F/P
Proteção diferencial integrada	não

Compatibilidade

Compatível com montagem sobre perfil DIN	sim
--	-----

Comandos e indicações

Comando motorizado integrado	não
------------------------------	-----

Principais características elétricas

Tensão alternada estipulada de utilização	220/415 V
Frequência de funcionamento	50/60 Hz

Voltagem


Tensão estipulada de isolamento	690 V
Tensão estipulada de resistência ao choque	800 V
Equipado com uma bobina de baixa voltagem	não

Características técnicas sujeitas a modificação sem aviso prévio

Anexo F. Datasheet disjuntor de 200 A

Ficha técnica
HHT201DR

:hager



HHT201DR

Disjuntor P 250 TM 4P-40 200 A 2 5kA

Características técnicas

Arquitetura	
Tipo de comando	alternar
Posição do neutro	Equipada
Número de polos protegidos	4
Nº de polos	4P
Tipo de polos	4P40 N0100%
Modo de fixação	aparafusado
Tipo de caixa	Fixa incorporada

Funções

Aparelho equipado com função de proteção	sim
Função Inversor	não
Função interruptor de emergência	não
Tipo de proteção	TM A/A
Proteção diferencial integrada	não
Com corte do neutro	sim

Compatibilidade

Compatível com montagem no braço perfil DIN	não
---	-----

Comandos e indicações

Comando motorizado integrado	não
------------------------------	-----

Principais características elétricas

Tensão alternada estipulada de utilização	220/230 V
Tipo de tensão de alimentação	AC
Frequência de funcionamento	50/60 Hz

Voltagem

Tensão estipulada de isolamento	800 V
Tensão estipulada de resistência ao choque	8 kV
Equipado com uma bobina de baixa voltagem	não

Características técnicas sujeitas a modificação sem aviso prévio

Anexo G. Datasheet interruptor diferencial 63 A

Ficha técnica
CFC63A





CFC63A

Inter. dif. 3P+N 63A 300 mA tipo AC 4M

Características técnicas

Arquitectura

Posição do neutro	Esquerda
Nº de pólos	4P
Tipo de pólos	3P+N
Modo de fixação	Caixa DIN

Conectividade

Alimentação dos bornes superiores para aparelhos modulares	Terminal alinhado
Alimentação dos bornes inferiores para aparelhos modulares	Terminal alinhado

Principais características elétricas

Tensão alternada estipulada e utilização	230/400 V
Tipo de tensão de alimentação	AC
Frequência de funcionamento	50/60 Hz

Voltagem

Tensão estipulada de isolamento	500 V
Tensão máxima de utilização	440 V
Tensão estipulada de resistência ao choque	4000 V

Corrente elétrica

Sensibilidade diferencial	300 mA
Intensidade nominal	63 A
Resistência às ondas de choque	0,25 kA
Poder de fcho e de corte	1250 A
Corrente condicional de curto-circuito atribuída Inc de acordo com IEC 61008-1	10 kA

Características técnicas sujeitas a modificação sem aviso prévio

Anexo H. Datasheet dispositivo de corte geral de 200A

Ficha técnica
HA408
:hager



HA408

Inter. corte visível 4P 200A B, SM

Características técnicas

Arquitectura

Tipo de comando	Punho de polegar curto
Nº de polos	4P
Tipo de polos	4P
Tipo de caixa	Fixa incorporada

Funcões

Funcão Inversor	não
-----------------	-----

Comandos e indicações

Comando motorizado integrado	não
------------------------------	-----

Principais características eléctricas

Tensão alternada estipulada de utilização	230/415 V
---	-----------

Voltagens

Tensão estipulada de isolamento	800 V
Tensão estipulada de resistência ao choque	800 V

Corrente eléctrica

Corrente estipulada em AC21 em categoria B	200 A
Corrente estipulada em AC22 em categoria A	200 A
Intensidade nominal	200 A
Corrente de curto-circuito com fusível gG	50 kA
Corrente estipulada admissível durante 1 segundo	4 kA
Corrente nominal em AC21 em categoria A	200 A
Corrente estipulada em AC22 em categoria B	200 A
Corrente nominal em AC23 em categoria A	200 A
Corrente estipulada em AC23 em categoria B	200 A

Potência

Potência total dissipada em IN	17,4 W
Potência dissipada por polo	5,8 W
Potência de utilização a 400V em AC1	131 kW

Temperatura

Bloqueável por cadeado	sim
------------------------	-----

Instalação, montagem

Tipo de fixação	Montagem em caixa DIN ou em platina
-----------------	-------------------------------------

Ligação

Secção de ligação em cabo rígido	95 mm²
Tipo de ligação	intervalo

Características técnicas sujeitas a modificação sem aviso prévio

Anexo I. Datasheet do dispositivo de proteção contra sobretensões

Ficha técnica
SPA401





SPA401

Limít. Sobret. Mono. 3P+N12,5kA/C/Sin.

