

Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu

Christophe Samuel Amaral de Jesus

Otimização energética em unidade industrial - o caso da Cerutil

Tese de Mestrado

Engenharia Electrotécnica - Energia e Automação Industrial

Professor Doutor Eduardo Miguel T. Mendonça Gouveia



Outubro de 2012

Às pessoas que sempre me acompanharam neste trajeto,
Pai e Mãe, os caminhos separam-se mas a união é comum, obrigada por tudo.

RESUMO

O contexto atual de crise nacional e internacional tem conduzido a uma reflexão por parte de todos, empresas e consumidores no que se refere às questões energéticas. Com efeito, é hoje uma exigência para cada um de nós considerar ações de eficiência energética e, se viável enquadrar soluções de produção de energia elétrica.

Esta dissertação foi desenvolvida em contexto empresarial nas instalações de uma empresa, a Cerutil – Cerâmicas Utilitárias S.A. que tem origem nesta temática.

Neste enquadramento são analisadas soluções de eficiência energética e de mini-produção que contemplam a análise técnica e a análise de viabilidade económica. Essa análise integrou as soluções técnicas, cálculo e medições de grandezas elétricas e rentabilidade dos investimentos.

As soluções de eficiência energética contemplaram sistemas distintos, dos quais se destacam sistemas de iluminação, sistemas de força motriz e sistemas de ar comprimido. Paralelamente foram analisadas situações relativas a mini-produção, em concreto produção solar fotovoltaica ao abrigo do Decreto-lei 34/2011 de 8 de Março.

Espera-se desta forma dar um contributo para a melhoria da eficiência energética local e globalmente.

ABSTRACT

The current context of national and international crisis has led to a reflection by all individuals, business people and consumers regarding to energy issues. It is now a requirement for each of us to consider energy efficiency actions and, if possible, consider solutions for generating electricity.

This thesis is developed in the context of an industry facility, Cerutil – Cerâmicas Utilitárias S.A.

Within this framework are analyzed energy efficiency solutions. Also was performed several studies regarding mini-generation. For all the studies we considered technical solutions, calculations and measurements of electrical quantities and return of investments.

The solutions for energy efficiency covered different systems, including lighting systems, electrical motors and compressed air systems. It was also analyzed in parallel situations involving mini-generation, namely solar photovoltaic generation (DL 34/2011, 8 March).

In this way it is expected to contribute to the improvement of energy efficiency both locally and globally.

PALAVRAS CHAVE

Eficiência energética

Qualidade de Energia

Auditoria energética

Iluminação

Mini-produção

KEY WORDS

Energy Efficiency
Power Quality
Energy audit
Lighting
Mini-generation

AGRADECIMENTOS

Para o desenvolvimento desta dissertação, foi necessária a colaboração, atenção e apoio de algumas entidades e pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento, entre elas: Finiluz, T&T e Universal Motors.

Ao Professor Doutor Eduardo Gouveia, pela confiança que depositou em mim, conselhos e orientações que, de forma decisiva, contribuíram para melhorar esta dissertação.

Aos colaboradores da Cerutil, pela amabilidade, disponibilidade e simpatia, nomeadamente ao Eng.º Ricardo Figueiredo, Sr. Júlio Correia, Dr.^a. Alexandra Correia, Sr. Rafael e Dr. Paulo Carvalhas.

Um agradecimento muito especial ao Eng.º Pedro Gonçalves pela disponibilidade, conhecimento, incentivo, conversas e acompanhamento nos trabalhos desenvolvidos.

À minha namorada, Andreia, pelo amor, apoio, incentivo, companheirismo, e paciência em todos os momentos.

Aos meus pais, por todo o apoio, amor e carinho.

Aos colegas e amigos, pela ajuda e motivação. Um agradecimento especial ao Eng.º Vasco Lacerda, Eng.º Helder Aguiar, Eng.º Rui Correia e Eng.º Oscar Carvalho.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	xiii
ÍNDICE DE QUADROS	xxiv
ABREVIATURAS E SIGLAS	xxvii
NOTAÇÃO.....	xxix
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento do tema	1
1.2 Objetivos.....	5
1.3 Estrutura da dissertação	5
1.4 Metodologia de trabalho	6
2 Cerutil.....	9
2.1 Apresentação da empresa.....	9
2.2 Processo produtivo.....	10
2.2.1 Descrição do processo produtivo.....	10
3 Eficiência energética.....	13
3.1 Introdução	13
3.2 Iluminação	13
3.2.1 Características técnicas das lâmpadas	13
3.2.1.1 Fluxo luminoso	14
3.2.1.2 Iluminância ou nível de iluminação.....	14
3.2.1.3 Eficiência Luminosa	14
3.2.1.4 Restituição cromática ou índice de restituição de cor (IRC)	15
3.2.1.5 Temperatura de cor	15
3.2.1.6 Índice de encadeamento.....	16
3.2.1.7 Otimização de um sistema de iluminação.....	16
3.2.2 Diretivas e normas que regem o sistema luminotécnico	18
3.2.2.1 Diretiva RoHS.....	18
3.2.2.2 Directiva EuP 2005/32/EC I	18
3.2.2.3 Decreto-Lei nº327/2001	19

3.2.2.4	Norma EN12464-1	19
3.2.2.5	Norma NP EN 60529 e EN 50102	19
3.2.2.6	Norma UNE 50285:1999.....	19
3.2.3	Caracterização das lâmpadas	20
3.2.3.1	Lâmpada fluorescente.....	20
3.2.3.2	Lâmpada de alta pressão de mercúrio	21
3.2.3.3	Lâmpada de sódio alta pressão	21
3.2.3.4	Lâmpada de iodetos metálicos	22
3.2.4	Caracterização dos balastros	22
3.2.4.1	Balastro eletromagnético	22
3.2.4.2	Balastro eletrónico.....	23
3.2.5	Disposição da iluminação	25
3.2.6	Iluminação Natural.....	25
3.2.6.1	Solartube.....	25
3.3	Compressor de ar comprimido	26
3.3.1	Ar e Ar comprimido	27
3.3.2	Produção, Preparação e Distribuição de Ar Comprimido.....	27
3.3.2.1	Sistema de Produção e Preparação do Ar Comprimido	27
3.3.3	Compressores	28
3.3.3.1	Caracterização do compressor de parafuso	29
3.3.4	Secagem do ar comprimido.....	31
3.3.5	Distribuição e tratamento do ar comprimido	31
3.4	Motor alto rendimento.....	32
3.4.1	Norma EU MEPS.....	32
3.4.2	Caracterização dos motores de alto rendimento	33
3.5	Bateria de condensadores	34
3.5.1	Faturação de energia reativa	36
3.6	Conclusão	37
4	Qualidade de energia – análise do caso da Cerutil.....	39
4.1	Introdução.....	39
4.2	Normas	39
4.2.1	NP EN 50160	40

4.2.2	Norma CEI/IEC 61000	41
4.2.3	Norma ANSI/IEEE 519 – 1992	43
4.3	Caso de estudo	43
4.3.1	Introdução	43
4.3.2	Tratamento de dados.....	44
4.3.2.1	Frequência.....	44
4.3.2.2	Variações da tensão de alimentação	44
4.3.2.3	Flicker	45
4.3.2.4	Cavas.....	46
4.3.2.5	Harmónicos	47
4.3.2.6	Harmónicos no neutro.....	50
4.4	Conclusão.....	54
5	Mini-produção	55
5.1	Introdução	55
5.2	Enquadramento Legislativo	55
5.2.1	Decreto-lei 34/2011 de 8 de Março	55
5.2.2	Portaria 278/2011 de 29 de Abril	57
5.2.3	Portaria nº 285/2011 de 28 de Outubro	57
5.3	PVGIS	58
5.4	Dimensionamento de uma central de mini-produção	58
5.4.1	Local da instalação	59
5.4.2	Radiação Solar	59
5.4.3	Módulos Fotovoltaicos	60
5.4.4	Inversor.....	61
5.4.5	Conceitos técnicos	62
5.4.5.1	Estrutura.....	62
5.4.5.2	Distância entre fileiras num painel	62
5.4.5.3	Cablagem para sistema PV	63
5.4.5.4	Queda tensão.....	63
5.4.5.5	Proteção contra os choques elétricos	63
5.4.5.5.1	Proteção contra os contactos directos	64
5.4.5.5.2	Proteção contra os contactos indirectos	64

5.4.5.6	Caixas de ligações de cablagens.....	64
5.4.5.7	Ligação à terra e proteção contra sobretensões	64
5.4.5.8	Verificação dos limites de tensão e da configuração do módulo	65
6	Eficiência energética – Casos de estudo	67
6.1	Introdução.....	67
6.2	Estudo de soluções de iluminação.....	68
6.2.1	Tipologia de iluminação na Cerutil.....	70
6.2.1.1	Iluminação localizada.....	70
6.2.1.2	Iluminação generalizada.....	71
6.2.1.3	Iluminação do espaço exterior.....	71
6.2.2	Caracterização da situação atual	71
6.2.3	Soluções de mercado.....	74
6.2.3.1	Armaduras	74
6.2.3.2	Lâmpadas.....	78
6.2.3.3	Balastro eletrónico.....	79
6.2.4	Estrutura dos casos de estudos	80
6.2.5	Metodologia de cálculo adotada	82
6.2.6	Estudos técnico-económicos	84
6.2.6.1	Sector Pintura	84
6.2.6.2	Sector laboratório de teste	87
6.2.6.3	Sector Bar e Corredor.....	88
6.2.6.4	Sector de Moldes, Embalagem, Forno e Conformação.....	90
6.2.6.4.1	Período laboração 8h	90
6.2.6.4.2	Período laboração 16h	91
6.2.6.4.3	Período laboração 24h	92
6.2.6.5	Setor iluminação exterior	93
6.2.6.6	Setor iluminação generalizada.....	95
6.2.6.6.1	Solartube	95
6.2.6.6.2	Lâmpada fluorescente T5 (luminária WTC 360C).....	98
6.2.6.7	Sector hall.....	99
6.2.6.8	Programa de apoio externo.....	100
6.2.7	Estudo luminotécnico da zona dos escritórios	102

6.2.7.1	Escritório 1	102
6.2.7.2	Escritório 2.....	104
6.2.8	Otimização da iluminação do bar	106
6.2.9	Impactos complementares das ORC aplicadas ao sector de iluminação	107
6.2.9.1	Potência contratada	107
6.2.9.2	Emissões de CO ₂ evitadas.....	108
6.2.9.3	Impacto no fator de potência	109
6.3	Caso de estudo compressor.....	111
6.3.1	Recolha e Tratamento de dados.....	112
6.3.2	Estudo técnico- económico.....	113
6.3.3	Conclusão	115
6.3.4	Otimização de um processo.....	116
6.4	Caso estudo motor alto rendimento	117
6.4.1	Caso estudo motor bombagem	119
6.4.2	Caso estudo motor fieira.....	121
6.4.3	Conclusão	122
6.5	Análise do fator de potência	123
6.5.1	Tratamento de dados.....	123
6.5.2	Conclusão	124
7	Caso estudo da mini-produção	125
7.1	Introdução	125
7.2	Caracterização do local	125
7.3	Radiação Solar	127
7.4	Módulos fotovoltaicos	127
7.5	Análise técnica-económica	127
7.5.1	Análise 1	127
7.5.2	Análise 2.....	130
8	Conclusões.....	133
8.1	Referência a trabalhos futuros	134
REFERÊNCIAS		135
ANEXO A – Indicadores associados às perturbações na qualidade de onda - harmónicos		143
ANEXO B – Custo dos equipamentos/Exemplo de cálculo.....		145

ANEXO C – Programas de apoio	149
C.1 SGCIE	149
C.2 SIME	149
C.3 Programa ECO EDP	149
C.4 QREN	150
ANEXO D – Características dos aparelhos	151
D.1 Luxímetro – TESTO 545	151
D.2 FLUKE	151
D.3 Analisador de energia - HIOKI	152
ANEXO E – Dados para estudos luminotécnicos.....	153
E.1 Resultados dos estudos luminotécnicos.....	153
E.1.1 Nota introdutória.....	153
E.1.2 Resultados.....	153
E.1.3 Dados	158
E.1.4 Software comercial	159

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Índice de produtividade	1
Figura 1-2: Consumo referido à produção líquida	2
Figura 1-3: Variação da intensidade energética de Portugal comparativamente à União Europeia	3
Figura 1-4: Evolução do preço médio da eletricidade em Portugal continental	3
Figura 1-5: Cenários de evolução do preço do gás natural	3
Figura 1-6: Cenários de evolução do preço do Petróleo	4
Figura 1-7: Estratégias para o desenvolvimento sustentável	4
Figura 1-8: Eletricidade produzida a partir de fonte renováveis	5
Figura 1-9: Representação da metodologia de trabalho adotada	6
Figura 2-1: Vista frontal da cerutil.....	9
Figura 2-2: Esquema representativo do processo produtivo	10
Figura 3-1: Esquema representativo de fluxos luminosos	14
Figura 3-2: Representação da eficiência luminosa	14
Figura 3-3: Representação dos índices de eficiência energética.....	15
Figura 3-4: Parâmetros envolvidos para caracterização do encadeamento	16
Figura 3-5: Armadura WT360C com índice IP/IK	19
Figura 3-6: Lâmpada fluorescente	20
Figura 3-7: Representação do aumento de eficiência com a redução de diâmetro	21
Figura 3-8: Lâmpada alta pressão de mercúrio	21
Figura 3-9: Lâmpada sódio alta pressão	22
Figura 3-10: Lâmpada vapor metálico	22
Figura 3-11: Relação entre fluxo emitido e frequência de excitação	24
Figura 3-12: Representação dos vários tipos de iluminação I generalizada, II- localizada, III de tarefa.....	25
Figura 3-13: Conceito associado ao solartube	26
Figura 3-14: Espaço com tecnologia solartube	26
Figura 3-15: Esquema representativo da produção, tratamento e distribuição do ar comprimido	27
Figura 3-16: Classificação dos compressores	28
Figura 3-17: Região de atuação de cada compressor (pressão vs volume).....	29
Figura 3-18: Processos envolvidos na admissão de ar para o compressor de parafuso	30
Figura 3-19: Controlo inativo	30
Figura 3-20: Representação da relação entre a potência de entrada e pressão	31
Figura 3-21: Exemplo de um sistema de distribuição em forma de anel (sistema fechado)....	32
Figura 3-22: Relação entre binário e velocidade para motor standard e alto rendimento	33
Figura 3-23: Relação de potência e fator de potência para motor standard e alto rendimento	34
Figura 3-24: Esquema representativo dos modos de compensação	35

Figura 3-25: Esquema de Baterias de condensadores de regulação automática.....	36
Figura 4-1: Medições realizadas no QGBT	44
Figura 4-2: Variação de frequência	44
Figura 4-3: Valores de tensão para fases L_1 , L_2 e L_3	45
Figura 4-4: Representação de parâmetro Plt e Pst no intervalo de medição	45
Figura 4-5: Valores de tensão e intensidade de corrente na fase L_1	47
Figura 4-6: Representação da THD_u	48
Figura 4-7: Espectro harmónico de corrente para balastro convencional	49
Figura 4-8: Espectro harmónico de corrente para balastro eletrónico.....	49
Figura 4-9: Verificação da adequação da norma (Quadro 4-5).....	50
Figura 4-10: Produção de harmónicos de tensão	50
Figura 4-11: Representação da intensidade de corrente no neutro	51
Figura 4-12: Representação do impacto de cada harmónico.....	52
Figura 4-13: Carga trifásica linear desequilibrada	52
Figura 4-14: Carga trifásica não linear	53
Figura 4-15: Corrente eficaz.....	53
Figura 4-16: Representação do aumento de corrente (em percentagem) devido à presença harmónica	54
Figura 5-1: Ilustração da plataforma PVGIS	58
Figura 5-2: Fatores de dimensionamento de uma central fotovoltaica	59
Figura 5-3: Efeito da irradiação solar na curva I-V do módulo com temperatura constante ...	60
Figura 5-4: Efeito da temperatura na curva I-V do módulo com irradiação a $1000W/m^2$	60
Figura 5-5: Esquema exemplificativo simplificado de ligação à rede	62
Figura 5-6: Regra a aplicar em fileiras de painéis quando existem sombreamentos	62
Figura 6-1: Fases da auditoria energética (vertente elétrica) na Cerutil.....	68
Figura 6-2: Resumo em diagrama de blocos dos quadros elétricos da empresa	68
Figura 6-3: Sector do forno (fig. Esq.) e Embalagem (fig. Dir.).....	69
Figura 6-4: Sector da pintura (fig. Esq.) e vidragem (fig. Dir.).....	70
Figura 6-5: Luminária de $2 \times 36W$ (Cerutil)	71
Figura 6-6: Representação da iluminação generalizada na Cerutil	71
Figura 6-7: Representação de iluminação exterior	71
Figura 6-8: Diagrama fotométrico das propostas apresentadas.....	74
Figura 6-9: Diagrama fotométrico para proposta apresentada	75
Figura 6-10: Solartube 330 DS	77
Figura 6-11: Representação da estrutura utilizada para identificar as propostas apresentadas	80
Figura 6-12: Distribuição das horas pelos diferentes períodos, com período legal de inverno (fig. Esq.) e período legal verão (fig. Dir.)	83
Figura 6-13: Luminária TBS e esquema montagem.....	85
Figura 6-14: Representação do retorno e receitas associado às propostas 1.1/1.2	86
Figura 6-15: Representação do retorno e receitas associado à proposta 1.3	86
Figura 6-16: Representação do retorno e receitas associado às propostas 2.1/2.2	88

Figura 6-17: Representação do retorno e receitas associado á proposta 2.3.....	88
Figura 6-18: Representação do retorno e receitas associado às propostas 3.1/3.2.....	90
Figura 6-19: Luminária TCW060 e esquema montagem.....	90
Figura 6-20: Representação do retorno e receitas associado às propostas 4.1/4.2.....	91
Figura 6-21: Representação do retorno e receitas associado às propostas 5.1/5.2.....	92
Figura 6-22: Representação do retorno e receitas associado às propostas 6.1/6.2.....	93
Figura 6-23: Luminária SGS101 e esquema montagem	94
Figura 6-24: Representação do retorno e receitas associado á proposta 7.1	94
Figura 6-25: Representação do retorno e receitas associado às propostas 8.1/8.2.....	96
Figura 6-26: Representação do retorno e receitas associado á proposta 8.3.....	97
Figura 6-27: Representação do retorno e receitas associado às propostas 10.1/10.2/10.3	99
Figura 6-28: Representação do retorno e receitas associado à proposta 11.1	100
Figura 6-29: Representação do retorno e receitas associado às propostas 9.1/9.2/9.3	101
Figura 6-30: Representação da estrutura utilizada para as simulações realizadas	102
Figura 6-31: Representação da simulação 1.1	103
Figura 6-32: Representação da simulação 1.2	103
Figura 6-33: Representação da simulação 1.3	104
Figura 6-34: Representação da simulação 2.1	105
Figura 6-35: Representação da simulação 2.2	105
Figura 6-36: Representação da simulação 2.3	106
Figura 6-37: Programador semanal de duas saídas	106
Figura 6-38: Relação entre a potência média consumida na instalação e potência contratada	108
Figura 6-39: Situação de arranque do compressor	113
Figura 6-40: Compressor atual.....	113
Figura 6-41: Compressor BOGE SF100-2.....	115
Figura 6-42: Gráfico representativo do retorno do investimento.....	115
Figura 6-43: Robô referido para otimização	116
Figura 6-44: Figura a (esq.) – motor assíncrono fieira, Figura b (dir.) – motor assíncrono bombagem.....	117
Figura 6-45: Representação do retorno de investimento com fator carga 100%	120
Figura 6-46: Representação do retorno de investimento com fator carga 75%	121
Figura 6-47: Representação do retorno de investimento com fator carga 100%	122
Figura 6-48: Representação do retorno de investimento com fator carga 75%	122
Figura 6-49: Bateria de condensadores de 475kVAr instalada na Cerutil.....	123
Figura 6-50: Representação da variação do $\cos \alpha$ médio trifásico.....	124
Figura 7-1: Disposição das infraestruturas.....	126
Figura 7-2: Produção média mensal (kWh)	128
Figura 7-3: Esquema elétrico	129
Figura 7-4: Gráfico do retorno estimado do investimento para análise 1	130
Figura 7-5: Produção média mensal (kWh)	131

Figura 7-6: Gráfico do retorno do investimento para análise 2.....	132
Figura A-1: Representação de um espectro harmónico.....	143
Figura B-1: Cálculo de receita diária.....	146
Figura B-2: Estudo económico.....	147
Figura E-1: Setor pintura para situação atual.....	153
Figura E-2: Setor pintura para situação proposta.....	154
Figura E-3: Setor forno para situação proposta.....	154
Figura E-4: Setor conformação para situação proposta.....	155
Figura E-5: Setor embalagem para situação proposta.....	155
Figura E-6: Setor bar para situação atual.....	156
Figura E-7: Setor bar para situação proposta.....	156
Figura E-8: Setor corredor para situação proposta.....	157
Figura E-9: Setor moldes para situação proposta.....	157
Figura E-10: Cenário utilizado para iluminação externa.....	158
Figura E-11: Representação dos lux médios para iluminação exterior.....	158
Figura E-12: Representação da insolação anual para Portugal continental.....	158
Figura E-13: Célula crepuscular EE200.....	159
Figura E-14: Software comercial.....	160

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3-1: Índice de restituição de cor	15
Quadro 3-2: Exemplos de temperatura de cor	15
Quadro 3-3: Relação entre temperatura de cor e nível de iluminação	16
Quadro 3-4: Valores característicos de distintas fontes de luz interior.....	17
Quadro 3-5: Níveis médios de iluminação segundo a Norma 12464-1	18
Quadro 3-6: potência máxima absorvida pelo conjunto	23
Quadro 3-7: Escalões para faturação de reativa.....	36
Quadro 3-8: Faturação de reativa.....	37
Quadro 4-1: Limites para perturbações segundo a norma NP 50160	40
Quadro 4-2: Valores de referência para a rede distribuição em BT.....	40
Quadro 4-3: Níveis de compatibilidade para os harmónicos de tensão em redes públicas de BT	41
Quadro 4-4: Níveis de compatibilidade para os harmónicos	42
Quadro 4-5: Limites de emissão para equipamentos com consumos até 16 A/fase segundo norma IEC 61000-3-2	42
Quadro 4-6: Limite máximo de distorção	43
Quadro 4-7: Extrato dos dados recolhidos no QGBT da Cerutil	46
Quadro 4-8: Resultados para corrente fundamental e corrente eficaz	52
Quadro 5-1: Comparação entre as tecnologias de células fotovoltaicas	61
Quadro 6-1: Período de funcionamento dos turnos	70
Quadro 6-2: Enquadramento da situação atual	72
Quadro 6-3: Representação dos sectores e respetivo consumo de energia	72
Quadro 6-4: Representação da quantidade de armaduras presentes na unidade fabril	73
Quadro 6-5: Representação das características referentes ao balastro eletromagnético (situação atual).....	73
Quadro 6-6: Representação das características referentes ao balastro eletrónico (situação atual).....	74
Quadro 6-7: Custo das diferentes propostas	75
Quadro 6-8: Custo das diferentes propostas	76
Quadro 6-9: Modelos solartube.....	76
Quadro 6-10: Custo das diferentes propostas	77
Quadro 6-11: Características de lâmpadas em estudo	78
Quadro 6-12: Custo das propostas	78
Quadro 6-13: Características alusivas à tecnologia T8	78
Quadro 6-14: Características respeitantes à tecnologia T5	79
Quadro 6-15: Custo do balastro entre diferentes marcas	79
Quadro 6-16: Custo de energia e tarifa de acesso às redes	84

Quadro 6-17: Poupanças registadas em kWh e kVArh com as propostas sugeridas	85
Quadro 6-18: Caracterização das propostas para setor da pintura.....	85
Quadro 6-19: Poupanças registadas em kWh e kVArh para armadura de lamelas	87
Quadro 6-20: Poupanças registadas em kWh e kVArh para armadura de ½ aba.....	87
Quadro 6-21: Caracterização das propostas para setor de laboratório de testes.....	87
Quadro 6-22: Poupanças registadas em kWh e kVArh	89
Quadro 6-23: Caracterização das propostas para setor de bar e corredor	89
Quadro 6-24: Poupanças registadas em kWh e kVArh com as propostas sugeridas	90
Quadro 6-25: Caracterização das propostas 4.1/4.2/5.1/5.2/6.1 e 6.2	91
Quadro 6-26: Poupanças registadas em kWh e kVArh com as propostas sugeridas	92
Quadro 6-27: Poupanças registadas em kWh e kVArh com as propostas sugeridas	92
Quadro 6-28: Poupanças registadas em kWh e kVArh com a proposta sugerida	93
Quadro 6-29: Caracterização das propostas para setor da iluminação exterior.....	94
Quadro 6-30: Poupanças registadas em kWh e kVArh para os vários cenários estudados.....	95
Quadro 6-31: Caracterização das propostas para setor da iluminação geral	96
Quadro 6-32: Poupanças diárias registadas em kWh e kVArh para os vários períodos estudados	98
Quadro 6-33: Características de lâmpadas em estudo	99
Quadro 6-34: Poupanças registadas em kWh com proposta sugerida.....	99
Quadro 6-35: Resumo de propostas apresentadas	101
Quadro 6-36: Poupanças estimadas diária.....	107
Quadro 6-37: Emissões de CO ₂ diária na situação atual.....	109
Quadro 6-38: Emissões de CO ₂ diária para solução proposta comparativamente à situação atual	109
Quadro 6-39: Parâmetros utilizados para cálculo de resistência elétrica e poupança registada	110
Quadro 6-40: Representação da poupança anual associada às perdas para período 8h	110
Quadro 6-41: Representação da poupança anual associada às perdas para período 16h	110
Quadro 6-42: Representação da poupança anual associada às perdas para período 24h	111
Quadro 6-43: Representação da poupança anual associada às perdas para solartube	111
Quadro 6-44: Poupança anual associada às perdas para luminária vapor de sódio.....	111
Quadro 6-45: Período de medição	112
Quadro 6-46: Valores médios utilizados para cálculo de potência	112
Quadro 6-47: Valores envolvidos para o caso de estudo apresentado	114
Quadro 6-48: Características de compressor atual (s.a.) e proposto (BOGE).....	114
Quadro 6-49: Poupança para período de carga/vazio.....	115
Quadro 6-50: Potência de perdas em função de diâmetro	117
Quadro 6-51: Características dos motores alvo de estudo.....	118
Quadro 6-52: Rendimentos nominais mínimos para motores de indução trifásicos com rotor em gaiola de esquilo	118
Quadro 6-53: Características de motor de alto rendimento em estudo.....	119

Quadro 6-54: Custo de aquisição dos motores.....	119
Quadro 6-55: Rendimentos dos motores para diferente fator de carga.....	119
Quadro 6-56: Poupança registada em kW (potência)	120
Quadro 6-57: Rendimentos dos motores para diferente fator de carga.....	121
Quadro 6-58: Poupança registada em kW (potência)	121
Quadro 6-59: Representação do consumo e fator de potência num dia típico de laboração .	124
Quadro 7-1: Descrição de área disponível	126
Quadro 7-2: Principais características do painel.....	127
Quadro 7-3: Características de inversor SolarMax 10MT	128
Quadro 7-4: Distâncias adotadas.....	131
Quadro B-1: Custo (€) das lâmpadas utilizadas para o caso de estudo.....	145
Quadro B-2: Custo (€) dos equipamentos utilizados	145
Quadro B-3: Custo (€) das armaduras.....	146
Quadro B-4: Descontos para os diversos equipamentos	146
Quadro E-1: Características da célula crepuscular EE200.....	159

ABREVIATURAS E SIGLAS

AT	Alta Tensão
BCE	Banco Central Europeu
BT	Baixa Tensão
BTE	Baixa Tensão Especial
CAE	Códigos de Atividade Empresarial
CEI	Comissão Eletrotécnica Internacional
CIE	Instalações consumidoras Intensivas de Energia
CO ₂	Dióxido de Carbono
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
ENDS	Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável
ENE	Estratégia nacional de energia
ERSE	Entidade reguladora dos serviços energéticos
ESCO	Energy Service Companies
ESTGV	Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu
FC	Fator de Carga
FMI	Fundo Monetário Internacional
GN	Gás Natural
H.C.	Hora de cheia
H.P.	Hora de ponta
H.S.V	Hora de super vazio
H.V.	Hora de vazio
h_{f_ano}	Horas de funcionamento atual
h_s	Distância na projecção vertical entre o observador e a armadura
I_{cc}	Corrente curto-circuito do módulo
IEE	Índice de Eficiência Energética
IEEE	Instituto dos Engenheiros Eletrotécnicos e Eletrónicos
I_{ef}	Corrente Eficaz
IPV	Instituto Politécnico de Viseu
IRC	Índice de Reprodução de Cor
LED	Light Emitting Diode
MEPS	Norma Europeia sobre o mínimo Rendimento Energético
MPP	Maximum Power Point
MT	Média Tensão
N_f	Número de fileiras
N_{mf}	Número de módulos por fileira
PAC	Ponto de Acoplamento Comum à rede pública
PC	Potencia contratada

PIB	Produto Interno Bruto
PME	Pequenas e médias empresas
PRI	Período de retorno do investimento
PT	Posto transformação
PV	Sistema Fotovoltaico
PVGIS	Photovoltaic Geographic Information System
Q.E.E.	Qualidade de energia elétrica
QGBT	Quadro Geral Baixa Tensão
QREN	Quadro de Referência Estratégico Nacional
R_a	Índice de Restituição Cromática
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
RRC	Regulamento das Relações Comerciais
SEN	Sistema Elétrico Nacional
SGCIE	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
SIME	Sistema de Incentivos à Modernização Empresarial
SRMini	Sistema de Registo da Mini-produção
tep	Tonelada equivalente de petróleo
THD	Taxa de Distorção Harmónica
THD_i	Taxa de distorção harmónica de corrente
THD_u	Taxa de distorção harmónica de tensão
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UE	União Europeia
UGR_L	Índice unificado de encadeamento limite
U_{oc}	Tensão de circuito aberto do módulo
UV	Ultravioleta
VPL	Valor Presente Líquido
VSD	Variable Speed Drive
$I_{MAX,G}^{DC}$	Máxima corrente DC do sistema fotovoltaico
$I_{MAX,INV}^{DC}$	Corrente máxima de entrada do inversor
$P_{MAX,INV}^{DC}$	Potência máxima de entrada do inversor
$P_{P,G}^{DC}$	Potência de pico do sistema fotovoltaico
$U_{DC,INV}^{MAX}$	Tensão máxima de entrada do inversor
$U_{MPP,INV}^{MAX}$	Tensão máxima do sistema MPPT do inversor
$U_{MPP,INV}^{MIN}$	Tensão mínima do sistema MPPT do inversor
U_{MPP}^{MAX}	Tensão máxima do sistema MPPT dos módulos da fileira
U_{MPP}^{MIN}	Tensão mínima do sistema MPPT dos módulos da fileira
U_{OC}^{MAX}	Tensão de circuito aberto máximo dos módulos da fileira

NOTAÇÃO

a) Maiúsculas latinas

A	Área (m^2)
E	Iluminância ou nível de iluminação (lx)
η	Eficiência Luminosa (lm/W)
L	Comprimento do módulo (dependendo da colocação)
Z	Impedância do cabo

b) Minúsculas latinas

<i>d</i>	Afastamento entre fileiras
<i>a</i>	Distância na projeção horizontal entre o observador e armadura

c) Maiúsculas gregas

ω	Frequência Angular
----------	--------------------

d) Minúsculas gregas

Φ	Fluxo luminoso (lm)
β	Ângulo que corresponde à altura mínima do Sol que determina o afastamento máximo entre fileiras
φ	Ângulo de inclinação dos módulos

1 Introdução

1.1 Enquadramento do tema

Num quadro atual em que se vive uma crise energética verificando-se semanalmente uma tendência para o aumento dos vários vetores energéticos, torna-se fundamental a gestão eficiente de todos os recursos. Aliada a esta questão da energia vive-se num quadro de recessão que integra igualmente o aumento de impostos. Portugal importa 76% [Eurostat, 2012] da energia primária que consome. Dessa energia, os principais vetores energéticos a evidenciar são o petróleo e o gás natural (vetores energéticos estratégicos externos). Ora, na generalidade das empresas em Portugal consome-se sobretudo eletricidade (PME – Pequenas e Médias empresas) e gás natural (GN).

Estas duas formas de energias têm sofrido aumentos assinaláveis, quer pela via da matéria-prima, pela via da transformação e até passar nos revendedores até ao consumidor final. Tanto o GN como o petróleo (fuelóleo, gasóleo) são usados na produção de energia elétrica. Em anos, como o atual onde os níveis de chuva são fracos a energia elétrica tende a ser produzida pelas centrais termoelétricas e portanto a aumentar o seu preço final.

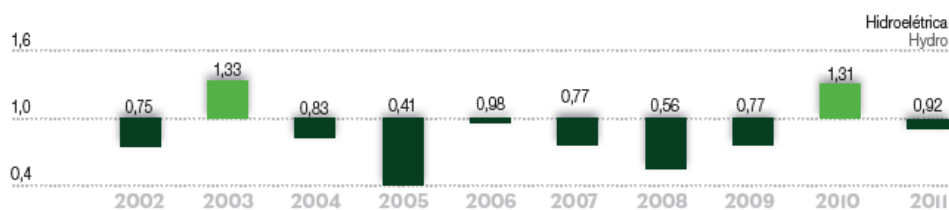


Figura 1-1: Índice de produtividade [REN, 2012]

No ano de 2010 o índice de produtividade situou-se acima da média, o que nos leva a concluir que os níveis de chuva terão sido maiores que no ano de 2011, onde o índice foi inferior à média. Pela análise da Figura 1-2 verifica-se que no ano de 2011 comparativamente ao ano de 2010, a produção de energia a partir da hídrica foi inferior em cerca de 29%. Em contrapartida a produção de energia a partir da térmica aumentou cerca de 12%.

GWh	2011	2010	Var. [%]
PRODUÇÃO TOTAL TOTAL GENERATION	48 428	50 087	-3
PRODUÇÃO RENOVÁVEL RENEWABLE GENERATION	23 071	27 363	-16
Hídrica Hydro	11 240	15 835	-29
Mini-hídrica Small Hydro	1 019	1 377	-26
Eólica Wind	9 003	9 024	0
Térmica Thermal	2 566	2 299	12
Cogeração Cogeneration	1 469	1 336	10
Solar Solar	262	204	29

Figura 1-2: Consumo referido à produção líquida [REN, 2012]

O caso da empresa onde se desenvolve este trabalho não foge à regra (havendo consumos de GN e eletricidade).

Uma forma de contribuir para o objetivo da eficiência energética passa pela gestão de energia e consequente melhoria dos níveis de eficiência energética. Numa altura em que os custos operacionais aumentam (exemplo dos custos com impostos em gás e energia elétrica) torna-se necessário otimizar a sua gestão de modo a que as empresas sejam economicamente mais competitivas e ambientalmente racionais. Como “novas oportunidades” destaca-se também a possibilidade de produção de energia elétrica pela via da mini e microprodução utilizando fontes renováveis.

Em Portugal existe um conjunto de programas de apoio à eficiência energética como o SGCIE, SIME, Programa ECO EDP e QREN enunciados no anexo C.

A sociedade portuguesa caracteriza-se por possuir uma intensidade energética e uma intensidade carbónica elevada [Mangueijo et al. 2010]. A Figura 1-3 apresenta a variação da intensidade energética de Portugal, é possível constatar pela análise do gráfico que a partir do ano 2005 ocorreu uma inversão da tendência, que surge devido à diminuição do consumo de energia final e aumento do PIB, no entanto com valores ainda distantes dos apresentados pela média europeia.

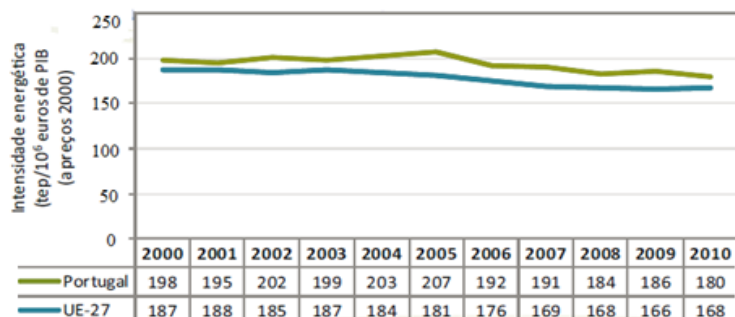


Figura 1-3: Variação da intensidade energética de Portugal comparativamente à União Europeia [Vilão et al., 2012]

A enorme dependência que Portugal possui respeitante à importação de energia primária impõe enormes restrições ao nível da política energética, da segurança do abastecimento e contribui para o desequilíbrio da balança comercial. Com efeito, estamos bastante vulneráveis às variações do preço de petróleo, que se encontram diretamente ligadas às crises financeiras que se vive atualmente bem como da relação que existe entre a procura e a oferta. Apresenta-se de seguida as Figura 1-4 e 1-5 e 1-6, fazendo alusão à evolução do preço do GN, do preço de energia elétrica e da evolução do preço do petróleo.

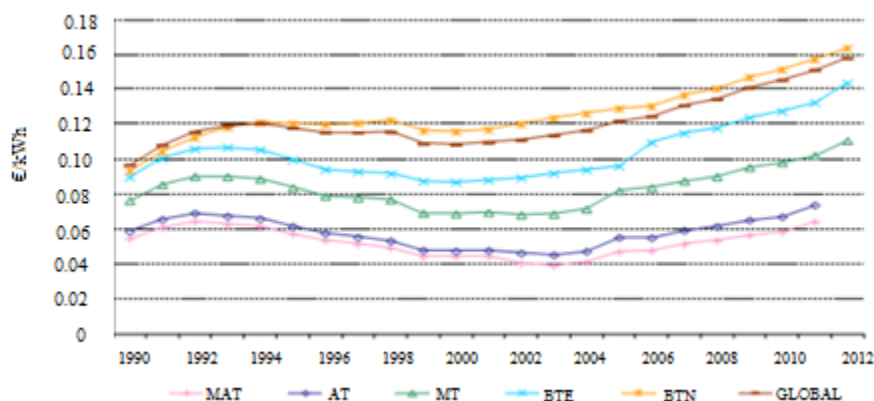


Figura 1-4: Evolução do preço médio da eletricidade em Portugal continental [ERSE, 2012]

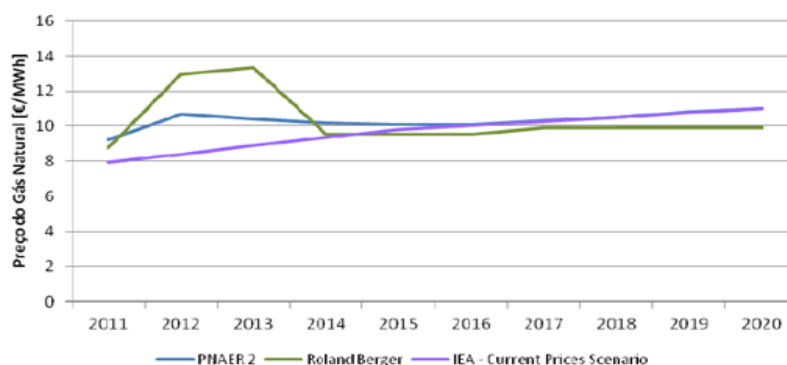


Figura 1-5: Cenários de evolução do preço do gás natural [APREN, 2012]

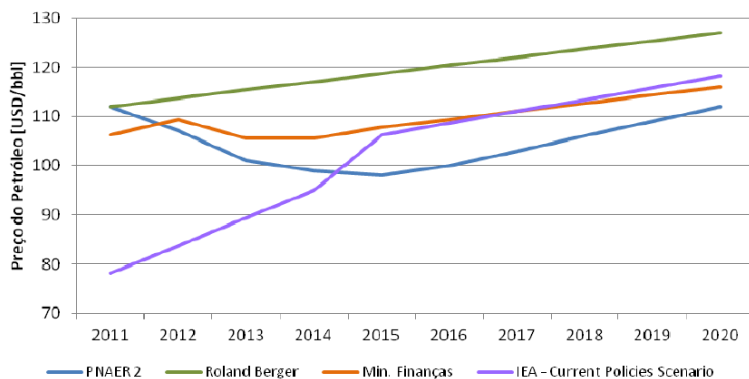


Figura 1-6: Cenários de evolução do preço do Petróleo [APREN, 2012]

A implementação de políticas de eficiência energética contribui para minimizar a dependência de recursos externos. Paralelamente conduz a minimização de impostos ambientais favorecendo a implementação de planos ambientais como o protocolo de Quioto.

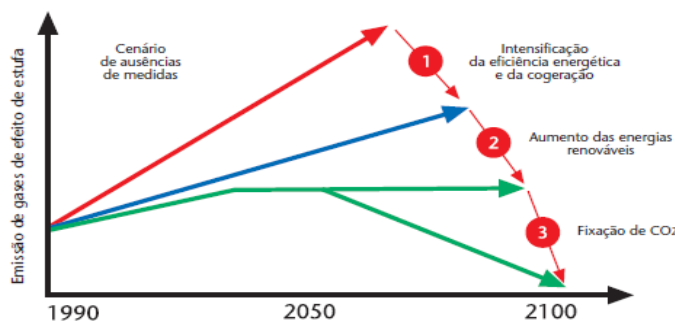


Figura 1-7: Estratégias para o desenvolvimento sustentável [Álvares et al. 2005]

As estratégias impostas por cada país por forma atingir as metas pré-estabelecidas no protocolo passam pelo aumento do recurso a fontes de energia renováveis e na redução de emissão de CO₂, nomeadamente através da plantação de grandes áreas verdes.

Em particular, a aposta nas várias fontes de energia renovável permite suprir as necessidades energéticas atuais e futuras, de uma forma menos penalizadora a nível ambiental. A ENDS 2015 (Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável) estabelece novas metas energéticas para 2010, que passam pelo aumento do consumo de eletricidade com base em energias renováveis em 39%. Este valor foi revisto em alta pelo Governo passando para os 45% [INE, 2012]. Mais do que uma alternativa, as fontes de energia renovável têm tendência para representar, num futuro próximo, a principal fonte de produção de energia. Portugal apresenta-se com elevado potencial, seja na vertente solar, hídrica ou eólica [Álvares et al. 2005; Mangueljo et al., 2010; eds.NORTE, 2012]. A Figura 1-8 representa a evolução da produção de eletricidade produzida a partir de fontes renováveis, onde Portugal se apresenta em bom plano face à média europeia.

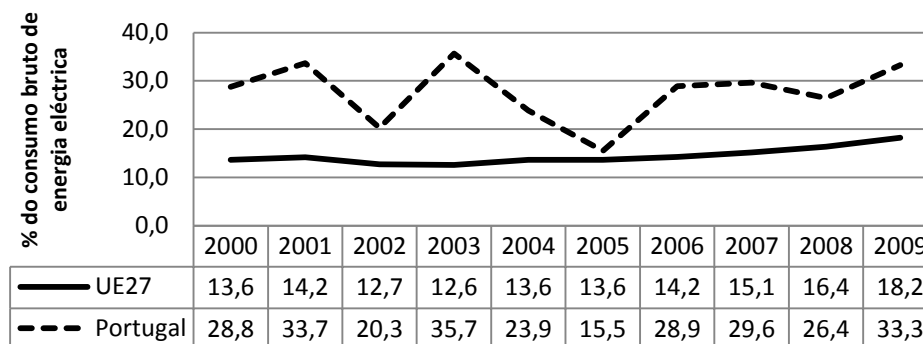


Figura 1-8: Eletricidade produzida a partir de fonte renováveis [Vilão, 2012]

1.2 Objetivos

O objetivo desta dissertação vai de encontro às necessidades de redução de custos operacionais de produção, no caso a empresa do grupo Visabeira, a Cerutil. Os objetivos deste trabalho podem ser sintetizados da seguinte forma:

- a) Poupanças de energia no setor produtivo
 - a. Recolha de informação dos sistemas de iluminação;
 - b. Análise de equipamentos como compressor, bateria de condensadores e motor de alto rendimento;
 - c. Medição de grandezas elétricas em equipamentos existentes;
 - d. Medição de grandezas elétricas em equipamento novo;
 - e. Realização de um plano de racionalização de consumos;
 - f. Estudos técnicos-económicos para propostas apresentadas.
- b) Diminuição da dependência energética (vertente elétrica) via mini-produção
 - a. Estudo de viabilidade de implementação de um sistema fotovoltaico;
 - b. Estudo técnico dos sistemas a implementar.
- c) Estudo de qualidade de energia;
 - a. Medição local de grandezas.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se estruturada da seguinte forma: A caracterização e descrição do processo produtivo da Cerutil são realizadas no capítulo 2. No capítulo 3 foi realizada uma revisão dos conceitos e legislação associada às áreas a tratar da eficiência energética (nomeadamente iluminação, compressores, bateria de condensadores e motores de alto

rendimento). O capítulo 4 segue uma topologia diferente. Enquadra conceitos normativos e apresenta em seguida a análise de resultados obtidos. No capítulo 5 foram tratados os conceitos teóricos e o enquadramento legislativo referente à mini-produção. A referência à metodologia de trabalho adotada e apresentação dos resultados registados (desde apresentação de soluções técnicas aos estudo técnico-económicos) encontram-se descritas no capítulo 6. No capítulo 7 foi efetuado o dimensionamento de uma instalação de mini-produção, incluindo a análise económica. Finalmente, no capítulo 8 são apresentadas as principais conclusões retiradas da elaboração do trabalho, assim como foi feita referência a eventuais trabalhos futuros.

1.4 Metodologia de trabalho

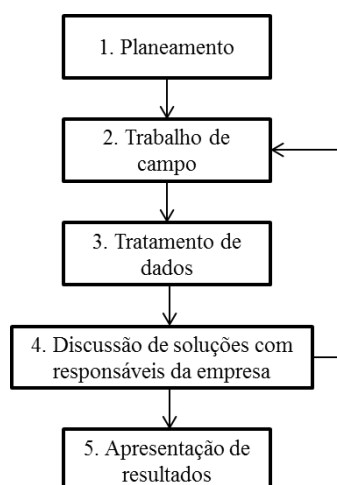


Figura 1-9: Representação da metodologia de trabalho adotada

1. Planeamento

- a. Formação de objetivos gerais e específicos;
- b. Visita prévia à unidade fabril em estudo;
- c. Reunião com responsável para determinar objetivos.