Características técnicas

Arquitectura

Tipo de polos	4P
---------------	----

Comandos e indicadores

Señalizador luminoso	señalizador de fim de vida
----------------------	----------------------------

Principales características eléctricas

Tensão alternada estipulada de utilização	230/400 V
Frequência de funcionamento	50/60 Hz

Voltagem

Tensão máxima em regime permanente Uc conforme IEC 61643-1	25,5 V
Nível de proteção Up segundo IEC 61643-1	1,5 kV
Nível de protección Up L-PE / N-PE de acordo com IEC 61643-11	1,5 kV

Instalación, montagem

Entrada de apertado	4Nm
---------------------	-----

Ligação

Secção de ligação em cabo flexível	1,5 / 2,5mm ²
Secção de ligação em cabo rígido	1,5 / 1,6mm ²

Padrões

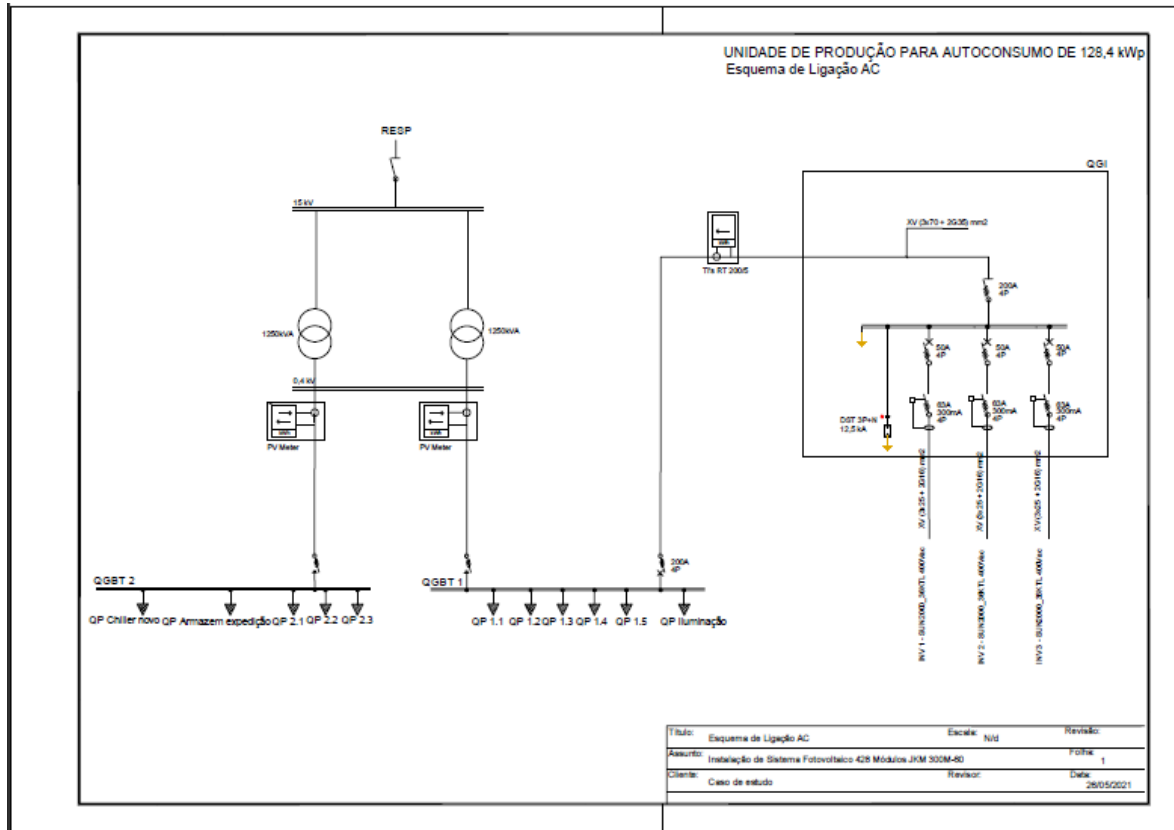
Classe de teste conforme IEC 61643-11 / VDE 0675-6-11	1/ B/T1
Directiva Europeia WEEE	em conformidade