2. Trabalho de campo

- a. Realização do inventário dos sectores consumidores de energia;
- b. Realização de auditoria energética (vertente eléctrica) em alguns sectores identificados;
- c. Estudo de possibilidade de integração de mini-geração;
- d. Recolha e análise da informação disponibilizada pela unidade fabril.

3. Tratamento de dados

- a. Organização e tratamento de dados recolhidos.
5. Apresentação de resultados
- a. Apresentação de medidas e equipamentos que permitem melhorar os índices de eficiência energética actuais;
 - b. Estudo de viabilidade de negócio com recurso a estudos técnico-económicos das medidas apresentadas.

2 Cerutil

Antes de se realizar qualquer proposta de racionalização de energia é necessário conhecer adequadamente o processo produtivo. Neste capítulo é realizada a apresentação da empresa onde esta dissertação teve origem, assim como o processo produtivo da mesma.

2.1 Apresentação da empresa

A Cerutil pertence ao Grupo Visabeira e tem sede social e instalações no Sátão. Dedicar-se ao fabrico de louça em grés, resistente a alta temperatura, e indicada para o uso em fornos tradicionais e micro-ondas, ocupando uma área total de cerca de 47000m². Tem um capital social de 1.650.000,00 €, e conta com cerca de 170 colaboradores, tendo tido um volume de negócio no ano anterior (2011) de cerca de 5 milhões de euros.

O processo de fabrico vai desde a produção dos moldes utilizados na conformação das peças, passando pela decoração das peças e acabando na embalagem dos produtos. O ensaio de controlo de qualidade é realizado em várias etapas: na receção, ao longo da produção e sobre o produto final, estando a cargo de um laboratório interno.



Figura 2-1: Vista frontal da cerutil

2.2 Processo produtivo

Em seguida, a Figura 2-2 ilustra o processo produtivo da empresa, desde a preparação da pasta (matéria-prima) que é fornecida por uma entidade externa até ao armazenamento da peça fabricada.

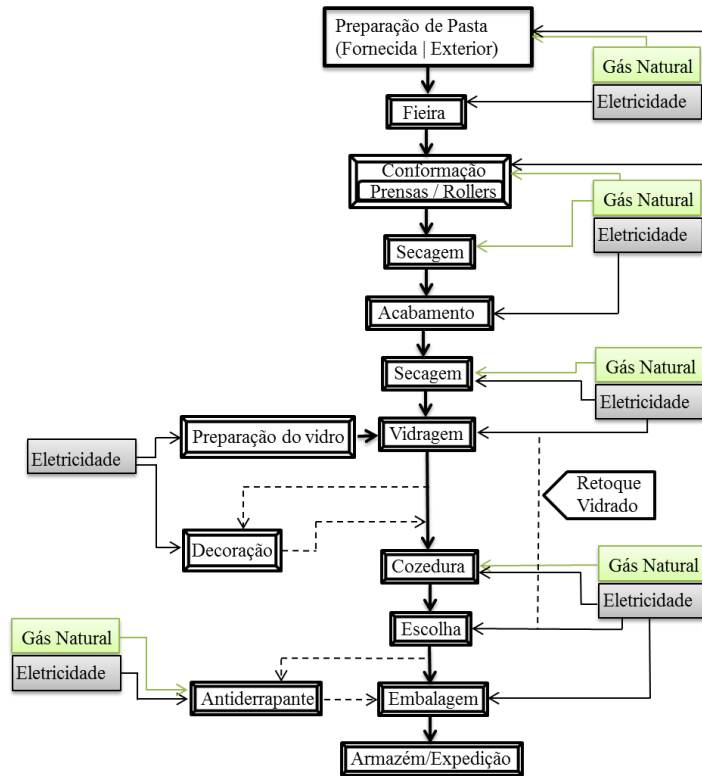


Figura 2-2: Esquema representativo do processo produtivo

2.2.1 Descrição do processo produtivo

Preparação de Pasta

A matéria-prima (pasta) é adquirida através de um fornecedor externo, sendo depois submetida a um processo de extrusão, por duas fileiras alimentadas por telas transportadoras. Deste processo é obtida uma pasta que vai ser moldada e palatizada por robots. É de seguida transportada por empilhadores elétricos para a conformação. Neste processo (conformação) é feito o reaproveitamento de aparas provenientes de acabamentos das peças.

Conformação

A conformação é um processo que consiste na prensagem ou moldagem da pasta por recurso a rollers ou prensas. Neste processo são intervenientes prensas e secadores que permitem uma rápida secagem do material.

A operação de acabamento é realizada manualmente e esta consiste na raspagem para eliminação de rebarbas, sendo outro tipo de peças possível efetuar a operação de acabamento por intermédio de máquinas de esponjas.

Para que uma peça seja produzida em escala repetitiva é necessário executar um protótipo – modelo, conhecido como madres estas servem de origem aos moldes de gesso e são elaborados numa secção independente, equipada com estufa para secagem destes moldes.

Secagem

O ciclo de secagem da estufa é em função do peso do material a secar, da temperatura ambiente, e da estação do ano. O aquecimento é feito a gás natural e por aproveitamento de ar quente recuperado do arrefecimento final do forno túnel.

Vidragem

O material depois de seco segue para a secção de vidragem, sendo a vidragem realizada por pulverização em duas máquinas de vidrar automáticas. Posteriormente, as peças são colocadas manualmente nos tabuleiros de um transportador aéreo, percorrendo um circuito extenso ao longo da instalação, para secagem natural do vidro à temperatura ambiente.

Cozedura

Este sector possui dois fornos, um de túnel e outro circular, ambos equipados com queimadores a gás natural, existindo também um terceiro que forno intermitente para recozimento de peças retocadas, que raramente funciona.

O forno túnel com 60 metros está dividido em três zonas:

- Pré-aquecimento
- Cozedura
- Arrefecimento

No pré aquecimento o material é gradualmente aquecido pelos gases de exaustão que circulam em contra corrente em relação à carga. Na zona de cozedura as peças são cozidas a uma temperatura na ordem dos 1200°C, e a zona de arrefecimento, sendo todo o ar quente reaproveitado para o secador. Á saída do forno, a escolha das peças é feita por intervenção humana onde são identificadas as peças com defeito.

De salientar que nem todo o ar quente é aproveitado para o processo, havendo algum expelido para o exterior. Terminado este processo o produto é embalado e armazenado para expedição.

3 Eficiência energética

3.1 Introdução

A eficiência energética pode ser definida como a otimização que se pode fazer no consumo de energia. Implica a implementação de estratégias e medidas para combater o desperdício de energia, desde a sua transformação até à sua utilização. No presente capítulo serão abordados os conceitos teóricos que abrangem os estudos realizados com vista a otimizar a eficiência energética dos sistemas de iluminação, compressores, bateria de condensadores e motores de alto rendimento.

3.2 Iluminação

A baixa eficiência de alguns sistemas de iluminação conduz a maiores consumos de energia elétrica, com maior impacto em termos económicos e ambientais. Numa altura em que os custos com a energia são uma fatia bastante representativa dos custos de produção, além das naturais preocupações ambientais, a escolha de opções de eficiência energética economicamente viáveis (ou seja, com retornos de investimentos atrativos) torna-se uma necessidade.

3.2.1 Características técnicas das lâmpadas

Em seguida é realizada uma breve caracterização dos conceitos luminotécnicos com a finalidade de melhor enquadrar as análises e resultados a obter no capítulo 6.

3.2.1.1 Fluxo luminoso

Representa a quantidade total de luz emitida por uma fonte luminosa alimentada à tensão nominal de funcionamento (230V), medida em lúmens. [Sá, 2010].

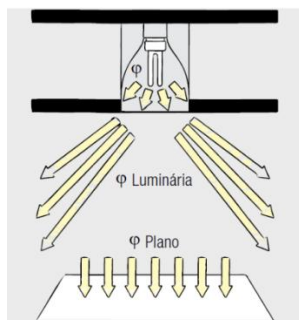


Figura 3-1: Esquema representativo de fluxos luminosos [Osram,2012]

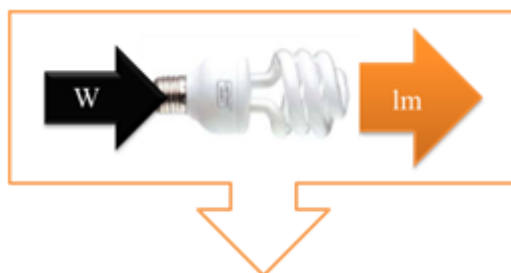
3.2.1.2 Iluminância ou nível de iluminação

A iluminância caracteriza-se como a relação entre o fluxo luminoso incidente numa superfície e a área sobre a qual este incide [Luz, 2012]., sendo expressa segundo (3-1):

$$E(\text{lux}) = \frac{\phi(\text{lm})}{A(\text{m}^2)} \quad (3-1)$$

3.2.1.3 Eficiência Luminosa

As lâmpadas diferenciam-se entre si não só pelos diferentes fluxos luminosos que irradiam, mas também pelas diferentes potências e pela energia consumida. Desta forma, para se proceder a uma possível comparação entre estas é necessário conhecer a quantidade de lúmen gerado por cada Watt absorvido. Esta grandeza é conhecida como eficiência energética [Sá, 2010].



$$\eta = \frac{\phi}{P} \quad (3-2)$$

Figura 3-2: Representação da eficiência luminosa

Em seguida, a Figura 3-3, ilustra os diferentes índices de eficiência energética para diversas tecnologias de iluminação, sendo que a barra de cor de laranja representa a oscilação dos valores de eficiência para cada tipo de lâmpada.

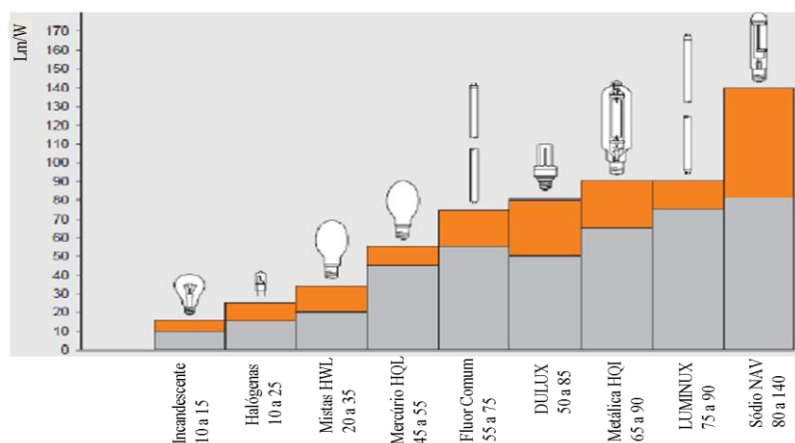


Figura 3-3: Representação dos índices de eficiência energética [Pais,2011]

3.2.1.4 Restituição cromática ou índice de restituição de cor (IRC)

O índice de reprodução de cor ou índice de restituição cromática (IRC ou R_a) mede a fiabilidade com que uma fonte de luz artificial reproduz a cor de uma determinada superfície a iluminar, em comparação com uma fonte luminosa de referência com temperatura de cor similar à cor do objeto, devendo ser escolhidas lâmpadas com o índice de restituição de cor (IRC) mínimo adequado à tarefa a desempenhar [Silva, 2011].

Quadro 3-1: Índice de restituição de cor [Sá, 2010]

Qualidade desejada	R_a	Aplicações
Muito boa	>90	Controlo e seleção; Laboratórios e sala de impressão
Aceitável	$70 < R_a < 90$	Escritórios; Escolas; Lojas
Medíocre	$60 < R_a < 70$	Oficinas
Sem exigências	<60	Armazéns; Salas de fundição; Produção em geral

3.2.1.5 Temperatura de cor

A unidade representativa da temperatura de cor é o Kelvin ($^{\circ}K$), e caracteriza a aparência da cor de uma fonte de luz.

Quadro 3-2: Exemplos de temperatura de cor [Louçano, 2009]

Temperatura ($^{\circ}K$)	Aparência
$T > 5000$	Fria (branco - azulado)
$3300 < T < 5000$	Intermédia (branca)
$T < 3300$	Quente (branco - Avermehado)

Em climas tropicais é geralmente preferida uma aparência de cor de luz mais fria, contrariamente aos países nórdicos onde se opta por uma aparência de cor de luz mais quente. Em locais de trabalho deve-se utilizar uma tonalidade de cor intermédia [Louçano, 2009].

No Quadro 3-3 está patente a relação entre a temperatura de cor e o nível de iluminância [Sá, 2010].

Quadro 3-3: Relação entre temperatura de cor e nível de iluminação

Nível de iluminação (lux)	Quente	Intermédia	Fria
E<1000	Agradável	Neutra	Fria
1000<E<3000	Estimulante	Agradável	Neutra
E>3000	Artificial	Estimulante	Agradável

Para um local que possui uma iluminação de qualidade, ou seja, um local onde não exista desconforto relativamente à iluminação presente, a aparência de cor da fonte de luz deve estar relacionada com a iluminância. Quanto maior a iluminância do ambiente, maior deve ser a temperatura da cor e conseqüentemente mais fria a aparência da cor. A escolha da temperatura de cor da lâmpada deve ser também condicionada pelo nível de iluminância pretendido para o local.

3.2.1.6 Índice de encadeamento

O encadeamento é uma sensação de desconforto que ocorre quando a luminância de um objeto é muito maior do que a luminância de todo o campo visual. A Figura 3-4 caracteriza a posição do observado, no posto de trabalho, relativamente à armadura de iluminação.

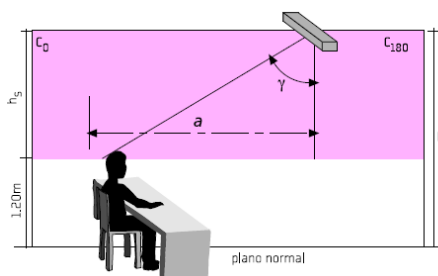


Figura 3-4: Parâmetros envolvidos para caracterização do encadeamento [templarluz, 2012]

Verifica-se a existência de um ângulo γ , sendo a tangente desde ângulo dado por:

$$\frac{a}{h_s} \tag{3-3}$$

Na prática verifica-se que não existe encadeamento direto se o ângulo γ for inferior a 45°.

3.2.1.7 Otimização de um sistema de iluminação

São várias as ações que podem levar a um menor consumo das luminárias presentes na instalação, tais como:

3 – Eficiência energética

- i. Desligar a iluminação nos períodos de paragem (com recurso a sensores presença, células crepusculares, relógios programáveis);
- ii. Sempre que possível utilizar iluminação natural;
- iii. Uso de lâmpadas de maior eficiência luminosa;
- iv. Utilização de equipamentos mais eficientes, como balastos eletrónicos.

Como referido, deve optar-se sempre por lâmpadas com maior eficiência luminosa. O Quadro 3-4 apresenta algumas das características associadas aos diferentes tipos de iluminação.

Quadro 3-4: Valores característicos de distintas fontes de luz interior [Sá, 2010].

Tipo	Temperatura de cor (K)	Restituição cromática	Duração (h)	Equipamento elétrico auxiliar	Possibilidade de regulação de fluxo e potência	Eficiência luminosa
Incandescente standard	2700	100	1000	Não necessário	Sim	19
Incandescente halogéneo	2900-3100	100	2000-5000	Transformador	Sim	25-30
Fluorescente	1700-6500	75-98	14000-18000	Necessário	Sim de 10 a 100%	104
Vapor mercúrio	3500-4200	50	14000	Necessário	Sim de 50 a 100%	60
Iodetos metálicos	3000-6000	65-95	6000-12000	Necessário	Sim de 40 a 100%	90-100
Sódio de alta pressão	2100	20-65	18000	Necessário	Sim de 50 a 100%	90-150

A utilização adequada dos níveis de iluminação consoante as atividades desenvolvidas nos espaços a iluminar é um aspeto importante na otimização dos sistemas de iluminação. Com efeito, um nível de iluminação desajustado implica desperdício de energia, uso inadequado da tecnologia, e ainda conduzir a erros e acidentes. Ao contrário, um nível demasiado baixo de iluminação provoca cansaço, podendo também conduzir a erros e acidentes. O Quadro 3-5 apresenta os níveis de iluminação adequados para as diferentes tarefas a desempenhar.

Quadro 3-5: Níveis médios de iluminação segundo a Norma 12464-1

Tipo de iluminação	Níveis médios de iluminação (lux)	Atividades
Iluminação geral para recintos de uso não frequente ou para tarefas visuais simples	20	Níveis mínimos para áreas externas de circulação
	50	Passagens e plataformas externas
	100	Teatros, salas de concertos e quartos de hotel
	150	Áreas de circulação em indústrias e depósitos
Iluminação geral para áreas internas de trabalho	200	Iluminação mínima da tarefa
	300	Processos gerais industriais; trabalho bruto de bancada
	500	Trabalho médio de bancada; escrita, leitura, tratamento de dados
	750	Design industrial; escritórios com máquinas
	1000	Trabalho fino de bancada; trabalho de seleção de cores; tarefas críticas de desenho
	1500	Trabalho muito fino de bancada; montagem de instrumentos de precisão
Iluminação para tarefas visuais precisas	>2000	Trabalho de grande precisão

3.2.2 Diretivas e normas que regem o sistema luminotécnico

Existem um conjunto de norma/diretivas/leis que regem o sistema luminotécnico, que tratam matérias diversas, como os materiais empregues na construção ou a definição dos critérios mínimos que levam a uma melhoria da iluminação do espaço.

Devido à baixa eficácia luminosa apresentada pelas lâmpadas de incandescência e de halogéneo, a UE publicou uma Diretiva (Diretiva 2005/32/CE) e um Regulamento (2009/244/CE) para a eliminação progressiva de ambos os tipos de lâmpadas.

3.2.2.1 Diretiva RoHS

As medidas previstas nesta diretiva, também conhecida como Diretiva 2002/95/CE, visam estabelecer restrições à utilização de substâncias perigosas na construção de aparelhos elétricos e eletrónicos. Estas medidas terão um impacto significativo nas quantidades de substâncias perigosas emitidas para o meio ambiente. [RoHS, 2005].

3.2.2.2 Directiva EuP 2005/32/EC I

O regulamento (CE) N° 245/2009 que dá execução à diretiva supracitada define requisitos de conceção ecológica para a colocação no mercado de lâmpadas fluorescentes sem balastro integrado, de lâmpadas de descarga de alta intensidade e de balastos e luminárias que podem

funcionar com essas lâmpadas. Prevendo ainda parâmetros de referência indicativos para os produtos destinados a utilização na iluminação de escritórios e na iluminação da via pública.

3.2.2.3 Decreto-Lei nº327/2001

Estabelece as disposições aplicáveis à eficiência energética dos balastros de fontes de iluminação fluorescente.

Considerando que os balastros de fontes de iluminação fluorescente são responsáveis por uma parte significativa do consumo de eletricidade e que os diferentes modelos disponíveis no mercado apresentam eficiências energéticas diferentes, importa estabelecer requisitos de eficiência energética, criando novos mecanismos para potenciar políticas de eficiência.

3.2.2.4 Norma EN12464-1

Na norma EN 12464-1 de iluminação de interiores são descritos os valores mínimos de iluminação para cada tarefa. Trata igualmente o índice de restituição cromática mínima das lâmpadas que se podem instalar e o índice máximo de encadeamento permitido das mesmas. De uma forma resumida esta norma define critérios de base que conduzem a uma melhor iluminação do espaço, associada a um menor consumo energético.

3.2.2.5 Norma NP EN 60529 e EN 50102

Os equipamentos elétricos devem ser selecionados e instalados em função das influências externas a que possam ficar submetidos. Assim, as características dos equipamentos são fixadas por um código IP e por um código IK ou pela conformidade com os ensaios.

O código IP é definido por dois dígitos: o primeiro indica o grau de proteção contra a penetração de corpos sólidos e o segundo indica o grau de proteção contra a penetração de líquidos. O código IK é definido por um dígito indicando o grau de proteção contra ações mecânicas (impactos).



Figura 3-5: Armadura WT360C com índice IP/IK [Philips,2012]

3.2.2.6 Norma UNE 50285:1999

O cálculo para classificação energética das lâmpadas realiza-se em função da potência e do fluxo luminoso da lâmpada. A informação do consumo energético é apresentada na etiqueta

energética, que mostra uma classificação de sete categorias de eficiência energética. As categorias são identificadas por A,B,C,D,E,F e G, onde A é a mais eficaz e G a menos eficaz.

3.2.3 Caracterização das lâmpadas

Existem vários tipos de lâmpadas em função do seu princípio de funcionamento, dividindo-se nas seguintes categorias:

- 1) Incandescência
 - a) Halogéneas
 - b) Incandescentes
- 2) Descarga
 - a) Baixa pressão
 - b) Alta pressão
- 3) LED

Dada a limitação do espaço, em seguida é dado especial ênfase às que serão utilizadas no caso de estudo, apresentado no capítulo 6.

3.2.3.1 Lâmpada fluorescente

As lâmpadas de descarga podem ser divididas em função da pressão do gás por dois grupos: descarga a baixa pressão (até 1 bar) e a alta pressão (acima de 1 bar) [Silva, 2011]. Assim, a lâmpada fluorescente é uma lâmpada de descarga de gás de mercúrio de baixa pressão, em que a superfície interior do tubo de descarga está revestida com uma mistura de compostos fluorescentes, que convertem a radiação UV emitida pela descarga de mercúrio em radiação visível.

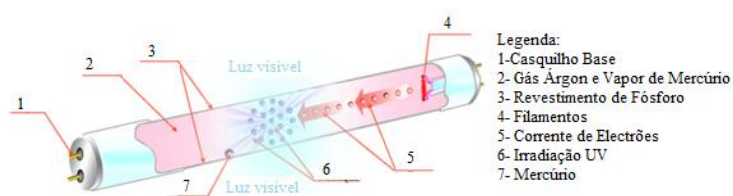


Figura 3-6: Lâmpada fluorescente [Timotius, 2012]

As lâmpadas fluorescentes tubulares apresentam-se no mercado com a nomenclatura T12, T10, T8 e T5, podendo a tecnologia T5 ser dividida em T5 de alta eficácia e T5 de alto fluxo. A tecnologia T5 apresenta-se como uma evolução relativamente à tecnologia T8 e uma das modificações apresentadas prende-se com a temperatura em que é atingida a máxima

iluminação, sendo que nas T5 acontece por volta dos 35°C, enquanto que nas T8 ronda os 25°C. Os refletores desempenham um papel fundamental, sendo que o facto da lâmpada T5 apresentar diâmetro inferior, existe um melhor aproveitamento do fluxo luminoso.

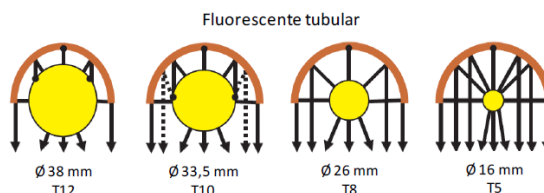


Figura 3-7: Representação do aumento de eficiência com a redução de diâmetro [Philips, 2012]

3.2.3.2 Lâmpada de alta pressão de mercúrio

Esta lâmpada contém vapor de mercúrio confinado num tubo de descarga de quartzo, que opera a uma pressão entre 2 e 15 bar, em que a pressão do processo de descarga emite uma larga proporção da sua energia na parte visível do espectro. O tubo de descarga, que emite uma luz branca azulada, é acomodado dentro de outro tubo de vidro [Teixeira,2006].

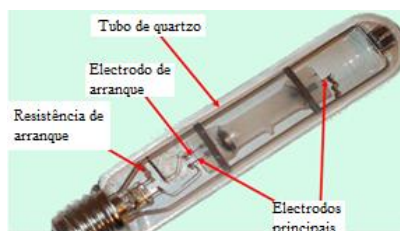


Figura 3-8: Lâmpada alta pressão de mercúrio [Timotius, 2012]

3.2.3.3 Lâmpada de sódio alta pressão

No que diz respeito ao nível construtivo e princípio de funcionamento esta lâmpada é semelhante à de mercúrio a alta pressão. O aumento da pressão produz um espectro mais contínuo e extenso. A eficácia luminosa não é tão elevada como a de sódio de baixa pressão, no entanto é superior comparativamente às restantes lâmpadas de descarga.

Estas lâmpadas têm um tubo de descarga de óxido de alumínio sinterizado, encapsulado por um bulbo oval de vidro. O tubo de descarga é preenchido por uma amálgama de sódio-mercúrio, além de uma mistura gasosa de neónio e argónio, utilizada para o arranque da lâmpada. A luz produzida por esta lâmpada é uma luz monocromática amarela [Luz, 2012].

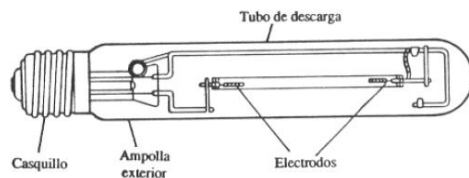


Figura 3-9: Lâmpada sódio alta pressão [Teixeira, 2006]

3.2.3.4 Lâmpada de iodetos metálicos

Esta lâmpada foi desenvolvida a partir da lâmpada de alta pressão de mercúrio, adicionando outros metais na forma de sal de iodetos à descarga. A sua característica essencial reside na emissão de radiação eletromagnética fortemente centrada no campo da luz visível, assim o resultado é uma melhoria na eficácia e qualidade da cor.

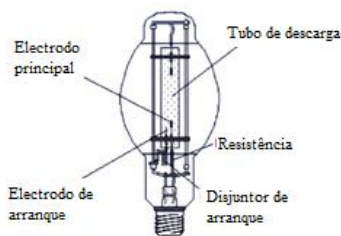


Figura 3-10: Lâmpada vapor metálico [Iwashita, 2008]

3.2.4 Caracterização dos balastos

As lâmpadas de descarga têm a particularidade de necessitarem de um equipamento auxiliar, visto que é fundamental existir um fluxo de eletrões suficiente no tubo de descarga para que o gás seja ionizado. Como o gás não está ionizado antes do seu acendimento é preciso um equipamento que disponibilize eletrões para esse efeito, designado de arrancador (ou starter) para lâmpadas de descarga a baixa pressão e de ignitor para alta pressão. No entanto é também necessário um equipamento auxiliar designado de balastro por forma a evitar a destruição da lâmpada devido ao aumento contínuo de fluxo de eletrões. Os balastos podem dividir-se em balastro eletromagnético e balastro eletrónico.

A função do balastro é limitar a corrente de funcionamento, produzir a tensão de arranque, podendo compensar variações da tensão de alimentação e pré-aquecer os elétrodos de modo a facilitar a emissão de eletrões para iniciar a descarga.

3.2.4.1 Balastro eletromagnético

O balastro eletromagnético consiste essencialmente numa bobina com núcleo de ferro, ligada em série com a alimentação da lâmpada, o qual tem por finalidade provocar um aumento da tensão durante a ignição e uma redução na intensidade da corrente durante o funcionamento

da lâmpada. O fator de potência associado ao mesmo que se caracteriza por ser relativamente baixo advém da presença das bobinas. Assim em instalações onde o número de lâmpadas fluorescentes é elevado e é utilizado balastro eletromagnético, o baixo fator de potência deve ser compensado recorrendo a equipamentos auxiliares, como bateria de condensadores para compensação da energia reativa alvo de faturação.

No âmbito do protocolo de Quioto, foi criada a Diretiva Europeia 2005/55/CE classificando os balastos em função do seu IEE (índice de eficiência energética) e proibindo a comercialização de balastos das classes C e D. Os balastos eletromagnéticos são classificados nas seguintes classes [Teixeira, 2006; Lourenço, 2010].

- B1 – Muito baixa perdas
- B2 – Perdas reduzidas
- C – Standard
- D – Altas perdas

Quadro 3-6: potência máxima absorvida pelo conjunto

(lâmpada +balastro) para cada uma das classes de balastos [Teixeira, 2006]

Tipo de lâmpada	Potência lâmpada (W)	B1	B2	C	D
Fluorescentes tubulares (casquilho G13)	18	≤ 24W	≤ 26W	≤ 28W	> 28W
	36	≤ 41W	≤ 43W	≤ 45W	> 45W
	58	≤ 64W	≤ 67W	≤ 70W	> 70W

3.2.4.2 Balastro eletrónico

Um balastro eletrónico é constituído por condensadores e bobinas para alta frequência, resistências, circuitos integrados e outros componentes eletrónicos. Podem ser classificados nas seguintes classes [CE N°245/2009]:

- I. A1 (balastos eletrónicos com regulação);
- II. A2 (balastos eletrónicos com baixas perdas);
- III. A3 (balastos eletrónicos standard).

O facto do balastro eletrónico converter a frequência standard de 50 Hz em alta frequência leva a que a lâmpada produza a mesma quantidade de luz mas com um consumo inferior, isto quando comparado com o consumo da lâmpada com balastro eletromagnético. Esta redução de consumo é possível uma vez que a alta frequência a lâmpada pode funcionar a uma potência mais baixa com a mesma emissão de fluxo, conforme ilustra a Figura 3-11.

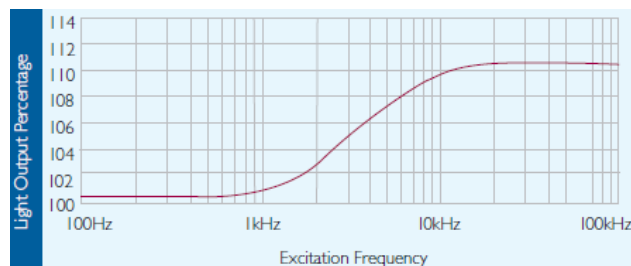


Figura 3-11: Relação entre fluxo emitido e frequência de excitação [Philips, 2012]

Contudo, a poupança proveniente da utilização deste balastro não afeta apenas a redução dos custos de eletricidade, ajuda a reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Também poderá ser possível, ainda que numa escala muito reduzida e dependente da quantidade de luminárias, equacionar a redução a nível de custos de climatização uma vez que o calor emitido pelo mesmo é menor quando comparado com o eletromagnético.

As vantagens da sua utilização, relativamente ao balastro eletromagnético são [Sá, 2010; Louçano, 2009] :

- ✓ Maior eficiência;
- ✓ Eliminação do ruído audível: Os balastros eletrónicos operam acima da gama audível de frequências, pelo que o problema do ruído é eliminado. O ruído proveniente dos balastros convencionais é provocado pelas vibrações mecânicas das chapas laminadas do seu núcleo, vibrações estas que se propagam à armadura e à superfície na qual está fixada, ampliando ainda mais o ruído;
- ✓ Maior tempo de vida útil das lâmpadas: visto que passa a existir um pré- aquecimento dos elétrodos antes de aplicar um impulso controlado de tensão, diminuído o desgaste do material emissor de eletrões;
- ✓ Não necessitam de arrancadores;
- ✓ Redução do efeito de flicker: à frequência de 50 Hz a luz extingue-se duas vezes por ciclo na passagem da corrente por zero, provocando o efeito de flicker, o qual provoca cansaço visual, assim como o efeito estroboscópico. Com o funcionamento da lâmpada a alta frequência a emissão de luz é “contínua”, reduzindo substancialmente este efeito;
- ✓ Alto fator de potência.

A aquisição do balastro eletrónico em detrimento do balastro eletromagnético possui alguns inconvenientes, nomeadamente o facto de este possuir um custo e uma taxa de distorção harmónica (THD) superior.

A análise à THD encontra-se realizada no âmbito da qualidade de energia no capítulo 4.

3.2.5 Disposição da iluminação

A disposição das luminárias a serem utilizadas num local de trabalho é determinada pela tarefa a ser executada. A sua disposição pode dividir-se em três tipos:

- I. Iluminação generalizada, em que existe uma distribuição aproximadamente regular das luminárias pelo teto, devendo a iluminação média estar de acordo com a norma EN-12464-1, em função da tarefa a executar;
- II. Iluminação localizada, em que existe maior concentração de luminárias em locais de principal interesse;
- III. Iluminação de tarefa onde as luminárias são colocadas perto da tarefa visual e do plano de trabalho iluminando uma área reduzida.

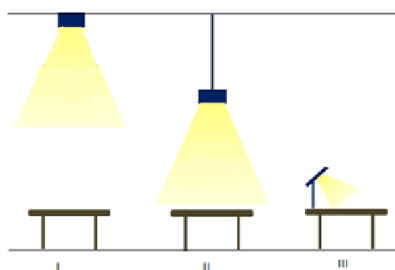


Figura 3-12: Representação dos vários tipos de iluminação I generalizada, II- localizada, III de tarefa [silva, 2011]

3.2.6 Iluminação Natural

A iluminação natural deve ser avaliada na fase de conceção inicial do projeto de engenharia civil, onde devem ser observadas boas regras de construção de modo a propiciar uma adequada iluminação natural. Desta forma, o consumo de energia (através da iluminação artificial) estaria subjacente a períodos em que a iluminação natural não correspondesse aos índices de iluminação adequados associados às diferentes tarefas [Louçano, 2009; Pais, 2011].

Existem no mercado tecnologias como o solartube, que permitem que um determinado espaço de exploração interior seja iluminado (desde espaços familiares a industriais), sem custos energéticos. Não obstante a notável vantagem ambiental, tem como principal desvantagem o elevado custo da tecnologia.

3.2.6.1 Solartube

O solartube tem como base um conceito simples, ilustrado na Figura 3-13.

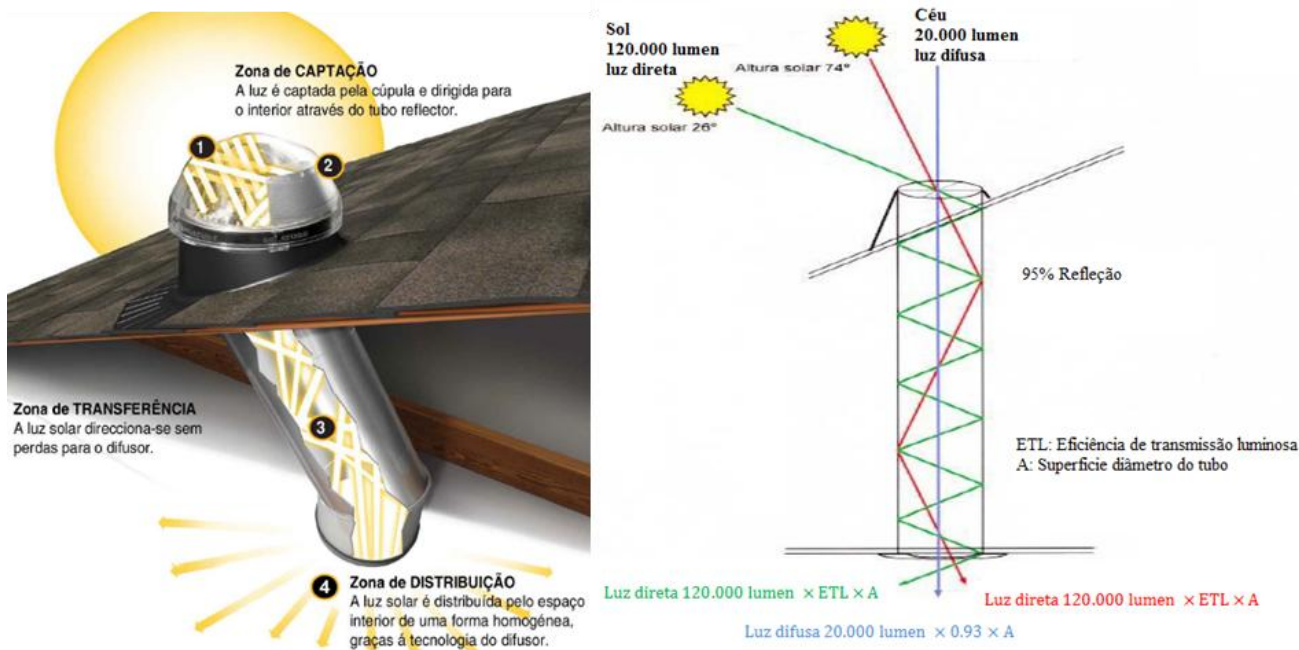


Figura 3-13: Conceito associado ao solartube [Solatube, 2012]

Através de prismas e espelhos refletores especiais dispostos ao longo de uma conduta hermética, a luz solar é transferida para o interior de qualquer edifício. O sistema é encimado por uma cúpula transparente, montada no telhado, que recebe a luz do Sol e caracteriza-se por ter uma forte resistência ao choque, bem como repelir poeiras e partículas através de uma carga electrostática.

Ao longo do dia, o espelho parabólico e o padrão de prismas na base da cúpula redirecionam automaticamente a luz solar, otimizando a sua captação de acordo com a posição do Sol. À medida que o Sol se aproxima do horizonte, o interior do tubo ajuda a manter o máximo de luminosidade, propagando uma luz branca e uniforme. Devido às características de construção, os fabricantes garantem que não existe formação de humidade [Polirigido, 2012; Solatube, 2012].



Figura 3-14: Espaço com tecnologia solartube [Aecweb, 2012]

3.3 Compressor de ar comprimido

Uma central de ar comprimido, quando necessário numa unidade industrial, é um dos principais consumidores de energia elétrica numa unidade fabril, tornando-se importante a

otimização da sua exploração. A diminuição dos custos energéticos associados à central de ar comprimido reflete-se diretamente na diminuição do custo de produção fabril aumentando a competitividade das empresas no mercado.

3.3.1 Ar e Ar comprimido

O ar comprimido é o ar atmosférico condensado, que possui energia armazenada em pressão. Durante a compressão é produzido calor e quando o ar comprimido expande, ocorre um arrefecimento. O ar possui humidade que pode condensar ao longo da linha pneumática. A condensação na linha irá depender das condições de pressão e temperatura da linha, devendo ser retirada por forma a evitar a corrosão das tubulações. O ar apresenta também uma baixa viscosidade. Entende-se por viscosidade a facilidade com que um fluido escorre, sendo que um fluido com baixa viscosidade implica que ele pode escoar por pequenos orifícios e portanto a possibilidade de ocorrer vazamentos é muito elevada [Silva, 2002].

3.3.2 Produção, Preparação e Distribuição de Ar Comprimido

Nesta secção serão apresentados os processos e equipamentos associados ao ar comprimido, sendo realizada a descrição dos mesmos. Serão também apresentados os vários tipos de compressores, no entanto apenas será dada maior relevância ao compressor presente na unidade fabril.

3.3.2.1 Sistema de Produção e Preparação do Ar Comprimido

O ar comprimido passa por um conjunto de etapas desde a sua produção e tratamento até à sua distribuição. Para atender às exigências de qualidade, o ar após ser comprimido sofre um tratamento que envolve:

- Filtragem;
- Arrefecimento;
- Secagem;
- Separação de impurezas sólidas e líquidas.

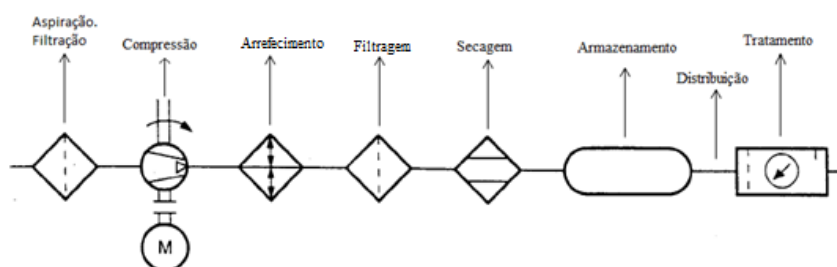


Figura 3-15: Esquema representativo da produção, tratamento e distribuição do ar comprimido [Justus, 2010]

Numa primeira etapa o ar é aspirado pelo compressor, sendo este responsável por comprimir o ar. A filtragem realizada à entrada tem como função reter partículas sólidas do ar do meio ambiente. Ao ser comprimido, o ar aquece aumentando a temperatura, sendo por isso necessário arrefece-lo. Após o arrefecimento o ar passa por um processo de secagem com vista a remover a humidade presente no ar, além disso sofre nova filtragem. O ar é depois armazenado num reservatório, cuja função é garantir uma reserva de ar de maneira a assegurar uma pressão na linha constante, evitando que o compressor tenha que ser ligado e desligado várias vezes. A partir do reservatório, o ar é distribuído na fábrica existindo unidades de tratamento de ar que irão ajustar as características do ar comprimido de acordo com as necessidades específicas processo.

3.3.3 Compressores

O compressor caracteriza-se como uma máquina que transforma energia mecânica (ou elétrica) em energia pneumática (ar comprimido), através da compressão do ar atmosférico. A classificação dos compressores existentes encontra-se representada na Figura 3-16.

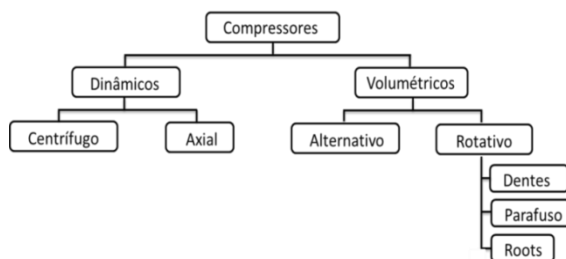


Figura 3-16: Classificação dos compressores [Sá, 2010]

O princípio de funcionamento dos compressores volumétricos baseia-se fundamentalmente na redução de volume. O ar é admitido para uma câmara isolada do meio exterior, onde seu volume é gradualmente diminuído, processando-se a compressão. Já no compressor dinâmico a compressão dá-se pela ação de um rotor ou outros meios que aceleram o ar, aumentando a sua pressão total através da massa do ar. Devido à aceleração do ar, são atingidas velocidades elevadas e quando este ar é retardado por difusores ocorre uma elevação de pressão [Maxwell, 2012].

A Figura 3-17 indica a região de atuação de cada compressor, relacionando a pressão em função do caudal de operação. Referir que o compressor de fuso rosqueado e o compressor rotativo são compressores volumétricos, e os restantes, compressores dinâmicos.

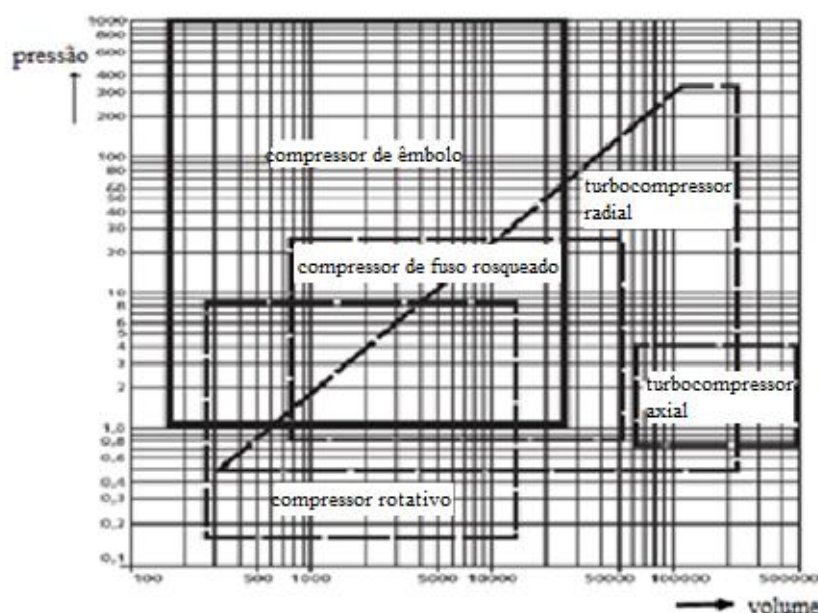


Figura 3-17: Região de atuação de cada compressor (pressão vs volume) [Silva, 2002]

De uma forma geral, é possível constatar que os compressores volumétricos se encontram mais adequados para pressões elevadas e pequenos volumes. Já os compressores de deslocamentos dinâmicos são mais adequados para menores pressões e volumes elevados. Para ferramentas pneumáticas de uso profissional e industrial, a faixa de pressão mais comum é a faixa até 10 bar, sendo os compressores de pistão e/ou compressores de parafuso os mais usados na área de aplicação profissional e industrial.

3.3.3.1 Caracterização do compressor de parafuso

Como já foi apresentado na secção anterior, são vários os tipos de compressores conhecidos. No entanto, apenas será feita a descrição do compressor presente na unidade fabril, o compressor rotativo de parafuso.

O princípio de funcionamento deste tipo de compressores consiste em três processos nomeadamente: i) Aspiração, ii) Compressão e iii) Emissão.

A Figura 3-18 ilustra os processos referidos, estando (1) associado à compressão, (2) e (3) associado à compressão e (4) à emissão.

A aspiração consiste na entrada do ar pela abertura nos passos de roscas dos rotores abertos do lado de aspiração. Através da rotação contínua dos rotores, a entrada de ar fecha-se. O ar envolvente é conduzido ao longo de um espaço que diminui progressivamente, fazendo com a pressão aumente. Quando a pressão final é atingida o ar é descarregado para a rede.

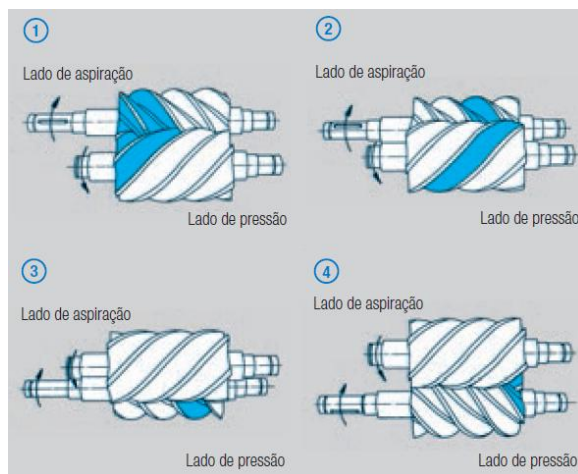


Figura 3-18: Processos envolvidos na admissão de ar para o compressor de parafuso

A maioria dos compressores utiliza motores assíncronos. No controlo carga/vazio, quando a pressão máxima é atingida, o compressor entra em repouso; ou seja, abre uma válvula interna, não realizando a compressão do ar. Porém, o motor continua em funcionamento por algum tempo, consumindo entre 15 a 35% da energia necessária para operar o compressor a plena carga [Procel, 2012], conforme ilustra a Figura 3-19.