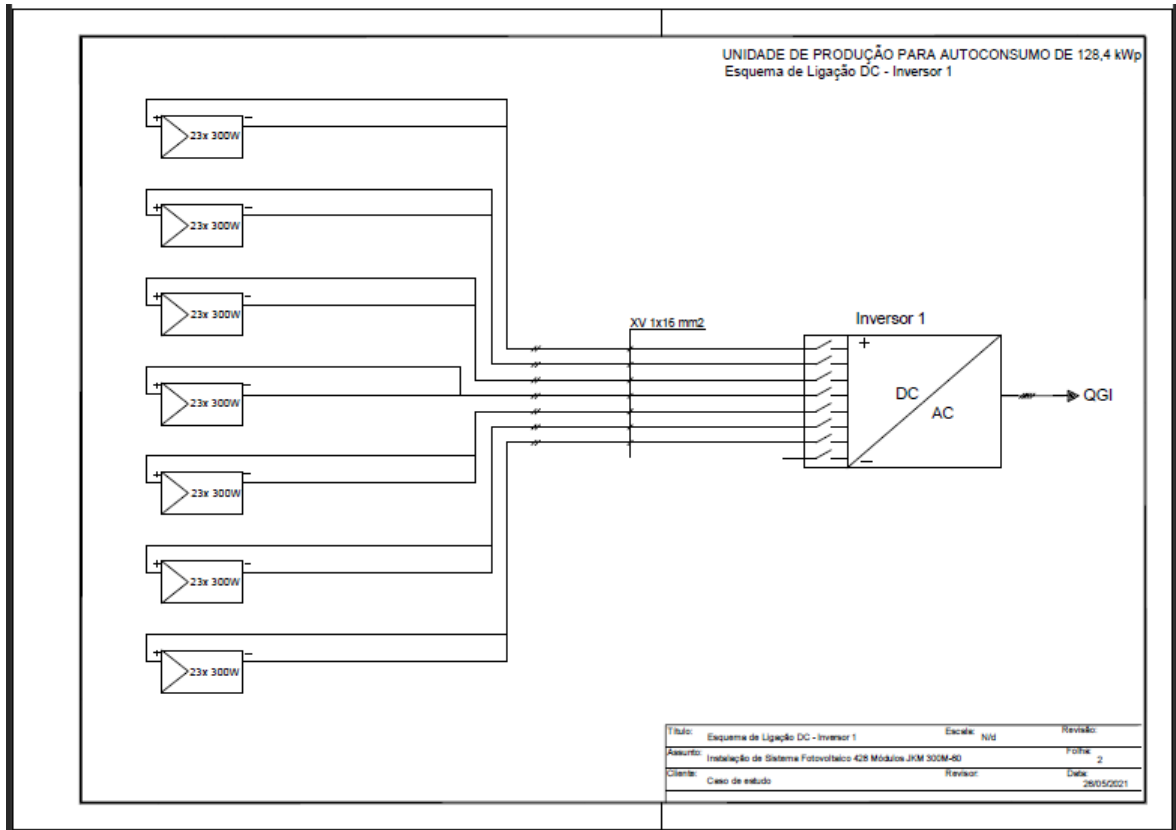
Condições de utilização

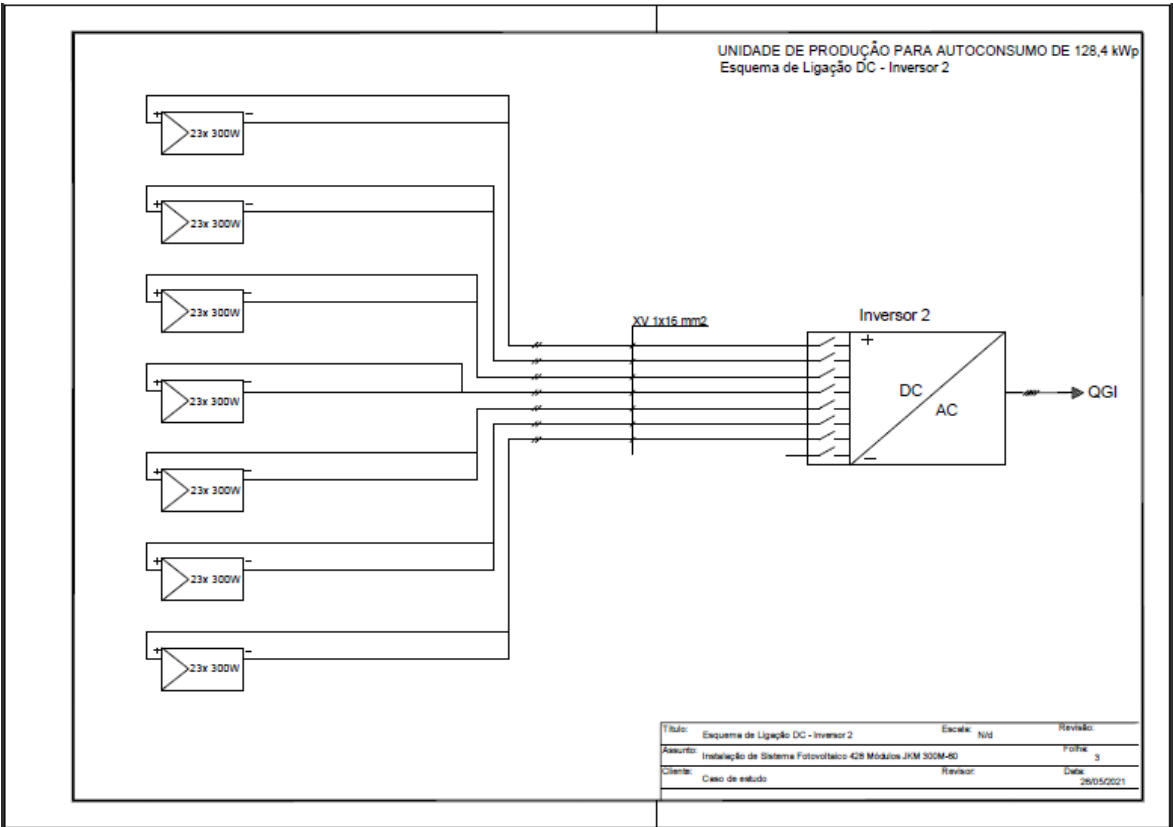
Temperatura de funcionamento	-40 ... 80 °C
Temperatura de armazenamento / transporte	-40 ... 80 °C

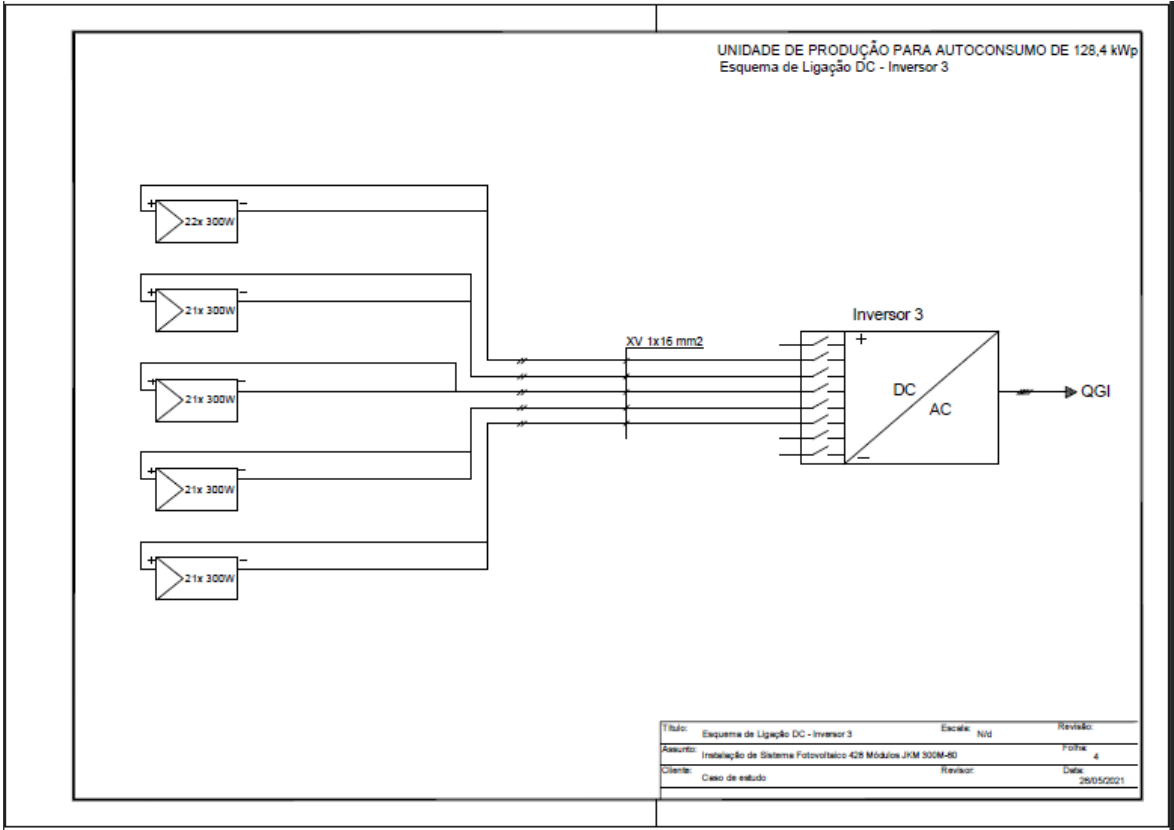
Características técnicas sujetas a modificación sem aviso prévio

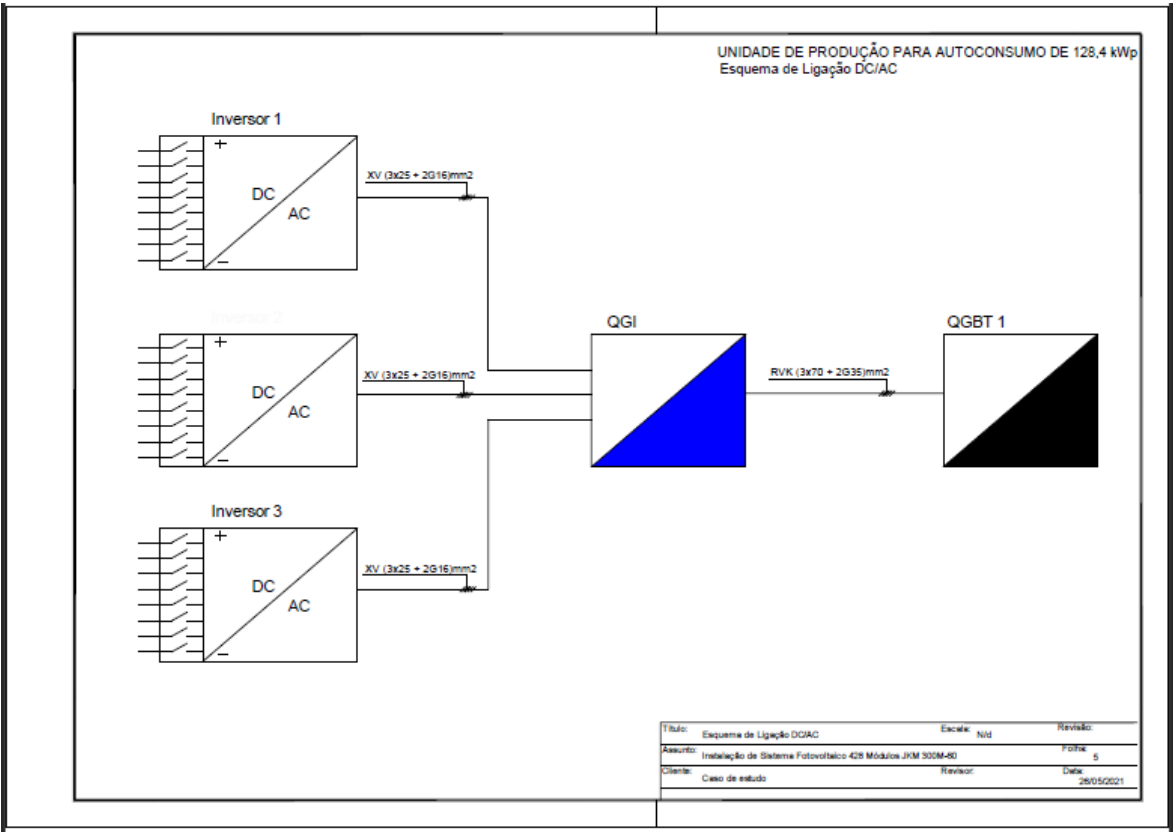
Anexo J. Esquemas unifilares











Anexo K. Estructura para colocación de módulos FV

Fecha: 10/12/2015

CVE915XL Premontado

PLANO DE MONTAJE

Nota: Distribuir los módulos para que su colocación sea simétrica a lo largo del soporte y dejando los acrosos en los extremos.

Paso 1 - Montaje Triángulo

Despliegue fácil del triángulo hasta su posición final

Triángulo plegado

Apriete de las uniones y anclaje al suelo mediante tornillo de hasta M10

Paso 3 - Montaje arriostramientos

Paso 2 - Montaje Perfil RCVE 4.0

Las flechas del perfil RCVE 4.0 al triángulo se anclan revestidas.