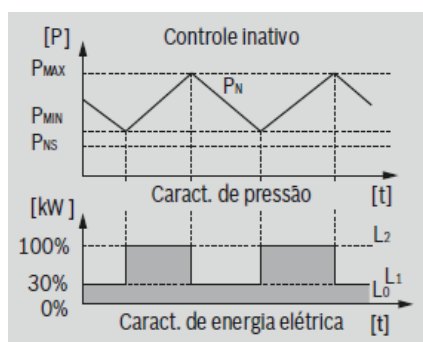


Figura 3-19: Controlo inativo [Bosch, 2012]

Com a introdução de compressor VSD (Variable Speed Drive) é possível eliminar o consumo em vazio. Na análise da Figura 3-20, verifica-se que com a instalação de um variador eletrónico de velocidade, é possível reduzir substancialmente a potência absorvida para pressões inferiores à pressão nominal.

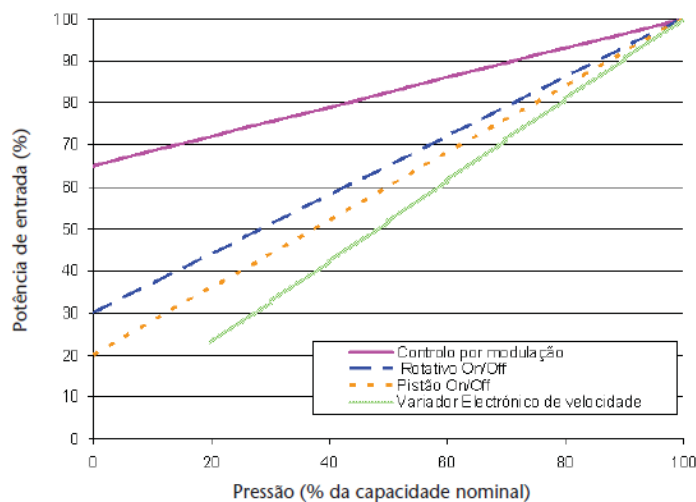


Figura 3-20: Representação da relação entre a potência de entrada e pressão [Álvares et al., 2005]

3.3.4 Secagem do ar comprimido

O ar atmosférico contém uma certa quantidade de vapor de água que varia dependendo do tempo e do lugar (humidade atmosférica), podendo condensar ao longo da linha de distribuição dependendo da pressão e temperatura. Assim, são utilizados secadores de ar para minimizar os riscos de corrosão no interior das tubagens de ar comprimido, bem como assegurar condições ótimas de funcionamento das diferentes ferramentas pneumáticas associadas à linha de ar comprimido.

O ar comprimido pode ser secado através três métodos diferentes, sendo estes:

- Condensação: Secagem do ar pela separação da água com temperatura mais baixa que a do ponto de vapor;
- Difusão: Secagem do ar pela transferência de moléculas;
- Absorção: Secagem do ar através de desumidificação.

3.3.5 Distribuição e tratamento do ar comprimido

Os locais onde se encontram as tubulações pneumáticas deverão ser locais adequados para manutenções periódicas, com intuito de detetar possíveis fugas de ar. Referir que pequenos vazamentos são causas de consideráveis perdas de pressão.

Existem três tipos de redes de distribuição de ar comprimido principais:

- Rede em circuito aberto;
- Rede em circuito fechado;

- Rede combinada;

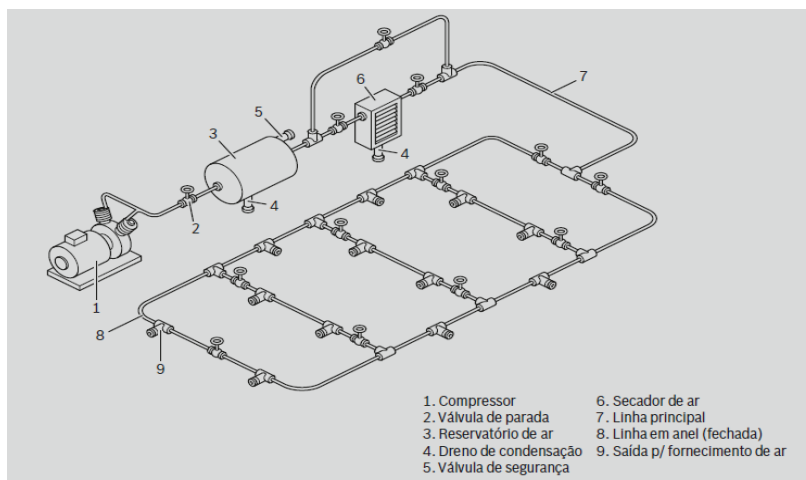


Figura 3-21: Exemplo de um sistema de distribuição em forma de anel (sistema fechado) [Bosch, 2012]

Um sistema centralizado de fornecimento de ar comprimido requer uma rede que alimente individualmente os equipamentos com ar comprimido necessário. Assim, antes de entrar em cada máquina pneumática, o ar passa por uma unidade de tratamento com a finalidade de ajustar as características do ar de forma específica para cada máquina. Esta unidade é composta por um filtro, uma válvula reguladora de pressão e um lubrificador [Silva, 2002].

3.4 Motor alto rendimento

Nesta secção será abordada a norma europeia MEPS, bem como algumas das características dos motores de alto rendimento. Serão ainda referenciadas vantagens e desvantagens face aos motores standards (IE1).

3.4.1 Norma EU MEPS

Os requisitos, que estão definidos na norma da Comissão EC 640/2009, entraram em vigor em 16 de Junho de 2011. A norma EU MEPS refere-se à maioria dos motores de dois, quatro e seis pólos na gama de potências entre 0.75 e 375 kW, para corrente alternada (50 ou 60 Hz). Todos os motores comercializados depois de 16 Junho de 2011 deverão ter, como mínimo, uma eficiência de nível 2 (IE2). A segunda etapa da norma EU MEPS entrará em vigor em Janeiro de 2015. A partir desta data todos os motores com potência superior a 7.5kW terão de ter uma eficiência de nível IE3, ou IE2 no caso de estarem equipados com variador de frequência. O motor de eficiência de classe IE2 corresponde ao motor de alto rendimento, cujas características face ao motor de standard encontram-se representadas na Figura 3-23. O motor de classe IE3 corresponde aos motores de alto rendimento melhorado, cuja divulgação ainda não é muito difundida.

3.4.2 Caracterização dos motores de alto rendimento

Os motores de alto rendimento apresentam um rendimento e um fator de potência superiores ao motor standard. O aumento de eficiência, que ronda os 1 e 8% de acordo com a potência do motor, está associado à redução de perdas, proporcionada à custa de algumas alterações ao nível de materiais de construção, alteração de características dimensionais, entre outros. O facto de possuírem menores perdas permite um funcionamento a uma temperatura mais baixa, o que conduz a uma vida útil mais longa. Existem no entanto alguns aspetos menos positivos no funcionamento de um motor de alto rendimento, que são causados pela menor resistência do rotor. Assim, à medida que a resistência do rotor diminui, verifica-se [Gaspar, 2004]:

- Diminuição do binário de arranque: pode trazer problemas em cargas com elevada inércia, especialmente em situações em que se verifiquem flutuações de tensão apreciáveis, uma vez que o binário de arranque decresce rapidamente com a diminuição de tensão;
- Aumento da corrente de arranque: pode ter implicações no cabo de alimentação e acionamento do motor que poderão não suportar a nova corrente;
- Diminuição do escorregamento, que se traduz num pequeno aumento da velocidade do motor.

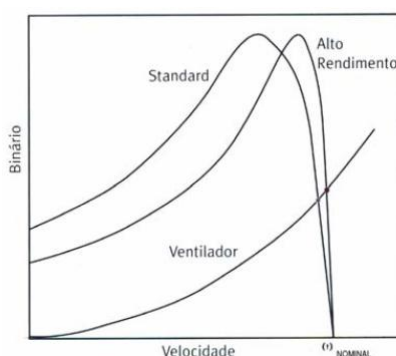


Figura 3-22: Relação entre binário e velocidade para motor standard e alto rendimento [Álvares et al., 2005]

A diminuição do escorregamento faz com que, em aplicações tais como bombas e ventiladores, a carga e consequentemente o consumo aumente, anulando uma parte substancial da economia obtida com a introdução do motor de alto rendimento. Existe no entanto a possibilidade de evitar este aumento de carga através de ajustamentos na transmissão, na bomba ou sobretudo utilizando o controlo eletrónico de velocidade. Um dos principais inconvenientes prende-se com o aumento do investimento inicial relativamente ao motor standard, que assume valores típicos entre 25 e 30% [CCE, s.d.].

A Figura 3-23 ilustra a relação existente entre o rendimento e fator de potência para as diversas potências de um motor eléctrico.

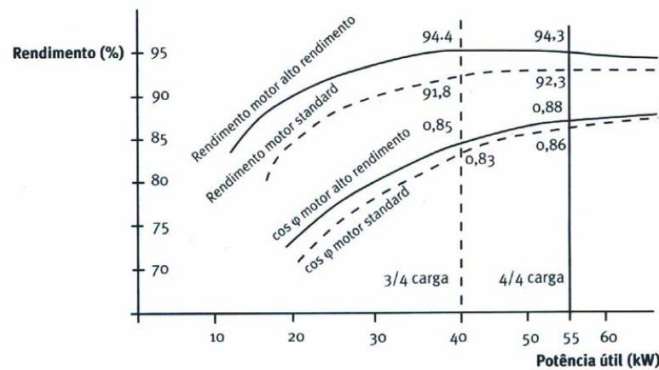


Figura 3-23: Relação de potência e fator de potência para motor standard e alto rendimento [CCE, s.d.]

Do ponto de vista económico a implementação deste tipo de motores deverá acontecer [CCE, s.d.; Magueijo et al., 2010]:

- Instalação de novo equipamento, nesta situação e caso o tempo de funcionamento seja superior 2000h/ano o retorno do investimento é sensivelmente inferior a 3 anos.
- Avaria do motor existente, deverá ser ponderada a substituição por motor de alto rendimento em detrimento de um motor standard com as mesmas condições anteriores em que o ciclo de trabalho seja no mínimo superior a 2000h/ano pois nessa situação o período de retorno é mais atrativo. Em situações em que a potência do motor é inferior a 5kW, o custo para reparação é inferior em cerca de 30 a 50% do preço de um motor de alto rendimento, fazendo com que o retorno de investimento seja superior aos restantes casos já referidos.
- Motor demasiado sobredimensionado, e com elevado período de laboração.

Estas situações estão identificadas onde o retorno do investimento acontece mais rapidamente, sendo que nas restantes situações para ciclos de trabalhos inferiores a 2000h/ano ou substituição direta em que o motor atual se encontra em boas condições o retorno do investimento poderá não ser tão interessante.

3.5 Bateria de condensadores

Nos sistemas de corrente alternada, os fluxos de potência ativa vêm, regra geral, acompanhados de potência reativa. O trânsito de potência reativa possui inconvenientes, tal como a elevação da intensidade de corrente nos elementos do sistema, como geradores, linhas e transformadores, de onde resulta uma redução da capacidade útil dos mesmos. Também dá origem a variações de tensão, pelo que o operador do sistema procura minimizar estes trânsitos de potência.

Nas redes de distribuição, a preocupação central passa pela limitação da potência reativa absorvida pelos clientes, por forma a minimizar as perdas e a redução de capacidade das linhas, transformadores e outros equipamentos. Esta limitação é possível através da faturação de energia reativa, surgindo como um incentivo para os consumidores finais em instalar equipamentos de compensação de fator de potência (tais como bateria de condensadores).

O princípio da compensação consiste em compensar parte da potência reativa necessária ao funcionamento da carga, deixando esta de ser fornecida pelo distribuidor passando a ser fornecida pela unidade de compensação, neste caso bateria de condensadores.

Uma bateria de condensadores, com uma determinada capacidade C , ligada a um barramento com tensão V , gera uma potência reativa dada por (3-4):

$$Q_c = \omega CV^2 \quad (3-4)$$

A compensação de energia reativa pode ser classificada consoante a sua localização na unidade consumidora: I) Compensação Global ou Central, II) Compensação Parcial, Sectorial ou por Grupos, III) Compensação Local, Individual ou Independente e IV) Compensação mista (Figura 3-24).

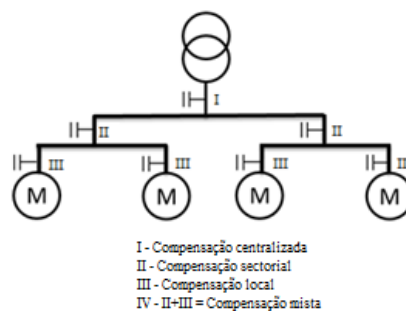


Figura 3-24: Esquema representativo dos modos de compensação

Os equipamentos de compensação do fator de potência podem ser divididos:

- 1) Baterias de condensadores de capacidade fixa;
 - a) A denominação “compensação não automática” advém do facto de quando a bateria se encontra em funcionamento, é inserida a totalidade da potência, não existindo possibilidade de regulação da mesma. A escolha deste tipo de condensadores de capacidade fixa pode ser mais económica em situações onde a potência de compensação necessária é inferior a 15% da potência do transformador do posto de transformação [Neves,2006], e quando não existe grande variação do consumo de reativa na instalação;
- 2) Baterias de condensadores de regulação automática;

- a) Permitem a adaptação automática da potência reativa fornecida pelo conjunto, a um perfil de fator de potência desejado. As baterias de condensadores encontram-se agrupadas por escalões controláveis individualmente, sendo ligados e desligados automaticamente, em função dos valores da carga da instalação e do fator de potência, por intermédio de um relé varimétrico, sensível às variações de energia reativa.

No caso da Cerutil, existe uma bateria de condensadores de 475 kVAr cujo esquema é representado na Figura 3-25.

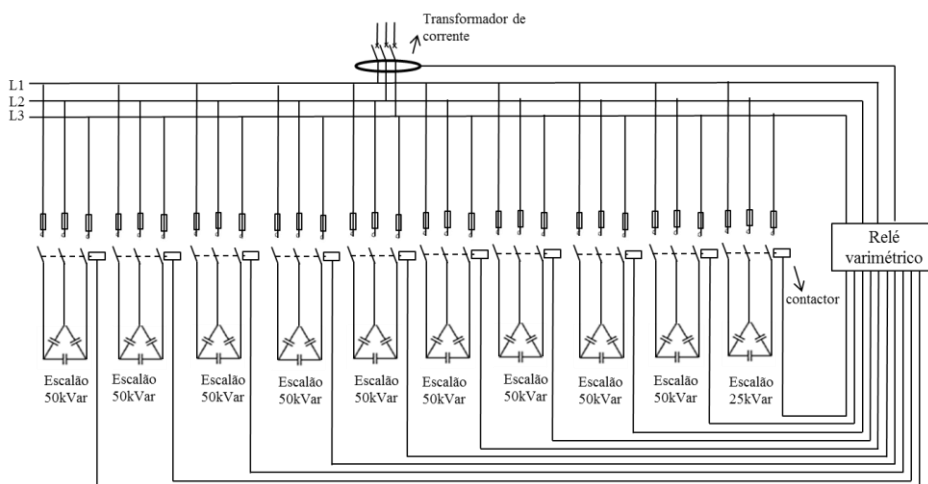


Figura 3-25: Esquema de Baterias de condensadores de regulação automática

3.5.1 Faturação de energia reativa

As regras de faturação de energia reativa, relativas ao uso da rede de distribuição, constam do RRC e de Despachos da ERSE 7253/2010 de 19 de Abril e 12605/2010 de 29 de Julho. Nos clientes ligados às redes de distribuição de AT e de MT, bem como os ligados às redes de distribuição de BT e classificados como BTE, (acima de 41,4 kW), a faturação da energia reativa indutiva é feita nos períodos fora de vazio quando se excede os limites dos escalões estabelecidos no Quadro 3-7. Nas horas de vazio não há restrições ao consumo de potência reativa. Pelo contrário, existem penalizações pela injeção de potência reativa na rede pelos clientes equipados com meios de compensação.

Quadro 3-7: Escalões para faturação de reativa

Escalão	$\tan(\alpha)$	$\cos(\alpha)$	Fator multiplicativo
1	$\geq 0,3$ e $< 0,4$	$> 0,93$ e $\leq 0,96$	0,33
2	$\geq 0,4$ e $< 0,5$	$> 0,89$ e $\leq 0,93$	1
3	$\geq 0,5$	$\leq 0,89$	3

Para um determinado consumo de energia ativa (associado ao consumo em período de ponta e cheia) existe uma energia reativa não faturada. Esta energia é dada por:

$$E_{Q(A)} = E_a \times \tan[\cos^{-1}(0.96)] \quad 3-5$$

O princípio de cálculo associado ao consumo de reativa para os demais escalões é semelhante ao da equação 1.6. Assim, as equações 1.7, e 1.8 retratam o escalão 2 e 3, respetivamente (de acordo com a tabela 1, referida no sector 3).

$$E_{Q(B)} = E_a \times \tan[\cos^{-1}(0.93)] \quad 3-6$$

$$E_{Q(C)} = E_a \times \tan[\cos^{-1}(0.89)] \quad 3-7$$

Numa situação onde o fator de potência é inferior a 0.89, teremos:

$$E_{Q(D)} = E_a \times \tan[\cos^{-1}(< 0.89)] \quad 3-8$$

No Quadro 3-8 encontra-se evidenciado o cálculo da reativa para os diferentes escalões, assim como o preço a pagar por essa energia [ERSE, 2012].

Quadro 3-8: Faturação de reativa

Escalão	Reativa facturada	Preço (ERSE)	Custo (€)
1	$E_1 = E_{Q(B)} - E_{Q(A)}$	0,007458	$E_1 \times 0,007458$
2	$E_2 = E_{Q(C)} - E_{Q(B)}$	0,0226	$E_2 \times 0,0226$
3	$E_3 = E_{Q(D)} - E_{Q(C)}$	0,0678	$E_3 \times 0,0678$

3.6 Conclusão

Neste capítulo e relativamente aos temas a estudar para melhoria da eficiência energética (capítulo 6) enunciam-se as tecnologias existentes capazes de cumprir esse objetivo. Foi assim dada especial relevância aos sistemas de iluminação, sistemas de ar comprimido, motores de alto rendimento e bateria de condensadores.

4 Qualidade de energia – análise do caso da Cerutil

4.1 Introdução

Além das questões associadas à eficiência energética um outro aspeto identificado a ser alvo de estudo na Cerutil foi a qualidade global da energia elétrica. A qualidade de energia elétrica (Q.E.E) não é um item que se possa considerar dissociado da eficiência energética. Com efeito, por exemplo, a existência de cargas não lineares leva à existência de harmónicos nos condutores eléctricos aumentando da intensidade da corrente eficaz e portanto das perdas. Os equipamentos a analisar para a melhoria da eficiência são na maior parte dos casos, cargas não lineares podendo apresentar por exemplo, consequências ao nível das intensidades de corrente a circular no condutor de neutro. Assim, neste capítulo são abordados os principais problemas referentes à qualidade da energia elétrica entregue ao consumidor final e em simultâneo analisada globalmente a Q.E.E. da Cerutil.

4.2 Normas

Organizações como a CEI e o IEEE foram responsáveis pela implementação de normas (como IEEE 519, IEC 61000 e EN 50160) por forma a controlar os problemas adjacentes da qualidade de energia, existindo para o efeito normalização para fornecedores, consumidor final (clientes) e fabricantes [Martins et al., 2003].

Em seguida são referidas sucintamente algumas das normas relacionadas com a qualidade de energia.

4.2.1 NP EN 50160

Esta norma descreve as características principais, no ponto de entrega ao cliente, da tensão de alimentação por uma rede de distribuição pública em BT e MT, em condições normais de exploração. Essas características são: frequência, amplitude, forma de onda, sequência de fases, sobretensões, harmônicas e inter-harmônicos de tensão. Os limites definidos para as perturbações encontram-se representados no Quadro 4-1.

Quadro 4-1: Limites para perturbações segundo a norma NP 50160 [RQS]

Perturbação	Frequência	Variação de tensão de alimentação	Flicker	Tensão harmónica	Cava
Limite inferior	49,5	207	-	-	1%
Limite superior	50,5	253	Plt<1	8%	90%
Intervalo de medição	1 Semana em intervalos de 10min				-
Período mínimo	95%	95%	95%	95%	10ms e 1min
Indicadores	Hz	V	Plt, Pst	THD _u	V

A perturbação de flicker, conhecida como flutuações da tensão, surge devido a variações intermitentes de certas cargas, causando flutuações nas tensões de alimentação. Os Conceitos e indicadores associados às perturbações na qualidade de onda – harmônicos, encontram-se descritos no anexo A.

O limite para THD_U não deve ultrapassar os 8%, respeitando os valores de referência representados no Quadro 4-2.

Quadro 4-2: Valores de referência para a rede distribuição em BT [Correia, 2007]

Harmônicos ímpares				Harmônicos pares	
Não múltiplos de 3		Múltiplos de 3			
Ordem n	Tensão relativa (%)	Ordem n	Tensão relativa (%)	Ordem n	Tensão relativa (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6 a 24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

Nota: Os valores correspondentes aos harmônicos de ordem superior a 25, por serem geralmente baixos e muito imprevisíveis (devido ao efeito de ressonância), não são indicados na tabela

4.2.2 Norma CEI/IEC 61000

A série 61000 de normas CEI (Comissão Eletrotécnica Internacional) diz respeito à compatibilidade eletromagnética. Este conjunto de normas divide-se em seis partes do seguinte modo [Oliveira et al. 2004]:

- Gerais – são feitas considerações gerais sobre a Qualidade da Energia;
- Ambiente Eletromagnético – definem-se as condições eletromagnéticas a que se devem encontrar instalados os equipamentos;
- Limites – definem-se os níveis de perturbação permitidos pelos equipamentos ligados à rede de energia elétrica;
- Ensaios e medidas – indicação de técnicas e métodos a utilizar de modo a assegurar a conformidade com as outras partes da norma;
- Linhas de orientação para instalações e mitigação de problemas – providenciando guias para aplicação em equipamentos (como filtros, descarregadores de sobretensão etc.) para resolver problemas de qualidade de energia;
- Normas gerais e de produto – sendo definidos os níveis de imunidade às perturbações eletromagnéticas que os equipamentos devem possuir.

A norma CEI 61000-2-2 define os níveis de compatibilidade para os harmónicos de tensão para redes de baixa-tensão, conforme se apresenta no Quadro 4-3.

Quadro 4-3: Níveis de compatibilidade para os harmónicos de tensão em redes públicas de BT [Martins et al., 2003]

Harmónicos ímpares				Harmónicos pares	
Não múltiplos de 3		Múltiplos de 3			
Ordem n	Tensão harm. (%)	Ordem n	Tensão harm. (%)	Ordem n	Tensão harm. (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,3	6,00	0,5
13	3	21	0,2	8	0,5
17	2	>21	0,2	10	0,5
19	1,5			12	0,2
23	1,5			>12	0,2
25	1,5				
>25	$0,2+0,5 \times 25/n$				

A CEI61000-2-4 estabelece também os níveis de compatibilidade para redes industriais, sendo definidas três classes com exigência de compatibilidade diferentes em função dos ambientes eletromagnéticos possíveis, como se pode verificar no Quadro 4-4.

Quadro 4-4: Níveis de compatibilidade para os harmónicos [Martins et al., 2003]

	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Distorção harmónica total	5%	8%	10%

Classe 1 - aplica-se a redes protegidas e tem níveis de compatibilidade mais baixos do que as redes públicas; Classe 2 - aplica-se aos pontos de acoplamento comum à rede pública e aos pontos de ligação interna nos ambientes industriais em geral e Classe 3 - aplica-se somente aos pontos de ligação interna dos ambientes industriais

As normas IEC 61000-3-2 e IEC 61000-3-4 especificam os limites máximos de componente harmónica da corrente de entradas que podem ser produzidas pelo equipamento testado sob condições específicas. Os equipamentos de classe A encontram-se associados a equipamentos com alimentação trifásica equilibrada, aparelhos de uso doméstico (excluindo os de classe D), ferramentas (exceto ferramenta portátil) e todos os equipamentos não incluídos nas classes seguintes. Inseridos na classe B encontram-se as ferramentas portáteis, e na classe C os dispositivos de iluminação. Finalmente, na classe D encontram-se os computadores pessoais, televisão, monitores e projetores de vídeo.

Quadro 4-5: Limites de emissão para equipamentos com consumos até 16 A/fase segundo norma IEC 61000-3-2 [Schaffner, 2006]

Limites para os harmónicos de Corrente				
Ordem do harmónico h	Classe A Máxima corrente [A]	Classe B Máxima corrente [A]	Classe C (>25W) % da fundamental	Classe D (>75W,600W) [mA/W]
Harmónicos ímpares				
3	2,3	3,45	30.FP	3,4
5	1,14	1,71	10	1,9
7	0,77	1,115	7	1
9	0,4	0,6	5	0,5
11	0,33	0,495	3	0,35
13	0,21	0,315	3	0,296
15 ≤ h ≤ 39	0,15=15/h	0,225=15/h	3	3,85/h
Harmónicos pares				
2	1,08	1,62	2	
4	0,43	0,645		
6	0,3	0,45		
8 ≤ h ≤ 40	0,23=8/h	0,35=8/h		

4.2.3 Norma ANSI/IEEE 519 – 1992

De acordo com esta norma, as empresas distribuidoras são responsáveis pela manutenção da qualidade da tensão em todos os seus sistemas. Os limites de distorção são dados em função dos diferentes níveis de tensão das redes elétricas, como se pode analisar no Quadro 4-6 [IEEE SM 519-1992].

Quadro 4-6: Limite máximo de distorção

Tensão nominal no PAC (U_n)	Distorção harmónica individual (%)	Distorção harmónica total (%)
$U_n \leq 69\text{kV}$	3	5
$69\text{kV} < U_n \leq 161\text{ kV}$	1,5	2,5
$U_n > 161\text{ kV}$	1	1,5

4.3 Caso de estudo

4.3.1 Introdução

A pedido da Cerutil foi analisada a qualidade de energia, tendo sido efetuadas medições numa semana normal de laboração, no QGBT, de acordo com a norma EN 50160. As medições enquadram duas situações:

- 1) Relativa ao distribuidor:
 - a) Frequência;
 - b) Variação de tensão de alimentação;
 - c) Flicker;
 - d) Cavas;
 - e) Taxa de distorção harmónica.
- 2) Relativa ao equipamento:
 - a) Taxa de distorção harmónica de corrente (THD_i).

Os objetivos foram os seguintes:

- 1) No que se refere ao distribuidor o objetivo foi identificar eventuais indícios de não qualidade de energia. Nesse caso poderia eventualmente ser definido um período para desligar a instalação e efetuar a medição de forma isolada.
- 2) As medições realizadas no equipamento atual da fábrica (em concreto luminárias) serviram para verificar se este não apresenta valores de distorção harmónica superiores aos recomendados pela Norma EN 61000-3-2.

Uma terceira análise, não realizada seria a análise dos limites máximos das perturbações emitidas para a rede pela Cerutil (instalação fisicamente ligadas às redes do sistema elétrico nacional (SEN) em MT). Estas emissões contemplariam análise de “flicker”, poluição harmónica, e desequilíbrio de tensões. A base para esta análise centra-se na potência de curto-circuito no ponto de interligação, dado não disponibilizado até esta data pela entidade distribuidora, e que evitou a atual análise.

4.3.2 Tratamento de dados

A Figura 4-1 ilustra as medições realizadas no QGBT da Cerutil, com o analisador de energia (HIOKI) segundo a norma NP 50160.



Figura 4-1: Medições realizadas no QGBT

4.3.2.1 Frequência

Pela análise da Figura 4-2 podemos constatar que a frequência, em valores médios, encontra-se dentro dos valores referidos pela norma visto que 100% do seu valor se situa dentro do intervalo de 49,5 e 50,5 Hz (Quadro 4-1).

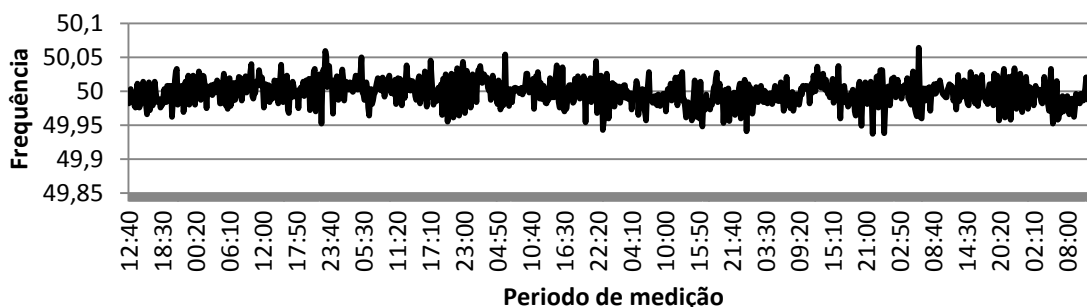


Figura 4-2: Variação de frequência

4.3.2.2 Variações da tensão de alimentação

A Figura 4-3 representa a variação de tensão de alimentação em valores médios, para as três fases (L_1 , L_2 e L_3).

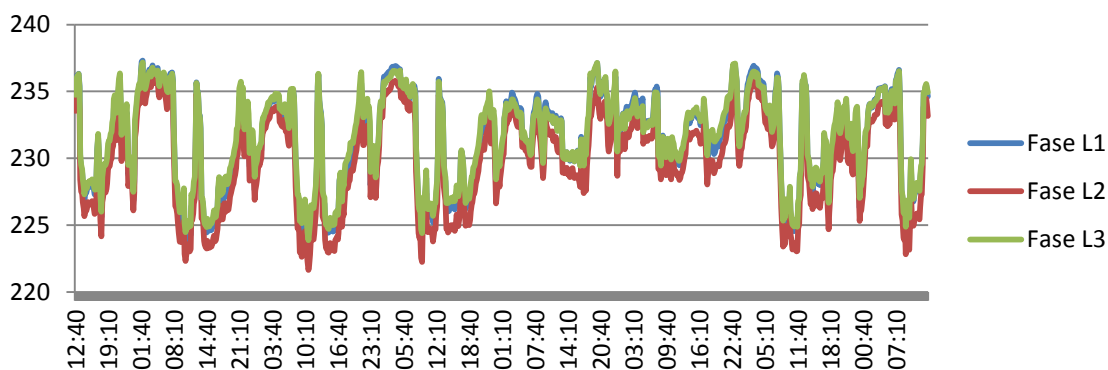


Figura 4-3: Valores de tensão para fases L₁, L₂ e L₃

Verifica-se que a tensão de alimentação, em valores médios, se encontra dentro dos limites para o cumprimento da norma, visto que 100% dos valores estão dentro do intervalo definidos no Quadro 4-1. No entanto, referir que estas variações poderão condicionar a vida útil, dos motores, da bateria de condensadores e ainda de alguns componentes eletrónicos.

4.3.2.3 Flicker

Quanto ao fenómeno de Flicker, também conhecido como tremulação (variações muito rápidas da tensão), a norma refere que Plt deve ser inferior a 1%, sendo representado pela equação (4-1).

$$Plt = \sqrt[3]{\sum_{t=1}^{12} \frac{P_{st}^3}{12}} \quad (4-1)$$

com P_{st} a representar a severidade da tremulação de curta duração medida num período de 10 minutos.

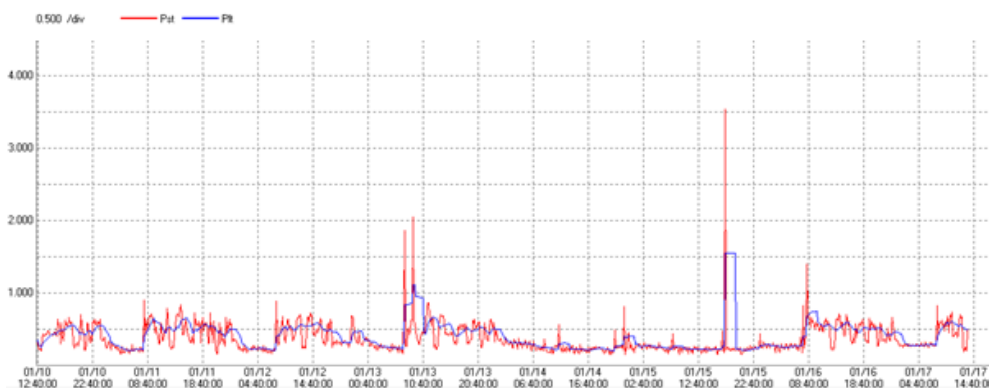


Figura 4-4: Representação de parâmetro Plt e Pst no intervalo de medição

Foi efetuada uma leitura do valor de Plt durante uma semana (com intervalo de 10 minutos) o que corresponde a 1008 períodos. Se durante 95% do tempo (cerca de 958 períodos) o valor de Plt for inferior a 1 então verifica-se o cumprimento da NP EN 50 160.

No Quadro 4-7 encontra-se uma parte das medições e informação tratada no período de uma semana para a identificação dos valores com Plt superior ao indicado pela norma. Foram registados um conjunto de 33 períodos. Como este valor é inferior ao valor máximo permitido (50 períodos), a instalação cumpre os requisitos da Norma.

Quadro 4-7: Extrato dos dados recolhidos no QGBT da Cerutil

START TIME	10-01-2012	12:30:00			
Date	Time	Plt1	Plt2	Plt3	
13-01-2012	07:10:00	0,374	0,353	0,353	
13-01-2012	07:20:00	0,841	2,222	2,409	1
13-01-2012	07:30:00	0,841	2,222	2,409	1
13-01-2012	07:40:00	0,841	2,222	2,409	1
13-01-2012	07:50:00	0,845	2,223	2,409	1
13-01-2012	08:00:00	0,85	2,224	2,41	1
13-01-2012	08:10:00	0,852	2,225	2,411	1
13-01-2012	08:20:00	0,856	2,225	2,411	1
13-01-2012	08:30:00	0,865	2,226	2,412	1
13-01-2012	08:40:00	0,874	2,228	2,413	1
13-01-2012	08:50:00	1,118	2,229	2,478	1
13-01-2012	09:00:00	1,123	2,23	2,479	1
13-01-2012	09:10:00	1,117	2,229	2,478	1
13-01-2012	09:20:00	0,95	0,524	1,089	1
13-01-2012	09:30:00	0,951	0,529	1,09	1
13-01-2012	09:40:00	0,952	0,531	1,091	1
13-01-2012	09:50:00	0,95	0,523	1,089	1
13-01-2012	10:00:00	0,946	0,501	1,085	1
13-01-2012	10:10:00	0,946	0,499	1,084	1
13-01-2012	10:20:00	0,944	0,49	1,083	1
13-01-2012	10:30:00	0,94	0,467	1,079	1
13-01-2012	10:40:00	0,935	0,442	1,075	1
13-01-2012	10:50:00	0,459	0,413	0,413	
13-01-2012	11:00:00	0,44	0,381	0,385	
13-01-2012	11:10:00	0,443	0,37	0,38	

4.3.2.4 Cavas

Esta perturbação na qualidade de onda pode ser identificada quando existe uma diminuição brusca da tensão de alimentação para um valor situado entre 90% e 1% da tensão declarada. Esta perturbação tem origem em fenómenos internos ou externos à instalação.

Uma forma de distinguir estes dois fenómenos incide na comparação dos valores de tensão e corrente no instante em que ocorre a cava, Figura 4-5.

No fenómeno de origem interna, em situações onde a corrente de arranque poder ser 5 a 6 vezes superior à corrente nominal, existe uma maior queda de tensão que pode ultrapassar os valores mínimos permitidos, originando assim uma cava de tensão. Quanto ao fenómeno de origem externa quando ocorre um defeito as correntes são muito elevadas o que provoca um abaixamento de tensão nas linhas mais próximas (a linha com defeito é desligada pelos aparelhos de proteção) dando-se assim origem a uma cava de tensão nos locais mais próximos do defeito com uma maior profundidade, diminuindo quando se caminha para linhas mais distantes do defeito. Estas cavas de tensão têm uma duração típica de algumas centenas de milissegundos [Oliveira et al., 2004].

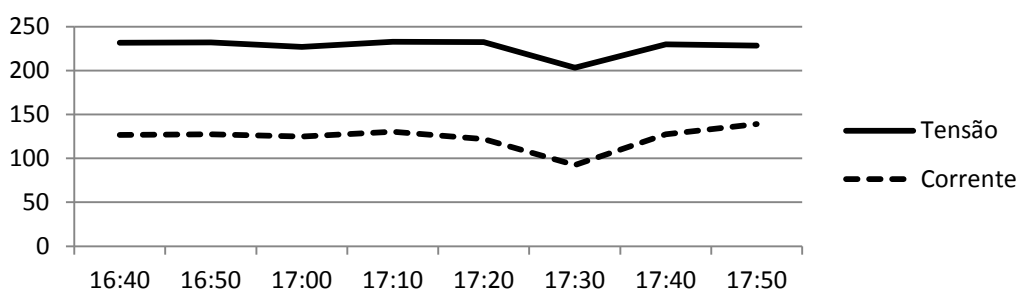


Figura 4-5: Valores de tensão e intensidade de corrente na fase L₁

Através das figuras expostas é possível identificar que o fenómeno deverá ter tido origem externa, uma vez que existiu simultaneamente um abaixamento de corrente e de tensão.

A amplitude de uma cava é definida como sendo a diferença entre a tensão declarada (230 Volts), e o valor mínimo de tensão atingido durante a cava de tensão, neste caso 203.1 Volts (88.2%). É de notar a existência de uma cava em duas fases distintas no mesmo período, no entanto as cavas de tensão que ocorram simultaneamente em mais de uma fase serão contabilizadas como um único evento.

Assim sendo, a amplitude da cava registada é de 26.9 Volts (11.7% da tensão declarada) correspondente à fase L₁.

4.3.2.5 Harmónicos

O estudo das perturbações de origem harmónica irá incidir em dois aspetos:

- 1) Sob ponto de vista do distribuidor;
- 2) Sob ponto de vista do equipamento.

Ponto de vista do distribuidor

De acordo com a norma em estudo sob ponto de vista do distribuidor, THD_U não deve exceder os 8% em 95 % dos períodos de 10 minutos.

Na Figura 4-6, encontra-se representada a THD_U, onde é possível verificar que em nenhum momento esta excede os 8%, o que nos permite afirmar os requisitos da norma EN 50160 estão a ser cumpridos.

Se houvesse ultrapassagem deste valor (8%) para detetar perturbações com origem no cliente teria de se desligar a instalação, situação que não foi realizada por motivos de produção, e analisar a alimentação da instalação.

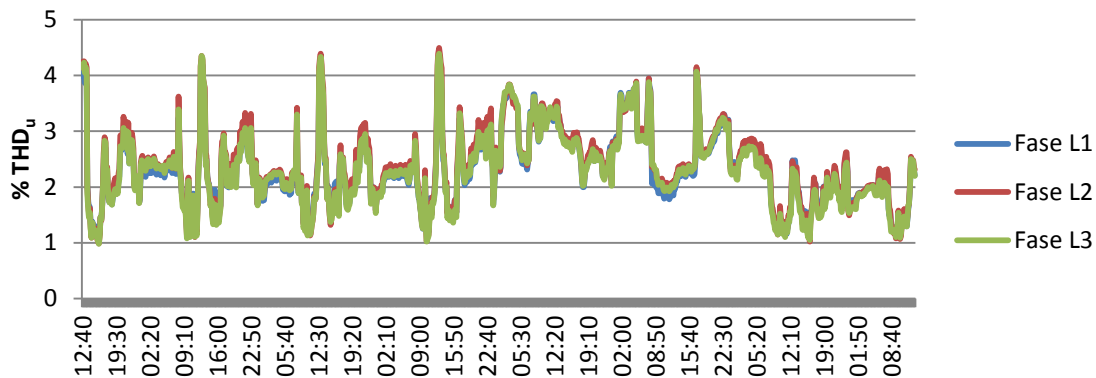


Figura 4-6: Representação da THD_u

Ponto vista equipamento

As normas internacionais respeitantes ao consumo de energia elétrica (Normas CEI 61000, referidas na seção 4.2.2) limitam entre outras perturbações, o nível de distorção harmónica nas tensões com os quais os sistemas elétricos podem operar, e impõem que os novos equipamentos não introduzam na rede harmónicos de corrente de amplitude superior a determinados valores.

No seguimento dessas normas, a presente análise procura avaliar qual o impacto na qualidade de energia da empresa resultante da substituição das luminárias. Assim, a análise realizada incidiu numa lâmpada fluorescente tubular de 2×36W, com balastro convencional e outro com balastro eletrónico.

Os valores de THD_i de cada componente harmónica serão depois comparados com o Quadro 4-5, que está associada à norma 61000-3-2, para equipamentos com consumo até 16 A por fase. Tratando-se de um dispositivo de iluminação, este estará relacionado com a Classe C do Quadro 4-5. A Figura 4-7 representa o espectro harmónico de corrente do balastro convencional, apresentando uma THD_i de 8.9 %. As medições foram realizadas no equipamento atual das instalações da Cerutil com vista a obter valores de referência. Foram também efetuados registo de valores em equipamentos novos que serão adequados para substituição dos atuais.

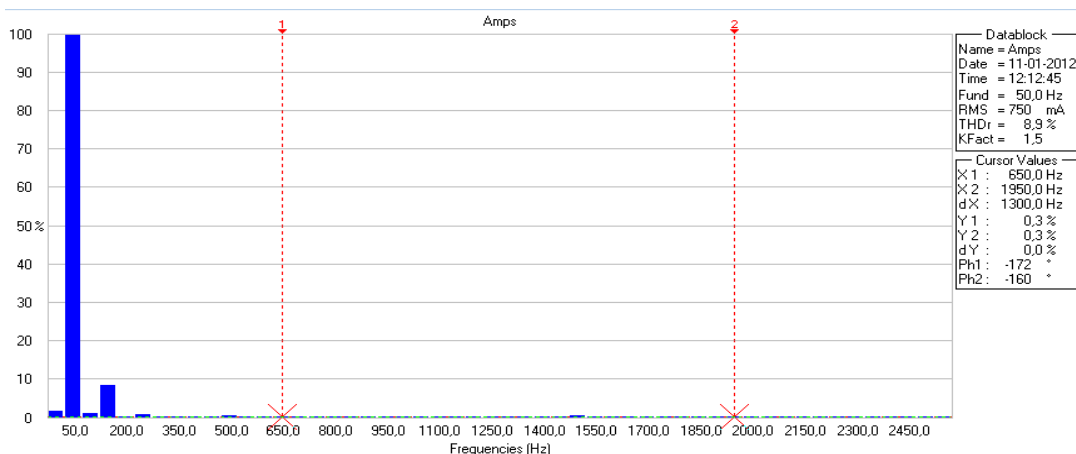


Figura 4-7: Espectro harmónico de corrente para balastro convencional

A Figura 4-8 ilustra o espectro harmónico do balastro eletrónico, que por sua vez apresenta uma taxa de distorção ligeiramente superior à apresentada pelo balastro convencional, neste caso de 9.3%.

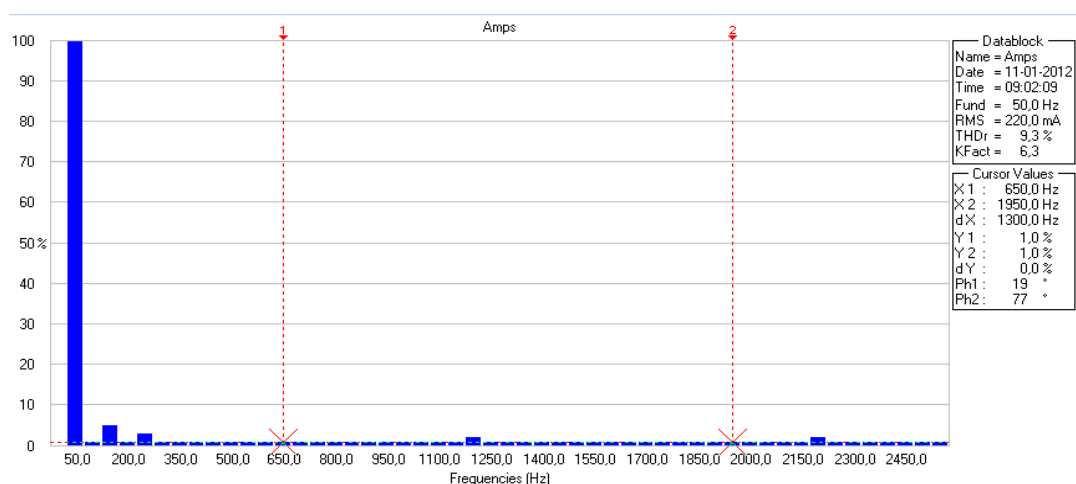


Figura 4-8: Espectro harmónico de corrente para balastro eletrónico

É de notar um ligeiro acréscimo na taxa de distorção harmónica de cerca de 0.4% com a introdução do balastro eletrónico. No entanto conforme se pode verificar pela Figura 4-9, os valores para taxa de distorção harmónica de corrente encontram-se dentro dos limites da norma IEC 61000-3-2. Salientar que que o parâmetro FP (fator de potência) representado no Quadro 4-5, é unitário.

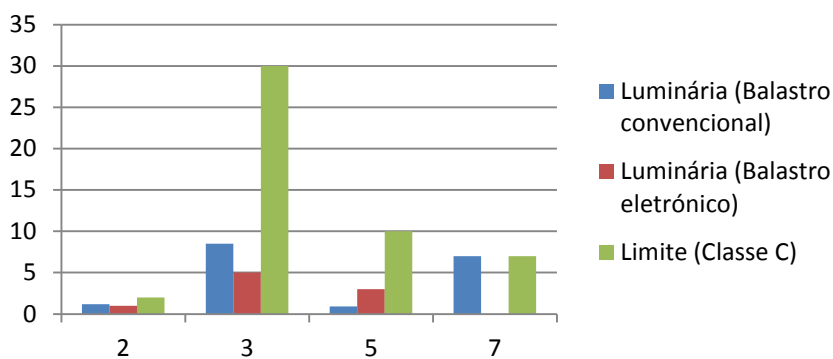


Figura 4-9: Verificação da adequação da norma (Quadro 4-5)

Este ligeiro aumento de THD_i associado ao balastro eletrónico irá contribuir para a distorção da onda de tensão. Contudo o impacto na THD_U acontecerá em menor proporção, uma vez que a relação não é linear. Isto porque os harmónicos de tensão são o resultado do produto da corrente harmónica pela impedância (parâmetro que não foi possível aferir).

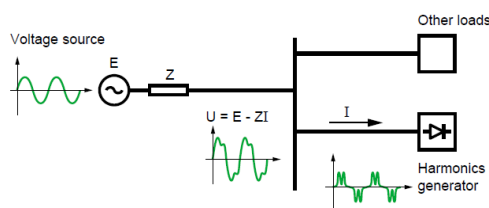


Figura 4-10: Produção de harmónicos de tensão [Schneider, 2001]

4.3.2.6 Harmónicos no neutro

Com recurso aos dados recolhidos durante as medições efetuadas no período de uma semana foi possível detetar a presença de uma intensidade de corrente no condutor de neutro (Figura 4-11). A curva azul refere-se ao valor máximo da intensidade de corrente, a curva verde refere-se ao valor médio da intensidade de corrente e a curva vermelha refere-se ao valor mínimo da intensidade de corrente.

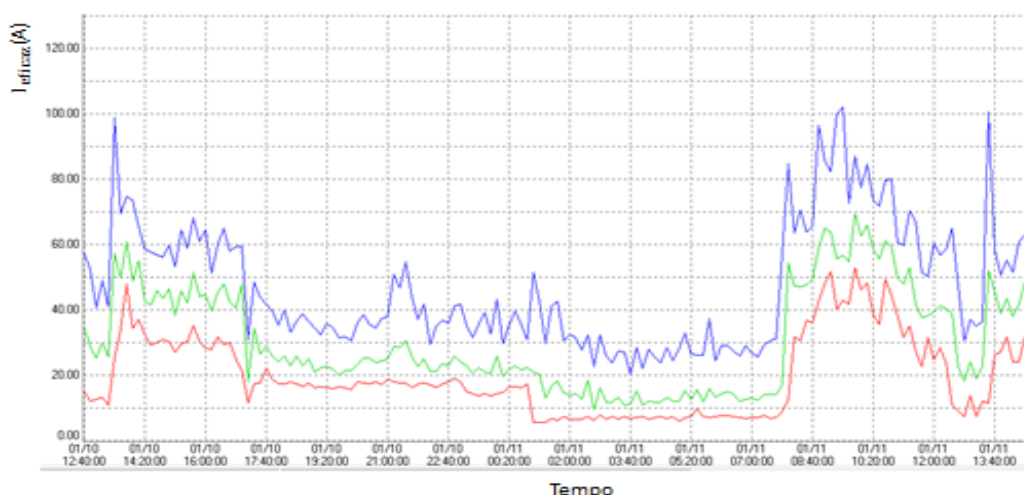


Figura 4-11: Representação da intensidade de corrente no neutro

A corrente eficaz registada resulta da contribuição dos termos harmónicos presentes no neutro, e da componente fundamental, tal como ilustra a expressão (4-2):

$$I_{ef} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2} \quad (4-2)$$

Na análise do condutor de neutro foi pretendido ver qual o impacto do termo fundamental (desequilíbrio natural das fases) e qual o impacto devido aos termos harmónicos na corrente total (4-2). Durante o processo de medição os dados fornecidos pelo aparelho foram obtidos em percentagem (intensidade de corrente harmónicas). Por outro lado, o analisador de energia fornece apenas o valor eficaz e os termos devido às componentes harmónicas, desconhecendo-se o valor do termo fundamental.

Com vista a obter o valor desta componente a utilizou-se expressão (4-3). O objetivo foi ver qual o impacto do termo fundamental (desequilíbrio natural das fases) e qual o impacto devido aos termos harmónicos.

$$I_1(A) = \frac{I_{ef}}{\sqrt{1 + THD_i^2}} \quad (4-3)$$

Quadro 4-8: Resultados para corrente fundamental e corrente eficaz

Tempo	In (50Hz)	Ieficaz	THDi (%)	Aumento devido a conteúdo harmónico (%)
12:40	33,50	34,9	0,2923	4,016
12:50	27,76	28,87	0,285	3,829
13:00	24,51	25,51	0,2891	3,934
13:10	29,23	30,04	0,2377	2,711
13:20	24,59	25,61	0,2909	3,980
13:30	55,18	57,4	0,2862	3,860
13:40	43,84	49,71	0,5347	11,815

Na Figura 4-12, encontra-se representado o teor harmónico de ordem n, para os três períodos analisados em percentagem onde $I_{4(n)}$ é a intensidade de corrente no neutro para o harmónico de ordem n.

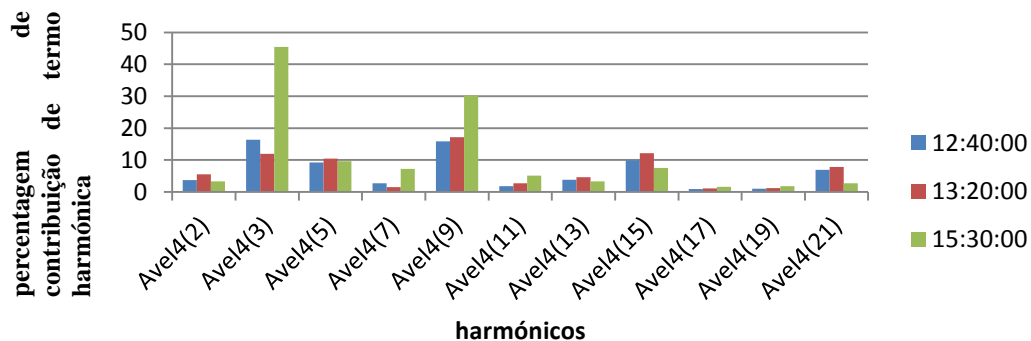


Figura 4-12: Representação do impacto de cada harmónico

Como é possível constatar os harmónicos de ordem 3, 5, 9 e 15 são os que possuem maior impacto na THDi do neutro.

Num sistema trifásico ligado em estrela, a corrente no neutro é a soma vetorial das três correntes de fase.

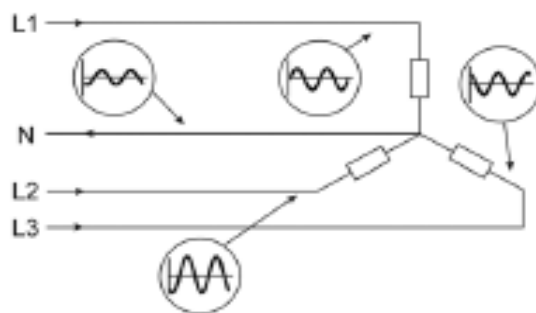


Figura 4-13: Carga trifásica linear desequilibrada [Desmet, 2003]

Num sistema trifásico de potência que alimenta cargas monofásicas lineares de diferentes potências a corrente no neutro é diferente de zero, resultado do natural desequilíbrio de fases.

Na presença de cargas não lineares além da componente devido ao desequilíbrio de fases, existe uma componente devido aos termos harmónicos. Esta componente pode ter como consequência, intensidades de corrente no condutor neutro bastante representativas, por vezes superiores à intensidade de corrente no(s) condutor(es) de fase. Estes casos podem configurar situações de sobrecarga no condutor de neutro. As figuras 4.13 e 4.14 fornecem uma modesta comparação destes casos.

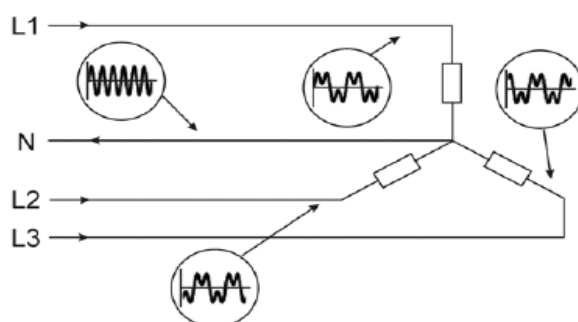


Figura 4-14: Carga trifásica não linear

No caso da Cerutil, o cabo de neutro proveniente do posto de transformação (PT) e até ao quadro geral de BT, possui uma secção de 380mm² (ver diagrama de blocos da instalação elétrica na Figura 6-2). Com a finalidade de verificar se o cabo de neutro estaria em sobrecarga foi realizado um período de medições que define o normal funcionamento da instalação (cerca de uma semana), cujos resultados se ilustram na Figura 4-15. Constatou-se que para a secção referida do cabo de neutro, a corrente admissível do cabo (superior a 400 A) é sempre superior à máxima corrente registada que se situou nos 83 A.

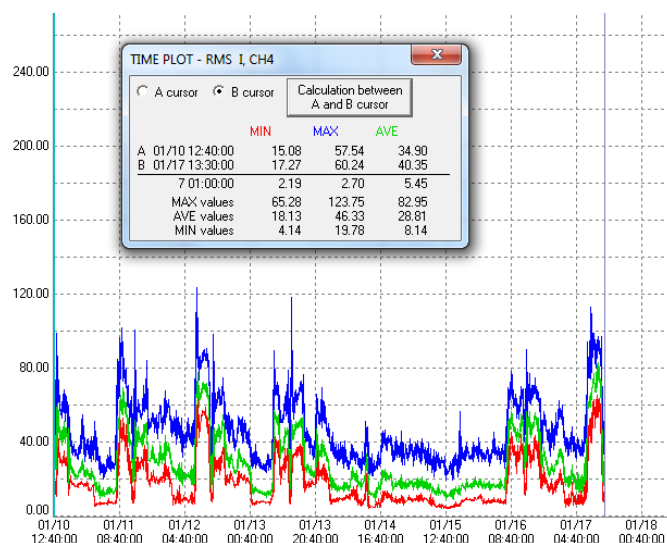


Figura 4-15: Corrente eficaz no cabo de neutro

Como não se verificou violação das intensidades de corrente admissíveis no cabo de neutro em nenhum período, escolheu-se um período ao acaso (23h20-00h20) para obter os aumentos da intensidade de corrente total devido à presença de intensidades de corrente harmónica. A Figura 4-16 é assim obtida por aplicação da expressão (4-3). Para o período referido verificou-se que no pior caso (pela 00h00) existe aumento de cerca de 36% da intensidade de corrente total devido à “contribuição harmónica”.

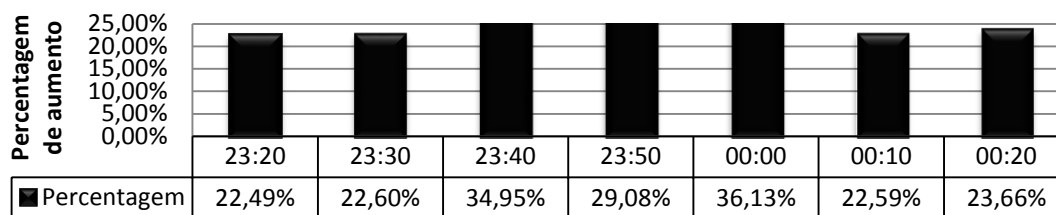


Figura 4-16: Representação do aumento de corrente (em percentagem) devido à presença harmónica

4.4 Conclusão

A análise realizada do ponto de vista de qualidade de energia “recebida” pela Cerutil é adequada, uma vez que mesmo com a instalação ligada, a qualidade de energia está dentro dos limites impostos pela norma NP EN 50160.

Respeitante à análise realizada para a sobrecarga do neutro devido à componente harmónica, verificou-se que este não apresenta problemas, uma vez que se encontra sobredimensionado. Notar contudo que, se não fosse o caso poderiam existir complicações relacionadas com sobrecargas uma vez que nesta intensidade de corrente, o valor devido a harmónicos é muito representativo (para a situação estudada que decorre da Figura 4-16 o aumento é de 36%)

Relativamente às medições efetuadas para a THD do equipamento de iluminação verificou-se que, como seria expectável, o mesmo está enquadrado com a norma EN 61000-3-2. O objetivo desta análise foi principalmente académico.

Não foram analisadas medições de qualidade de energia em outros equipamentos uma vez que não foram sinalizados problemas pela Cerutil.

5 Mini-produção

5.1 Introdução

A mini-produção enquadra-se como uma medida de eficiência energética uma vez que contribui para os objetivos fixados na ENE 2020 e ajuda a diminuir o trânsito de energia na rede pública com a consequente redução das perdas associadas. Assim, neste capítulo será realizada uma abordagem aos conceitos técnicos referentes à mini-produção e feita uma caracterização do software utilizado no caso de estudo, “PVGIS”, bem como um enquadramento legislativo desta temática.

5.2 Enquadramento Legislativo

5.2.1 Decreto-lei 34/2011 de 8 de Março

De acordo com o Decreto-Lei 34/2011 de 8 de Março, o acesso à atividade de mini-produção requer o preenchimento de alguns requisitos cumulativos:

- a) Dispor de uma instalação de utilização de energia elétrica e seja titular de contrato de compra e venda de eletricidade, em execução, celebrado com um comercializador;
- b) A instalação do sistema tem obrigatoriamente de ser no local onde o consumo é contratado, embora se preveja a possibilidade de entidades terceiras explorarem o sistema mediante celebração de contrato de exploração do titular do consumo com a entidade exploradora.

- c) A potência de ligação da unidade de mini-produção não ser superior a 50 % da potência contratada no contrato referido na alínea a);
- d) A energia consumida na instalação de utilização deve ser igual ou superior a 50 % da energia produzida pela unidade de mini-produção, sendo tomada por referência a relação entre a energia produzida e consumida no ano anterior, no caso de instalações em funcionamento há mais de um ano, e a relação entre a previsão anual de produção e de consumo de energia, para as instalações que tenham entrado em funcionamento há menos de um ano.

A potência máxima de produção para injeção na rede é de 250kW, com recurso a uma tecnologia apenas. Existem três escalões de potência que determinam o máximo valor para injeção de energia na rede, e são eles:

- Escalão I, para potências até 20kW, inclusive;
- Escalão II, para potências superiores a 20 até 100kW, inclusive;
- Escalão III, para potências superiores a 100 até 250kW, inclusive.

O produtor tem acesso a um de dois regimes remuneratórios para a eletricidade injetada na RESP (Rede Elétrica de Serviço Público), sendo eles o regime geral e o bonificado. No regime geral a eletricidade produzida é remunerada segundo as condições de mercado, nos termos vigentes para a produção em regime ordinário. A tarifa de remuneração pela injeção de energia é determinada segundo as condições de mercado, e no caso em que a potência de ligação seja igual ou inferior a 20kW, os pedidos são ordenados por ordem de chegada até ao limite da quota de potência alocada. O acesso ao regime bonificado, compreende uma auditoria energética, e depende do preenchimento de determinados requisitos, isto quando estão em causa potências superiores a 20kW. Neste caso, a seleção dos registos e fixação da tarifa bonificada depende de mecanismos concorrenciais (leilão), ou seja, tendo por base uma tarifa de referência de 250€/MWh (0.25/kWh), são selecionadas as entidades que oferecem o melhor desconto à tarifa.

No caso de existirem no local da unidade de mini-produção instalações consumidoras intensivas de energia sujeitas ao regime jurídico da gestão de consumos intensivos de energia ou ao regime jurídico de certificação energética de edifícios, o acesso ao regime bonificado depende da comprovação, à data do pedido de registo, do seguinte:

- Acordo de racionalização do consumo de energia ou equivalente no sector dos transportes, que esteja a ser cumprido; ou
- Certificado energético onde se demonstre que após a implementação das medidas de melhoria do desempenho energético, incluindo a unidade de mini-produção, o edifício alcança a classe B ou superior, para o caso de edifícios novos, ou classe C ou superior, no caso de edifícios existentes.

Este é um aspeto relevante já que a Cerutil se encontra a cumprir um programa ao abrigo do SGCIE.

A quota de potência a alocar anualmente no âmbito do regime bonificado é de 50MW, devendo a sua atribuição ser escalonada ao longo do ano. A tarifa aplicável vigora durante um período de 15 anos, contados desde o primeiro dia do mês seguinte ao do início do fornecimento. A tarifa de referência é fixada em 250€/MWh, sendo o valor da tarifa sucessivamente reduzido anualmente em 7%.

No que se refere ao acesso ao exercício da atividade de mini-produção de eletricidade, o Decreto -Lei 34/2011 estabelece que o acesso a esta atividade depende de registo e que a entrada em exploração da unidade registada e a sua ligação à rede carecem de um certificado de exploração.

Assim sendo, qualquer empresa que esteja interessada na mini-produção, deve efetuar o registo na plataforma eletrónica SRMini, gerida pela DGEG.

À efetivação do registo segue -se a instalação dos equipamentos necessários à mini-produção e a sua inspeção por parte da DGEG, para verificação do cumprimento de requisitos de segurança, entre outros.

O registo, reinspeção e averbamento de mini-produção encontram-se sujeitos a taxas, sendo o montante definido na Portaria nº 278/2011.

5.2.2 Portaria 278/2011 de 29 de Abril

Conforme previsto no 1º do artigo 26º, o valor das taxas a cobrar é definido na presente portaria, assim os pedidos de registos são cobrados em:

- Escalão I - 500€;
- Escalão II - 1000€;
- Escalão III - 2000€.

Os pedidos de averbamento de alterações ao registo da mini-produção com emissão de certificação de exploração é de 350€, enquanto que para o mesmo pedido sem emissão de certificado baixa para os 150€. Os pedidos de reinspeção são também taxados em 350€. Referir que estes valores são transversais a qualquer escalão, sendo ainda acrescidos de IVA à taxa em vigor.

5.2.3 Portaria nº 285/2011 de 28 de Outubro

Esta portaria surgiu da necessidade do cumprimento do memorando de entendimento entre Portugal e o FMI, BCE e a Comissão Europeia. Assim, a tarifa de referência para o regime bonificado será de 215€/MWh e a percentagem de redução anual da tarifa prevista no Decreto

- Lei n.º 34/2011, de 8 de Março, é fixada em 14 %, com efeitos a partir do ano de 2012, inclusive.

5.3 PVGIS

Este foi o software utilizado para o levantamento da radiação solar no local aferido. É uma aplicação fornecida pela Comissão Europeia cujo objetivo é fornecer uma base de cálculo para a irradiação solar em cada ponto da Europa, sendo assim possível determinar a quantidade de eletricidade produzida de um sistema fotovoltaico por kWp instalado. Os parâmetros podem ser definidos como a estimativa de perdas, inclinação e desvio de painéis relativamente a sul. O programa permite ainda escolher a forma de montagem do painel, podendo ser escolhida opção com seguidor solar (movimento em 2 eixos), montagem com movimento sobre 1 eixo e montagem fixa. A opção optimize slope indica o ângulo ótimo, onde segundo o software utilizado, neste caso PVGIS, apresentará melhores resultados no que respeita à produção de painel

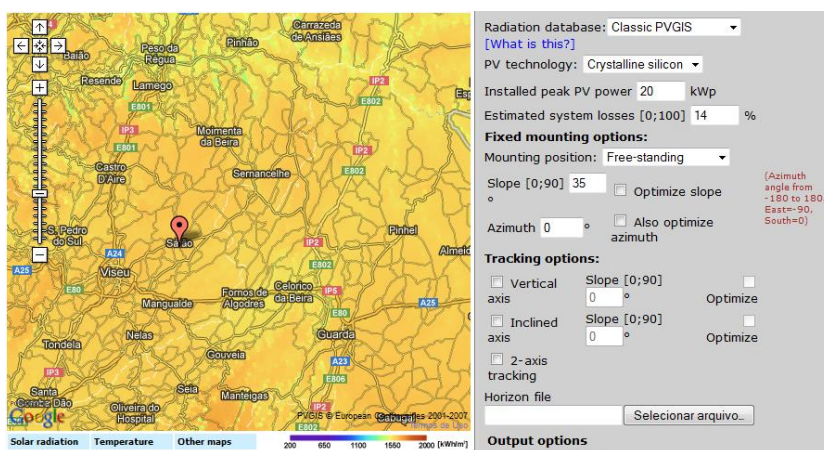


Figura 5-1: Ilustração da plataforma PVGIS

5.4 Dimensionamento de uma central de mini-produção

O dimensionamento de uma central de mini-produção implica a consideração de um conjunto de fatores (Figura 5-2), alguns de ordem técnica e outros de ordem económica.

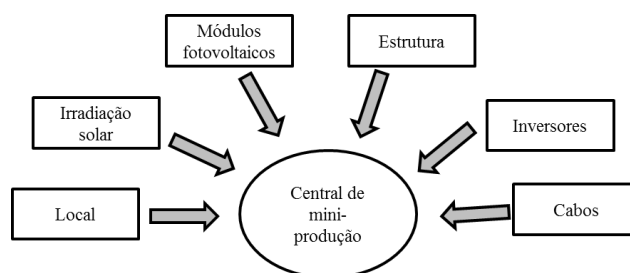


Figura 5-2: Fatores de dimensionamento de uma central fotovoltaica [adaptado de Freire, 2011]

5.4.1 Local da instalação

Uma visita ao local e um registo de dados adequado permite obter resposta às seguintes questões [Roriz et al., 2010]:

- Disponibilidade da área do telhado, ou superfícies disponíveis na envolvente;
- Orientação e inclinação das estruturas disponíveis à colocação do sistema;
- Avaliação de eventuais sombreamentos;
- Locais potenciais à instalação do inversor, caixas de junção, entre outros;
- Comprimentos dos cabos, rede de cablagem e método de implementação da canalização elétrica;
- Entre outros.

Assim, de uma forma resumida, a familiarização com as características do local irá permitir avaliar o recurso solar do local e as condicionantes para o dimensionamento.

5.4.2 Radiação Solar

A radiação solar é variável, e o seu conhecimento é fundamental para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. O desempenho e as curvas características dos módulos dependem de vários fatores entre eles a irradiação incidente (Figura 5-3) e a temperatura da célula (Figura 5-4). A corrente elétrica gerada numa célula solar aumenta linearmente com o aumento da intensidade luminosa, por outro lado, o aumento da temperatura da célula faz com que a sua eficiência diminua [Society, 2008].

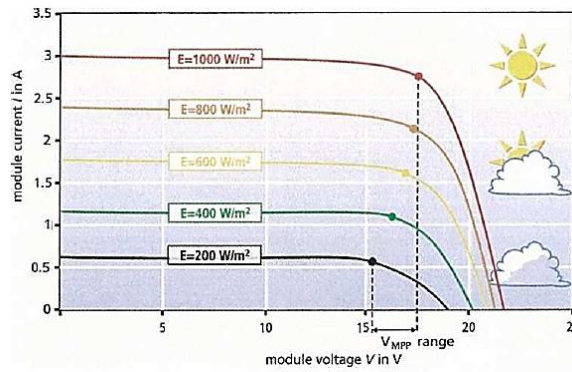


Figura 5-3: Efeito da irradiação solar na curva I-V do módulo com temperatura constante [Society, 2008]

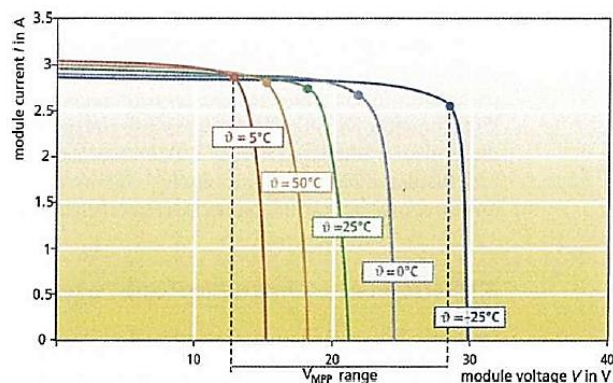


Figura 5-4: Efeito da temperatura na curva I-V do módulo com irradiação a 1000W/m^2 [Society, 2008]

A radiação solar encontra-se sujeita a perdas durante o percurso até à superfície recetora, sendo estas perdas causadas pela reflexão, absorção e dispersão da radiação solar, localização do sol e da posição da superfície recetora. Assim, é importante que o plano de incidência solar seja perpendicular aos raios solares e para isso é necessário avaliar o azimute e a inclinação do painel fotovoltaico de forma a maximizar a produção [Freire, 2011; Morais 2009].

5.4.3 Módulos Fotovoltaicos

Um módulo fotovoltaico é o conjunto de células fotovoltaicas interligadas e colocadas entre um material transparente e um substrato (encapsulamento). A característica mais importante do módulo é a tecnologia da célula fotovoltaica. Por forma a aumentar a potência de uma célula fotovoltaica, estas são ligadas em série e em paralelo definido assim a potência do módulo. Existem vários tipos de tecnologias de células com diferentes eficiências, sendo divididas em: i) Monocristalinas, ii) Policristalinas e iii) Silício amorfo.

O fabrico das diversas tecnologias não será abordado, estando apenas representada no Quadro 5-1 uma breve comparação entre as tecnologias supracitadas.

Quadro 5-1: Comparação entre as tecnologias de células fotovoltaicas [Ceeeta, 2012]

	Rendimento típico	Máximo registado em aplicações	Máximo registado em laboratório
Monocristalino	12-15%	22,7%	24%
Policristalino	11-14%	15,3%	18,6%
Sílicio amorfo	6-7%	10,2%	12,7%

O silício monocristalino é o material mais usado na constituição das células fotovoltaicas, atingindo cerca de 60% do mercado. É por outro lado, o tipo de silício mais caro de produzir pois requer um processo de fabrico cuidadoso e lento, com recurso ao uso intensivo de energia. Para o silício policristalino as técnicas de produção são comparativamente mais baratas. O silício amorfo apresenta um custo de produção mais barato comparativamente às restantes tecnologias citadas, apresentando um quota de mercado de aproximadamente 7%. Esta tecnologia de silício amorfo tem tendência a crescer no contexto das denominadas “tecnologia de película fina” [Roriz et al., 2010].

5.4.4 Inversor

O inversor é um componente fundamental nos sistemas fotovoltaicos, uma vez que converte o sinal elétrico DC do gerador fotovoltaico num sinal elétrico AC, ajustando também a frequência e o nível de tensão para a rede a que está ligado. O inversor deverá estar dimensionado para funcionar no ponto MPP (Maximum Power Point) do gerador fotovoltaico, cuja variação em função das condições meteorológicas obriga a que haja um ajuste de tensão de entrada [Correia, 2012].

Os números de inversores obtêm-se em função da potência estimada para o sistema fotovoltaico. Como regra geral, dado que os inversores são fornecidos para vários níveis de potência e que a potência total do sistema fotovoltaico é determinada pela área útil disponível, é utilizado um rácio de 1:1 entre a potência do gerador fotovoltaico e a potência do inversor. Qualquer desvio é tomado com base neste rácio e definido para o intervalo de potência entre $0.7 P_{pv}$ e $1.2 P_{pv}$.

Existem ainda um conjunto de condições que se devem verificar, isto na interligação dos painéis ao inversor, expressas segundo as expressões:

$$P_{P,G}^{DC} \leq P_{MAX,INV}^{DC} \quad (5-1)$$

$$U_{OC}^{MAX} \leq U_{DC,INV}^{MAX} \quad (5-2)$$

$$U_{MPP}^{MAX} \leq U_{MPP,INV}^{MAX} \quad (5-3)$$

$$U_{MPP}^{MIN} \geq U_{MPP,INV}^{MIN} \quad (5-4)$$

$$I_{MAX,G}^{DC} \leq I_{MAX,INV}^{DC} \quad (5-5)$$

5.4.5 Conceitos técnicos

Para um melhor enquadramento dos conceitos expostos nas secções seguintes, apresenta-se a Figura 5-5, com um esquema exemplificativo simplificado de uma ligação de um sistema fotovoltaicos à rede elétrica.

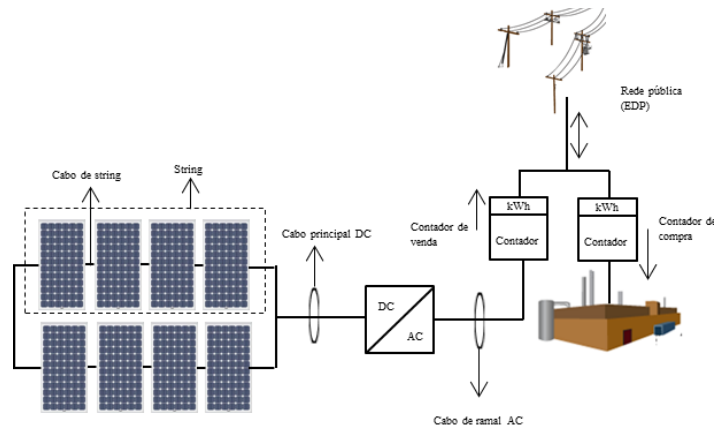


Figura 5-5: Esquema exemplificativo simplificado de ligação à rede

5.4.5.1 Estrutura

A influência do vento nos painéis tem particular efeito ao nível mecânico. No entanto nalguns pontos do país é necessário dar atenção ao peso da neve ou gelo.

A pressão dinâmica do vento sobre os painéis implica atenção no dimensionamento dos sistemas de fixação dos mesmos às respetivas estruturas [Morais, 2009].

5.4.5.2 Distância entre fileiras num painel

O cálculo desta distância torna-se importante de forma a evitar o efeito de sombreamento provocado por cada fileira, sendo dada por:

$$d = L \times \left(\cos \varphi + \frac{\sin \varphi}{\tan \beta} \right) \tag{5-6}$$

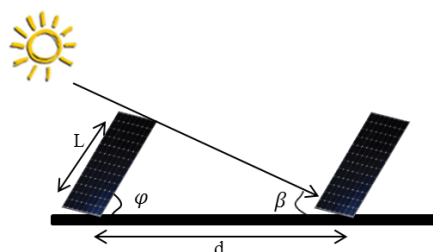


Figura 5-6: Regra a aplicar em fileiras de painéis quando existem sombreamentos [Adaptado de Vilaça, 2009]

5.4.5.3 Cablagem para sistema PV

Os cabos a utilizar por um sistema fotovoltaico são de três tipos: cabos de módulo, cabo principal DC e cabo ramal AC. O primeiro estabelece a ligação elétrica entre os módulos individuais de um gerador solar e a caixa de junção do gerador. Relativamente ao cabo principal DC, que estabelece a ligação entre a caixa de junção do gerador e o inversor, deverá ser entubado sempre que a caixa se situar no exterior. As cablagens DC requerem um dimensionamento e estabelecimento adequado, devido aos esforços eletrodinâmicos (correntes paralelas de sentido inverso), ao aquecimento por efeito de joule, aos efeitos dos raios ultra violetas quando instalados no exterior, entre outros.

Com a associação de módulos em série usam-se por vezes tensões de corrente contínua elevada, cujo valor pode ser superior a 1kV, necessitando por isso cablagens adequadas para o efeito. Por outro lado, a necessidade de ligar as fileiras de módulos fotovoltaicos pelos seus extremos leva muitas vezes ao uso de condutores unipolares.

Os cabos DC devem possuir as seguintes características, estando algumas caracterizadas na secção 5.4.5.8 [Roriz et al., 2010]:

- A tensão nominal deve normalmente situar-se entre os 300 e os 1000V, dependendo dos sistemas fotovoltaicos. É prevista para a temperatura de -10°C ($U_{oc(-10^{\circ}\text{C})}$);
- A corrente admissível deve ser superior ao valor máximo de corrente curto-circuito presumida. A norma IEC 60364-7-712 aconselha $I_z \geq 1.25 \times I_{CC(CTS)}$, permitindo desta forma a eventual dispensa de proteção contra sobreintensidades;
- Ao nível de condições ambientais deve suportar temperaturas superiores a 70°C e resistir aos raios UV.

O cabo de ligação de corrente alternada liga o inversor à rede recetora, através do equipamento de proteção.

5.4.5.4 Queda tensão

A queda de tensão máxima permitida do lado DC da instalação é de 3 % em condições $I_{CC(STC)}$, ou seja, condições padrão de teste. No entanto é recomendável limitar esta queda de tensão a um máximo de 1%.

Para o lado AC a queda de tensão máxima entre o ponto de ligação à rede e os ligadores de corrente alternada do inversor não deverá ser superior a 3 % em condições de potência nominal do inversor. Também aqui, é recomendada uma queda de tensão máxima de 1 % [Morais, 2009].

5.4.5.5 Proteção contra os choques elétricos

Os equipamentos da unidade de mini-produção do lado DC devem ser considerados em tensão, mesmo quando desligados do lado AC.

Todas as partes acessíveis do lado DC, tal como ligadores, caixas de ligação e eventualmente seccionadores, deverão estar sinalizados com um aviso modelo com informação clara e durável da existência de tensão mesmo quando os circuitos se encontrem seccionados do lado DC [Certiel, 2012].

5.4.5.5.1 Proteção contra os contactos directos

Os materiais utilizados deverão garantir características adequadas de isolamento quer por construção quer através de utilização de invólucros.

As caixas ou armários que contenham partes ativas deverão permanecer fechadas apenas permitindo a abertura através de ferramenta específica ou de chave, a não ser que se encontrem localizadas em locais exclusivamente acessíveis a pessoas qualificadas ou instruídas [Certiel, 2012].

5.4.5.5.2 Proteção contra os contactos indirectos

Deve ser instalado um aparelho de corte geral ao inversor no lado DC e AC, isto de acordo com a norma IEC 60364-7-712. Quanto à corrente estipulada do aparelho de corte em DC é calculada pela equação (5-7), e a tensão pela equação (5-8).

$$I_{nDC} \geq 1.25 \times I_{CC(FV)} \quad (5-7)$$

$$U \geq U_{OC(-10^{\circ}C)} \quad (5-8)$$

Do lado AC, a proteção contra contactos indirectos deverá ser garantida através de aparelho sensível à corrente diferencial-residual de média sensibilidade (300 mA ou inferior) [Certiel, 2012].

5.4.5.6 Caixas de ligações de cablagens

As ligações das cablagens, as proteções em DC e o seccionamento, devem estar concebidas tendo em conta as disposições da norma CEI 60439-1. O índice de proteção, IP, deve ser adequado às condições das influências externas do local da instalação, sendo que para uma instalação exterior a proteção não deverá ser inferior a IP65 [Morais, 2009].

5.4.5.7 Ligação à terra e proteção contra sobretensões

As estruturas dos painéis fotovoltaicos são normalmente metálicas, e por esse motivo são considerados elementos condutores e possivelmente captadores de descargas atmosféricas. As estruturas metálicas dos módulos e as estruturas de suporte deverão ser equipotencializadas, apesar de garantida a classe II de isolamento.

De um modo geral, as estruturas metálicas são em alumínio, pelo que deverão ser utilizados ligadores adequados para o efeito sempre que necessário. A interligação destes componentes deverá ser assegurada através de condutor de equipotencialidade com $S \geq 4\text{mm}^2$.

Descargas atmosféricas direta sobre os painéis, ou sobretensões internas devido a manobras de corte podem sujeitar a instalação fotovoltaica a sobretensões. Neste contexto a proteção contra sobretensões deve ser prevista e dimensionada, dada a elevada sensibilidade de alguns equipamentos, como é o caso por exemplo dos inversores, caso estes não tenham incorporada a proteção para o efeito [Morais, 2009].

5.4.5.8 Verificação dos limites de tensão e da configuração do módulo

Para se obter o número máximo de módulos a ligar em série, a característica a que se deve recorrer é a que resulta do seu comportamento na estação fria, tomando como referência uma temperatura de módulo de -10°C . Para baixas temperaturas, a tensão de funcionamento do módulo aumenta até ao limite máximo da tensão de circuito aberto, ou seja, no caso dos módulos, uma temperatura baixa está associada a um aumento de tensão.

No verão, os módulos instalados no telhado podem estar sujeitos a temperaturas superiores a 70°C . Este valor serve geralmente como referência para determinar o número mínimo de módulos de uma fileira. Para os elevados níveis de radiação do verão, um sistema fotovoltaico terá uma tensão aos seus terminais inferior aquela que se verifica para as condições de referência STC (tensão nominal que consta da ficha técnica do módulo), devido às elevadas temperaturas a que está sujeito (um aumento de temperatura implica uma descida de tensão do módulo) [Roriz et al,2010] .

A gama de variação da tensão de entrada no inversor $V_{PPM\ máx}$ e $V_{PPM\ min}$ determina o número de módulos a ligar em série ou seja o número de módulos por fileira.

$$\text{Número máximo de módulos} = \frac{V_{PPM\ máx}}{V_{PPM(-10^\circ)}} \quad (5-9)$$

$$\text{Número mínimo de módulos} = \frac{V_{PPM\ min}}{V_{PPM(70^\circ)}} \quad (5-10)$$

O número máximo de fileiras é dependente da corrente de entrada do inversor e da corrente (I_{mpp}), conforme expressão (5-11).

$$\text{N}^\circ \text{ fileiras} = \frac{I_{DC,inv}}{I_{mpp}} \quad (5-11)$$

6 Eficiência energética – Casos de estudo

6.1 Introdução

O presente capítulo é alusivo aos casos de estudo apresentados para alguns sectores/pontos da fábrica a melhorar do ponto de vista de eficiência energética. É realizada inicialmente para cada caso de estudo, uma caracterização da situação atual, seguindo-se apresentação de propostas de racionalização e respetiva viabilidade. Para avaliação da situação atual houve por vezes necessidade de proceder a medições de grandezas elétricas com equipamento específico. As características dos equipamentos de medição utilizados (analisadores de energia), nomeadamente Hioki e Fluke, encontram - se descritas no anexo D.

Para um melhor enquadramento dos assuntos das secções seguintes, como a identificação dos locais de medição de grandezas elétricas, optou-se por incluir nesta secção o diagrama de blocos da distribuição dos quadros elétricos da instalação (Figura 6-2).

O processo da eficiência energética tem enquadramento nas auditorias energéticas em concreto na vertente elétrica. Não tendo sido realizada a análise a toda a instalação, foram previamente definidos e discutidos com a Cerutil as “áreas de interesse”. Nestas áreas seguiram-se as fases normais de uma auditoria (Figura 6-1).

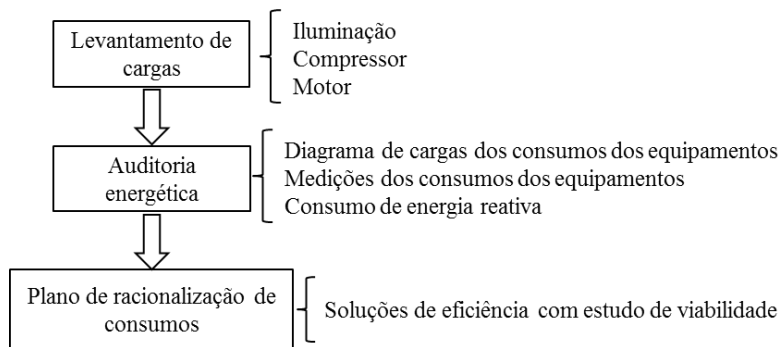


Figura 6-1: Fases da auditoria energética (vertente elétrica) na Cerutil

As medidas podem ser caracterizadas como medidas simples, que podem envolver ou não pequenos investimentos, e medidas complexas que são normalmente definidas em medidas de médio ou grande investimento.

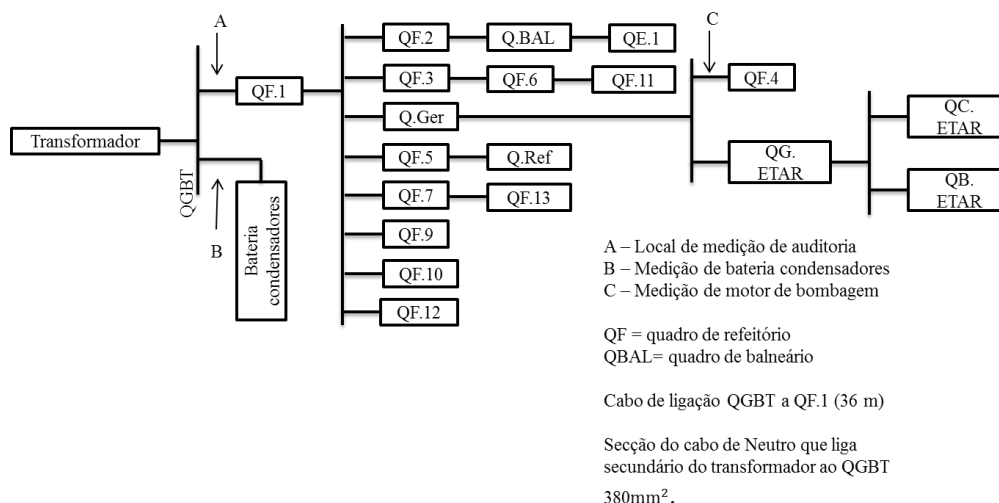


Figura 6-2: Resumo em diagrama de blocos dos quadros elétricos da empresa

6.2 Estudo de soluções de iluminação

O presente caso de estudo tem como objetivo efetuar um estudo de mercado com soluções ajustadas que garantam um fluxo luminoso adequado no plano de trabalho, assim como uma poupança energética associada à substituição das luminárias/equipamentos atuais.

Assim, nas secções seguintes serão produzidas referência à caracterização da iluminação presente na unidade fabril, bem como apresentação de propostas de mercado mais eficientes mediante cada sector de laboração. Será caracterizada a disposição do caso de estudo, valores envolvidos para os diversos equipamentos e metodologia de cálculo adotada. As propostas expostas serão acompanhadas de diversos estudos, nomeadamente:

- Estudo técnico-económico;

- Estudo relativamente às perdas evitadas com a redução no consumo;
- Estudo relativo às emissões de dióxido de carbono evitadas;
- Estudo luminotécnico inerente a soluções propostas.

O estudo será conduzido da seguinte forma:

- a) Começar-se-á por efetuar o levantamento dos sistemas de iluminação existentes nos diferentes sectores de laboração da unidade fabril.
- b) O consumo de energia elétrica inerente a cada sector será estimado considerando as características elétricas dos equipamentos e a respetiva utilização. A avaliação das características da iluminação atual será realizada em duas situações, nomeadamente:
 - Disposição do fluxo luminoso no espaço;
 - Níveis de iluminação (lux) no local de trabalho.

Os valores obtidos serão posteriormente comparados com as normas que regem os sistemas de iluminação. Os estudos luminotécnicos podem ser encontrados no ANEXO E.

Neste capítulo caracteriza-se a iluminação presente na instalação, nomeadamente no que se refere: à distribuição das luminárias; iluminância (recomendados/medidos) e período de laboração de cada sector.

Os sectores que constituem a unidade fabril encontram-se referenciados e ilustrados de seguida, estando a tarefa executada em cada sector descrita no capítulo 2.

1. Moldes
2. Forno
3. Embalagem
4. Vidragem
5. Conformação
6. Pintura
7. Laboratório de teste

As figuras 6-3 e 6-4 ilustram alguns dos sectores acima citados:



Figura 6-3: Sector do forno (fig. Esq.) e Embalagem (fig. Dir.)

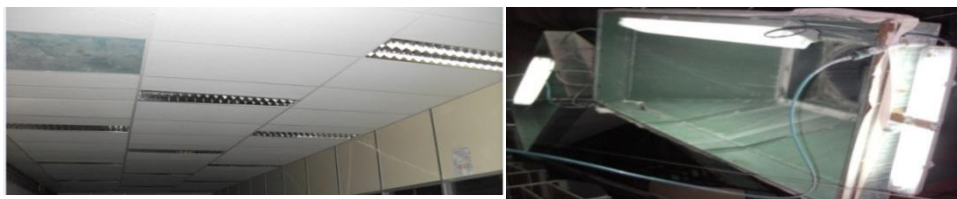


Figura 6-4: Sector da pintura (fig. Esq.) e vidragem (fig. Dir.)

Nesta fase foi realizado o levantamento da quantidade e tipo de armaduras em cada sector (a indicar na secção 6.2.2), assim como a iluminância de cada espaço. Neste processo foram identificados três turnos de laboração da empresa, conforme o Quadro 6-1.

Quadro 6-1: Período de funcionamento dos turnos

Turnos	Horário
1º Turno	08h às 17h
2º Turno	17h à 01h
3º Turno	01h às 08h

Verifica-se que existem sectores onde o período de laboração é de 16h (sectores da conformação, vidragem e moldes) e de 24h (sector do forno, bar e corredores). A tipologia de iluminação definida encontra-se descrita na secção 6.2.1.

6.2.1 Tipologia de iluminação na Cerutil

A iluminação dos diversos locais e sectores de laboração da nave fabril encontram-se descritas nas secções seguintes, estando dividida em *iluminação generalizada*, *iluminação localizada* e *iluminação exterior*.

6.2.1.1 Iluminação localizada

A iluminação localizada é conseguida com recurso a lâmpadas fluorescentes tubulares. O levantamento efetuado permitiu verificar a existência de armaduras equipadas com:

- Uma lâmpada com potência a variar entre 18, 36 e 58 W;
- Duas lâmpadas com potência a variar entre 36 e 58 W;
- Quatro lâmpadas com potência de 18W.



Figura 6-5: Luminária de 2×36W (Cerutil)

6.2.1.2 Iluminação generalizada

A iluminação generalizada é realizada com recurso a lâmpadas de iodetos metálicos com potência de 250W (Figura 6-6).

As características referentes ao balastro encontram-se descritas na secção 7.2.3.



Figura 6-6: Representação da iluminação generalizada na Cerutil

6.2.1.3 Iluminação do espaço exterior

A iluminação do espaço exterior é realizada através de lâmpadas vapor mercúrio com potência de 125W, Figura 6-7, acionadas por interruptor crepuscular.



Figura 6-7: Representação de iluminação exterior

6.2.2 Caracterização da situação atual

Com a finalidade de aferir os consumos do equipamento de iluminação realizou-se uma auditoria relativamente ao uso do espaço. Desta forma, obteve-se para cada sector o número de horas de funcionamento e foi medida a iluminância (lux) para cada local (posto de trabalho), como se encontra ilustrado no Quadro 6-2. Para obtenção destas grandezas foi

utilizado um luxímetro cujas características são apresentadas no anexo D. Os valores de iluminância da Norma 12464-1 são valores médios. Todas as soluções propostas têm suporte em estudo luminotécnico. De referir que os resultados obtidos em cada caso conduzem a valores médios de iluminância adequados (Anexo E) enquadrados na referida Norma.

Quadro 6-2: Enquadramento da situação atual

Sector	Quantidade luminárias por sector	Iluminância medida (lux)	Altura da luminária (m) *	Horário de funcionamento (h)	EN12464-1 iluminância (lux)
Moldes	7 armaduras estanques 2x36W	265 a 285	4	16	300
Forno	23 armaduras estanques 2x36W	350	3	24	300
Embalagem	20 armaduras estanque 1x58W, 1 armadura 1x18W, 2 armaduras 2x36W e 4 armaduras 2x58W	290	3	8	300
Vidragem	7 armaduras estanques 1x18W, 3 armaduras 2x36W e 3 armaduras 2x58W	275	1,6 e 2	16	300
Conformação	1 armadura estanque 1x58W e 30 armaduras 2x36W	291	2,1	16	300
Pintura	15 armaduras de lamelas 2x36W	353	3	8	300
Laboratório de teste (junto a secretária)	3 armaduras de lamelas 2x36W e 4 armaduras de 1/2 aba 1x58W	302	2,1	8	300
Laboratório de teste (junto a posto trabalho)	3 armaduras de lamelas 2x36W e 4 armaduras de 1/2 aba 1x58W	375	3	8	300
Iluminação exterior	Vapor mercúrio	45	6,5	13	50
Iluminação geral	Iodetos metálicos	55	6,9	8/16/24***	50

* medido desde o chão à luminária (existem luminárias suspensas)

*** dependendo do espaço a iluminar

Em alguns locais a iluminância no plano de trabalho encontra-se ligeiramente abaixo do recomendado pela norma, no entanto os valores não são muito díspares. As soluções propostas têm também como objetivo corrigir esta situação.