Montaje al anclaje Perfil RCVE 4.0

Paso 4 - Montaje de módulos

Par de accesorios:

Tornillo Anclaje	7 mm
Tornillo M6 Hexagonal	20 mm
Tornillo M8 Hexagonal	40 mm
Tornillo M6.3 Hexagonal	16 mm

Triángulo CVE915XL X3

Kit Anclaje lateral revestido X4

Kit Anclaje central X4

Kit Unión perfil RCVE 4.0 X2

Perfil RCVE 4.0 X2

X2 = 2100 mm.
X2 = 1050 mm.

Anclaje externo X2

X4

**SUNFER
ENERGY
STRUCTURES**

Anexo L. Cash-flows do projeto FV

Evolução dos cash-flows					Cálculo do IR		
Ano	CFI	CFE	CFL	CFL acumulados	Ano	CFE no ano k	CFI no ano k
0	76 112,97 €	- €	- 76 112,97 €	- 76 112,97 €	0	- €	76 112,97 €
1	- €	17 932,28 €	17 932,28 €	- 58 180,69 €	1	17 409,98 €	- €
2	- €	17 752,96 €	17 752,96 €	- 40 427,74 €	2	16 733,86 €	- €
3	- €	17 575,43 €	17 575,43 €	- 22 852,31 €	3	16 084,00 €	- €
4	- €	17 399,67 €	17 399,67 €	- 5 452,64 €	4	15 459,38 €	- €
5	- €	17 225,67 €	17 225,67 €	11 773,04 €	5	14 859,02 €	- €
6	- €	17 053,42 €	17 053,42 €	28 826,45 €	6	14 281,97 €	- €
7	- €	16 882,88 €	16 882,88 €	45 709,34 €	7	13 727,33 €	- €
8	- €	16 714,05 €	16 714,05 €	62 423,39 €	8	13 194,23 €	- €
9	- €	16 546,91 €	16 546,91 €	78 970,31 €	9	12 681,83 €	- €
10	- €	16 381,45 €	16 381,45 €	95 351,75 €	10	12 189,33 €	- €
11	- €	16 217,63 €	16 217,63 €	111 569,38 €	11	11 715,96 €	- €
12	- €	16 055,45 €	16 055,45 €	127 624,84 €	12	11 260,97 €	- €
13	- €	15 894,90 €	15 894,90 €	143 519,74 €	13	10 823,65 €	- €
14	- €	15 735,95 €	15 735,95 €	159 255,69 €	14	10 403,32 €	- €
15	- €	15 578,59 €	15 578,59 €	174 834,28 €	15	9 999,31 €	- €
16	- €	15 422,81 €	15 422,81 €	190 257,09 €	16	9 610,98 €	- €
17	- €	15 268,58 €	15 268,58 €	205 525,66 €	17	9 237,74 €	- €
18	- €	15 115,89 €	15 115,89 €	220 641,55 €	18	8 878,99 €	- €
19	- €	14 964,73 €	14 964,73 €	235 606,29 €	19	8 534,18 €	- €
20	- €	14 815,09 €	14 815,09 €	250 421,37 €	20	8 202,75 €	- €
21	- €	14 666,93 €	14 666,93 €	265 088,31 €	21	7 884,20 €	- €
22	- €	14 520,27 €	14 520,27 €	279 608,57 €	22	7 578,02 €	- €
23	- €	14 375,06 €	14 375,06 €	293 983,64 €	23	7 283,73 €	- €
24	- €	14 231,31 €	14 231,31 €	308 214,95 €	24	7 000,86 €	- €
25	- €	14 089,00 €	14 089,00 €	322 303,95 €	25	6 728,98 €	- €
Total	76 112,97 €	398 416,92 €	322 303,95 €		Total	281 764,59 €	76 112,97 €

Anexo M. Datasheet da flywheel



Data Sheet

Amber Kinetics M32

The Industry's Only Long-Duration Kinetic Energy Storage System (KESS)—Enabling Highly Efficient Industrial and Commercial Applications

A Booming Energy Storage Market

The global energy storage market is vast and growing. Driven by increased penetration of intermittent renewable power and the decarbonization of grids, annual installations are projected to increase from 6 GW in 2017 to over 40 GW by 2022. Storage is necessary to integrate energy resources and provide the types of ancillary services historically provided by conventional power plants. The versatility of storage—capturing excess renewable generation during off-peak hours and discharging during peak hours—enables utilities to satisfy Renewable Portfolio Standard (RPS) mandates and avoid costly Transmission and Distribution (T&D) upgrades and investments, with savings passed through to rate payers.

Key Benefits

- No degradation allows for Unlimited Daily Cycling
- High modularity equates to High Availability at site level
- Low O&M cost drives Excellent Financial Performance

Advantages Over Chemical Batteries

- >85% round trip efficiency (DC)
- No daily cycling limitations
- No degradation over time
- No HVAC required
- Operates in hot and cold environments (-20C to 50C)
- Fast response time (<1 second)
- Recyclable all-steel design
- Lower O&M cost
- 30-year design life
- 10-year manufacturer warranty

Product Overview

The Amber Kinetics M32 (8kW, 32kWh) is the first commercialized four-hour discharge duration Kinetic Energy Storage System (KESS) powered by advanced flywheel technology that stores 32 kWh of energy in a two-ton steel rotor. When grouped together similar to solar PV panels, the individual flywheels can be scaled up to tens or even hundreds of megawatts. Amber Kinetics has engineered a flywheel to meet the energy storage needs of the modern grid—at a lower cost and higher efficiency than gas peakers or pumped hydro.



amberkinetics.com

Application and Use Cases*

Technology solution providers can integrate the M32 for multiple applications that may satisfy their customer needs. The M32 can be scaled up to tens or hundreds of megawatts for grid connected or grid forming applications.