O Quadro 6-3 faz referência à quantidade de luminárias por sector, incluindo o respetivo consumo de energia para um dia típico, de acordo com o horário de funcionamento exposto no Quadro 6-1.

Quadro 6-3: Representação dos sectores e respetivo consumo de energia

	Sector (nº luminárias)							
	Potência	Moldes	Forno	Embalagem	Vidragem	Conformação	Pintura	Laboratório
Quantidade	1x18		1	1	7			
	1x36							
	1x58			20		1		4
	2x18							
	2x36	7	23	2	3	30	15	3
	2x58			4	3			
	4x18		4	3				
Energia consumida (kWh)		10,4	54,1	18,8	14,2	45,8	11,2	4,6

Salientar que para o cálculo da energia consumida foi utilizado o consumo do conjunto (lâmpada + balastro) de acordo com os quadros Quadro 6-5 e Quadro 6-6.

O Quadro 6-4 representa a quantidade de luminárias presentes na totalidade da unidade fabril, no entanto o estudo realizado incidu apenas nas luminárias que possuem um regime de funcionamento contínuo.

Quadro 6-4: Representação da quantidade de armaduras presentes na unidade fabril

Luminárias	Tipo	Quantidade	Potência (W)
Armadura estanque (1 Lâmpada)	Fluorescente	22	18
Armadura estanque (1 Lâmpada)	Fluorescente	18	36
Armadura estanque (1 Lâmpada)	Fluorescente	56	58
Armadura estanque (2 Lâmpadas)	Fluorescente	105	36
Armadura estanque (2 Lâmpadas)	Fluorescente	15	58
Armadura Industrial (1 Lâmpada)	Iodetos metálicos	75	250
Armadura c/ difusor acrílico para (2 Lâmpadas)	Fluorescente	2	58
Armadura Industrial com 1/2 aba para (1 Lâmpada)	Fluorescente	4	58
Armadura c/ difusor de lamelas para (2 Lâmpadas)	Fluorescente	74	36
Armadura c/ difusor de lamelas para (2 Lâmpadas)	Fluorescente	20	18
Armadura c/ difusor de lamelas para (4 Lâmpadas)	Fluorescente	7	18
Armadura tipo Olho de boi	Incandescente	6	60
Armadura exterior (1 Lâmpada)	Vapor mercúrio	22	125

As luminárias de vapor mercúrio e iodetos metálicos são equipadas com balastro eletromagnético, assim como a grande maioria das luminárias com lâmpadas fluorescentes tubulares. Existem algumas luminárias de lâmpadas fluorescentes tubulares que possuem balastro eletrônico, uma vez que quando se realizou a manutenção dos balastros (substituição), a opção recaiu sobre a substituição para balastro eletrônico. As características dos balastros acima citados encontram-se representadas nos Quadro 6-5 e Quadro 6-6.

Quadro 6-5: Representação das características referentes ao balastro eletromagnético (situação atual)

	Balastro eletromagnético					
	1×18	2×18	1×36	1×58	1×125	1×250
P (W)	23,5	46,92	46,5	74,0	136,7	269
In(A)	0,4	0,4	0,43	0,67	1,15	2,13
α	0,51	0,51	0,47	0,48	0,52	0,56

Quadro 6-6: Representação das características referentes ao balastro eletrônico (situação atual)

Balastro eletrônico				
	2×18	2×36	1×58	1×36
P_l (W)	16	32	-	-
I_n (A)	0,18-0,15	0,33-0,31	0,25	0,17
α	0,98	0,98	0,96	0,96

6.2.3 Soluções de mercado

Na secção seguinte serão apresentadas propostas de racionalização de consumos. Não se contabilizaram nesta fase quaisquer retornos de investimento, apresentando-se apenas as soluções comerciais mais eficientes contrapondo com as situações atuais. Essas soluções podem envolver a substituição completa das armaduras ou apenas do balastro.

6.2.3.1 Armaduras

Em seguida apresentam-se três soluções possíveis de racionalização capazes de otimizar a solução atual no que se refere a armaduras estanque, armadura de lamelas, iodetos metálicos e vapor mercúrio.

Armadura estanque

As soluções seguintes poderão servir para substituir as armaduras estanque atuais. As propostas terão a seguinte descrição: proposta A para a luminária TCW 060 da Philips, proposta B para a luminária LINEA T8 da Electricol e proposta C para luminária estanque MHPPB da EEE. Na Figura 6-8 encontra-se representado o diagrama fotométrico para as soluções apresentadas.

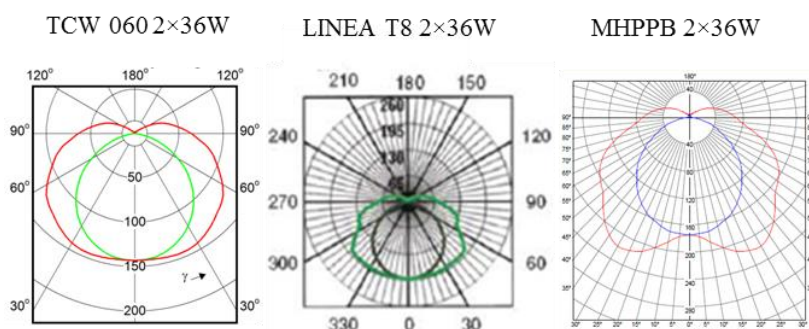


Figura 6-8: Diagrama fotométrico das propostas apresentadas

Estas propostas diferencem da situação atual na medida em que para manter idêntico o nível de iluminação o consumo é menor, uma vez que todas as propostas de substituição possuem balastro eletrônico. Esta diferença permite também aumentar a vida útil da lâmpada, passando

de 12000h para 17000h, ou seja um aumento de 5000h na vida útil da lâmpada, o que diminui os tempos de manutenção a realizar.

Apresenta-se de seguida o custo associado a cada armadura.

Quadro 6-7: Custo das diferentes propostas

Custo (€) Propostas			
Tipo	A	B	C
1×18	51,00 €	43,00 €	43,30 €
1×36	52,00 €	53,00 €	54,00 €
1×58	57,00 €	59,00 €	61,00 €
2×18	58,00 €	51,00 €	56,00 €
2×36	61,00 €	59,00 €	69,00 €
2×58	66,00 €	70,00 €	80,00 €

As luminárias apresentadas apresentam grau de proteção contra partículas e contra infiltração de humidade para ambientes exigentes, como se exige no caso da Cerutil. O difusor em policarbonato é comum a todas as luminárias supracitadas.

Armadura de lamelas

As armaduras de lamelas presentes na Cerutil possuem tecnologia T8, e as propostas de racionalização incidiram em 3 soluções: proposta A para TBS 165 da Philips, proposta B para luminária de encastrar parabólica GAIA da electricol e proposta C para luminária de encastrar TRU da EEE. O diagrama fotométrico de cada proposta encontra-se ilustrado na Figura 6-9.

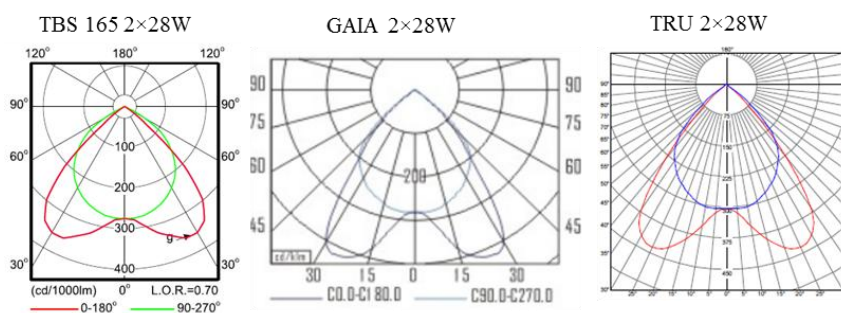


Figura 6-9: Diagrama fotométrico para proposta apresentada

Estas luminárias com tecnologia T5 apenas funcionam com balastro eletrónico, onde a lâmpada de tecnologia T5 apresenta uma vida útil superior à T8 (+2000h).

Quadro 6-8: Custo das diferentes propostas

Custo (€) Propostas			
Tipo	A	B	C
2×28	80,00 €	100,00 €	97,00 €
4×14	79,00 €	102,00 €	102,00 €

Armadura iodetos metálicos

A proposta de solução para as luminárias de iodetos metálicos (HQL-E) recaiu sobre duas tecnologias distintas nomeadamente:

- Solartube;
- Armadura com tecnologia T5.

No que concerne à tecnologia solartube existem disponíveis vários modelos:

Quadro 6-9: Modelos solartube [polirigido, 2012]

Modelo	Lumens (máximo)
330 DS (53cm)	20800
290 DS (35cm)	9100
160 DS (25cm)	4600

O fluxo luminoso (lm) utilizável por esta tecnologia encontra-se dependente de determinados fatores, sendo de destacar a estação do ano e o período horário do dia. Uma vez que as horas de Sol por dia que condicionam os fatores anteriores são variáveis, optou-se por utilizar um valor médio para a incidência solar no local onde esta tecnologia será estudada (Sátão). Para o efeito dividiu-se o ano por estações tendo sido apurado um valor de horas de Sol médias diárias por estação (Inverno: 4h h; Outono: 5h; Verão: 7h; Primavera: 5h).

A obtenção do valor médio referido permite ponderar o número de horas que atual iluminação estará desligada.

A escolha sobre o modelo a utilizar no caso de estudo incidiu na tecnologia solartube 330 DS. Das tecnologias analisadas esta é a que oferece um valor de fluxo luminoso mais próximo comparativamente à luminária de iodetos metálicos. Referir que para as condições onde estarão inseridos (altura que estarão colocadas, e espaço a iluminar) esta apresenta-se como melhor solução, uma vez que tem capacidade para iluminar (em condições ótimas) uma área referente a 30 m². É prática a instalação desta tecnologia com uma distância entre cada equipamento de sensivelmente 6 metros, sendo esta a distância entre as armaduras de iodetos metálicos da Cerutil. De referir que para o estudo a realizar referente à tecnologia solartube foi utilizado um programa informático de nome Solatube Daylighting Calculation Tool do fabricante [solatube, 2012]

Os lumens utilizáveis por esta tecnologia encontram-se dependentes de determinados fatores, sendo de destacar os seguintes: i) Estação do ano e ii) Período horário. Devido a esta incerteza nos resultados optou-se por utilizar um valor médio para a incidência solar no local onde esta tecnologia será inserida, e um software comercial que se encontram descritos no respetivo caso de estudo. A escolha sobre o modelo a utilizar no caso de estudo incidiu na tecnologia solartube 330 DS. Das tecnologias analisadas esta é a que oferece um valor de fluxo luminoso mais próximo mais comparativamente à luminária de iodetos metálicos. Referir que para as condições onde estarão inseridos (altura que estarão colocadas, e espaço a iluminar) esta apresenta-se como melhor solução, uma vez que tem capacidade para iluminar em condições ótimas uma área referente a 30 m². É prática a instalação desta tecnologia com uma distância entre cada equipamento de sensivelmente 6 metros, sendo esta a distância entre as armaduras de iodetos metálicos da Cerutil.



Figura 6-10: Solartube 330 DS [solevita, 2012]

A outra proposta de solução recai sobre a substituição das armaduras de iodetos por armaduras com tecnologia T5. A possível implementação desta solução estaria sujeita a eventual financiamento conforme se encontra descrito na secção 6.2.6.8

É de salientar que nesta proposta a altura das luminárias devem diminuir para uma altura próxima dos 5 metros [lumatek, 2012], e este procedimento apenas é exequível em alguns locais da fábrica. Assim, o estudo referente a esta proposta irá recair nesses mesmos locais onde é possível baixar a altura da luminária.

Em seguida serão apresentadas quatro soluções de mercado. Duas associadas à Philips (proposta A para luminária WT360C e B para luminária TCW 060), proposta C para luminária estanque compacta NEPTUNO associada à electricol e proposta D para luminária estanque MHPPB da EEE.

Quadro 6-10: Custo das diferentes propostas

Propostas				
Tipo	A	B	C	D
2×49	119,00 €	57,00 €	65,00 €	73,00 €

Apesar da necessidade de aumentarmos o número de luminárias para garantir um nível de iluminação igual ou superior, o consumo das luminárias propostas será inferior à atual. Neste caso seriam utilizadas duas armaduras com potência de 2×49, o que significaria um consumo de 213W contra os 269W apresentadas pela armadura de iodetos metálicos. Todas as propostas apresentadas possuem tecnologia T5 que possui uma vida útil de 19000h, contra as

12000h apresentadas pelas de iodetos metálico. A diferença de custo entre a proposta A e as demais prende-se com a possibilidade de utilização de iluminação LED.

Armadura vapor mercúrio

A proposta apresentada consiste em substituir a luminária atual de vapor mercúrio por uma luminária de vapor de sódio, uma vez que estas luminárias são mais eficientes, como se constata pelo Quadro 6-11.

Quadro 6-11: Características de lâmpadas em estudo

	Casquilho	Potência	Lumen	Vida útil
Vapor mercúrio	E27	125W	6300	10000h
Vapor sódio	E27	70W	6600	22000h

O Quadro 6-12 apresenta as propostas alvo de estudo, sendo a proposta A para luminária SGS101 da Philips, e a proposta B para luminária GW86913 da GEWISS, ambas com lâmpada de vapor de sódio.

Quadro 6-12: Custo das propostas

Propostas		
Tipo	A	B
70W	149,00 €	230,00 €

6.2.3.2 Lâmpadas

Tecnologia T8 e TL5

A proposta a apresentar em alguns setores da nave industrial da Cerutil visa a substituição da tecnologia de iluminação de T8 para T5, estando por isso evidenciadas no Quadro 6-13 e Quadro 6-14 algumas características destas tecnologias para várias potências de lâmpadas.

Quadro 6-13: Características alusivas à tecnologia T8

	Osram						Philips					
	Luminux			Luminux energy saver			TL-D			TL-D ECO		
	18	36	58	16	32	51	18	36	58	16	32	51
Fluxo luminoso (lm)	1350	3350	5200	1300	2880	4660	1350	3350	5240	1175	2650	4450
Vida média bal. Electromagnético (h)	13000	13000	13000	13000	13000	13000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
Vida média bal. Electrónico (h)	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
Custo	7,25 €	7,25 €	8,50 €	11,06 €	11,42 €	13,59 €	4,94 €	4,94 €	7,26 €	6,24 €	6,24 €	8,42 €

O nível de iluminação presente nos escritórios encontra-se ligeiramente acima do recomendado pela norma EN 12464-1, conforme se refere na seção 6.2.7. A proposta de

otimização nesse espaço visa a substituição da tecnologia atual (T8) para T5. O estudo não foi alargado a outros sectores uma vez que os níveis de iluminação não estão acima da norma (Quadro 6-2). A justificação para o efeito prende-se com a diferença existente no fluxo luminoso comparando as duas tecnologias. Para a potência de 36 W (T8) a lâmpada equivalente com tecnologia T5 seria a de 28 W, neste caso a diferença de fluxo será de 725lux, já para as potências de 58W (T8) e 49 W (T5) a diferença é de 865 lux.

O Quadro 6-14 ilustra as características referentes à tecnologia T5, onde apenas estarão representadas as potências de 28 e 49W, visto serem as utilizadas no caso de estudo.

Quadro 6-14: Características respeitantes à tecnologia T5

	Osram		Philips	
	Luminux T5		TL-5	
	28*	49**	28	49
Fluxo luminoso (lm)	2600	4300	2625	4375
Vida média bal. Eletromagnético (h)	-	-	-	-
Vida média bal. Eletrónico (h)	24000	24000	24000	24000
Custo	9,90 €	11,50 €	8,82 €	10,96 €

* T5 alta eficiência

**T5 alto fluxo

6.2.3.3 Balastro eletrónico

As propostas referentes à substituição das luminárias com tecnologia T8 incluem a substituição do balastro eletromagnético por balastro eletrónico. O Quadro 6-15 apresenta o custo dos balastros para os diferentes níveis de potência.

Quadro 6-15: Custo do balastro entre diferentes marcas

Potência	Osram		Philips		EEE	
	Consumo do circuito (W)	Custo equipamento	Consumo do circuito (W)	Custo equipamento	Consumo do circuito (W)	Custo equipamento
1×18	18	22,00 €	19	23,00 €	18,2	24,20 €
1×36	35	22,00 €	35,8	23,00 €	35	24,20 €
1×58	55	22,00 €	55	23,00 €	54	24,20 €
2×28	60	34,00 €	59,3	34,00 €	61	29,80 €
2×49	107	34,00 €	106,8	34,00 €	107	29,80 €
2×36	72	25,00 €	72,8	25,00 €	69,8	27,55 €
2×58	110	25,00 €	109,3	25,00 €	106,8	27,55 €

Como é possível constatar os consumos do equipamento não divergem muito de marca para marca, assim como o custo inerente ao equipamento. Salientar que a vida útil do equipamento é de 50000h para todas as marcas apresentadas.

Efetuada uma análise nos diferentes estudos de mercado realizados constata-se que apesar de existirem diferenças nas características e custos, estas não são muito significativas. Assim, a escolha no que respeita ao equipamento a ser utilizado nos casos estudados será referente à marca Philips, por uma questão de comodidade disponibilizou documentação técnica completa em tempo útil via representante local.

6.2.4 Estrutura dos casos de estudos

Após se identificar as soluções tecnológicas para cada tipologia de iluminação irá proceder-se à exposição das propostas de racionalização. Assim, a Figura 6-11 mostra os sectores intervencionados.

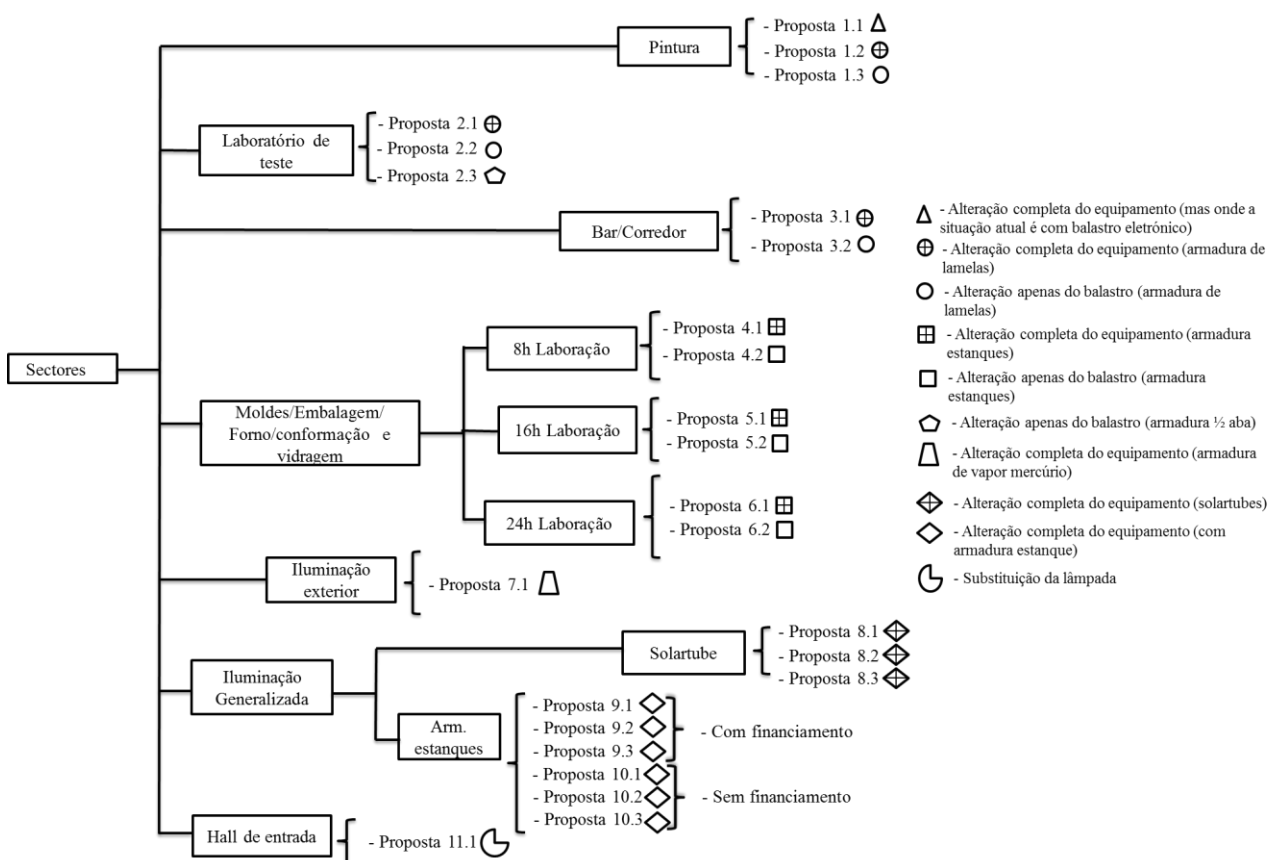


Figura 6-11: Representação da estrutura utilizada para identificar as propostas apresentadas

As luminárias que se apresentam como possíveis soluções para substituição do equipamento atual serão:

- Luminária TBS 165 - luminária encastrável com tecnologia T5, apresenta-se como a proposta de solução para substituir as armaduras de lamelas presentes nos sectores da pintura, bar, corredor e laboratório de teste;

- b) Luminária TCW060 (com tecnologia T8, com corpo e difusor de policarbonato, índices de proteção adequados ao ambiente onde serão inseridas e balastro eletrónico) para substituição das armaduras estanques atuais presentes nos sectores de moldes, conformação, vidragem, embalagem e forno;
- c) Luminária SGS101 (equipada com balastro ferromagnético, arrancador e lâmpada vapor de sódio) para substituição do equipamento atual presente para o sector da iluminação exterior.
- d) Luminária WT360C insere-se numa perspetiva de futuro uma vez que esta armadura utiliza tecnologia T5 (tecnologia utilizada no caso de estudo), no entanto também permite a utilização de tecnologia LED. Esta medida é apresentada como alternativa às luminárias de iodetos metálicos.

O estudo realizado na proposta 1.1 pretende estudar a viabilidade de um possível investimento quando se procede à alteração das armaduras atuais que possuem balastro eletrónico, para tecnologia T5 (luminária TBS 165).

Proposta 1.2 destina-se à alteração completa do sistema, onde as armaduras atuais são equipadas com balastro eletromagnético e se propõe a alteração para luminária TBS 165.

Proposta 1.3 destina-se apenas à alteração apenas do balastro eletromagnético para balastro eletrónico.

Proposta 2.1 está relacionada com a alteração das armaduras atuais que possuem balastro eletromagnético, para tecnologia T5 (luminária TBS 165).

Proposta 2.2 destina-se apenas à alteração apenas do balastro eletromagnético para balastro eletrónico.

Proposta 2.3 o estudo associado a esta proposta visa as armaduras de ½ aba, onde se propõe a alteração apenas do balastro eletromagnético para balastro eletrónico.

Nas propostas 4.1,5.1 e 6.1 propõe-se a alteração completa do equipamento atual para luminária TCW060.

As propostas 4.2,5.2 e 6.2 destinam-se apenas à substituição do balastro eletromagnético para balastro eletrónico.

Na proposta 7.1 propõe-se a alteração completa do equipamento atual, com lâmpada de vapor mercúrio, para luminária SGS101 com lâmpada de vapor de sódio.

As propostas 8.1, 8.2 e 8.3 destinam-se à colocação de solartube para “substituir” as armaduras de iodetos metálicos. Estas propostas são divididas da seguinte forma:

- Proposta 8.1 – Estudo de 1 solartube para 1 luminária de iodetos metálicos;
- Proposta 8.2 – Estudo para situações onde existe possibilidade de colocar 1 solartube para 2 armaduras de iodetos.
- Proposta 8.3 – Estudo para a instalação da Cerutil (análise global).

De salientar que esta substituição não implica a retirada das lâmpadas de iodetos.

As propostas 9.1, 9.2, 9.3, 10.1, 10.2 e 10.3 destinam-se a alteração completa do equipamento atual, com armaduras de iodetos metálicos para armaduras com tecnologia T5 (WT360C). O investimento que é realizado nas propostas 9.1, 9.2 e 9.3 é alvo de financiamento por parte de um programa de apoio à eficiência energética apresentado na seção 6.2.6.8.

Para finalizar a explanação das propostas identificadas anteriormente têm-se a proposta 11.1 associada apenas à alteração da lâmpada de incandescência para fluorescente compacta.

Os valores associados a cada equipamento utilizados nos casos de estudo foram obtidos via representante local e encontram-se identificados no anexo B.

6.2.5 Metodologia de cálculo adotada

Metodologia para estudo técnico-económico

Para este estudo foi necessário apurar a potência que é consumida com as luminárias atuais, assim como o que passará a ser consumido com as soluções propostas. A diferença entre estas potências permitirão determinar a poupança associada com a implementação da proposta. A unidade é o Watt e esta poupança pode ser definida pela equação:

$$P_p = \sum_{i=1}^n n_i \times P_{ca} - \sum_{i=1}^n n_i \times P_{c2} \quad (6-1)$$

em que n_i corresponde à quantidade de luminárias instaladas, P_{ca} e P_{c2} a potência consumida pela luminária na situação atual e com proposta de soluções respetivamente.

O aumento da eficiência energética tem implicações na manutenção que é realizada, uma vez que existe uma redução no intervalo de tempo onde é necessário efetuar a troca da lâmpada ou do balastro, que é diferente para cada tecnologia de iluminação presente:

- Lâmpada fluorescente a sua vida útil aumenta com balastro eletrónico;
- Lâmpada vapor de sódio apresenta uma vida útil muito superior comparativamente à de vapor mercúrio;
- Solartube não implica manutenção de equipamento.

O cálculo referente ao tempo de manutenção de cada lâmpada e/ou balastro encontra-se representado por (6-2):

$$\text{Tempo manutenção} = \frac{\text{Vida}_{\text{útil}} (\text{lâmpada ou balastro})}{h_{f_ano}} \quad (6-2)$$

Conforme referido, a poupança resultante da implementação das medidas de racionalização permite uma redução na fatura elétrica mensal. Tratando-se de uma tarifa tetra-horária (Ponta, Cheia, Vazio e Super Vazio), o cálculo respeitante ao custo do kWh foi efetuado consoante o consumo existente em cada período (Quadro 6-16). Naturalmente, adiciona-se também o custo associado à tarifa de acesso às redes, incluindo a penalização por consumo em horas de ponta, que no ano 2012 de acordo com a ERSE se estabeleceu em 0.2476 €/kW.dia. A Figura 6-12 ilustra para os três períodos de laboração da empresa, e para a iluminação exterior a repartição dessas horas pelos períodos de faturação (H.P., H.C., H.V. e H.S.V.)

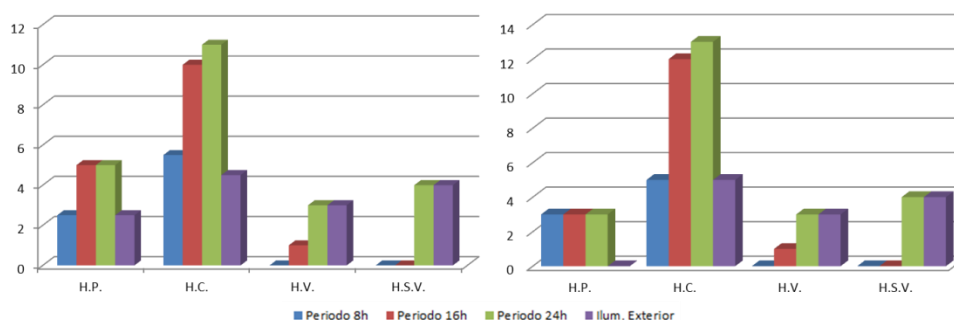


Figura 6-12: Distribuição das horas pelos diferentes períodos, com período legal de inverno (fig. Esq.) e período legal verão (fig. Dir.)

Assim, para apresentação do estudo económico são apresentados os custos iniciais, associados à aquisição dos novos equipamentos e os custos de manutenção, associados essencialmente a substituição da lâmpada e do balastro. A avaliação do tempo esperado para o retorno do investimento realizado foi efetuada segundo o método VPL (valor presente líquido). Este método baseia-se no conceito de equivalência monetária na data presente dos fluxos de caixa ocorrentes em diferentes datas. É obtido através da diferença existente entre o investimento e as entradas de caixa (receitas), descontados a uma determinada taxa, geralmente a TMA. O projeto é considerado viável quando possui um valor presente líquido maior ou igual a zero [Eder et al, 2004].

$$VPL = \sum_{t=1}^T \frac{R_t - D_t}{(1+k)^t} - \frac{S_T}{(1+k)^T} - I_0 \quad (6-3)$$

em que R_t corresponde às receitas durante o ano t de operação do projeto, D_t o custo de manutenção esperados durante o ano t , T corresponde à vida útil do projeto, S_T o valor residual do investimento no final da sua vida útil, k a taxa mínima de rentabilidade exigida do projeto e I_0 corresponde ao investimento inicial associado ao projeto.

O valor adotado para a taxa mínima de rentabilidade foi estabelecido em 5%, e de 3% para a taxa de inflação associado ao aumento do custo do equipamento e da eletricidade.

Salientar que não foi considerado custo de instalação das armaduras, uma vez que a unidade fabril possui técnicos qualificados para o efeito.

Para efeitos da contabilização carbónica por emissão de gases efeito estufa, considera-se que o fator de emissão associado ao consumo de eletricidade é de 0.47kgCO₂ /kWh (Portaria nº 63/2008). As quantidades calculadas foram obtidas segundo (6-4):

$$\begin{aligned} & \text{Emissões evitadas (kg)} \\ & = \left[\sum_{i=1}^n n_i \times P_c \times h_{f_{ano}} - \sum_{i=1}^n n_i \times P_{c2} \times h_{f_{ano}} \right] \times 0.47 \text{CO}_2/\text{kWh} \end{aligned} \quad (6-4)$$

6.2.6 Estudos técnico-económicos

Nesta análise foi apenas considerado o custo de energia ativa, uma vez que a Cerutil não consome energia reativa da rede elétrica de distribuição uma vez que esta possui uma bateria de condensador. No entanto, para as propostas apresentadas existe uma redução do consumo de energia reativa, que se encontra representado nos quadros ilustrativos das poupanças registadas com a implementação das diferentes propostas. De referir que a energia reativa que passa a ser dispensada evita perdas na rede. O custo do kWh foi aferido de acordo com o valor do comercializador atual (IBERDOLA). Os preços da energia encontram-se representados no Quadro 6-16.

Quadro 6-16: Custo de energia e tarifa de acesso às redes

Faturação do kWh	Ponta	Cheia	Vazio	S.Vazio	PHP (€/kW.dia)	Definição do preço
Termo de energia	0,0717	0,0651	0,0578	0,0476	-	Comercializador
Termo de rede de energia	0,0209	0,0197	0,0163	0,016	0,2476	ERSE

6.2.6.1 Sector Pintura

Este sector possui um período de laboração de 8h, estando atualmente o espaço iluminado por 15 armaduras com difusor de lamelas com lâmpada fluorescente tubular de potência 2×36W (Quadro 6-2).

O Quadro 6-17 ilustra as diferenças de energia associada a cada proposta comparativamente à situação atual.

Quadro 6-17: Poupanças registadas em kWh e kVArh com as propostas sugeridas

Energia ativa (kWh) s.a.*	11,16	ΔkWh (diário)
(kWh) proposta 1.1**	7,12	1,62
(kWh) proposta 1.2	7,12	4,04
(kWh) proposta 1.3	8,74	2,42
Energia reativa (kVArh) s.a.	20,95	ΔkVArh (diário)
(kVArh) proposta 1.2	1,01	19,94
(kVArh) proposta 1.3	1,24	19,71

* s.a corresponde à situação atual

** Proposta em que a s.a passa a ser 8,736kWh

Proposta 1.1/1.2

No Quadro 6-18 caracterizam-se as propostas para o setor da pintura, onde se evidencia a receita, obtida pela expressão (6-1). Apesar do aumento das despesas com manutenção dos equipamentos (balastro e lâmpada) para as propostas apresentadas (obtidas a partir da equação (6-2), o intervalo em que estas acontecem é superior à situação atual, isto será válido para as propostas apresentadas nas secções seguintes. É ainda apresentado o investimento inicial.

Quadro 6-18: Caracterização das propostas para setor da pintura

Proposta	Receita (anual)	Despesa manutenção balastro		Despesa manutenção lâmpada		Investimento
		Sit. Atual	Proposta	Sit. Atual	Proposta	
1.1	42,79 €	322,8 € de 24 em 24 anos	439,1 € de 24 em 24 anos	127,6 € de 8 em 8 anos	227,8 € de 9 em 9 anos	1.030,40 €
1.2	106,70 €	96,6 € de 24 em 24 anos	439,1 € de 24 em 24 anos	127,6 € de 6 em 6 anos	227,8 € de 9 em 9 anos	1.030,40 €
1.3	63,91 €	96,6 € de 24 em 24 anos	322,8 € de 24 em 24 anos	127,6 € de 6 em 6 anos	127,6 € de 6 em 6 anos	226,27 €

Na Figura 6-13 encontra-se representado o esquema de montagem da luminária TBS165.

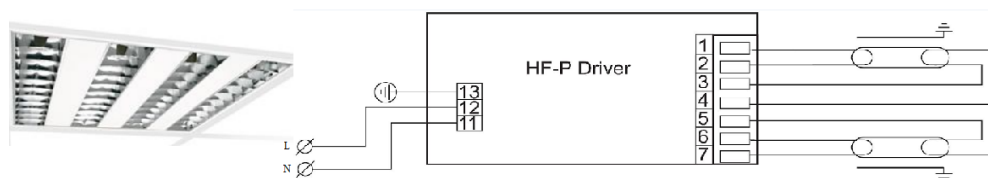


Figura 6-13: Luminária TBS e esquema montagem

O retorno de investimento para as propostas 1.1 e 1.2 encontra-se ilustrado na Figura 6-14.

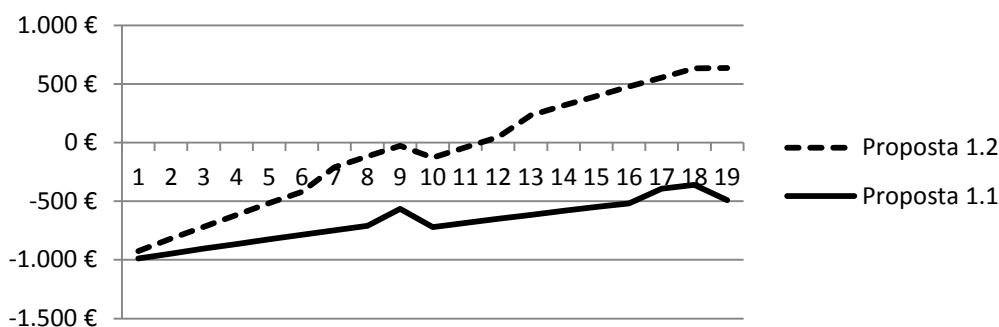


Figura 6-14: Representação do retorno e receitas associado às propostas 1.1/1.2

Tendo como referência os valores envolvidos no Quadro 6-18 é possível constatar-se que no sexto ano ocorreu manutenção do equipamento atual o que permite aumentar a receita nesse ano. Em contrapartida no nono ano, ano onde ocorre manutenção do equipamento para a proposta apresentada existe um declínio na curva que afeta a receita. A manutenção do balastro não foi considerada visto que o seu tempo de vida útil é superior ao tempo considerado para o projeto.

Pela análise da Figura 6-14 é possível constatar que a proposta 1.1 (na situação exposta onde temos balastro eletrónico e se propõe a substituição para tecnologia T5), não é viável, uma vez que o ponto de equilíbrio acontece muito tarde. Por outro lado, na proposta 1.2, o ponto de equilíbrio verifica-se entre o décimo primeiro e o décimo segundo ano.

Proposta 1.3

Pela análise da Figura 6-15 é possível constatar-se que a proposta 1.3, realizada no setor da pintura, apresenta um ponto de equilíbrio mais atrativo, apresentando no quarto ano uma receita estimada de 12€. Salientar que as variações nas receitas devem-se ao investimento realizado para manutenção do equipamento, onde é possível visualizar um aumento de receitas de seis em seis anos. Em contrapartida essa receita diminui de oito em oito anos.

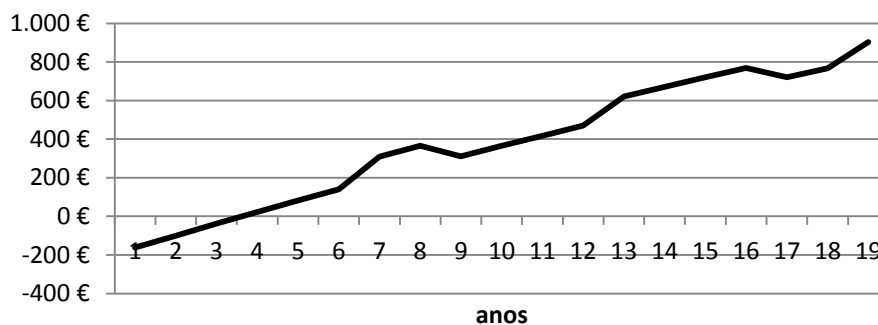


Figura 6-15: Representação do retorno e receitas associado à proposta 1.3

6.2.6.2 Sector laboratório de teste

A iluminação deste local é atualmente realizada através de três luminárias com difusor de lamelas, e por quatro armaduras de ½ aba, tendo um período de laboração de 8h. O Quadro 6-19 ilustra as poupanças registadas em kWh e kVArh com a implementação das soluções para a luminária de lamelas, estando o Quadro 6-20 relacionada com as poupanças para a luminária de ½ aba.

Quadro 6-19: Poupanças registadas em kWh e kVArh para armadura de lamelas

Energia ativa (kWh) s.a.	2,23	ΔkWh (diário)
(kWh) proposta 2.1	1,42	0,81
(kWh) proposta 2.2	1,75	0,48
Energia reativa (kVArh) s.a.	4,19	ΔkVArh (diário)
(kVArh) proposta 2.1	0,20	3,99
(kVArh) proposta 2.2	0,25	3,94

Quadro 6-20: Poupanças registadas em kWh e kVArh para armadura de ½ aba

Energia ativa (kWh) s.a.	2,37	ΔkWh (diário)
(kWh) proposta 2.3	1,76	0,61
Energia reativa (kVArh) s.a.	8,65	ΔkVArh (diário)
(kVArh) proposta 2.3	0,25	8,40

Proposta 2.1/2.2

No Quadro 6-21 encontra-se caracterizada a situação atual e a proposta apresentada, para um melhor enquadramento da proposta de racionalização.

Quadro 6-21: Caracterização das propostas para setor de laboratório de testes

Proposta	Receita (anual)	Despesa manutenção balastro		Despesa manutenção lâmpada		Investimento
		Sit. Atual	Proposta	Sit. Atual	Proposta	
2.1	21,41 €	19,32 € de 24 em 24 anos	87,8 € de 24 em 24 anos	25,52 € de 6 em 6 anos	45,56 € de 9 em 9 anos	206,08 €
2.2	12,78 €	19,32 € de 24 em 24 anos	65,58 € de 24 em 24 anos	25,52 € de 6 em 6 anos	25,52 € de 8 em 8 anos	45,25 €
2.3	16,03 €	17,63 € de 24 em 24 anos	79,21 € de 24 em 24 anos	25 € de 6 em 6 anos	25 € de 8 em 8 anos	61,58 €

O ponto de equilíbrio é muito semelhante ao caso estudo anterior para a armadura de lamelas, visto possuírem o mesmo período de laboração. Neste caso, a proposta 2.2 é bastante atrativa apresentando já uma receita de 4.43€ no quarto ano. Valor que no final do estudo realizado é de 180€. Por outro lado a proposta 2.1 apresenta um ponto de equilíbrio mais tardio, sendo a receita no final do estudo de 128€.

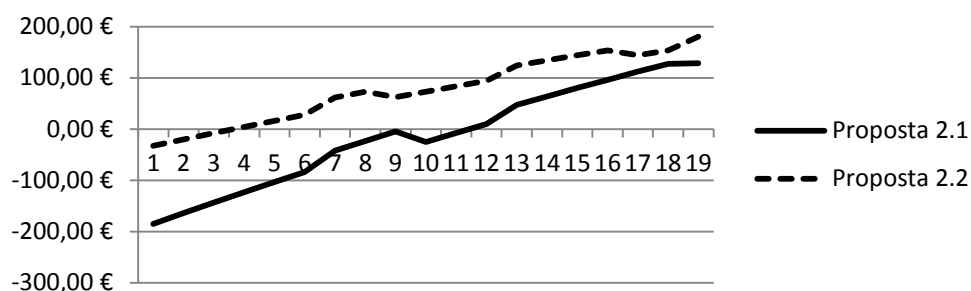


Figura 6-16: Representação do retorno e receitas associado às propostas 2.1/2.2

É de notar na proposta 2.1 uma diminuição da receita proveniente da manutenção realizada com as lâmpadas no nono ano. Em contrapartida no sexto ano existiu um aumento de receita proveniente da manutenção (na situação atual) das lâmpadas. Já para a proposta 2.2 no oitavo ano ocorre o investimento associado à manutenção das lâmpadas para a proposta enunciada.

Proposta 2.3

Esta proposta surge uma vez que iluminação presente no laboratório de testes é realizada por duas armaduras diferentes. Assim, o estudo 2.1 e 2.2 são referente às armaduras de lamelas e o presente estudo, 2.3, é relativo às armaduras de ½ aba. Este estudo tal como referido na secção 6.2.4 propõe a substituição do balastro eletromagnético por balastro eletrónico.

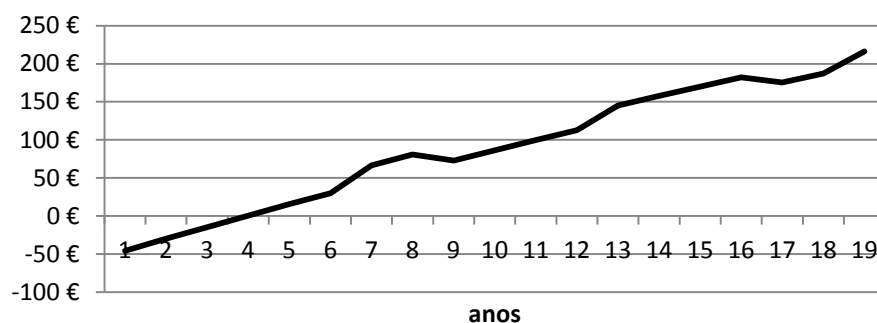


Figura 6-17: Representação do retorno e receitas associado á proposta 2.3

Tal como exposto no Quadro 6-21 para a proposta 2.3 a manutenção para as lâmpadas é realizado de seis em seis anos para a situação atual, o que para o estudo realizado surge como receita. Contrariamente ao investimento que é realizado de oito em oito anos que surge como prejuízo. O ponto de equilíbrio para a proposta analisada surge no mesmo período que para a proposta 2.2, isto é, entre o terceiro e o quarto ano.

6.2.6.3 Sector Bar e Corredor

Os sectores de bar e corredor possuem um período de laboração de 24h, sendo contabilizadas nove armaduras de lamelas com lâmpadas fluorescentes (2×36W).

O quadro que se segue ilustra as poupanças registadas em kWh e kVArh para a medida implementada, que consiste na alteração completa do equipamento atual (proposta 3.1) e alteração apenas do balastro (proposta 3.2).

Quadro 6-22: Poupanças registadas em kWh e kVArh

Energia ativa (kWh) s.a.	20,08	ΔkWh (diário)
(kWh) proposta 3.1	12,81	7,27
(kWh) proposta 3.2	15,72	4,36
Energia reativa (kVArh) s.a.	37,71	ΔkVArh (diário)
(kVArh) proposta 3.1	1,83	35,89
(kVArh) proposta 3.2	2,24	35,47

Proposta 3.1/3.2

Para uma melhor interpretação do estudo realizado apresenta-se Quadro 6-23.

Quadro 6-23: Caracterização das propostas para setor de bar e corredor

Proposta	Receita (anual)	Despesa manutenção balastro		Despesa manutenção lâmpada		Investimento
		Sit. Atual	Proposta	Sit. Atual	Proposta	
3.1	125,18 €	57,96 € de 8 em 8 anos	263,47 € de 8 em 8 anos	76,56 € de 2 em 2 anos	136,7 € de 3 em 3 anos	618,24 €
3.2	74,99 €	57,96 € de 8 em 8 anos	193,73 € de 8 em 8 anos	76,56 € de 2 em 2 anos	76,56 € de 3 em 3 anos	135,76 €

Pela análise da Figura 6-18 constata-se que para a proposta 3.1 existe um ponto de equilíbrio atrativo (cinco anos) sendo que o ponto de equilíbrio para a proposta 3.2 surge em menos de dois anos.

Apesar do ponto de equilíbrio acontecer mais rápido com a proposta 3.2, é possível notar que os proveitos da proposta 3.1 são superiores, ultrapassando os da proposta 3.2 sensivelmente a partir do décimo quarto ano. Isto é justificado pela poupança de energia registada com a proposta associada à tecnologia T5, que é superior ao da proposta 3.2 que apresenta tecnologia T8. Isto aliado à manutenção realizada de dois em dois anos para manutenção das lâmpadas na situação atual.

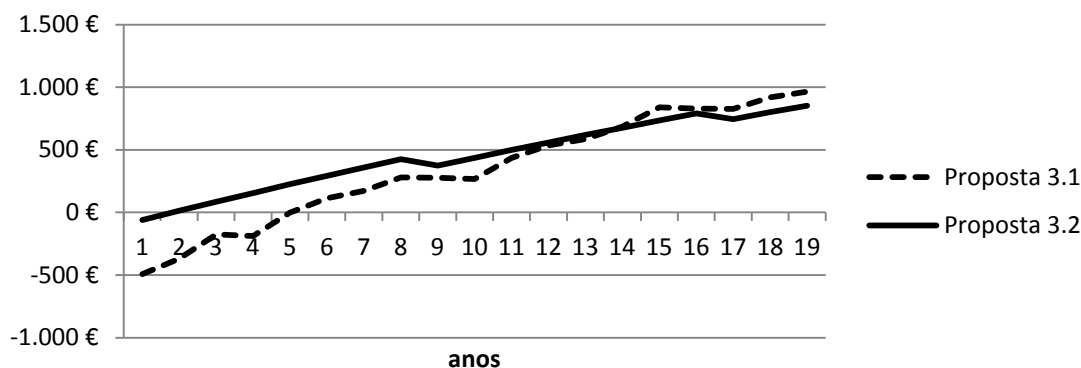


Figura 6-18: Representação do retorno e receitas associado às propostas 3.1/3.2

6.2.6.4 Sector de Moldes, Embalagem, Forno e Conformação

O período de laboração dos diversos sectores encontra-se apresentado na secção 6.2.2 e o levantamento das armaduras expresso no Quadro 6-3. A iluminação nos sectores de moldes, embalagem, forno e conformação é realizada recorrendo a armaduras estanque. Os estudos apresentados não são individualizados por sector mas sim por período de laboração dos mesmos.

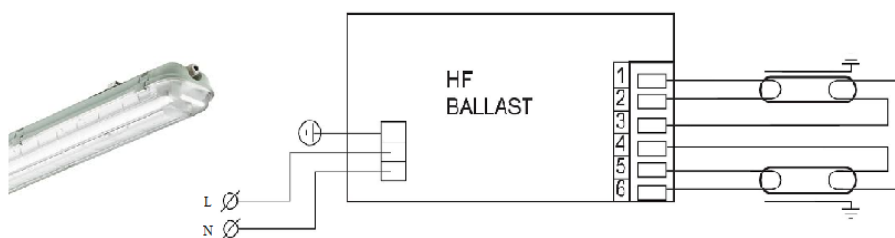


Figura 6-19: Luminária TCW060 e esquema montagem

6.2.6.4.1 Período laboração 8h

O Quadro 6-24 ilustra as poupanças registadas em kWh e kVArh com a implementação das soluções apresentadas para o período de laboração em causa.

Quadro 6-24: Poupanças registadas em kWh e kVArh com as propostas sugeridas

Energia ativa (kWh) s.a.	18,24	ΔkWh (diário)
(kWh) proposta 4.1	13,61	4,63
(kWh) proposta 4.2	13,61	4,63
Energia reativa (kVArh) s.a.	33,39	ΔkVArh (diário)
(kVArh) proposta 4.1	1,94	31,45
(kVArh) proposta 4.2	1,94	31,45

Proposta 4.1/4.2

O Quadro 6-25 caracteriza as propostas para os sectores dos moldes, embalagem, forno e conformação.

Quadro 6-25: Caracterização das propostas 4.1/4.2/5.1/5.2/6.1 e 6.2

Proposta	Receita (anual)	Despesa manutenção balastro		Despesa manutenção lâmpada		Investimento	
		Sit. Atual	Proposta	Sit. Atual	Proposta	4.1/5.1/6.1	4.2/5.2/6.2
4.1/4.2	122,27 €	138,67 € de 24 em 24 anos	545 € de 24 em 24 anos	126,29 € de 6 em 6 anos	126,29 € de 8 em 8 anos	1.313,70 €	406,34 €
5.1/5.2	379,57 €	304,98 € de 12 em 12 anos	1084 € de 12 em 12 anos	413,8 € de 3 em 3 anos	413,8 € de 4 em 4 anos	2.472,00 €	779,00 €
6.1/6.2	237,49 €	150,5 € de 8 em 8 anos	514,9 € de 8 em 8 anos	199,91 € de 2 em 2 anos	199,91 € de 3 em 3 anos	1.169,70 €	364,40 €

O ponto de equilíbrio para a proposta 4.1 surge entre o décimo primeiro e décimo segundo ano, o que torna o investimento pouco atrativo, ao contrário da proposta 4.2 onde a substituição do balastro permite um ponto de equilíbrio entre o terceiro e o quarto ano.

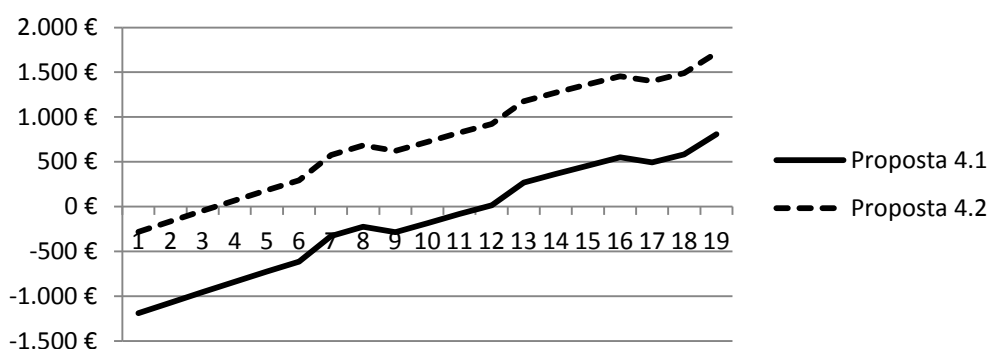


Figura 6-20: Representação do retorno e receitas associado às propostas 4.1/4.2

A variação das receitas é comum para ambas as curvas visto que a manutenção a realizar para o balastro e a lâmpada surgem na mesma altura. Para o período de laboração em análise manutenção da lâmpada para a situação atual é realizada de seis em seis anos, e com a proposta de racionalização este tempo aumenta dois anos passando a realizar-se de oito em oito anos.

6.2.6.4.2 Período laboração 16h

O Quadro 6-26 ilustra as poupanças registadas em kWh e kVArh com a implementação das soluções apresentadas para o período de laboração referido.

Quadro 6-26: Poupanças registadas em kWh e kVArh com as propostas sugeridas

Energia ativa (kWh) s.a.	70,41	ΔkWh (diário)
(kWh) proposta 5.1	54,85	15,56
(kWh) proposta 5.2	54,85	15,56
Energia reativa (kVArh) s.a.	131,31	ΔkVArh (diário)
(kVArh) proposta 5.1	7,82	123,50
(kVArh) proposta 5.2	7,82	123,50

Proposta 5.1/5.2

Para um período de laboração de 16h o ponto de equilíbrio (Figura 6-21) para a proposta 5.1 surge entre o sexto e sétimo ano, sendo que para a proposta 5.2, onde se mantém a armadura e substitui-se apenas o balastro o ponto de equilíbrio surge entre o segundo e terceiro ano.

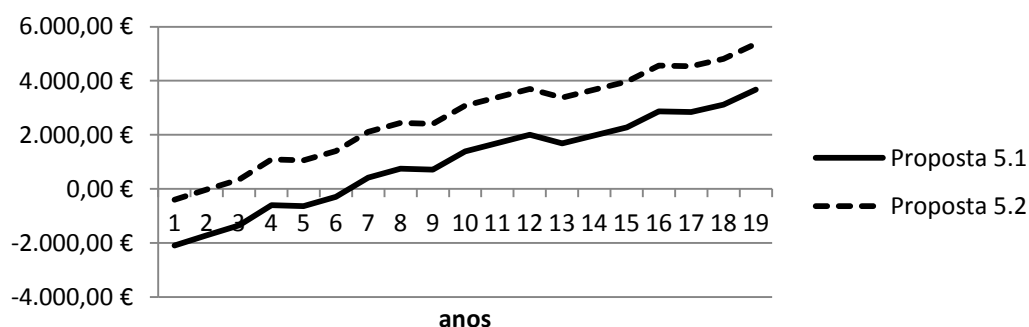


Figura 6-21: Representação do retorno e receitas associado às propostas 5.1/5.2

Estima-se que no final do sétimo ano a diferença na receita entre ambas as propostas se situe nos 1673€, isto porque a proposta 5.2 apresenta uma receita é de 2107€, contra os 414€ da proposta 5.1.

6.2.6.4.3 Período laboração 24h

O Quadro 6-27 abaixo ilustra as poupanças registadas em kWh e kVArh com a implementação das soluções apresentadas para o período de laboração em causa.

Quadro 6-27: Poupanças registadas em kWh e kVArh com as propostas sugeridas

Energia ativa (kWh) s.a.	51,88	ΔkWh (diário)
(kWh) proposta 6.1	40,64	11,24
(kWh) proposta 6.2	40,64	11,24
Energia reativa (kVArh) s.a.	97,32	ΔkVArh (diário)
(kVArh) proposta 6.1	5,79	91,53
(kVArh) proposta 6.2	5,79	91,53

Proposta 6.1/6.2

Pela análise da Figura 6-22 constata-se que a proposta 6.2 em que se substitui apenas o balastro o ponto de equilíbrio surge logo no ano seguinte. Já para a proposta 6.1 o retorno surge entre o quarto e o quinto ano.

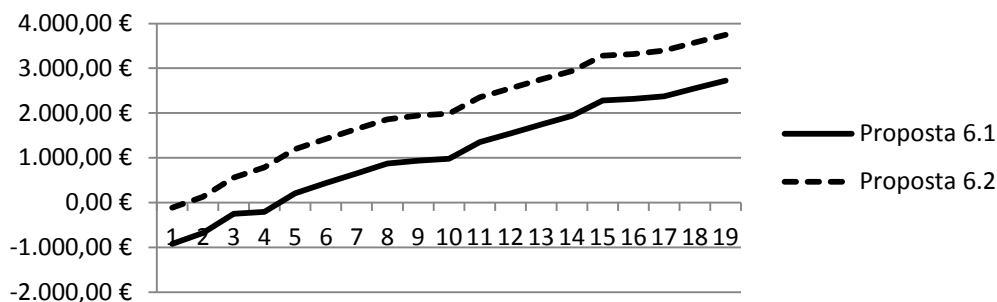


Figura 6-22: Representação do retorno e receitas associado às propostas 6.1/6.2

A proposta 6.2 é a que apresenta melhor retorno financeiro, estimando-se uma receita superior a 1000€ no final do quinto ano. A receita apesar do período de laboração exigir maior manutenção dos equipamentos, esta encontra-se sempre em crescente. Isto é justificado com o valor da receita anual, e as manutenções realizadas com a situação atual que compensam o prejuízo imposto pela manutenção com as propostas apresentadas.

6.2.6.5 Setor iluminação exterior

O Quadro 6-28 abaixo ilustra as poupanças registadas em kWh e kVArh com a implementação da solução apresentada para a iluminação exterior

Quadro 6-28: Poupanças registadas em kWh e kVArh com a proposta sugerida

Energia ativa (kWh) s.a.	39,10	ΔkWh
(kWh) proposta 7.1	24,40	14,70
Energia reativa (kVArh) s.a.	64,62	ΔkVArh
(kVArh) proposta 7.1	36,17	28,44

Proposta 7.1

A proposta 7.1 propõe a alteração completa do equipamento atual (lâmpada vapor mercúrio de 125W) para luminária com lâmpada de vapor de sódio (70W). A caracterização é apresentada no Quadro 6-29 onde é possível verificar-se um aumento considerável na vida útil da lâmpada uma vez que a sua manutenção é realizada de oito em oito anos, contrariamente à situação atual que é de três em três anos.

Quadro 6-29: Caracterização das propostas para setor da iluminação exterior

Proposta	Receita (anual)	Despesa manutenção balastro		Despesa manutenção lâmpada		Investimento
		Sit. Atual	Proposta	Sit. Atual	Proposta	
7.1	290,44 €	473,55 € de 15 em 15 anos	450,9 € de 15 em 15 anos	347,83 € de 3 em 3 anos	658,8 € de 8 em 8 anos	3.372,50 €

A luminária SGS101 possui balastro eletromagnético e arrancador, cujo esquema de ligação encontra-se representado na Figura 6-23. O período de funcionamento médio das luminárias considerado para manutenção dos equipamentos auxiliares é de 13h.

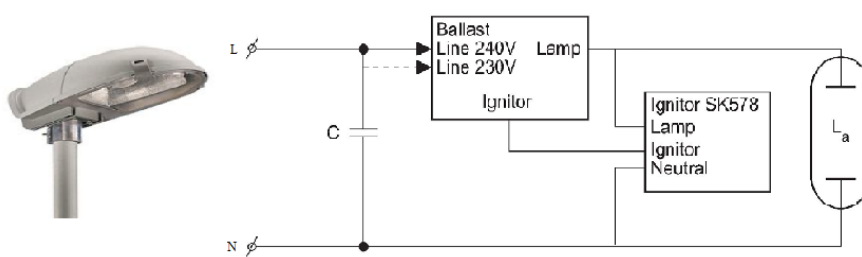


Figura 6-23: Luminária SGS101 e esquema montagem

O retorno de investimento associado à proposta apresentada encontra-se ilustrado na Figura 6-24.

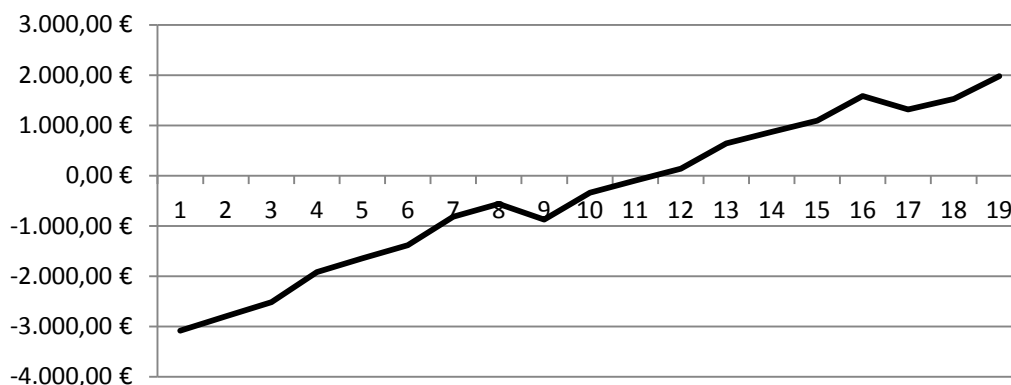


Figura 6-24: Representação do retorno e receitas associado á proposta 7.1

De salientar o aumento de receitas num intervalo de três anos, proveniente da manutenção atual, e uma redução dessa receita num intervalo de oito anos devido ao investimento realizado na aquisição de novas lâmpadas de vapor de sódio. O ponto de equilíbrio para a proposta 7.1 surge entre o décimo primeiro e o décimo segundo. Este ponto de equilíbrio deve-se essencialmente ao custo da armadura, que torna o investimento inicial elevado.

6.2.6.6 Setor iluminação generalizada

A proposta apresentada nesta secção divide-se em dois estudos:

- 1) Solartube
- 2) Tecnologia T5 (luminária WTC 360C)

O Quadro 6-30 ilustra as poupanças registadas em kWh e kVArh com a substituição das lâmpadas de Iodetos metálicos pela tecnologia Solartube para os vários cenários estudados.

As propostas apresentadas, associadas à tecnologia Solartube, não apresentam nenhum consumo de energia (valor nulo na segunda coluna do Quadro 6-30) comparativamente à situação atual o que nos permite obter a poupança representada na terceira coluna do Quadro 6-30, respeitante ao consumo de energia ativa e reativa que neste caso, será evitada.

O cálculo do consumo evitado pela utilização do solartube foi obtido em função do número de horas de sol, ou da incidência solar no local da instalação, e do consumo médio das luminárias atuais para o período selecionado.

Quadro 6-30: Poupanças registadas em kWh e kVArh para os vários cenários estudados

Energia activa (kWh) s.a.	107,33	ΔP
(kWh) proposta 8.1*	0	1,88
(kWh) proposta 8.2**	0	3,77
(kWh) proposta 8.3	0	107,33
Energia reactiva (kVArh) s.a.	161,95	ΔQ
(kVArh) proposta 8.1	0	2,84
(kVArh) proposta 8.2	0	5,68
(kVArh) proposta 8.3	0	161,95
* s.a. foi efectuada para 1 luminária de iodetos vs 1 solatube		
** s.a. foi efectuada para 2 luminária de iodetos vs 1 soltube		

6.2.6.6.1 Solartube

O custo associado à tecnologia solartube é elevado (superior a 1000€/unid), tendo sido considerado um custo de instalação de 25 €/unid.

Como é possível verificar pelo Quadro 6-31 a tecnologia solartube não possui manutenção associada ao balastro e lâmpada, contrariamente à situação atual. Referir que foi considerando um desconto de 20% (valor fornecido pelo fabricante) na aquisição do equipamento solartube, fazendo com que o custo do equipamento seja inferior a 1000€.

Quadro 6-31: Caracterização das propostas para setor da iluminação geral

Proposta	Receita (anual)	Despesa manutenção balastro		Despesa manutenção lâmpada		Investimento
		Sit. Atual	Proposta	Sit. Atual	Proposta	
8.1	36,43 €	0 €	28,38 € de 36 em 36 anos	0 €	36,9 € de 9 em 9 anos	834,43 €
8.2	72,85 €	0 €	56,76 € de 36 em 36 anos	0 €	73,8 € de 9 em 9 anos	834,43 €
8.3	2.076,27 €	0 €	1475,8 € de 36 em 36 anos	0 €	2103 € de 9 em 9 anos	56.663,08 €

Proposta 8.1/8.2

A seguinte proposta propõe a “substituição” das armaduras com lâmpada de Iodetos metálicos de 250 W pela tecnologia solartube 330DS.

A tecnologia ideal face à altura da infraestrutura da fabrica será o SOLATUBE 330 DS, que será equivalente a termos uma lâmpada de iodetos metálicos com potência de 400W, em condições ideais, ou seja quando a radiação atinge o expoente máximo.

Assim, o estudo referente às propostas apresentadas dividiu-se em duas fases:

- Proposta 8.1 – estudo para 1 luminária iodetos vs 1 solartube;
- Proposta 8.2 – estudo para situações onde existe possibilidade de colocar 1 solartube para 2 armaduras de iodetos.

Salientar que o número médio de horas de sol adotado para o estudo foi de 2555 horas (Anexo E), este valor representa uma situação mais pessimista que a prevista na referência [meteopt, 2012].

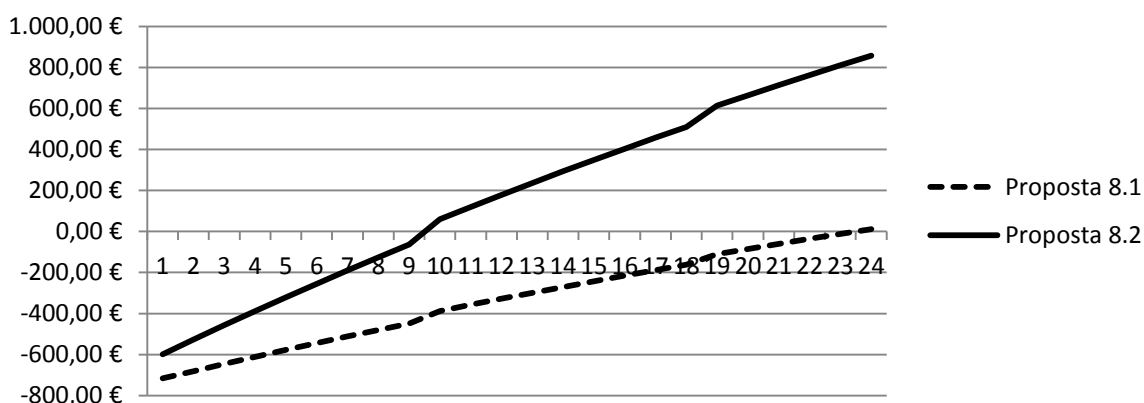


Figura 6-25: Representação do retorno e receitas associado às propostas 8.1/8.2

Os ligeiros aumentos verificados em intervalos nove anos provêm da manutenção realizada para a situação atual. Para a proposta 8.2 o ponto de equilíbrio surge entre o nono e décimo

ano, sendo que para a situação onde a “substituição” é direta, proposta 8.1, o ponto de equilíbrio surge entre o vigésimo terceiro e vigésimo quarto ano.

Proposta 8.3

Esta proposta representa o caso de estudo apresentado para a Cerutil com vista à substituição das luminárias atuais. Assim, tendo como base o software do fabricante apresentado no anexo E, a quantidade de solartubes será superior à quantidade de luminárias de iodetos, na medida em que teremos 57 luminárias de iodetos para 65 solartubes.

Apresenta-se de seguida pela figura 6-26 o ponto de equilíbrio para o estudo apresentado. De notar a utilização de cinco células crepusculares (características se encontram no anexo E), com preço unitário de 160€ [hager, 2012], que permitirá uma melhor gestão da luminosidade do local.

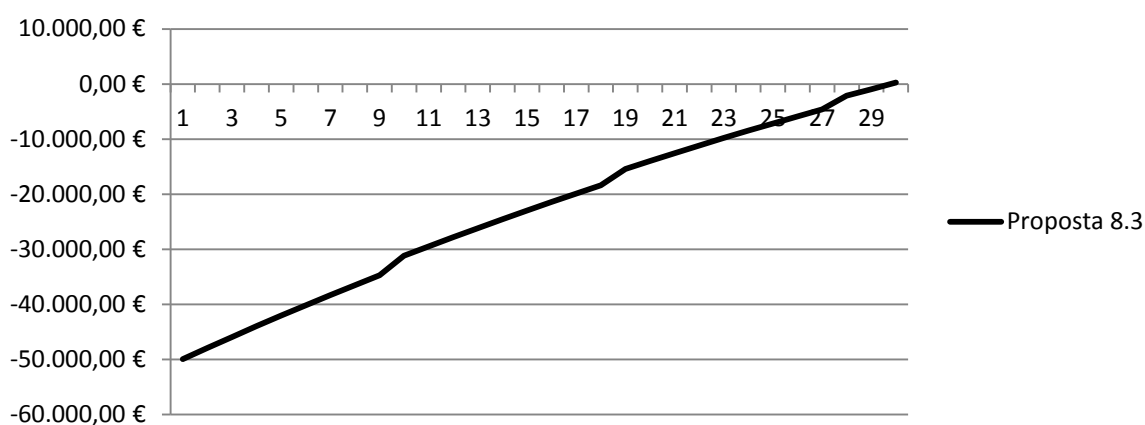


Figura 6-26: Representação do retorno e receitas associado á proposta 8.3

O ponto de equilíbrio para a proposta 8.3 surge entre o vigésimo nono ano e o trigésimo ano, no entanto é possível verificar o elevado investimento inicial associado à tecnologia que atrasa de forma significativa o retorno do capital investido. As ligeiras variações resultam da manutenção realizada como referido no estudo anterior. Uma maior disseminação da tecnologia e a baixa de preço da mesma poderão conduzir a resultados mais interessantes.

De referir que na análise das propostas 8.1, 8.2 e 8.3, dada a limitação de ferramentas de cálculo e na falta e melhor informação do que aquela que se reuniu na literatura e junto do próprio representante, foram utilizados dados mais pessimistas (Anexo E) que os reais. O uso de informação exata permitirá melhorar o ponto de equilíbrio. Para este aspeto seria muito interessante poder executar testes com equipamento real.

6.2.6.6.2 Lâmpada fluorescente T5 (luminária WTC 360C)

O presente estudo visa a substituição das lâmpadas de descarga de iodetos metálicos por fluorescentes T5 (WTC 360C), devendo verificar-se uma redução da altura das luminárias para sensivelmente 5 metros com a finalidade de tirar melhor proveito das suas características.

O estudo dividiu-se consoante os turnos da instalação, onde as propostas 9.1/10.1 são relativas ao período de laboração de 8h, as propostas 9.2/10.2 ao período de laboração de 16h e propostas 9.3/10.3 ao período de laboração de 24h. As propostas 9.1/9.2/9.3 encontram-se associadas ao investimento com o projeto ECO empresas, caracterizado na secção 6.2.6.8

As propostas 10.1/10.2/10.3 associadas ao investimento sem a parceria do projeto ECO empresas encontram-se representadas de seguida.

O Quadro 6-32 abaixo ilustra as poupanças registadas em kWh e kVArh com a substituição das lâmpadas de Iodetos metálicos por lâmpadas de tecnologia T5 nos vários períodos de laboração.

Quadro 6-32: Poupanças diárias registadas em kWh e kVArh para os vários períodos estudados

Período de laboração de 8h			Período de laboração de 16h		
Energia ativa (kWh) s.a.	53,80	ΔkWh	Energia ativa (kWh) s.a.	107,60	ΔkWh
(kWh) proposta 9.1/10.1	43	11,08	(kWh) proposta 9.2/10.2	85	22,16
Energia reativa (kVArh) s.a.	81,18	ΔkVArh	Energia reativa (kVArh) s.a.	162,35	ΔkVArh
(kVArh) proposta 9.1/10.1	6,09	75,09	(kVArh) proposta 9.2/10.2	12,17	150,18
Período de laboração de 24h					
Energia ativa (kWh) s.a.	161,40	ΔkWh			
(kWh) proposta 9.3/10.3	128	33,24			
Energia reativa (kVArh) s.a.	243,53	ΔkVArh			
(kVArh) proposta 9.3/10.3	18,26	225,27			

Proposta 10.1/10.2/10.3

Observando a Figura 6-27, o ponto de equilíbrio para a substituição do equipamento atual por tecnologia T5 varia com os três turnos presentes na instalação, onde o ponto de equilíbrio mais lento surge a partir do décimo quarto ano para o período de laboração mais baixo. Para o período de laboração de 16h o retorno do investimento é inferior a oito anos, e para o período de 24h é inferior a seis anos, sendo este o mais interessante. Todos os períodos se caracterizam por um retorno económico pouco expressivo.

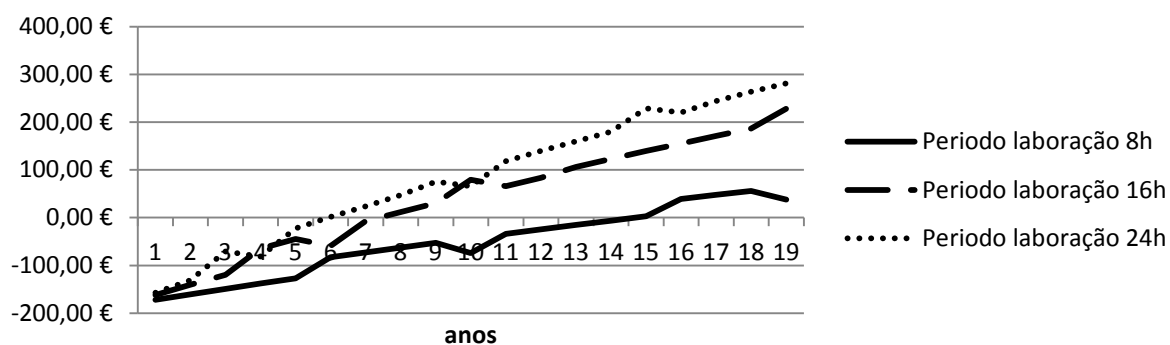


Figura 6-27: Representação do retorno e receitas associado às propostas 10.1/10.2/10.3

6.2.6.7 Sector hall

O espaço iluminado no hall de entrada é realizado através de seis lâmpadas de incandescência. O presente estudo, visa a sua substituição por lâmpadas fluorescentes compactas. Uma análise das características destas lâmpadas encontra-se apresentada no Quadro 6-33.

Quadro 6-33: Características de lâmpadas em estudo

	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Vida útil (h)	Preço (€)
Lâmpada incandescente (s.a)	60	710	1000	2,58 €
Lâmpada fluorescente compacta (proposta)	15	900	8000	9,72 €

O quadro abaixo ilustra as poupanças registadas em kWh com a substituição das lâmpadas de incandescência por lâmpadas fluorescentes compactas para um período de funcionamento de 13h.

Quadro 6-34: Poupanças registadas em kWh com proposta sugerida

Energia ativa (kWh) s.a.	4,68	ΔkWh
(kWh) proposta 11.1	1,17	3,51

O retorno do investimento associado a esta proposta encontra-se apresentado na Figura 6-28, onde o ponto de equilíbrio surge logo no primeiro ano, tornando a proposta atraente.

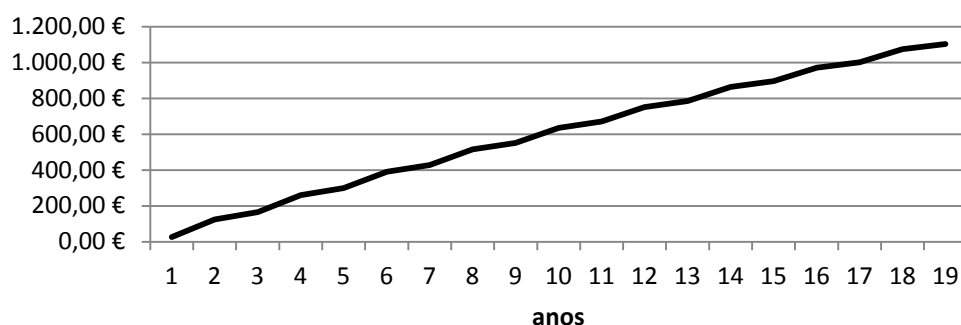


Figura 6-28: Representação do retorno e receitas associado à proposta 11.1

As ligeiras variações nas receitas estão associadas uma vez mais à manutenção que é efetuada, neste caso essa manutenção é exclusiva às lâmpadas.

6.2.6.8 Programa de apoio externo

As propostas 9.1, 9.2 e 9.3 encontram-se associadas ao projeto ECO empresas. Este projeto apresenta-se como um programa de apoio de incentivo à eficiência energética para as empresas que pretendem substituir as luminárias de descarga, variadores e motores de alto rendimento, sendo o financiamento na ordem dos 69, 69 e 64% respetivamente [EDP,2012].

Para ser alvo de Financiamento, o beneficiário tem que cumprir os montantes definidos pela regra de auxílios Minimis, Regulamento (CE) 1998/2006, da Comissão Europeia de 15 de Dezembro. Os auxílios de minimis são as ajudas de reduzido valor (cujo montante máximo não exceda 200 000 euros durante um período de três anos) concedidas a uma empresa. [IAPMEI, 2012].

Proposta 9.1/9.2/9.3

A proposta que se segue propõe a alteração da lâmpada de descarga de alta pressão (iodetos metálicos) por duas lâmpadas fluorescentes tubulares tomando como referência para o custo de aquisição do equipamento as armaduras da Philips WT360 C, uma vez que não se tem acesso antecipado do investimento que deverá ser efetuado através do programa da EDP.

Assim o presente estudo visa a substituição da lâmpada de descarga atual por duas lâmpadas fluorescentes de 2×49W para os três períodos de laboração da unidade fabril, ou seja 8h, 16h e 24h. Salientar que uma vez que a iluminação não é localizada, esta não se encontra associada a nenhum sector.

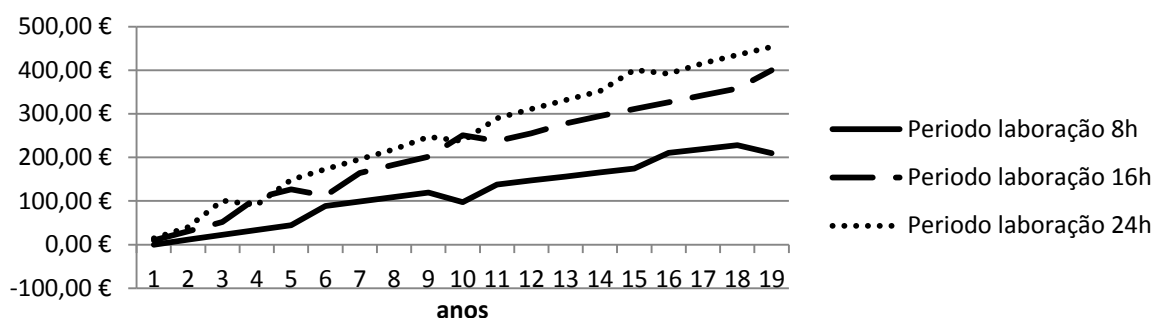


Figura 6-29: Representação do retorno e receitas associado às propostas 9.1/9.2/9.3

A comparticipação por parte de uma entidade externa no investimento inicial torna esta proposta bastante atrativa uma vez que o ponto de equilíbrio como é possível constatar é inferior ou igual a um ano.

Apresenta-se no Quadro 6-35 um resumo das propostas referidas, com o respetivo investimento inicial e ponto de equilíbrio.

Quadro 6-35: Resumo de propostas apresentadas

	Investimento inicial	Retorno investimento (anos)
Proposta 1.2	1.254,60 €	11<t<12
Proposta 1.3	450,48 €	3<t<4
Proposta 2.1	250,92 €	11<t<12
Proposta 2.2	90,10 €	3<t<4
Proposta 2.3	104,22 €	3<t<4
Proposta 3.1	752,76 €	5<t<6
Proposta 3.2	270,29 €	1<t<2
Proposta 4.1	1.648,75 €	11<t<12
Proposta 4.2	741,30 €	3<t<4
Proposta 5.1	3.190,87 €	6<t<7
Proposta 5.2	1.497,80 €	2<t<3
Proposta 6.1	1.520,16 €	4<t<5
Proposta 6.2	714,78 €	1<t<2
Proposta 7.1	3.846,12 €	11<t<12
Proposta 8.3	56.663,08 €	29<t<30
Proposta 9.1	74,14 €	1<t<2
Proposta 9.2	74,14 €	<1
Proposta 9.3	74,14 €	<1
Proposta 10.1	248,83 €	14<t<15
Proposta 10.2	248,83 €	7<t<8
Proposta 10.3	248,83 €	5<t<6
Proposta 11.1	58,32 €	<1

Como propostas mais interessantes destacam-se as que possuem um período de retorno inferior a 8 anos (artigo nº 32 do Decreto-Lei nº 79/2006). No entanto, para as propostas que geram mais receita destacam-se as propostas 7.1, e 8.3 com uma receita anual de 290€ e 2076€, respetivamente. É ainda de destacar as propostas onde se propõe a substituição do balastro para as armaduras estanques (propostas 4.2, 5.2 e 6.2) visto serem os setores com maior número de armaduras a sua receita é também ela considerável. Para a proposta 4.2 a receita no décimo nono ano é de 1715€, para a proposta 5.2 é de 5369€ e finalmente a proposta 6.2 com uma receita de 3746€.

6.2.7 Estudo luminotécnico da zona dos escritórios

Uma das situações assinaladas como desperdício de energia foi ao nível da iluminação disponível nos escritórios. Num escritório o valor recomendado (segundo a norma EN12464-1) é de 500 lux. Por se suspeitar que este valor esteja superiorizado, procurou desenvolver-se um estudo luminotécnico (através do DIALUX) para aferir sobre a quantidade de armaduras adequadas para satisfazer os valores recomendados.

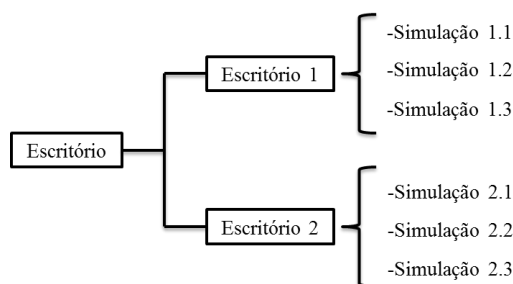


Figura 6-30: Representação da estrutura utilizada para as simulações realizadas

De referir que o aparelho (luxímetro) utilizado (anexo D), não mede o índice de encadeamento (UGR_L), que para o local referido deve ser no limite de 19.

6.2.7.1 Escritório 1

O escritório 1 alvo de estudo possui uma área de $13.6m^2$ e as luminárias estão colocadas a sensivelmente 3 metros de altura, sendo a iluminação realizada com recurso a 4 luminárias com lâmpadas fluorescentes tubulares de potência $2 \times 36W$, representada na Figura 6-31.

Simulação 1.1

Simulando no DIALUX a situação atual, o nível de iluminação no plano de trabalho é de 700 lux, existindo um excesso de 200 lux face ao recomendado pela norma. Uma possível solução passaria pela retirada de uma das armaduras, neste caso seria a armadura identificada como Arm 1, dando assim origem à simulação 1.2.

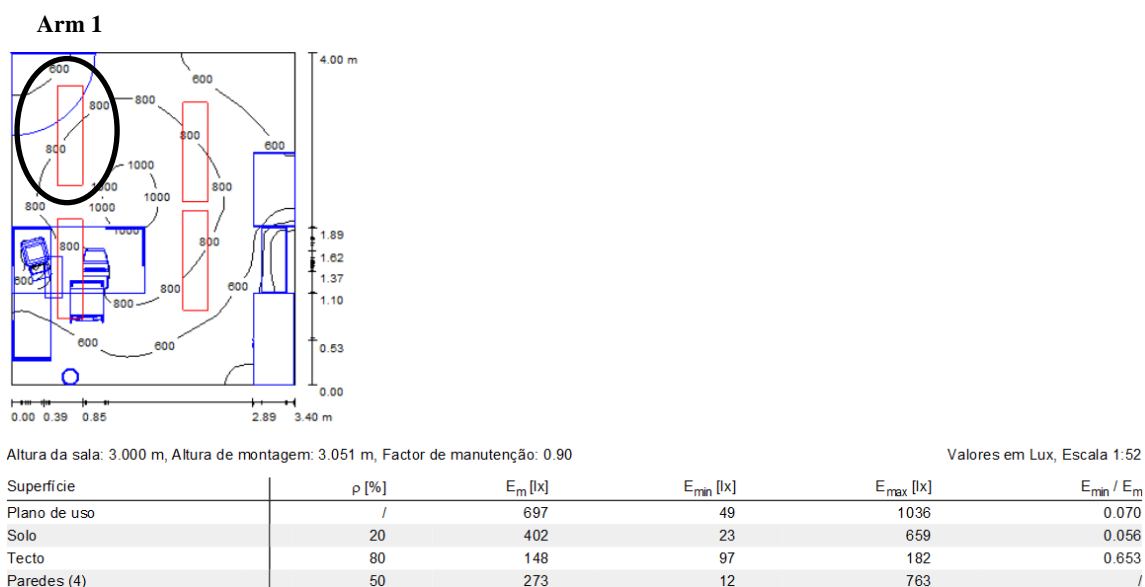


Figura 6-31: Representação da simulação 1.1

Proposta 1

Esta simulação serve para ilustrar se com a retirada de uma armadura o nível de iluminação encontra-se adequado com a norma EN12464-1.

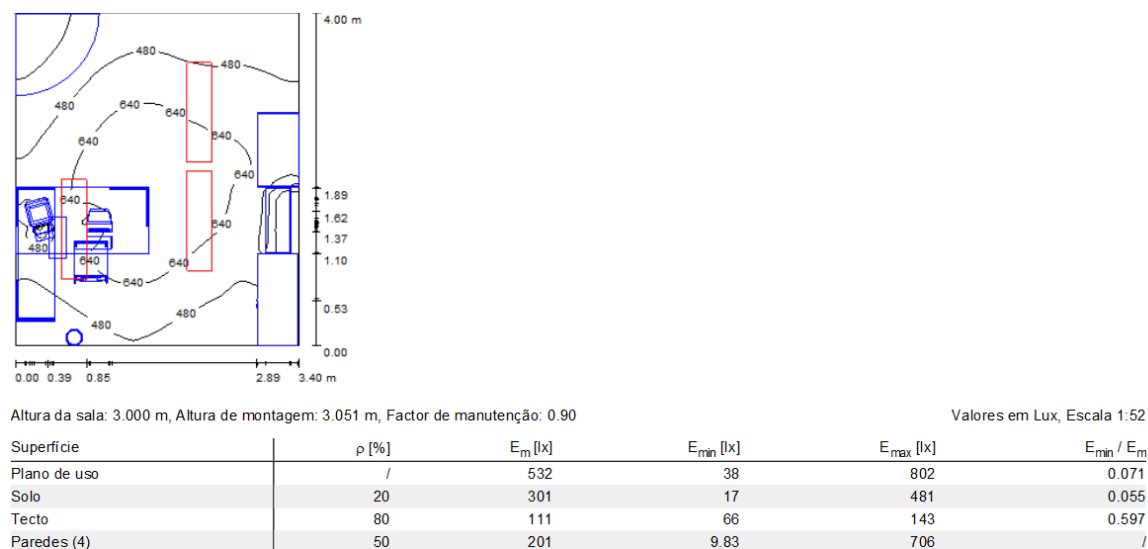


Figura 6-32: Representação da simulação 1.2

Como é possível verificar com menos armaduras obtêm-se os lux adequados. Para o regime normal de funcionamento dos escritórios que é de 8h, consegue-se uma poupança estimada em 0.74kWh. Considerando-se o custo médio da energia em 0.087 €/kWh a poupança anual será de 15 euros, não sendo considerado a redução de custo associado ao equipamento que

aumentaria ligeiramente este valor. É ainda de referir que a iluminação nem sempre é uniforme, no entanto no plano de trabalho é praticamente uniforme.

Proposta 2

Para esta simulação adotou-se a utilização de duas luminárias, para identificar se é ou não possível a retirada de duas luminárias e manter o nível de iluminação adequada segundo a norma.

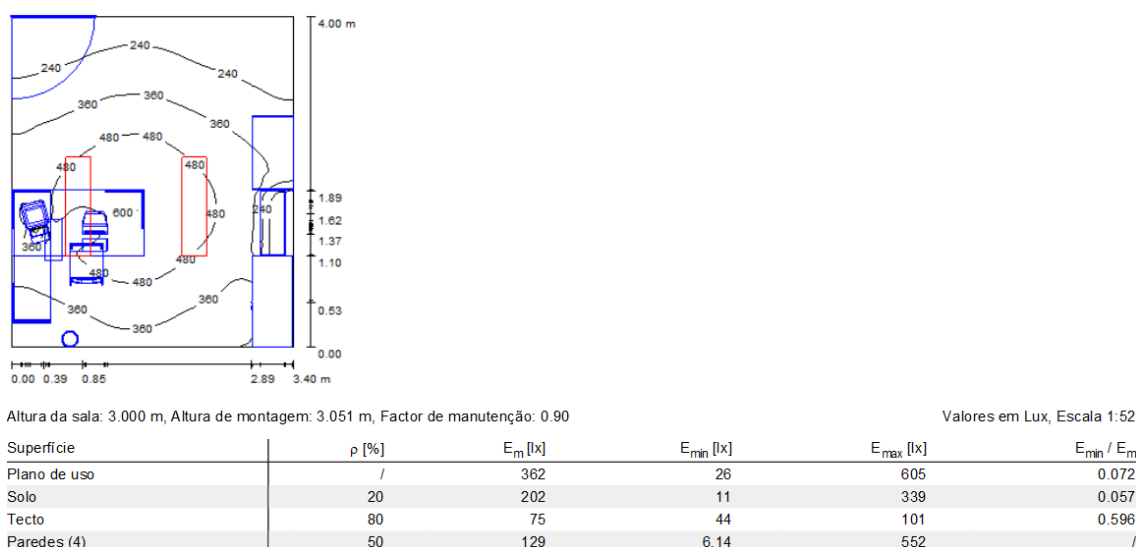


Figura 6-33: Representação da simulação 1.3

Como é possível verificar para o espaço em estudo, duas luminárias seriam insuficientes, não garantido o nível de iluminação médio recomendado para a tarefa a desempenhar.

6.2.7.2 Escritório 2

O próximo estudo luminotécnico envolve um escritório com uma área de 32.56m². As luminárias encontra-se a 3 metros de altura, e o mesmo tipo de iluminação que o caso de estudo anterior.

Simulação 2.1

Esta simulação retracts a situação atual. Como é possível constatar existe um nível de iluminação média no plano de trabalho de 650 lux, superior em 150 do valor recomendado. Uma possível solução, identificada como proposta 1 passaria pela retirada de uma das armaduras, neste caso seria a armadura identificada como Arm 2, na Figura 6-34.

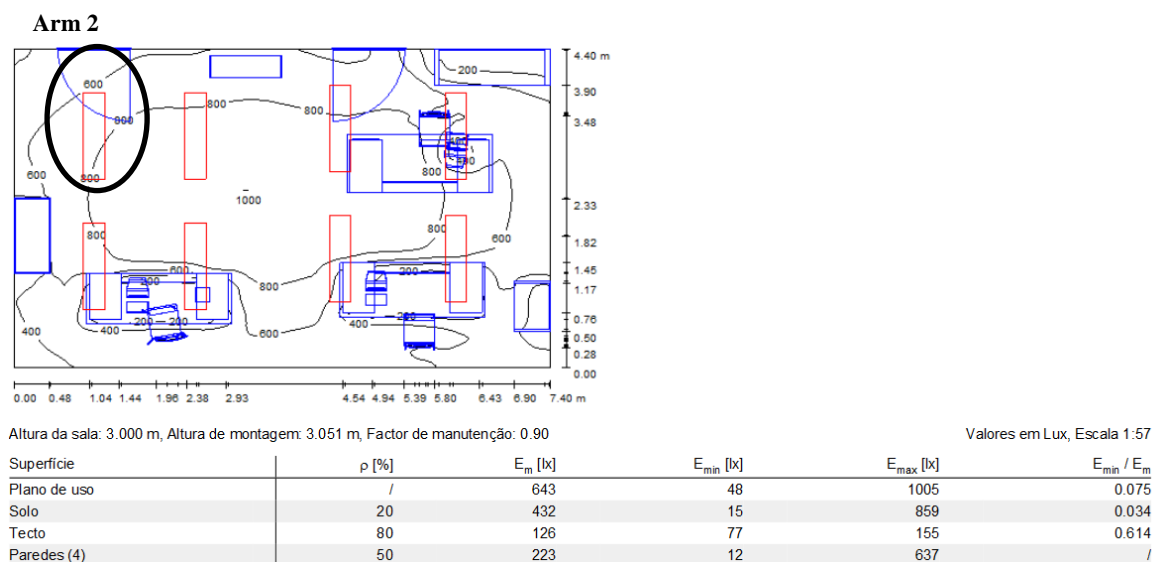


Figura 6-34: Representação da simulação 2.1

Proposta 1

Esta simulação serve para ilustrar se com a retirada de uma armadura o nível de iluminação encontra-se adequado com a norma EN12464-1.