Microgrids

- Capacity
- Energy Firming



Utility / IPP "Front of the Meter"

- Capacity/Demand Reduction
- Energy Arbitrage
- Ancillary Services
- T&D Deferral
- Solar + Storage



Commercial/Industrial "Behind the Meter"

- Demand Reduction
- Energy Firming

M32 Product Details (Preliminary)

Performance	
Nameplate Energy Capacity (DC)	32 kWh
Nameplate Power Capacity (DC)	8 kW
Discharge Duration	4 hours (min.)
Efficiency (DC)	>90% (Round Trip includes Self Discharge)
Cycle Design Life	10,000 cycles (no daily cycling limitations)**
GHG Emissions	None
Environmental	
Temperature (operating & idle)	-20C to 50C
Humidity	100% condensing
Electrical**	
DC Input/Output Voltage	550 Vdc - 350 Vdc
Self Discharge	<10 W***
Auxiliary Discharge (20-240Vac)	<55 W (passive), <150 W (active)****
Full Power Response Time	<1 second
Approved Inverter	Ideal Power 30C Siemens4 under development. Contact Amber Kinetics for others.
Mechanical	
Dimensions (housing)	52" x 54" (h x d), includes electronics housing
Installation	Below grade
System Weight	10,500 lbs
Communications	Compatible with Internet based SCADA systems using DNP3 protocol or script-based dispatch. Modbus protocol under development.
Standards Compliance	
Australia/New Zealand	AS/NZS 3480:2009 and AS/NZS 61008 (2005) CBQA emission levels.

* Customer should perform self-paced design/feasibility studies to coordinate their applications.
 ** Amber Kinetics offers limited warranty options for 10 years after purchase date.
 *** Storage grade battery based on the best available technology. For Amber Kinetics installation and operation, please contact us for more detailed performance. All specifications are based on Amber Kinetics standard test protocol during design/charge cycles.
 **** Average over charge/discharge cycle.
 ***** Average over SOC range.

About Amber Kinetics

Amber Kinetics is the industry leader in manufacturing grid-scale kinetic energy storage systems (KES). As the only provider of long-duration flywheel energy storage, Amber Kinetics extends the duration and efficiency of flywheels from minutes to hours—resulting in safe, economical and reliable energy storage.



U.S. Headquarters
 32920 Avenida Nilas Rd, #250 Union City, CA 94587

Philippines Headquarters
 2nd Floor Corporate Guildness Centre, 51 Pavia De Roxas, Makati City, Philippines 1225

Australia Headquarters
 75 Brookway, Nedlands, WA, 6009, Australia

amberkinetics.com

Anexo N. Cash-flows do caso 1

Evolução dos cash-flows					Cálculo do IR		
Ano	CFI	CFE	CFL	CFL acumulados	Ano	CFE no ano k	CFI no ano k
0	8 571,20 €	- €	- 8 571,20 €	- 8 571,20 €	0	- €	8 571,20 €
1	- €	401,79 €	401,79 €	- 8 169,41 €	1	390,09 €	- €
2	- €	397,77 €	397,77 €	- 7 771,63 €	2	374,94 €	- €
3	- €	393,80 €	393,80 €	- 7 377,84 €	3	360,38 €	- €
4	- €	389,86 €	389,86 €	- 6 987,98 €	4	346,38 €	- €
5	- €	385,96 €	385,96 €	- 6 602,02 €	5	332,93 €	- €
6	- €	382,10 €	382,10 €	- 6 219,92 €	6	320,00 €	- €
7	- €	378,28 €	378,28 €	- 5 841,64 €	7	307,58 €	- €
8	- €	374,50 €	374,50 €	- 5 467,14 €	8	295,63 €	- €
9	- €	370,75 €	370,75 €	- 5 096,39 €	9	284,15 €	- €
10	- €	367,04 €	367,04 €	- 4 729,35 €	10	273,12 €	- €
11	- €	363,37 €	363,37 €	- 4 365,97 €	11	262,51 €	- €
12	- €	359,74 €	359,74 €	- 4 006,24 €	12	252,31 €	- €
13	- €	356,14 €	356,14 €	- 3 650,09 €	13	242,52 €	- €
14	- €	352,58 €	352,58 €	- 3 297,51 €	14	233,10 €	- €
15	- €	349,06 €	349,06 €	- 2 948,46 €	15	224,05 €	- €
16	- €	345,56 €	345,56 €	- 2 602,89 €	16	215,34 €	- €
17	- €	342,11 €	342,11 €	- 2 260,78 €	17	206,98 €	- €
18	- €	338,69 €	338,69 €	- 1 922,10 €	18	198,94 €	- €
19	- €	335,30 €	335,30 €	- 1 586,79 €	19	191,22 €	- €
20	- €	331,95 €	331,95 €	- 1 254,85 €	20	183,79 €	- €
21	- €	328,63 €	328,63 €	- 926,22 €	21	176,65 €	- €
22	- €	325,34 €	325,34 €	- 600,88 €	22	169,79 €	- €
23	- €	322,09 €	322,09 €	- 278,79 €	23	163,20 €	- €
24	- €	318,87 €	318,87 €	40,08 €	24	156,86 €	- €
25	- €	315,68 €	315,68 €	355,76 €	25	150,77 €	- €
26	- €	312,52 €	312,52 €	668,28 €	26	144,91 €	- €
27	- €	309,40 €	309,40 €	977,68 €	27	139,29 €	- €
28	- €	306,30 €	306,30 €	1 283,98 €	28	133,88 €	- €
29	- €	303,24 €	303,24 €	1 587,22 €	29	128,68 €	- €
30	- €	300,21 €	300,21 €	1 887,43 €	30	123,68 €	- €
Total	8 571,20 €	10 458,63 €	1 887,43 €		Total	6 983,68 €	8 571,20 €

Anexo O. Cash-flows do caso 2

Evolução dos cash-flows					Cálculo do IR		
Ano	CFI	CFE	CFL	CFL acumulado	Ano	CFE no ano k	CFI no ano k
0	123 425,28 €	- €	- 123 425,28 €	- 123 425,28 €	0	- €	123 425,28 €
1	- €	7 232,26 €	7 232,26 €	- 116 193,02 €	1	7 021,61 €	- €
2	- €	7 159,93 €	7 159,93 €	- 109 033,09 €	2	6 748,92 €	- €
3	- €	7 088,33 €	7 088,33 €	- 101 944,76 €	3	6 486,83 €	- €
4	- €	7 017,45 €	7 017,45 €	- 94 927,31 €	4	6 234,91 €	- €
5	- €	6 947,28 €	6 947,28 €	- 87 980,03 €	5	5 992,78 €	- €
6	- €	6 877,80 €	6 877,80 €	- 81 102,23 €	6	5 760,05 €	- €
7	- €	6 809,03 €	6 809,03 €	- 74 293,20 €	7	5 536,36 €	- €
8	- €	6 740,94 €	6 740,94 €	- 67 552,27 €	8	5 321,36 €	- €
9	- €	6 673,53 €	6 673,53 €	- 60 878,74 €	9	5 114,70 €	- €
10	- €	6 606,79 €	6 606,79 €	- 54 271,95 €	10	4 916,07 €	- €
11	- €	6 540,72 €	6 540,72 €	- 47 731,23 €	11	4 725,16 €	- €
12	- €	6 475,32 €	6 475,32 €	- 41 255,91 €	12	4 541,66 €	- €
13	- €	6 410,56 €	6 410,56 €	- 34 845,35 €	13	4 365,28 €	- €
14	- €	6 346,46 €	6 346,46 €	- 28 498,89 €	14	4 195,76 €	- €
15	- €	6 282,99 €	6 282,99 €	- 22 215,90 €	15	4 032,81 €	- €
16	- €	6 220,16 €	6 220,16 €	- 15 995,74 €	16	3 876,20 €	- €
17	- €	6 157,96 €	6 157,96 €	- 9 837,78 €	17	3 725,67 €	- €
18	- €	6 096,38 €	6 096,38 €	- 3 741,40 €	18	3 580,98 €	- €
19	- €	6 035,42 €	6 035,42 €	2 294,02 €	19	3 441,91 €	- €
20	- €	5 975,06 €	5 975,06 €	8 269,08 €	20	3 308,25 €	- €
21	- €	5 915,31 €	5 915,31 €	14 184,40 €	21	3 179,77 €	- €
22	- €	5 856,16 €	5 856,16 €	20 040,56 €	22	3 056,29 €	- €
23	- €	5 797,60 €	5 797,60 €	25 838,15 €	23	2 937,59 €	- €
24	- €	5 739,62 €	5 739,62 €	31 577,78 €	24	2 823,51 €	- €
25	- €	5 682,23 €	5 682,23 €	37 260,00 €	25	2 713,86 €	- €
26	- €	5 625,40 €	5 625,40 €	42 885,40 €	26	2 608,47 €	- €
27	- €	5 569,15 €	5 569,15 €	48 454,55 €	27	2 507,17 €	- €
28	- €	5 513,46 €	5 513,46 €	53 968,01 €	28	2 409,80 €	- €
29	- €	5 458,32 €	5 458,32 €	59 426,33 €	29	2 316,22 €	- €
30	- €	5 403,74 €	5 403,74 €	64 830,07 €	30	2 226,27 €	- €
Total	123 425,28 €	188 255,35 €	64 830,07 €		Total	125 706,24 €	123 425,28 €

Anexo P. Cash-flows do caso 3

Evolução dos cash-flows					Cálculo do IR		
Ano	CFI	CFE	CFL	CFL acumulado	Ano	CFE no ano k	CFI no ano k
0	404 560,64 €	- €	- 404 560,64 €	- 404 560,64 €	0	- €	404 560,64 €
1	- €	23 705,73 €	23 705,73 €	- 380 854,91 €	1	23 015,27 €	- €
2	- €	23 468,67 €	23 468,67 €	- 357 386,24 €	2	22 121,47 €	- €
3	- €	23 233,98 €	23 233,98 €	- 334 152,26 €	3	21 262,39 €	- €
4	- €	23 001,64 €	23 001,64 €	- 311 150,61 €	4	20 436,66 €	- €
5	- €	22 771,63 €	22 771,63 €	- 288 378,99 €	5	19 643,01 €	- €
6	- €	22 543,91 €	22 543,91 €	- 265 835,07 €	6	18 880,17 €	- €
7	- €	22 318,47 €	22 318,47 €	- 243 516,60 €	7	18 146,96 €	- €
8	- €	22 095,29 €	22 095,29 €	- 221 421,31 €	8	17 442,22 €	- €
9	- €	21 874,33 €	21 874,33 €	- 199 546,98 €	9	16 764,86 €	- €
10	- €	21 655,59 €	21 655,59 €	- 177 891,39 €	10	16 113,79 €	- €
11	- €	21 439,04 €	21 439,04 €	- 156 452,35 €	11	15 488,02 €	- €
12	- €	21 224,65 €	21 224,65 €	- 135 227,71 €	12	14 886,54 €	- €
13	- €	21 012,40 €	21 012,40 €	- 114 215,31 €	13	14 308,42 €	- €
14	- €	20 802,27 €	20 802,27 €	- 93 413,03 €	14	13 752,75 €	- €
15	- €	20 594,25 €	20 594,25 €	- 72 818,78 €	15	13 218,67 €	- €
16	- €	20 388,31 €	20 388,31 €	- 52 430,47 €	16	12 705,32 €	- €
17	- €	20 184,43 €	20 184,43 €	- 32 246,05 €	17	12 211,91 €	- €
18	- €	19 982,58 €	19 982,58 €	- 12 263,46 €	18	11 737,66 €	- €
19	- €	19 782,76 €	19 782,76 €	7 519,29 €	19	11 281,83 €	- €
20	- €	19 584,93 €	19 584,93 €	27 104,22 €	20	10 843,70 €	- €
21	- €	19 389,08 €	19 389,08 €	46 493,30 €	21	10 422,59 €	- €
22	- €	19 195,19 €	19 195,19 €	65 688,49 €	22	10 017,82 €	- €
23	- €	19 003,24 €	19 003,24 €	84 691,73 €	23	9 628,78 €	- €
24	- €	18 813,20 €	18 813,20 €	103 504,93 €	24	9 254,85 €	- €
25	- €	18 625,07 €	18 625,07 €	122 130,00 €	25	8 895,44 €	- €
26	- €	18 438,82 €	18 438,82 €	140 568,82 €	26	8 549,98 €	- €
27	- €	18 254,43 €	18 254,43 €	158 823,26 €	27	8 217,95 €	- €
28	- €	18 071,89 €	18 071,89 €	176 895,15 €	28	7 898,80 €	- €
29	- €	17 891,17 €	17 891,17 €	194 786,32 €	29	7 592,05 €	- €
30	- €	17 712,26 €	17 712,26 €	212 498,57 €	30	7 297,22 €	- €
Total	404 560,64 €	617 059,21 €	212 498,57 €		Total	412 037,11 €	404 560,64 €