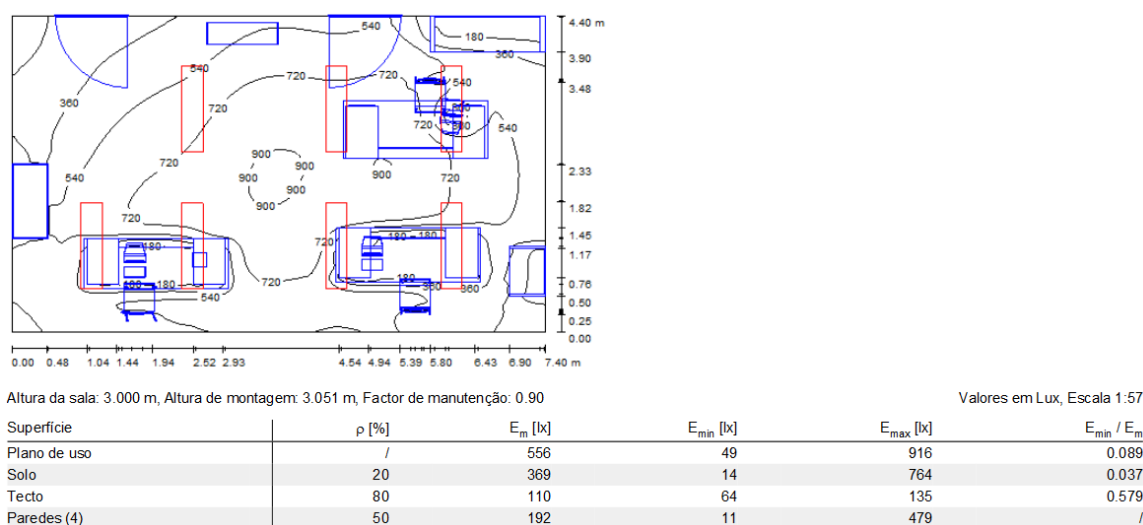
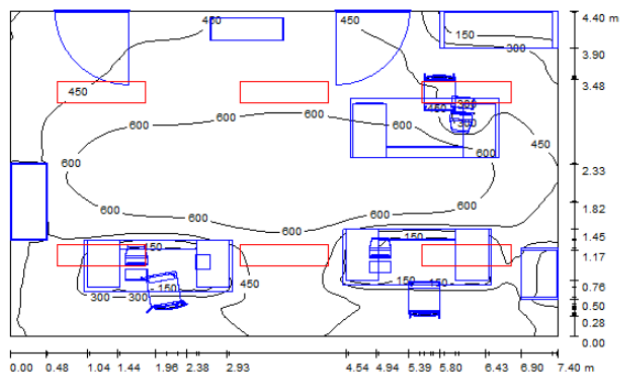


Figura 6-35: Representação da simulação 2.2

Como é possível observar o nível médio de iluminância passa a ser de 560 lux, estando assim assegurado o nível médio recomendado pela norma no plano de trabalho para a tarefa a desempenhar. Tal como na situação anterior a poupança anual será de 15 euros.

Proposta 2

Nesta simulação onde existe uma nova distribuição das armaduras não é garantido o valor médio recomendado pela norma.



Altura da sala: 3.000 m, Altura de montagem: 3.051 m, Factor de manutenção: 0.90

Valores em Lux, Escala 1:57

Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	465	41	753	0.089
Solo	20	313	10	587	0.033
Tecto	80	96	74	115	0.771
Paredes (4)	50	176	8.49	427	/

Figura 6-36: Representação da simulação 2.3

6.2.8 Otimização da iluminação do bar

Este setor possui um circuito com seis armaduras de lamelas com potência de $2 \times 36W$, cujo período de laboração é de 24h, no entanto este espaço não é utilizado durante todo esse tempo. A ocupação deste espaço é efetuada no período de almoço (do 12h30 às 2h) e de jantar (20h30 às 22h). Existe também ocupação do espaço nos períodos em que ocorre a troca de turnos (das 16h40 às 17h15, da 00h30 à 01h15 e das 07h40 às 08h20) e no período de pausa que acontece das 10h às 10h45.

A proposta de otimização do setor consiste na utilização de um programador semanal, com duas saídas (Figura 6-37) ambas ligadas ao mesmo circuito de iluminação.

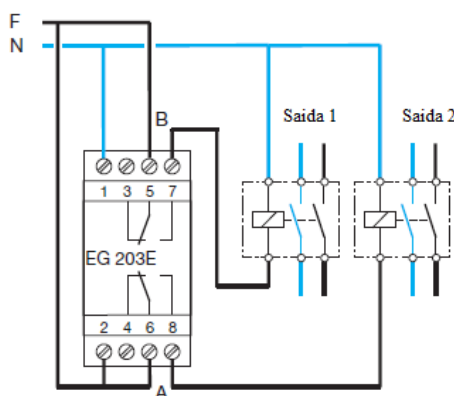


Figura 6-37: Programador semanal de duas saídas [hager, 2012]

Cada saída estará associada a um período. A identificada como saída 1 estará associada ao período das 08h30 às 17h30, dentro deste intervalo o programador deverá estar programado para ligar o circuito de iluminação nos intervalos: i) 10h às 10h45, ii) 12h30 às 14h e iii) 16h40 às 17h15. No intervalo de tempo fora dos referidos a iluminação não precisa de estar ativa uma vez que existe iluminação natural garante os níveis mínimos de ocupação que segundo a norma é de 50 lux.

Já a saída 2, estará ativa no intervalo das 17h30 às 08h30. Nesta saída será incorporado um sensor de presença, isto porque contrariamente à situação anterior em que a iluminação é ativada em certos intervalos de tempo, neste caso será ativada dependendo do sinal dado pelo sensor. A incorporação do sensor num regime de funcionamento “noturno” prende-se com a menor quantidade de pessoas a usufruir do espaço, pela incerteza de ocupação do mesmo e pelo baixo valor de iluminação natural aquela hora.

Apresenta-se no Quadro 6-36 as poupanças estimadas para cada período, tendo sido adotado um perfil de utilização do espaço para a saída 1 de 3.5h e de 4.5h para saída 2. O intervalo da saída 1 é das 08h30 às 17h30, e saída 2 das 17h30 às 08h30. Assim, foi assumindo que durante 38.8% do tempo existe ocupação do espaço na saída 1, e durante 30% existe ocupação do espaço na saída 2.

Quadro 6-36: Poupanças estimadas diária

	Período diário	Período diurno
kWh s.a.	5,02	8,37
kWh proposta	1,95	2,51
Δ energia	3,1	5,9
Custo médio kWh	0,08	0,07

A poupança anual registada é de 157€, sendo que o investimento associado a esta proposta ronda os 440 euros. O que se estima um retorno de investimento inferior a 3 anos.

6.2.9 Impactos complementares das ORC aplicadas ao sector de iluminação

6.2.9.1 Potência contratada

O valor da potência contratada (PC) é “regulado” pela potência tomada que corresponde a máxima potência média em qualquer intervalo ininterrupto de 15 minutos ao longo dos últimos 12 meses.

Assim, tendo em conta o estudo apresentado na secção 6.2.6, é possível constatar que corrigindo e melhorando os sistemas de iluminação é possível uma melhoria da eficiência energética, podendo contribuir para reduzir o valor PC. Para se perceber se a PC é ou não a

mais adequada foram realizadas medições no QGBT (Figura 6-2) com vista a determinar o valor da potência média máxima (trifásica) num intervalo de 15 minutos.

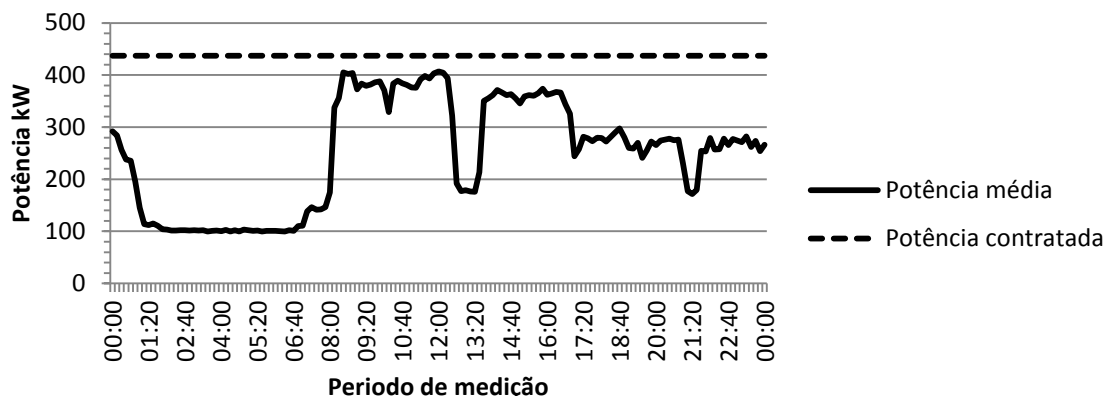


Figura 6-38: Relação entre a potência média consumida na instalação e potência contratada

A máxima potência média registada para um dia típico foi de 407.1 kW de uma semana normal de funcionamento. Este valor pode ter uma redução de 2 a 5%, dependendo das propostas apresentadas. A redução de 2% encontra-se associada às propostas onde:

- Armaduras com tecnologia T8 apenas são substituídas o balastro;
- Tecnologia de vapor mercúrio substituída por vapor de sódio;
- Tecnologia de iodetos metálicos substituídos por tecnologia T5, tendo sido considerado a substituição de 25 armaduras.

Já a redução de 5%, apenas diverge do caso anterior, na medida em que a substituição da tecnologia de iodetos metálicos é preterida por solartube.

Pela análise da Figura 6-38, é possível constatar-se que ainda existe uma margem de sensivelmente 6.8% entre a PC e a máxima potência média registada num dia típico de laboração, o que aliado às propostas apresentadas, a margem pode subir para valores entre os 8.7 e 11.7%.

6.2.9.2 Emissões de CO₂ evitadas

A implementação das medidas de racionalização referidos para a iluminação permitiria uma redução de consumo associado ao funcionamento da luminária, assim como uma redução das emissões de gases efeito estufa.

Desta forma, apresenta-se no Quadro 6-37 a emissão de CO₂ para a situação atual e o Quadro 6-38 as emissões associadas a cada proposta apresentadas bem como a as emissões evitadas.

Quadro 6-37: Emissões de CO₂ diária na situação atual

	proposta 1	proposta 2	proposta 2.3	proposta 3	proposta 4	proposta 5	proposta 6	proposta 7	proposta 8.3	proposta 9.1/10.1	proposta 9.2/10.2	proposta 9.3/10.3	Proposta 11.1
Emissões CO ₂ s.a (kg)	5,24	1,05	1,11	9,44	8,57	33,09	24,38	18,38	50,45	1,01	2,02	3,03	0,14

Quadro 6-38: Emissões de CO₂ diária para solução proposta comparativamente à situação atual

	Prop. 1.2	Prop. 1.3	Prop. 2.1	Prop. 2.2	Prop. 2.3	Prop. 3.1	Prop. 3.2	Prop. 4.1/4.2	Prop. 5.1/5.2	Prop. 6.1/6.2	Prop.7.1	Prop.8.3	Prop.9.1/10.1	Prop.9.2/10.2	Prop.9.3/10.3	Prop.11.1
Emissões CO ₂ (kg)	3,3	4,1	0,7	0,8	0,8	6,0	7,4	6,4	25,8	19,1	11,5	0,0	0,8	1,6	2,4	0,04
ΔCO ₂ (kg)	1,90	1,14	0,38	0,23	0,29	3,42	2,05	2,18	7,31	5,28	6,91	50,45	0,21	0,42	0,62	0,11

Através dos quadros acima expostos é possível notar-se uma redução na emissão de CO₂ evitadas, onde a proposta 8.3 é a que apresenta maior redução, aliado ao contributo da iluminação natural que reduz de forma significativa a emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera.

6.2.9.3 Impacto no fator de potência

Nesta secção é feita referência ao impacto que o aumento do fator de potência terá nas perdas por efeito de Joule nos cabos de alimentação.

Perdas por efeito de Joule

A introdução de tecnologia mais eficiente, onde reduzimos o consumo mantendo os índices de iluminação, permite reduzir as perdas por efeito de Joule. Esta redução pode ser interessante uma vez que existe uma relação quadrática com o aumento da corrente (6-5):

$$Perdas = R \times I^2 \quad (6-5)$$

Associado à redução no consumo da luminária existe uma redução na corrente associada à componente ativa. A distância entre o QGBT e QF.1 será a utilizada para a estimativa realizada nas análises apresentadas nos Quadros 6-40, 6-41, 6-42, 6-43 e 6-44. O Quadro 6-39 representa os dados utilizados para cálculo da resistência elétrica e da poupança registada.

Quadro 6-39: Parâmetros utilizados para cálculo de resistência elétrica e poupança registada [Cabelte,2012]

Dados	
Cálculo de Resistência elétrica	0,00268
Secção	380
Resistividade alumínio ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	0,02826
Comprimentos (m)	36
Custo médio kWh para 8h	0,08726
Custo médio kWh para 16h	0,08658
Custo médio kWh para 24h	0,08156
Custo médio kWh 14h	0,07784

O custo médio do kWh varia com o período de utilização das luminárias em estudo, que neste caso se apresentam para um período de 8h, 16h, 24h e 14h para as luminárias de vapor de sódio. O preço para esse estudo (vapor de sódio) é inferior aos restantes uma vez que o seu funcionamento coincide no período onde faturação da energia é mais económica.

As análises foram realizadas para as armaduras estanque, iodetos metálicos e vapor de sódio, uma vez que estas se apresentam em maior quantidade. Assim, a análise realizada nos Quadros 6-40, 6-41 e 6-42 está associada às armaduras estanque nos três períodos de laboração da instalação, para as propostas 4.2, 5.2 e 6.2. Salientar que as perdas foram aferidas para o cabo entre o QGBT e QF.1 (Figura 6-2)

Este estudo tem âmbito académico e procurou determinar as poupanças residuais que surgem da implementação das propostas. Um estudo mais realista implicaria conhecer o esquema de ligações da instalação (secção dos cabos, distâncias e características dos mesmos) bem como a quantidade de luminárias. Houve a preocupação de estimar as perdas evitadas na canalização principal de alimentação da instalação, verificando-se que esta redução, como se referiu, é residual.

Quadro 6-40: Representação da poupança anual associada às perdas para período 8h

Luminárias	Total	Corrente total		Corrente ativa		Corrente reativa		Perdas		Aperdas total (W)	Δ energia total	Poupança anual (€)
		Atual	Proposta	Atual	Proposta	Atual	Proposta	Atual	Proposta			
1x18	1	0,2	0,08	0,10	0,08	0,17	0,01	0,00003	0,00002	0,0583	4,66E-04	9,76E-03
1x36	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
1x58	20	13,4	4,83	6,43	4,78	11,76	0,67	0,11	0,06			
2x18	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
2x36	2	1,72	0,64	0,81	0,63	1,52	0,09	0,00	0,00			
2x58	4	5,36	1,92	2,57	1,90	4,70	0,27	0,02	0,01			

Quadro 6-41: Representação da poupança anual associada às perdas para período 16h

Luminárias	Total	Corrente total		Corrente ativa		Corrente reativa		Perdas		Aperdas total (W)	Δ energia total	Poupança anual (€)
		Atual	Proposta	Atual	Proposta	Atual	Proposta	Atual	Proposta			
1x18	7	1,4	0,58	0,71	0,58	1,20	0,08	0,00	0,00	0,276	0,004	0,092
1x36	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
1x58	1	0,67	0,24	0,32	0,24	0,59	0,03	0,000277	0,000153			
2x18	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
2x36	40	34,4	12,79	16,17	12,66	30,36	1,79	0,70	0,43			
2x58	3	4,02	1,44	1,93	1,43	3,53	0,20	0,01	0,01			

Quadro 6-42: Representação da poupança anual associada às perdas para período 24h

Luminárias	Total	Corrente total		Corrente ativa		Corrente reativa		Perdas		Aperdas total (W)	Δenergia total (kWh)	Poupança anual (€)
		Atual	Proposta	Atual	Proposta	Atual	Proposta	Atual	Proposta			
1x18	1	0,2	0,08	0,10	0,08	0,17	0,01	0,00003	0,00002	0,08952	0,00215	0,04206
1x36	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0
1x58	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0
2x18	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0
2x36	23	19,78	7,35	9,30	7,28	17,46	1,03	0,23	0,14			
2x58	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0

O valor das perdas diminuiu. No entanto, a poupança anual associada às luminárias estanque não possui grande impacto.

Associado à proposta 8.3 relativa à substituição das luminárias de iodetos para solartube a redução de perdas foi estimada de acordo com o Quadro 6-43.

Quadro 6-43: Representação da poupança anual associada às perdas para solartube

Luminárias	Total	Corrente total		Corrente ativa		Corrente reativa		Perdas		Aperdas	Δenergia (kWh)	Poupança anual (€)
		Atual	Proposta	Atual	Proposta	Atual	Proposta	Atual	Proposta			
1x250	57	121,4	0	67,99	0	100,59	0	12,38	0	12,378	9E-02	1,814487177

O Quadro 6-44 encontra-se associado à proposta 7.1 relativa à substituição das luminárias de vapor mercúrio por vapor de sódio.

Quadro 6-44: Poupança anual associada às perdas para luminária vapor de sódio

Luminárias	Total	Corrente total		Corrente ativa		Corrente reativa		Perdas		Aperdas	Δenergia (kWh)	Poupança anual (€)
		Atual	Proposta	Atual	Proposta	Atual	Proposta	Atual	Proposta			
1x70	22	25,3	13,20	13,16	7,39	21,61	10,94	0,46	0,15	0,317	4E-03	8E-02

Tal como referido anteriormente, a curta distância entre os quadros tornam as perdas pouco significativas. No entanto, é possível verificar no Quadro 6-43 uma poupança superior para as restantes situações (o solartube não ter custos energéticos durante a sua exploração (kWh), apresentando por isso uma poupança energética superior).

6.3 Caso de estudo compressor

O compressor presente na instalação é do tipo rotativo de parafuso que apresenta regimes de funcionamento em carga e vazio, cujas características se apresenta de seguida na secção 6.3.2.

O presente caso de estudo consistiu em efetuar um levantamento que permita diferenciar o consumo do compressor em carga e vazio. Para tal, e com recurso a um equipamento de medição (analisador de energia trifásico, HIOKI – anexo D), foi possível efetuar registo de valores que foram posteriormente tratados.

O objetivo final é avaliar o consumo de carga e vazio, sendo apresentado um estudo técnico-económico para a proposta exposta. Na secção 6.3.4 encontra-se exposta uma abordagem com vista à otimização de um processo de laboração.

6.3.1 Recolha e Tratamento de dados

Os dados recolhidos tiveram um intervalo de três segundos tendo sido registados os valores para dois períodos de laboração nomeadamente:

Quadro 6-45: Período de medição

	Início	Fim
1º Período	07h45	17h
2º Período	17h	24h

Por forma a diferenciar o período de vazio e carga, foi contabilizado para efeitos de cálculo que para uma potência inferior a 52kW, o compressor encontra-se a trabalhar em vazio, e para uma potência superior este encontra-se a trabalhar em carga. O valor de consumo em carga e vazio são facilmente identificáveis, no entanto existem consumos intermédios uma vez que a passagem entre ambos os estados não é imediata. Assim, tendo como referência os 52 kW foi possível distinguir ambos os estados. O Quadro 6-46 apresenta alguns dos parâmetros analisados, no entanto na secção 6.3.2 encontra-se descrito de forma mais pormenorizada o estudo realizado. Salientar que os dados apresentados no Quadro 6-47 são referentes a valores médios.

Quadro 6-46: Valores médios utilizados para cálculo de potência

	Vazio	Carga
U (V)	395	395
I (A)	81	146
Cos α	0,5	0,79
Potência (kW)	27,71	78,91

A Figura 6-39 ilustra o momento de arranque do compressor, que demora cerca de quatro segundos, atingindo um pico de corrente de 350 A. No entanto na impossibilidade de apurar as necessidades da instalação (m^3/h), uma vez que não disponhamos de um transdutor de pressão, realizou-se um registo da potência. Esta potência é intermitente e permite distinguir os períodos de carga e vazio do compressor.

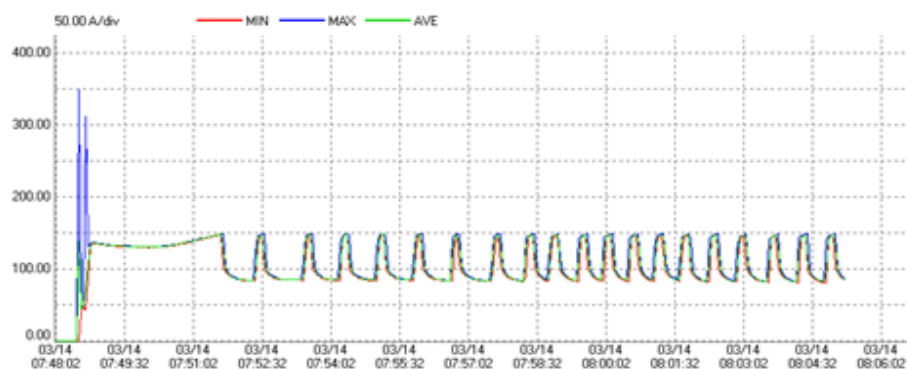


Figura 6-39: Situação de arranque do compressor

É possível identificar um comportamento uniforme no funcionamento do compressor no regime carga/vazio, no entanto a partir das 08h, período em que a unidade fabril inicia a laboração, ocorre uma diminuição do intervalo de tempo em que o compressor se encontra a trabalhar em vazio. A variação no intervalo de tempo prende-se com o início de laboração em que os equipamentos passam efetivamente a ser utilizados na sua totalidade, fazendo com que a pressão na linha de distribuição diminua mais rapidamente, e conseqüentemente o compressor aumente o período de funcionamento em carga.



Figura 6-40: Compressor atual

6.3.2 Estudo técnico- económico

Para efeitos de cálculo foi considerado o período normal de funcionamento da empresa (48 semanas). Os consumos referentes ao compressor atual foram retirados das medições realizadas no QGBT. Procedeu-se posteriormente ao tratamento da informação tendo sido possível aferir os dados que se encontram representados no Quadro 6-47

Quadro 6-47: Valores envolvidos para o caso de estudo apresentado

Dados compressor atual Cerutil	
Horas anual em carga (h)	2333
Horas anual em vazio (h)	1260
Potência do motor (kW)	82,5
Potência média em carga (kW)	78,9
Potência média em vazio (kW)	27,7
Energia anual carga (kWh)	184078,4
Energia anual vazio (kWh)	34920,1

Com vista à alteração do compressor atual (s.a.) foram analisados dados referentes a novos compressores e os respetivos orçamentos. As características técnicas dos compressores (atual e proposto) encontram-se apresentadas no Quadro 6-48.

Quadro 6-48: Características de compressor atual (s.a.) e proposto (BOGE)

	Compressor s.a.	Compressor BOGE
Tipo	M75	SF100-2
Pressão	8bar	8bar
Caudal	12,68 m ³ /min	12,1 m ³ /min
Potência nominal	82,5kW	75kW
Custo	3.000,00 €*	29.436,00 €

* Custo do compressor atual é o preço de retoma

Para um caudal 12.1 m³/min, a potência consumida pelo compressor da BOGE é inferior à consumida pelo compressor atual, o que significa que para produzir um caudal equivalente este necessitará de menos potência. Salientar ainda que o consumo específico do compressor SF100-2 é de 6.9kW/m³/min, e atendendo que no regime de vazio as necessidades serão zero, considera-se que o consumo será nulo para esse regime de carga.

No Quadro 6-49 encontra-se representada a energia anual para o compressor na situação atual e para o compressor da proposta apresentada. Salientar que a energia anual total consumida é dada por (6-6).

$$\text{Energia anual} = \text{Energia anual em carga} + \text{Energia anual em vazio} \quad (6-6)$$

Os dados referentes ao consumo do compressor atual e proposto são calculados tendo em conta os dados do Quadro 6-47 e Quadro 6-48. O consumo médio em carga utilizado para o compressor proposto foi de 75 kW, sendo utilizado as mesmas horas de carga e vazio do compressor atual.

Quadro 6-49: Poupança para período de carga/vazio

	Compressor s.a	Proposta	Poupança anual
Energia anual total (kWh)	218998	174955	3.831,78 €
Energia anual em carga total (kWh)	184078	174955	
Energia anual vazio total (kWh)	34920	0	

O consumo associado ao novo compressor (e uma vez que desconhecemos as necessidades da fábrica foi realizado da mesma forma que o compressor atual, sendo rentabilizados os tempos de vazio. Para análises mais precisas deverá ser utilizado um equipamento que permita averiguar as necessidades de ar, ou seja caudalímetro).



Figura 6-41: Compressor BOGE SF100-2

Para um custo médio para kWh de 0.087 €/kWh (valor considerado tendo em linha de conta o período de laboração que abrange horas de ponta e cheia), a poupança anual é de 3.831,78 €. O retorno do investimento encontra-se ilustrado na Figura 6-42.

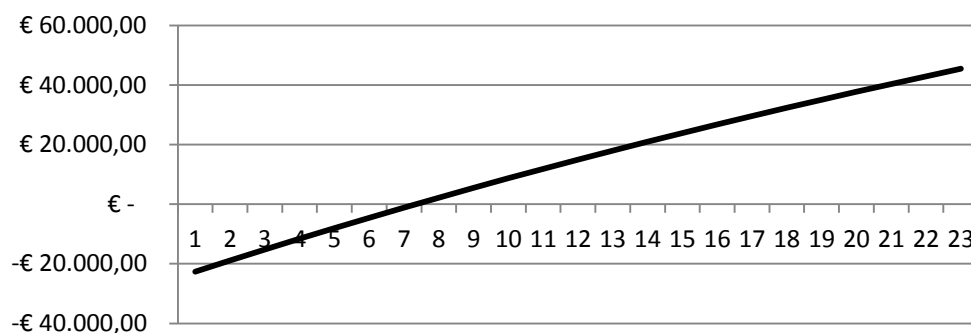


Figura 6-42: Gráfico representativo do retorno do investimento

6.3.3 Conclusão

O retorno estimado do investimento para a substituição do compressor atual surge entre o sétimo e o oitavo ano. No entanto, existe também a possibilidade de implementação de um variador de frequência no compressor existente. Esta solução que passaria pela implementação de um variador no compressor atual deverá ser devidamente estudada devidos aos riscos inerentes relacionados com os equipamentos auxiliares que deverão ser substituídos

ou adicionados, como ventilação, cabos, sensor de pressão analógico, entre outros. A implementação dos equipamentos auxiliares visam adaptar o compressor de velocidade fixa para velocidade variável. Assim o variador de frequência irá alterar a velocidade de rotação do motor em função da informação de pressão dada pelo sensor de pressão analógico, e consoante a pressão que este registar assim implicará um maior ou menor débito do fluido a controlar.

6.3.4 Otimização de um processo

Durante o processo de fabrico de alguns conjuntos de loiça verificou-se que num dos robôs, Figura 6-43, o ar comprimido não é utilizado de forma adequada. Esta inadequação deve-se exclusivamente ao tempo de funcionamento em que se está a injetar ar comprimido, devendo este tempo ser regulado por forma atrasar a injeção do ar comprimido.



Figura 6-43: Robô referido para otimização

A redução deste tempo em nove segundos permitirá poupar num espaço de um minuto cerca de dezoito segundos, visto que são produzidas aproximadamente duas peças durante esse tempo. O período de laboração do robô varia consoante a necessidade de produção, no entanto o estudo irá incidir em dois períodos, um de 8h de laboração e outro de 15h.

Considerando o período de laboração de 8h e 4 semanas para férias, ter-se-ão 8640 segundos, (referentes a um dia típico de trabalho), período em que existe injeção de ar comprimido realizada de forma não otimizada.

Segue-se o quadro representativo da potência de perdas em caso de fuga no sistema de distribuição de ar comprimido.

Quadro 6-50: Potência de perdas em função de diâmetro

Diâmetro do orifício (mm)	Potência requerida pelo compressor (kW)
1	0,4
3	4
5	10,8
10	43

Através duma analogia com a potência de perdas por fuga, podem aferir-se algumas conclusões. Assim considerando que o orifício é de 3mm (Quadro 6-50) temos uma potência de 4kW.

O período de laboração da unidade fabril é de 48 semanas, trabalhando 5 dias por semana. Desta forma, tendo em conta o valor anteriormente referido para o tempo de injeção de ar comprimido que é realizado de uma forma não otimizada num 1 dia típico de laboração e da analogia com a potência de perdas por fuga, a energia estimada consumida em excesso será 2304kWh. O consumo desta energia durante o 1º turno é repartido em 2.5h em hora de ponta e 5.5h em hora de cheia, fazendo um custo médio de energia de 0,087 €/kWh, o que significa uma poupança estimada de sensivelmente 200 €/anuais.

Na situação onde o período de laboração é de 15h teremos um tempo de injeção desnecessária de ar comprimido estimada em 16200 segundos, e um consumo de energia de 4320 kWh. Devido ao aumento do período de laboração que abrange mais horas de ponta e o período de vazio, o custo médio do kWh difere do caso anterior ficando o custo da energia em 0,086 €/kWh. Desta forma, teremos uma poupança anual estimada de aproximadamente 371 €.

6.4 Caso estudo motor alto rendimento

Os casos de estudo apresentados para os motores assíncronos têm como finalidade avaliar em que condições o motor de alto rendimento se apresenta como um bom investimento. O estudo incidiu em dois motores assíncronos, Figura 6-44, onde se irá comparar os custos e características associados aos motores standard e de alto rendimento.



Figura 6-44: Figura a (esq.) – motor assíncrono feira, Figura b (dir.) – motor assíncrono bombagem

O motor assíncrono (figura 6-44 a) é utilizado para movimentar um tapete responsável por transportar a matéria-prima e o motor assíncrono (figura 6-44 b) é utilizado para bombear água para a fábrica. As características dos motores citados são apresentadas em seguida.

Quadro 6-51: Características dos motores alvo de estudo

Motor assíncrono (feira)	Motor assíncrono (bomba)	
U (V)	380-420	415
	660	720
I (I)	71,08	14,5
	41,08	8,5
cos α	0,84	0,84
R.p.m	980	2888
Potência (kW)	37	7,5

O estudo incidiu em dois fatores:

- Período de laboração;
- Fator de carga.

O período de laboração é naturalmente um dos fatores com mais influência no retorno do investimento. O estudo incidiu na análise em mais do que um período de laboração para analisar o impacto no retorno do investimento. O fator de carga foi também analisado uma vez que este influencia o rendimento do motor, onde para menor carga o rendimento decresce ligeiramente. Para os estudos considerados foram analisados dois fatores de carga, sendo que o fator de carga de 100% encontra-se associado à situação atual dos motores e o outro fator de carga considerado (75%) será uma referência meramente indicativa para poder alargar o estudo a outros motores.

Quadro 6-52: Rendimentos nominais mínimos para motores de indução trifásicos com rotor em gaiola de esquilo [GEPEA,2012]

Potência		Motores padrão (standard)				Motores de alto rendimento			
cv ou hp	KW	Pólos				Pólos			
		2	4	6	8	2	4	6	8
1,0	0,75	77,0	78,0	73,0	66,0	80,0	80,5	80,0	70,0
1,5	1,1	78,5	79,0	75,0	73,5	82,5	81,5	77,0	77,0
2,0	1,5	81,0	81,5	77,0	77,0	83,5	84,0	83,0	82,5
3,0	2,2	81,5	83,0	78,5	78,0	85,0	85,0	83,0	84,0
4,0	3,0	82,5	83,0	81,0	79,0	85,0	86,0	85,0	84,5
5,0	3,7	84,5	85,0	83,5	80,0	87,5	87,5	87,5	85,5
6,0	4,5	85,0	85,5	84,0	82,0	88,0	88,5	87,5	85,5
7,5	5,5	86,0	87,0	85,0	84,0	88,5	89,5	88,0	85,5
10,0	7,5	87,5	87,5	86,0	85,0	89,5	89,5	88,5	88,5
12,5	9,2	87,5	87,5	87,5	86,0	89,5	90,0	88,5	88,5
15,0	11	87,5	88,5	89,0	87,5	90,2	91,0	90,2	88,5
20,0	15	88,5	89,5	89,5	88,5	90,2	91,0	90,2	89,5
25,0	18,5	89,5	90,5	90,2	88,5	91,0	92,4	91,7	89,5
30,0	22	89,5	91,0	91,0	90,2	91,0	92,4	91,7	91,0
40,0	30	90,2	91,7	91,7	90,2	91,7	93,0	93,0	91,0
50,0	37	91,5	92,4	91,7	91,0	92,4	93,0	93,0	91,7

O quadro apresentado caracteriza os rendimentos nominais para motores standard e de alto rendimento.

As características dos motores utilizados para o caso estudo encontram-se apresentadas no Quadro 6-53:

Quadro 6-53: Características de motor de alto rendimento em estudo [universal motors, 2012]

Motor tipo	Potência		rpm min ⁻¹	In A	Rendimento			cos α
	kW	Cv			50%	75%	100%	
HE31 132 M2	7,5	10	2910	13,8	85,3	87,5	88,1	0,89
HE30 250 M6	37	50	980	69	91,9	92,6	92,2	0,84

6.4.1 Caso estudo motor bombagem

O motor de alto rendimento proposto para substituir o atual (figura 6-44 b) em caso de avaria será HE31 132 M-2 da marca universal motores [universal motores, 2012] tendo um custo incluído IVA a 23% de 301.35€.

Para o estudo realizado foram considerados dois períodos de laboração, por forma a estudar a viabilidade na substituição de motores com a mesma potência e com períodos de laboração diferentes. O Quadro 6-54 ilustra o custo para ambos os motores, tendo-se considerado para efeitos de cálculo um incremento inicial na aquisição do motor de alto rendimento de 30%.

Quadro 6-54: Custo de aquisição dos motores [universal motors, 2012]

Custo motor alto rendimento	301,35 €
Custo motor standard (atual) (-30%)	210,95 €

No Quadro 6-55 é possível visualizar os rendimentos dos motores para os dois fatores de carga adotados. Estes regimes foram escolhidos uma vez que os dados técnicos (rendimento e fator de potência) são disponibilizados para ambos, permitindo ter um termo de comparação.

Quadro 6-55: Rendimentos dos motores para diferente fator de carga

Carga	100%	75%
Rendimento motor de alto rendimento	88,1%	87,4%
Rendimento motor standard (atual)	86,0%	85,3%

A poupança registada com a utilização do motor de alto rendimento encontra-se representada no Quadro 6-56.

Quadro 6-56: Poupança registada em kW (potência)

Carga	100%	75%
Redução em kW (ΔP)	0,21	0,16

Considerando um custo médio para eletricidade de 0.083€/kWh (valor considerado tendo em linha de conta o período de laboração que abrange horas de ponta, cheia, vazio e super vazio), o retorno do investimento foi simulado para duas situações, onde se dividirá o estudo de acordo com o fator de carga (100% e 75%), sendo estes fatores típicos de rendimento.

- Atual em que o período de funcionamento é de 2.5h diárias;
- Para um período de funcionamento de 10h diárias.

Assim, para o estudo com fator de carga a 100% o retorno do investimento surge de acordo com a Figura 6-45.

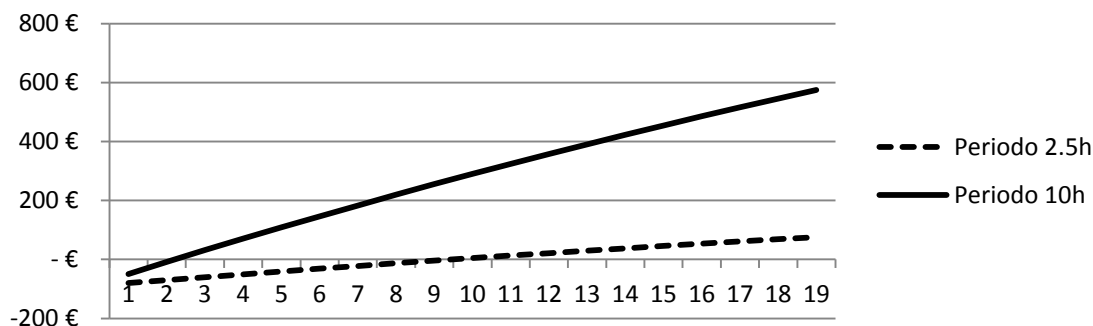


Figura 6-45: Representação do retorno de investimento com fator carga 100%

Como é possível visualizar para o período de funcionamento atual (2.5h) o retorno do investimento não é atraente do ponto de vista económico, no entanto para um período de laboração de 10h/dia, o que equivale de acordo com o funcionamento da empresa (correspondente a 5 dias por semana e 48 semanas de laboração) a 2400 h/ano, obtêm-se um retorno bem mais interessante. Referente ao estudo com fator de carga a 75%, o retorno do investimento surge de acordo com a Figura 6-46.

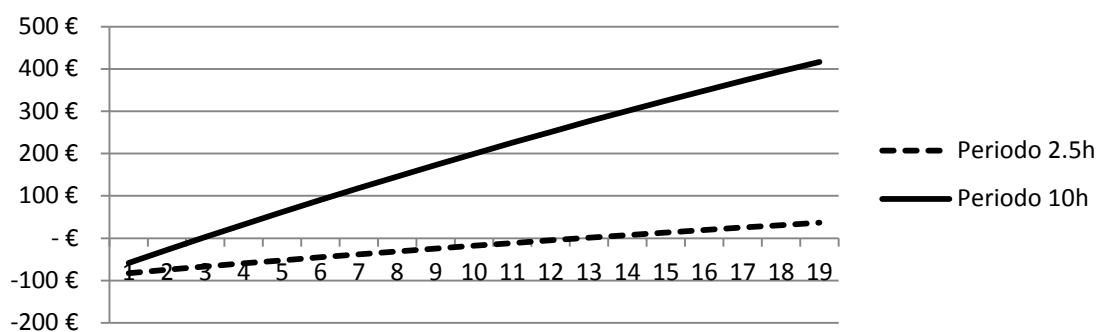


Figura 6-46: Representação do retorno de investimento com fator carga 75%

Tal como referido anteriormente, para as condições actuais o retorno do investimento não é muito interessante, no entanto para situações onde o período de laboração é superior a 10h/dia o retorno do investimento é bastante atraente, devendo nessas condições ser considerada a opção do motor de alto rendimento.

6.4.2 Caso estudo motor feira

Para o caso de estudo do motor da feira (figura 6-44 a) foi adotada a mesma metodologia de cálculo do caso de estudo anterior. O estudo foi realizado para duas situações, nomeadamente para a situação atual e para uma situação onde o período de laboração é de 10h. O motor de alto rendimento considerado para substituição é o HE30 250M-6 da universal motors, tendo um custo com IVA a 23% de 1697,40€.

O rendimento dos motores encontra-se representado no quadro abaixo:

Quadro 6-57: Rendimentos dos motores para diferente fator de carga

Fator de Carga	100%	75%
Rendimento motor de alto rendimento	92,2%	92,6%
Rendimento motor standard (atual)	91%	91,2%

A poupança registada para os dois fatores de carga adotados é a que se encontra representada no Quadro 6-58.

Quadro 6-58: Poupança registada em kW (potência)

Fator de carga	100%	75%
Poupança (kW)	0,53	0,46

Tal como no caso estudo anterior estima-se o custo do motor standard em menos 30% relativamente ao preço de referência do motor de alto rendimento, ou seja, 1188,18€. O custo do kWh foi estimado em 0.087€/kWh (valor considerado tendo em linha de conta o período de laboração que abrange horas de ponta e cheia).

O retorno do investimento para as condições expostas encontra-se evidenciado na Figura 6-47.

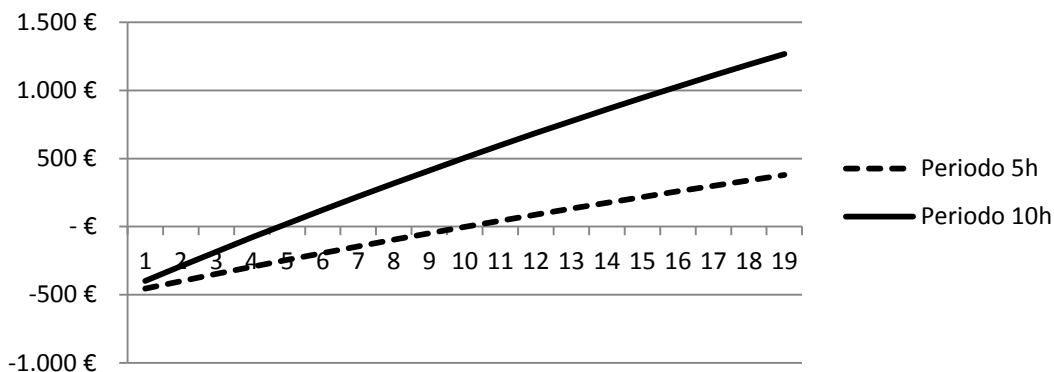


Figura 6-47: Representação do retorno de investimento com fator carga 100%

Para a situação atual o retorno do investimento é ainda elevado, no entanto para um período de funcionamento de cerca 10h diárias, o que equivale a 2400h/anuais, o retorno do investimento surge entre o quinto e o sexto ano. Para o caso de estudo com fator de carga a 75% o retorno do investimento para a situação atual surge entre o décimo primeiro e décimo segundo, e para um período de 10h/ dia o retorno surge entre o quinto e o sexto ano. Estes valores encontram-se representados na Figura 6-48.

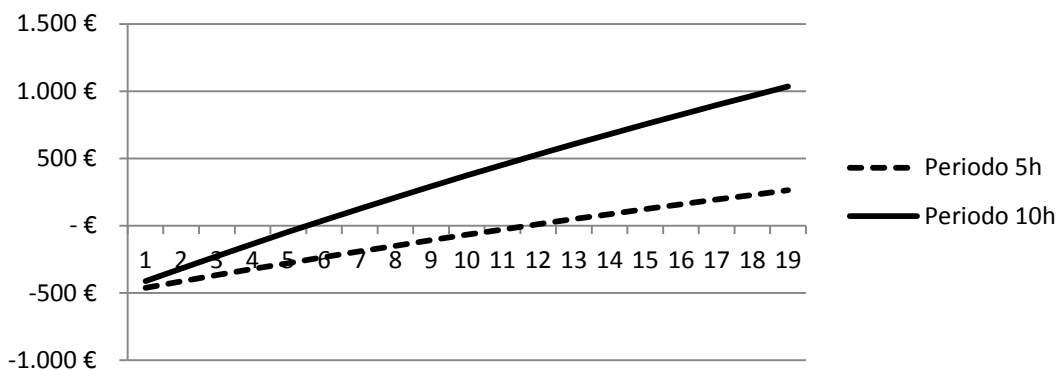


Figura 6-48: Representação do retorno de investimento com fator carga 75%

6.4.3 Conclusão

Tal como referido na secção 4, substituir um motor standard para um motor de alto rendimento apenas é economicamente rentável quando o motor possui um tempo de laboração considerável. Para o motor assíncrono associado à bombagem de água a substituição não é rentável visto que este possui um período de laboração demasiado curto. Os motores de classe IE3 dentro em breve deverão ter uma maior penetração de mercado, sendo que atualmente a

sua aquisição apenas é feita por encomenda. No entanto, como trabalho futuro segue uma análise comparando os motores de classe IE2 e IE3.

6.5 Análise do fator de potência

A Cerutil não consome ou injeta na rede energia reativa. Contudo existe desde 2010, alteração do regime de faturação de energia reativa que agora exige $\cos \alpha \leq 0.96i$ (ver Quadro 3-7). Em contraponto com os 0.93i anteriores. Com a finalidade de aferir a adequação da bateria de condensadores para a nova realidade, optou-se por analisar a instalação para um dia típico de laboração.

6.5.1 Tratamento de dados

A unidade fabril possui uma bateria de condensadores com 10 escalões ($9 \times 50 + 1 \times 25$ kVAr), conforme ilustra a Figura 6-49.



Figura 6-49: Bateria de condensadores de 475kVAr instalada na Cerutil

A análise do consumo de potência reativa realizada na bateria irá permitir avaliar se esta se encontra ajustada para as necessidades da empresa. Assim a Figura 6-50 ilustra a variação do $\cos \alpha_{\text{médio}}$ trifásico da instalação num dia típico de laboração.

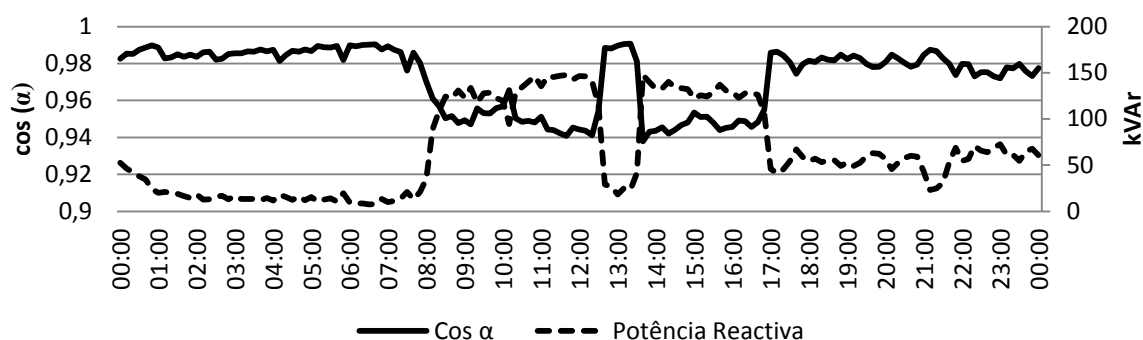


Figura 6-50: Representação da variação do $\cos \alpha$ médio trifásico

No Quadro 6-59 encontra-se representado o consumo da potência reativa e ativa, distribuídos pelo período de vazio e fora de vazio, incluindo o respetivo fator de potência.

Quadro 6-59: Representação do consumo e fator de potência num dia típico de laboração

	Período F.Vazio	Período Vazio
Q (kVARh)	8762,9	756,7
P (kWh)	32821,3	5738,3
Cos α	0,97	1

Como é possível verificar para um perfil de consumo típico, a empresa tem um fator de potência de 0.97 em período fora de vazio e no período de vazio o fator de potência é de 1.

No período de medição efetuado foi registado um consumo médio máximo de potência reativa de 90kVAR na fase L2. Assim, tendo em conta a potência da bateria de condensadores, 475 kVAR, é possível aferir o fator de carga da mesma, que para o máximo valor registado se estima em 0.57. Este resultado é determinado pela expressão (6-7):

$$FC = \frac{(3 \times 90)}{475} \quad (6-7)$$

6.5.2 Conclusão

Considerando os valores para um dia típico, a bateria de condensadores da instalação encontra-se sobredimensionada, apresentando ainda margem para fornecer aproximadamente 200 kVAR caso as necessidades assim o exigem. Para uma análise mais precisa deve existir um período maior (um ano) de medições.