Anexo Q. Cash-flows dos casos 4 e 5

Evolução dos cash-flows				
Ano	CFI	CFE	CFL	CFL acumulado
0	217 042,00 €	- €	- 217 042,00 €	- 217 042,00 €
1	- €	8 738,98 €	8 738,98 €	- 208 303,02 €
2	- €	8 651,59 €	8 651,59 €	- 199 651,44 €
3	- €	8 565,07 €	8 565,07 €	- 191 086,37 €
4	- €	8 479,42 €	8 479,42 €	- 182 606,95 €
5	- €	8 394,63 €	8 394,63 €	- 174 212,32 €
6	- €	8 310,68 €	8 310,68 €	- 165 901,64 €
7	- €	8 227,57 €	8 227,57 €	- 157 674,07 €
8	- €	8 145,30 €	8 145,30 €	- 149 528,77 €
9	- €	8 063,84 €	8 063,84 €	- 141 464,93 €
10	- €	7 983,21 €	7 983,21 €	- 133 481,72 €
11	- €	7 903,37 €	7 903,37 €	- 125 578,35 €
12	- €	7 824,34 €	7 824,34 €	- 117 754,01 €
13	- €	7 746,10 €	7 746,10 €	- 110 007,92 €
14	- €	7 668,64 €	7 668,64 €	- 102 339,28 €
15	- €	7 591,95 €	7 591,95 €	- 94 747,33 €
Total	217 042,00 €	122 294,67 €	- 94 747,33 €	

Cálculo do IR		
Ano	CFE no ano k	CFI no ano k
0	- €	217 042,00 €
1	8 484,44 €	- €
2	8 154,95 €	- €
3	7 838,25 €	- €
4	7 533,85 €	- €
5	7 241,28 €	- €
6	6 960,06 €	- €
7	6 689,77 €	- €
8	6 429,97 €	- €
9	6 180,26 €	- €
10	5 940,25 €	- €
11	5 709,56 €	- €
12	5 487,83 €	- €
13	5 274,71 €	- €
14	5 069,87 €	- €
15	4 872,98 €	- €
Total	97 868,07 €	217 042,00 €

Evolução dos cash-flows				
Ano	CFI	CFE	CFL	CFL acumulado
0	26 634,99 €	- €	- 26 634,99 €	- 26 634,99 €
1	- €	2 912,99 €	2 912,99 €	- 23 722,00 €
2	- €	2 883,86 €	2 883,86 €	- 20 838,14 €
3	- €	2 855,02 €	2 855,02 €	- 17 983,11 €
4	- €	2 826,47 €	2 826,47 €	- 15 156,64 €
5	- €	2 798,21 €	2 798,21 €	- 12 358,43 €
6	- €	2 770,23 €	2 770,23 €	- 9 588,21 €
7	- €	2 742,52 €	2 742,52 €	- 6 845,68 €
8	- €	2 715,10 €	2 715,10 €	- 4 130,58 €
9	- €	2 687,95 €	2 687,95 €	- 1 442,64 €
10	- €	2 661,07 €	2 661,07 €	1 218,43 €
11	- €	2 634,46 €	2 634,46 €	3 852,89 €
12	- €	2 608,11 €	2 608,11 €	6 461,00 €
13	- €	2 582,03 €	2 582,03 €	9 043,04 €
14	- €	2 556,21 €	2 556,21 €	11 599,25 €
15	- €	2 530,65 €	2 530,65 €	14 129,90 €
Total	26 634,99 €	40 764,89 €	14 129,90 €	

Cálculo do IR		
Ano	CFE no ano k	CFI no ano k
0	- €	26 634,99 €
1	2 828,15 €	- €
2	2 718,32 €	- €
3	2 612,75 €	- €
4	2 511,28 €	- €
5	2 413,76 €	- €
6	2 320,02 €	- €
7	2 229,92 €	- €
8	2 143,32 €	- €
9	2 060,09 €	- €
10	1 980,08 €	- €
11	1 903,19 €	- €
12	1 829,28 €	- €
13	1 758,24 €	- €
14	1 689,96 €	- €
15	1 624,33 €	- €
Total	32 622,69 €	26 634,99 €