7 Caso estudo da mini-produção

7.1 Introdução

Numa das reuniões com os responsáveis da Cerutil, a empresa considerou ser interessante dispor de um estudo para mini-produção com vista a avaliar o potencial de uma instalação deste tipo. No presente capítulo são demonstrados os locais preferenciais para a instalação dos painéis fotovoltaicos, bem como as características dos equipamentos (inversor e painel) e a respetiva análise técnica-económica.

7.2 Caracterização do local

Uma análise cuidada à planta do edifício permitiu identificar os locais preferenciais para instalação dos painéis, assim como calcular a inclinação do telhado para posteriormente colocação dos painéis segundo um ângulo ótimo referenciado pelo PVGIS.

A unidade fabril possui uma potência contratada de 436.95 kW, no entanto atendendo às distâncias e ao espaço para colocação dos painéis a análise incidirá para os escalões I e II (capítulo 5, seção 5.2). A Figura 7-1 ilustra a disposição das infra estruturas onde poderão ser colocados os painéis.

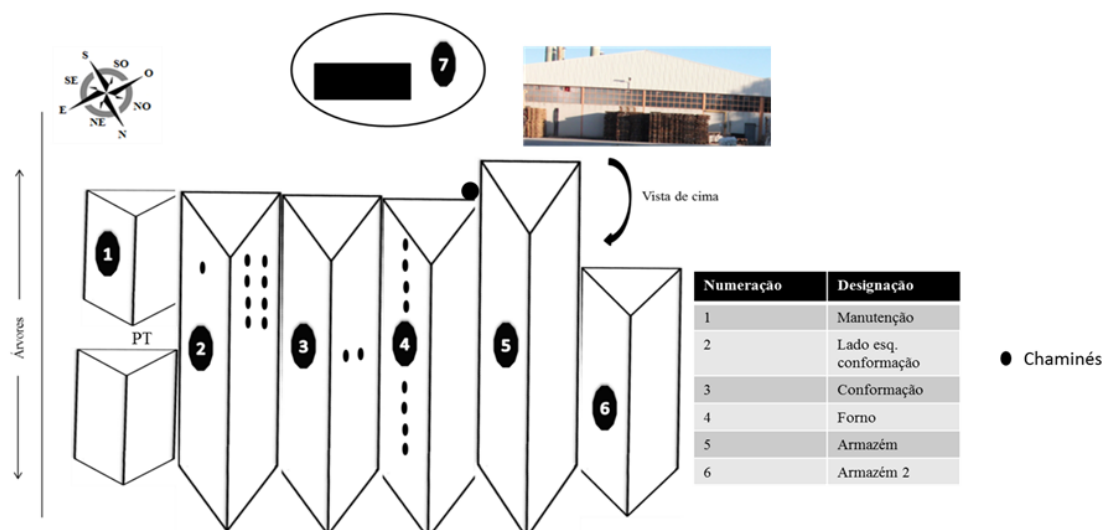


Figura 7-1: Disposição das infraestruturas

Uma avaliação prévia permitiu concluir que os locais com a numeração 1 e 7 não são ideais para colocação de painéis fotovoltaicos. Esta conclusão baseia-se na presença de efeito sombreamento provocado pelas árvores.

A colocação de painéis fotovoltaicos na totalidade do local com a numeração 3 é inviável devido à presença das chaminés do sector com numeração 2.

Apesar de na planta o local 2 e 5 apresentarem um comprimento de 120 e 114 metros respetivamente, devido à presença de chaminés o comprimento é reduzido para 95 metros.

O local 4 também não pode ser utilizado devido à presença das chaminés que se espalham por todo o comprimento. Assim, o Quadro 7-1 mostra as áreas disponíveis para colocação de painéis.

Quadro 7-1: Descrição de área disponível

Local	Designação	Área (m ²)
1	Manutenção	Inviável
2	Lado esq. Conformação	903
3	Conformação	452
4	Forno	Inviável
5	Armazém	1200
6	Armazém 2	480

O ângulo de inclinação das infraestruturas da Figura 7-1 é de 17°, devendo por isso a estrutura metálica compensar a diferença para o ângulo ótimo de 34°. O ângulo de inclinação das infraestruturas são referentes à inclinação do telhado calculado pelo pé direto da fábrica, ao contrário dos 34° que é identificado como o ângulo ótimo obtido com o programa PVGIS (capítulo 5).

7.3 Radiação Solar

A radiação solar para o local de instalação é avaliado com recurso à ferramenta de simulação PVGIS, caracterizada na secção 5.3. Nesse sentido, e tendo em conta os parâmetros de entrada, o sistema a instalar nos locais terão uma inclinação ótima de 34°. O fabricante do painel assegura que até um desvio de 30° relativamente a sul a produção do painel não é afetada.

7.4 Módulos fotovoltaicos

Para este caso de estudo foi utilizado o módulo policristalino Suntech STP280-24/Vd, cujo fornecedor garante que a degradação do produto é linear e que o desempenho ao fim de 25 anos é de 80%. No Quadro 7-2 estão representadas as características do módulo fotovoltaico.

Quadro 7-2: Principais características do painel

Potência (W)	Vmp (V)	Imp (A)	Voc (V)	Isc (A)	Coefficiente (V/°C)	Comp. (m)	Larg. (m)
280	35,2	7,95	44,8	8,33	-0,14784	1,956	0,992

7.5 Análise técnica-económica

Neste setor serão apresentados os dois cenários simulados, nomeadamente para escalão de ligação: 20 e 100 kW. Os escalões foram escolhidos em função do espaço disponível da Cerutil.

7.5.1 Análise 1

A presente análise encontra-se associada ao escalão I, com potência de ligação de 20 kW. Na Figura 7-2 apresenta-se a produção média mensal utilizada para o caso estudo.

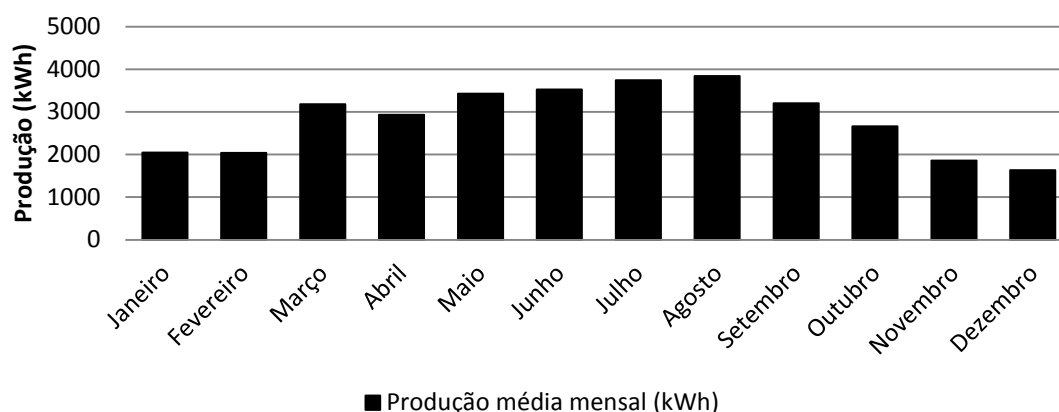


Figura 7-2: Produção média mensal (kWh) [PVGIS]

Assim, serão instalados dois inversores, onde a cada inversor irão ligar 44 painéis, o que corresponde a uma potência de 24.640 kWp

- $N_f=4$;
- $N_{mf}=11$.

Uma vez que a corrente máxima do inversor é de 16 A, ter-se-ão duas fileiras com onze módulos em série para cada entrada. Neste sentido, utilizou-se o inversor com as características apresentadas pelo Quadro 7-3. Salientar que este possui proteção contra sobretensões do lado DC e AC.

Quadro 7-3: Características de inversor SolarMax 10MT

Valores de entrada					Valores saída	
Potência máxima (W)	MPP_min (V)	MPP_max (V)	Tensão máxima (V)	Corrente máxima (A)	Potência nominal (W)	Tensão nominal (V)
12000	250	750	900	2×16A	10000	3×400

As distâncias adotadas para o cálculo de queda de tensão foram:

- Cabos de fileira até quadro DC 52 metros;
- Cabo DC principal (do quadro ao inversor) 10 metros;
- Cabo AC inversor até PT 20 metros.

Apresenta-se de seguida o esquema para o escalão em análise, localizado no local 2 (Figura 7-1).

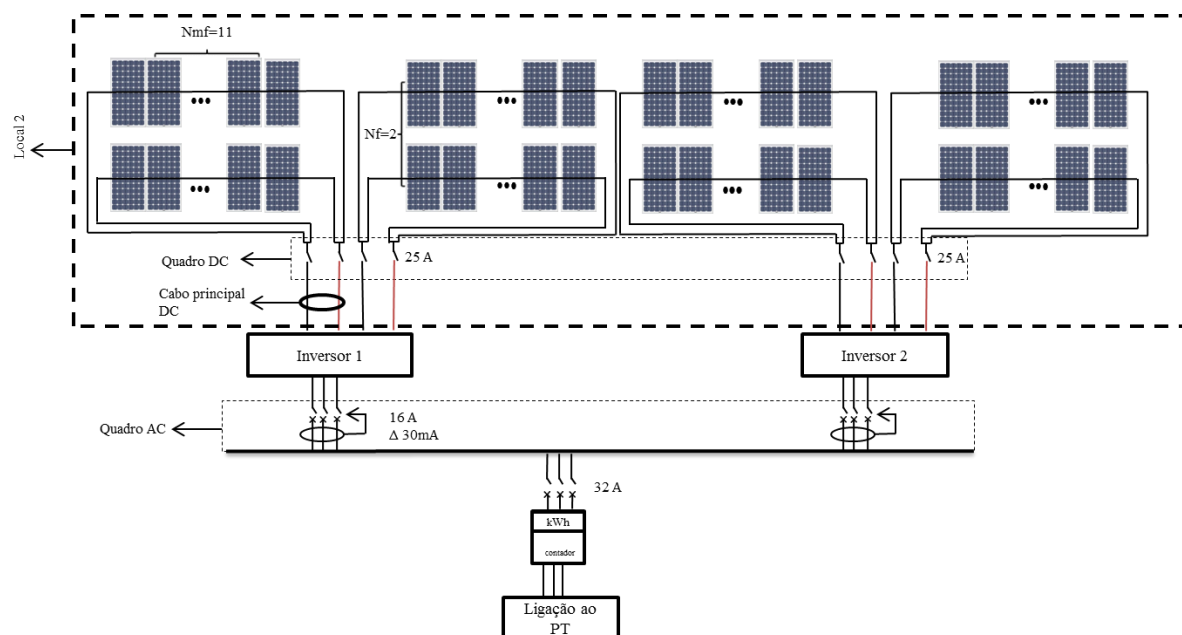


Figura 7-3: Esquema elétrico

Para o custo de manutenção do sistema fotovoltaico foi considerado um valor a rondar o 5% do custo global. O valor foi ainda distribuído pela vida útil do painel, ou seja 25 anos, obtendo-se um custo anual segundo a equação (7-1).

$$\text{Custo}_{\text{manutenção}}(\text{anual}) = \frac{1.23 \times (49333 \times 0.05)}{25} \quad (7-1)$$

Foram ainda considerados para o estudo económico, valores depois acrescidos de IVA a 23% as seguintes variáveis:

- Taxa de inflação 3%;
- Taxa de atualização de 6%;
- Custo manutenção de 121 €/ano;
- Custo tarifa bonificada 0.215€/kWh;
- Perda anual dos módulos de 0.83%/ano;
- Taxas aplicadas segundo Portaria 278/2011 de 29 de Abril no valor de 1150€;
- Produção anual de 34089 kWh;
- Receita anual de 7.329,23€;
- Custo investimento de 49333€ (Entidade T&T).

Optou-se por aumentar a taxa de atualização uma vez que o risco comparativamente aos estudos anteriores também aumentou.

Na Figura 7-4 encontra-se representado o estudo económico do sistema fotovoltaico.

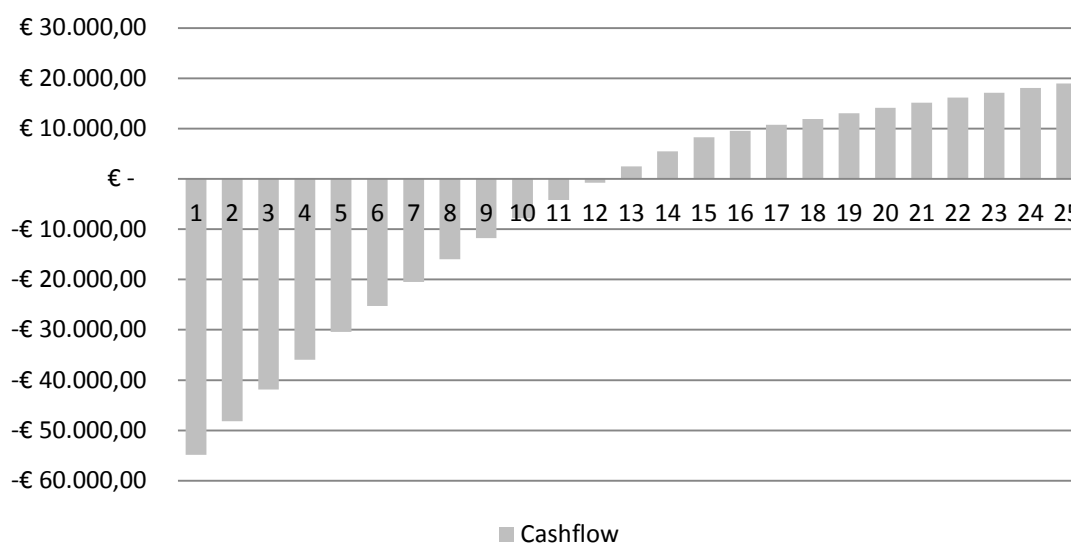


Figura 7-4: Gráfico do retorno estimado do investimento para análise 1

Para a análise efetuada, conclui-se que o investimento é amortizado em menos de 15 anos, onde o elevado valor do IVA, no valor de 23% tem forte impacto no valor do investimento inicial. No entanto, apesar do retorno ser amortizado em menos de 15 anos, a atual conjuntura económica leva a muitas incertezas a médio prazo.

É de salientar que a análise enquadra-se num contexto mais pessimista, porque apesar do fabricante assegurar que até um desvio de 30° relativamente a sul a produção não é afetada foi considerada uma produção inferior proveniente do desvio de 15° valor utilizado no PVGIS. Este desvio é explicado pelo facto dos painéis não estarem virados diretamente para sul, uma vez que devido às infra-estruturas da instalação a possibilidade de colocar os painéis a sul implicaria um desaproveitamento do espaço disponível.

7.5.2 Análise 2

A presente análise encontra-se associada ao escalão 2, com potência de ligação de 100 kW, encontrando-se na Figura 7-5 a produção média mensal referente a uma potência de pico de 123.4W. A produção média anual estimada foi de 170447 kWh.

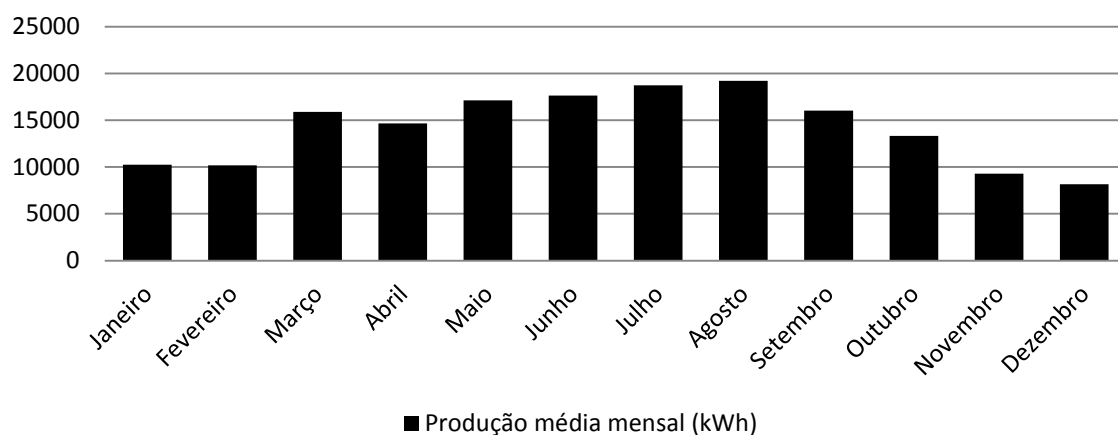


Figura 7-5: Produção média mensal (kWh)

Assim, tendo em conta a disposição do espaço serão utilizados 440 painéis, distribuídos por 10 inversores solarMax 10MT. Uma vez que os painéis se encontram distribuídos pelos vários locais com a numeração 2, 3 e 5 (Figura 7-1) as distâncias máximas adotadas para o cálculo de queda de tensão variam em função dessa distribuição, estando apresentadas no Quadro 7-4.

Quadro 7-4: Distâncias adotadas

	Cabos fileira até quadro DC (m)	Cabo DC principal (m)	Cabo AC principal (m)
Numeração 5	123	50	20
Numeração 3	73	25	
Numeração 2	110	20	

O investimento com IVA do sistema fotovoltaico é de 191.486,52 €. As taxas são superiores à análise anterior uma vez que nos encontramos no escalão II e existe um acréscimo de 500 € devido ao aumento de escalão (seção 5.2.2), estabelecendo o valor final com IVA em 2.029,50 €. A manutenção do sistema para a análise em estudo é de 382€/anuais. As restantes variáveis referidas na análise anterior prevalecem na análise atual, excetuando o valor o custo do kWh para a tarifa bonificada, que de acordo com os últimos registos que entraram em leilão neste escalão se estabeleceu a 0,21 cêntimos o W/pico [T&T]. Assim, na Figura 7-6 encontra-se representado o retorno de investimento para a potência de ligação de 100 kW. Salientar que a receita anual para esta análise é de 35.793,91€.

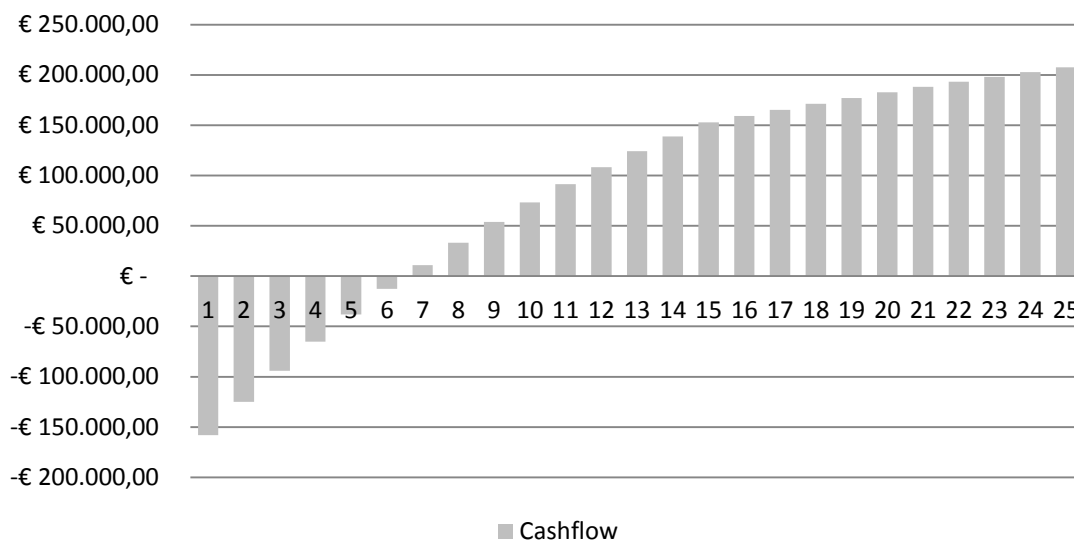


Figura 7-6: Gráfico do retorno do investimento para análise 2

A análise em estudo apresenta a estimativa do retorno de investimento inferior quando comparado com análise anterior. Esta diferença é justificada pela não linearidade entre o custo dos sistemas e as receitas dos mesmos.

Referir que para o estudo económico foi utilizado o método VPL (capítulo 6 seção 6.2.5).

8 Conclusões

A dependência dos combustíveis fósseis é uma realidade do nosso país e nos países industrializados em geral, e esta deve ser minimizada, procurando novas fontes de energia ou apostando na eficiência energética. Assim, na realização desta dissertação procurou-se alertar e dar a conhecer a necessidade de utilização de equipamentos energeticamente mais eficientes a serem empregues numa instalação, em concreto a Cerutil.

A utilização de equipamentos mais eficientes no que concerne ao projeto luminotécnico permite uma diminuição da potência instalada, posto isto foi avaliado o ganho energético e consequente estudo económico, assim como a emissão da quantidade de CO₂ evitadas para as soluções apresentadas. Respeitante à iluminação atual presente foi possível constatar que esta consome mais energia elétrica do que seria desejável, devendo-se principalmente, ao facto de a maioria das luminárias ser equipada com balastro eletromagnético. Foram analisadas várias propostas de eficiência energética, com retornos de investimento estimados em 1 e 30 anos

A análise do ponto vista de qualidade energia teve como objetivo avaliar a qualidade de onda de tensão entregue pela entidade distribuidora ao consumidor final, neste caso a Cerutil. Referente a este estudo foi possível concluir que nenhum parâmetro medido e analisado se encontra fora dos limites impostos pela norma EN 50160. Neste estudo foram ainda verificadas componentes harmónicas a circular no neutro resultante da presença de cargas não lineares. Verificou-se contudo que a seção do neutro se encontra sobredimensionada não resultando daqui qualquer tipo de aquecimento excessivo. As medições realizadas no compressor permitiram concluir que é possível otimizar o processo de controlo, uma vez que o caudal de ar é variável. A utilização de um variador de velocidade permitirá adaptar a potência consumida do equipamento de força motriz em função das necessidades reais da instalação, no entanto um estudo mais aprofundado para conhecimento das necessidades reais implicaria a utilização de um transdutor de pressão. O estudo realizado para os motores de

alto rendimento de classe IE2, permitiu tirar algumas relações, entre elas o facto do investimento nestes motores apenas ser rentável em situações em que período de laboração elevado. Uma análise à bateria de condensadores que inclui registo de valores permitiu concluir que para a pior situação analisada esta apresenta um fator de carga de 57%.

No que concerne às simulações efetuadas para o estudo de implementação de um sistema fotovoltaico, conclui-se que o retorno estimado do investimento é inferior a 15 anos. Não obstante, convém referir que existe incerteza associada a este tipo de estudos relativamente a alguns valores estimados, de que são exemplo a taxa de atualização. As novas reformas implementadas na estrutura do mercado energético, particularmente a existência de um mercado liberalizado, cuja evolução dos preços da energia dependerão da concorrência de cada mercado, bem como da evolução internacional do custo das energias primárias e do aumento de impostos num clima de crise, terão influência direta nas receitas indexadas a estes sistemas.

É de salientar que os estudos económicos baseiam-se em valores médios e uma análise exaustiva não dispensa a consulta das taxas de atualização em vigor, bem como da atualização dos custos dos equipamentos apresentados.

Finalmente de referir a excelente experiência que foi poder realizar este trabalho em ambiente industrial, identificando diretamente os problemas, e ter contacto com empresas para fornecimento de propostas para solução obtidas.

8.1 Referência a trabalhos futuros

Ao longo da elaboração deste trabalho foram identificados alguns assuntos que merecem ser investigados em estudos posteriores.

Destaca-se o seguinte:

- Analisar outros casos que contemplem outras formas de energia e/ou outras tecnologias, como é o caso da cogeração. Por exemplo aproveitamento de ar quente expelido pelo forno para a secagem.

REFERÊNCIAS

Aecweb. 2012. Acedido em Junho de 2012 em <http://www.aecweb.com.br/sistema-de-iluminacao-natural-transmite-luz-solar-com-eficiencia-e-tecnologia/tematicos/artigos/4443/6>

Álvares, L., Azevedo, S., Tavares, J. 2005. *Manual de boas práticas de eficiência energética: Implementar o desenvolvimento sustentável nas empresas*. Obtido de <http://www.eficiencia-energetica.eu/manual.pdf>

Antunes, J. 2008. *Inversor de Tensão Controlado por Corrente com Frequência de Comutação Fixa* (Dissertação de Mestrado). Obtido de <http://intranet.dei.uminho.pt/gdmi/galeria/temas/pdf/38052.pdf>

APREN, 2012 acedido em Outubro de 2012 em http://www.apren.pt/fotos/editor2/linhas_estrategicas_pnaer__resposta_apren_29junho2012.pdf

Bosch. 2008. *Ferramentas pneumáticas*. Acedido em Junho de 2012 em http://www.bosch.com.br/br/ferramentas_pneumaticas/produtos/downloads/75_perg_resp_pneumaticas.pdf

Bosch. 2008. *Tecnologia de ar comprimido*. Acedido em Junho de 2012 em http://www.bosch.com.br/br/ferramentas_pneumaticas/produtos/downloads/ManualPneumatica_ARComprimido.pdf

Cabelte. 2012. Acedido em Março de 2012 em http://www.cabelte.pt/LinkClick.aspx?link=PT%2FManuais%2FManual_Cabos_Electricos_Baixa_Tensao.pdf&tabid=93&mid=575

CCE. s.d. *Redução do consumo de energia em motores elétricos na industria*. Centro para a conservação de energia.

Certiel. 2012. *Guia prático de instalações de micro produção*. Acedido em Março 2012 em http://www.certiel.pt/c/document_library/get_file?uuid=c76836cb-7304-492f-b442-8f60b1ab750c&groupId=10100

Compressed Air Systems. 2012. *Compressores de Parafuso*. Acedido em Julho de 2012 em http://www.boge.com.es/artikel/download/Catalogos302_PT_Screw.pdf

Correia, A. 2009. *Auditoria energética - Cerutil*.

Correia, P. 2007. *O impacto dos problemas de qualidade da energia em instalações elétricas - O caso particular das perturbações harmónicas*. Obtido de http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/paulocorreia/index_ficheiros/investiga%C3%A7%C3%A3o_ficheiros/harmonicas.pdf

Correia, S. 2012. *Estudo Económico sobre Mini Geração de Energia* (Dissertação de Mestrado). Obtido de <http://pt.scribd.com/doc/82553158/1/Enquadramento-Legal>

Decreto-Lei nº 108/2007 de 12 de Abril de 2007. "Diário da República, 1.ª série – N.º 72". Ministério da Economia e da Inovação.

Decreto-Lei nº 327/2001 de 18 de Dezembro de 2001. "Diário da República, 1.ª série – A". Ministério da Economia e da Inovação.

Decreto-Lei nº 34/2011 de 8 de Março de 2011. "Diário da República, 1.ª série – N.º 47". Ministério da Economia, da inovação e do desenvolvimento.

Decreto-Lei nº 79/2011 de 28 de Outubro de 2011. "Diário da República, 1.ª série – N.º 208". Ministério da Economia e do emprego.

Desmet, J., Vlaanderen, H., Baggino, A. 2003. *Harmónicas - Dimensionamento do neutro em instalações com harmónica*. Obtido de <http://www.leonardo-energy.org.br/wp-content/uploads/2009/06/351-dimensionamento-neutro.pdf>

Eder, C., Meneses, G., Fiterman, L., Tinoco, M. 2004. *Avaliação dos métodos de retorno modificada: uma aplicação prática* (pós-graduação). Obtido de http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/503_tir_modificada.pdf

EDP. 2005. *Manual da qualidade da energia elétrica*.

EDP. 2012. *Projeto ECO empresas*. Acedido em Junho de 2012 em <http://www.eco.edp.pt/pt/empresas/apoiar/projectos-eco-empresas/projectos-eco-empresas>

EDSNORTE. 2012. *Eficiência energética no sector industrial*. Acedido em Junho de 2012 em <http://Manual%20Eficiencia%20Energetica%20no%20Sector%20Empresarial.pdf>

Eletrobrás. 2012. *Eficiência energética em sistemas de ar comprimido*. Acedido em Junho de 2012 em <http://pt.scribd.com/doc/19643330/Ar-Comprimido-Eficiencia-Energetica-PROCEL>

ERSE, 2012 acedido em Outubro de 2012 em <http://www.erse.pt/pt/electricidade/factosenumeros/Paginas/EvolucaoPrecoMedioElectricidadePortugalContinental2010-Pre%C3%A7osCorrentes.aspx>

ERSE, 2012 acedido em Outubro de 2012 em http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/tarifas2012/Documents/PrecosTVCF%20PTCont_2012.pdf

EUROSTAT. 2012. Acedido em Julho de 2012 em <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsdcc310>

Farnell. *Manual Técnico e Legislação RoHS*. 2005. Obtido de http://es.farnell.com/images/pt_PT/pdf/PORRoHSTechnicalManual.pdf

Freire, R. 2011. *Análise de viabilidade de Projetos de minigeração Fotovoltaica* (Dissertação de Mestrado). Obtido de <http://paginas.fe.up.pt/~ee04166/files/versaoprov1.pdf>

Gaspar, C. 2004. *Eficiência energética na indústria*. ADENE

Gepea. 2012. *Motores de alto rendimento*. Acedido em Março de 2012 em http://ww2.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/secretarias/gestaopublica/pmge/Motores_Eletricos.pdf

Guedes, M. 1992. *Grandezas periódicas não sinusoidais* Obtido de <http://paginas.fe.up.pt/maquel/AD/GPnS.pdf>

Guerreiro, R. 2009. *Eficiência Energética na Administração do Porto de Sines* (Dissertação de Mestrado). Obtido de http://run.unl.pt/bitstream/10362/2736/1/Guerreiro_2009.pdf

Iapmei. 2012. Acedido em Junho de 2012 em http://www.iapmei.pt/resources/download/de_minimis.pdf

INE, 2012 acedido em Outubro de 2012 em http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_main

Justus, A. 2010. *Automação pneumática*. Acedido em Março em <http://pt.scribd.com/doc/52367192/16/Redes-de-distribuicao-de-ar-comprimidoBoge>

Kaeser Compressores. 2012. *Tecnologia de ar comprimido - Noções básicas, dicas e sugestões*. Acedido em Junho de 2012 em <http://www.kaeser.pt/Images/P-2010-PT-tcm189-6752.pdf>

Louçano, N. 2009. *Eficiência energética em edifícios: Gestão do sistema de iluminação* (Dissertação de Mestrado). Obtido de https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/2017/1/Relatorio_Nelson_Loucano.pdf

Lourenço, D. 2010. *Sistemas de iluminação pública com gestão inteligente de consumo* (Dissertação de Mestrado). Obtido de <http://ria.ua.pt/bitstream/10773/3707/1/4917.pdf>

lumatek, 2012 acedido em Outubro de 2012 em http://www.luzfria.com.br/web/catalogo/tutorial_iluminando_if.htm

Luz, J. 2010. *Luminotécnica*. Obtido de <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Luminotecnica.pdf>

Magueijo, V., Fernandes, M., Matos, H., Nunes, C., Calau, J., Carneiro, J. & Oliveira, F. 2010. *Medidas de Eficiência Energética aplicáveis à indústria portuguesa: um enquadramento tecnológico sucinto*. ADENE. Obtido de <http://www.adene.pt/pt-pt/Publicacoes/Documents/pub-medidas-eficiencia-energetica-industria.pdf>

Martins, J., Couto, C., Afonso, J. 2003. *Qualidade de energia elétrica*. Obtido de <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/1503/1/CLME-03.pdf>

Maxwell. 2012. Acedido em Junho de 2012 em http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/16199/16199_4.PDF

Meteopt. 2012. Acedido em Junho de 2012 em www.meteopt.com/

Morais, J., Pereira, J. 2006. *Guia técnico das instalações elétricas*. Certiel.

Morais, P. 2009. *Sistemas Fotovoltaicos da Teórica à Prática*. Engebook.

Moreno, H. 2001. *Harmônicas nas instalações elétricas - Causas, efeitos e soluções*. Procobre.

Nortenet. 2012. Acedido em Junho de 2012 em <ftp://224-209.fixo.nortenet.pt/Backups/Denny/Backup/Docs/Documents/pasta%20docs%20colegas/Do%20%C3%93/Controlo%20PI%20-%20Bombagem/Controlo%20PI%20-%20Bombagem.pdf>

Oliveira, F., Torre, H., Almeida, J. 2004. *Qualidade de energia - Gestão de energia elétrica*. Obtido de http://Ige.deec.uc.pt/ensino/gee/trabalhos%20pesquisa/2003_2004/qualidade%20de%20energia/Qualidade%20de%20Energia.pdf

Osram. 2012. *Iluminação: Conceitos e Projetos* Acedido em Junho de 2012 em http://www.fau.usp.br/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0262/Af_Apostila_Conceitos_e_Projetos.pdf

Pais, A. 2011. *Condições de iluminação em ambiente de escritório: influência no conforto visual* (Dissertação de Mestrado). Obtido de

<http://repositorio.insa.pt/bitstream/10400.18/471/3/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Mestrado%20FMH%202011%20Aida%20Pais.pdf>

Paiva, J.. 2007. *Redes de energia elétrica - uma análise sistémica*. ISTPress.

Paz, L., Pereira, M., Fernandes, M., Ferreira, V., Pereira, M., Areias, A., Oliveira, H., Batista, R., Matias, G. 2007. *Norma Europeia EN 12464-1*. Obtido de <http://material.eee.pt/multimedia/documentos/508/CANDELA09.pdf>

Philips. 2012. Acedido em Abril de 2012 em http://www.lighting.philips.com.br/connect/support/faq_lampadas.wpd

Philips. 2012. *Catálogo de luminárias*. Acedido em Abril de 2012 em http://www.lighting.philips.com.br/connect/tools_literature/

Philips. 2012. *The ABC's of electronic fluorescent ballasts*. Acedido em Junho de 2012 em http://www.advancetransformer.com/documents/uploads/literature/RT-8010-R03_ABC.pdf

Polirigido. 2012. Acedido em Junho de 2012 em <http://www.solatube.polirigido.com/pt/>

Portaria nº 178/2011 de 29 de Abril de 2011. "Diário da República, 1.ª série – N.º 83". Ministério da Economia, da inovação e do desenvolvimento.

Portaria nº 79/2006 de 4 de Abril de 2006. "Diário da República, 1.ª série – N.º 67". Ministério das obras públicas, transportes e comunicações.

Pregitzer, N. 2006. *Simulações computacionais de filtros ativos de potência em condições reais de operação* (Dissertação de Mestrado). Obtido de http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/7058/1/TESE_FINAL.pdf
PVGIS. Acedido em abril em emre.jrc.ec.europa.eu/pvgis/

QEnergia. 2001. *O impacto dos problemas de qualidade da energia em instalações elétricas*. Ciclo palestra Ordem dos Engenheiros

Regulamento (CE) N.º 245/2009 da Comissão de 18 de Março de 2009. “Jornal Oficial da União Europeia – L 76/17”.

REN. 2012. Acedido em Junho de 2012 em http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoTecnica/DadosTecnicos/REN_Dados%20T%C3%A9cnicos%202011%20FINAL.pdf

Roriz, L., Rosendo, J., Fernando, L., Calhau, K., Morais, F. 2010. *Energia solar em edifícios*. Amadora: Orion.

Sá, A. 2010. *Gestão de energia e eficiência energética*. Publindústria.

Santos, J. 2006. *Compensação do fator de potência*. Obtido de http://paginas.fe.up.pt/~jns/material_didatico/CorrecaoFactorPotenciaFinal.pdf

Schneider Electric. 2001. *Power quality*. Obtido de <http://www.schneider-electric.co.in/documents/technical-publications/en/shared/electrical-engineering/electrical-environmental-constraints/general-knowledge/ect199.pdf>

SGCIE. 2012. Acedido em Junho de 2012 em <http://www.adene.pt/pt-pt/subportais/sgcie/Paginas/Homepage.aspx>

Shaffner. 2006. *IEC 61000-3-2 harmonics standards overview*. Acedido em Junho de 2012 em http://www.teseq.com/com/en/service_support/technical_information/05_AN_IEC61000-3-25.pdf

Silva, E. 2002. *PMR 2481 - Sistemas Fluidomecânicos*. Obtido de <http://sites.poli.usp.br/d/pmr2481/pneumat2481.pdf>

Silva, N. 2011. *Análise da viabilidade de mudança dos sistemas de iluminação de um estabelecimento de ensino superior para outros mais eficientes* (Dissertação de Mestrado). Obtido de http://www.ploran.com/artigos/tese_nuno_silva.pdf

Society. 2008. *Planning & Installing Photovoltaic Systems - A guide for installers, architects and engineers*. London: Earthscan.

Solevita. 2012. Acedido em Junho de 2012 em http://solevita.lt/commercial_product_solamaster.php

Starosta. 2011. *Alimentação de cargas não lineares por transformadores*. Obtido de <http://www.osetoreletrico.com.br/web/colunistas/jose-starosta/744-alimentacao-de-cargas-nao-lineares-por-transformadores.html>

Teixeira, A. 2006. *Eficiência energética das instalações de iluminação*. Obtido de http://paginas.fe.up.pt/~arminio/lumiind/EFIC_ENERGET_INST_ILUM_LUMIIND.pdf

templarluz. 2012. Obtido de <http://www.templarluz.com/downloads/luminotecnia.pdf>

Timotius, M.. 2012. *Lâmpadas de descarga*. Acedido em Junho de 2012 em <http://www.slideshare.net/MarioTimotius/iluminao3-lampadas-fluorescentes>

Timotius, M... 2012. *Lâmpada de descarga de alta intensidade*. Acedido em Junho de 2012 em <http://www.slideshare.net/MarioTimotius/iluminao4-lmpadas-hid>

Universal Motors. 2012. Acedido em Junho de 2012 em http://www.universalmotors.pt/site/index.php?pag=cont&menu_id=9

Vilaça, I. 2009. *Projecto de uma instalação fotovoltaica de 1.5 MW*. Obtido de <http://intranet.dei.uminho.pt/gdmi/galeria/temas/pdf/24608.pdf>

Vilão, R., Venâncio, C., Teixeira, A., Gervásio, I., Liberal, P. 2012. *Greening portugal*. Obtido de http://sniamb.apambiente.pt/docs/sids/Greening%20Portugal_portugu%C3%AAs.pdf

ANEXO A – INDICADORES ASSOCIADOS ÀS PERTURBAÇÕES NA QUALIDADE DE ONDA - HARMÓNICOS

A.1 Os indicadores essenciais da distorção harmónica

Existem indicadores que permitem quantificar e avaliar a distorção harmónica das ondas de tensão e de corrente. Estes indicadores são indispensáveis para a determinação de eventuais ações corretivas (Schneider Electric, 2003)

A.1.1 Espectro harmónico

O espectro harmónico permite avaliar os impactos individuais de cada harmónico. Este é representado em forma de histograma, mostrando a amplitude e a frequência de cada componente, permitindo assim uma rápida perceção do conteúdo harmónico presente.

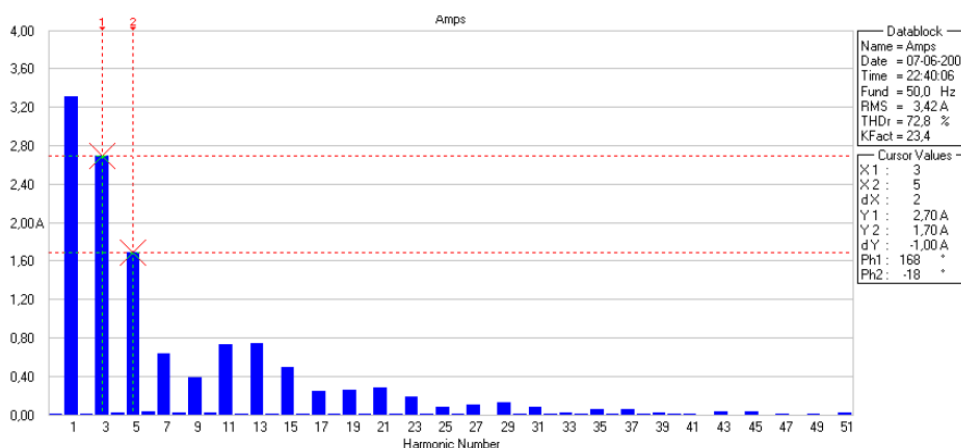


Figura A-1: Representação de um espectro harmónico

A.1.2 Taxa de Distorção Harmónica

A taxa de distorção harmónica (THD) descreve a relação entre o conteúdo harmónico da onda e a sua componente fundamental. Normalmente, esta taxa é expressa em percentagem e é um método simples e prático que constitui um dos principais parâmetros de medição do conteúdo harmónico. O cálculo para a determinação da THD é independente da natureza da onda, podendo-se aplicar da mesma forma tanto para as tensões como para as correntes. De uma forma geral, este indicador permite avaliar o “tipo” (distorção) de onda a que os equipamentos elétricos estão sujeitos.

Considerando h uma onda periódica com harmónicos múltiplos da fundamental e H o valor eficaz dessa onda, pode-se calcular a THD através da expressão (A-1):

$$\text{THD}(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} H_n^2}}{H_1} \quad (\text{A-1})$$

Sendo que o parâmetro H_1 corresponde ao valor eficaz da componente fundamental e os restantes correspondem aos diversos harmónicos representados [Antunes, 2008].

A.1.3 Fator de Crista

O fator de crista (FC) expressa é a relação entre o valor de pico e o valor eficaz da tensão ou da corrente, funcionando também como um indicador de distorção da onda.

$$\text{FC} = \frac{U_{\text{pico}}}{U_{\text{ef}}} \text{ ou } \frac{I_{\text{pico}}}{I_{\text{ef}}} \quad (\text{A-2})$$

Para cargas lineares o fator de crista é $\sqrt{2}$, no entanto para cargas não lineares isso não se verifica, apresentando valores cujo fator de crista se pode encontrar abaixo ou acima desse valor.

Um fator de crista muito elevado significa sobrecargas pontuais consideráveis. Estas sobrecargas, detetadas pelos dispositivos de proteções, podem ser a origem dos disparos intempestivos [Schneider, 2003].

A.1.4 Fator de potência e $\cos \alpha$

Na presença de componentes harmónicas na instalação (tensão e intensidade de corrente) o fator de potência global virá diferente já que o valor das potências resulta já da agregação das grandezas eléctricas incluindo harmónicas:

$$P = U_{\text{rms}} \times I_{\text{rms}} \times \cos \alpha \quad (\text{A-3})$$

$$Q = U_{\text{rms}} \times I_{\text{rms}} \times \sin \alpha \quad (\text{A-4})$$

$$S = U_{\text{rms}} \times I_{\text{rms}} \quad (\text{A-5})$$

Estes valores eficazes incluem a presença de termos harmónicos ao contrário de um sistema onde não existem termos harmónicos em que $U_{\text{rms}} \times I_{\text{rms}}$ apenas incluem a componentes fundamental.

O fator de potência da instalação pode calcular-se como se indica abaixo onde “ $\cos \alpha$ ” da expressão representa o fator de potência sem a presença de poluição harmónica.

$$\text{Fator de potência} = \frac{P}{V_{\text{rms}} \times I_{\text{rms}}} \text{ ou } \frac{1}{\sqrt{1+\text{THD}^2}} \times \cos \alpha \quad (\text{A-6})$$

ANEXO B – CUSTO DOS EQUIPAMENTOS/EXEMPLO DE CÁLCULO

O custo associado aos equipamentos utilizados para elaboração dos diversos casos de estudos, nomeadamente lâmpadas, balastos/arrancadores e armaduras, encontram-se representados nos quadros B-1, B-2 e B-3, respetivamente.

Os preços referidos são mais favoráveis que o preço de tabela já que incluem o desconto médio (Quadro B-4)

Quadro B-1: Custo (€) das lâmpadas utilizadas para o caso de estudo

Potências (W)	Lâmpada T8	Lâmpada T8 ECO	Lâmpada T5	Lâmpada T5 ECO	Lâmpada vapor mercúrio	Lâmpada Vapor de sódio	Lâmpada Iodetos metálicos	Solartube
18/16	4,25 €	5,37 €	-	-	-	-	-	-
36/32/28	4,25 €	5,37 €	7,59 €	9,72 €	-	-	-	-
49	-	-	9,44 €	12,08 €	-	-	-	-
58/51	6,25 €	7,25 €	-	-	-	-	-	-
70	-	-	-	-	-	29,93 €	-	-
125	-	-	-	-	15,81 €	-	-	-
250	-	-	-	-	-	-	36,90 €	-
-	-	-	-	-	-	-	-	1.040 €

Quadro B-2: Custo (€) dos equipamentos auxiliares

Potências (W)	Balastro eletrónico	Balastro eletromagnético	Arrancador
18	19,80 €	2,36 €	-
36	19,80 €	3,22 €	-
58	19,80 €	4,41 €	-
2x18	21,53 €	4,72 €	-
2x36	21,53 €	6,44 €	-
2x58	21,53 €	8,82 €	-
2x28	29,27 €	-	-
2x49	29,27 €	-	-
1x70	-	20,49 €	24,27 €
1x125	-	21,53 €	-
1x250	-	28,38 €	16,07 €

Quadro B-3: Custo (€) das armaduras

	Potência	Preço pacote
TBS 165 p/ lâmpada T5 (Proposta A)	2x28	68,00 €
TCW 060 HFP (Proposta A)	1x18	53,32 €
	1x36	54,37 €
	1x58	59,59 €
	2x18	60,64 €
	2x36	63,78 €
SGS101	1x70	150,55 €
WT360C (proposta A)	2x49	124,41 €

Quadro B-4: Descontos para os diversos equipamentos

	Luminárias	Lâmpadas	Balastos	Arrancador vapor sódio	Solartube	Lâmpada Iodetos metálicos	Balastro Iodetos metálicos	Arrancador iodetos
Descontos	15%	30%	30%	30%	20%	30%	30%	35%

Segue-se um exemplo dos dados tratados para obtenção da receita, neste caso associado à proposta 7.1. Na Figura B-1 encontra-se representado o regime de funcionamento da luminária para período de verão e inverno, sendo depois calculada em função do período de faturação a receita, resultante da diferença de consumo entre as armaduras em estudo.

						Situação 1 (€)		Situação 2 (€)	
						Período inverno	Período verão	Período inverno	Período verão
Custo do kWh						0,20 €	0,00 €	0,20 €	0,00 €
WhP (kWh)						0,33 €	0,37 €	0,33 €	0,37 €
WhC (kWh)						0,20 €	0,20 €	0,20 €	0,20 €
WhV (kWh)						0,22 €	0,22 €	0,22 €	0,22 €
WhSV (kWh)						0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Pponta (kW/dia)						0,95 €	0,78 €	0,95 €	0,78 €
Total (diário)						0,95 €	0,78 €	0,95 €	0,78 €
						Situação 1 (€)		Situação 2 (€)	
Custo acesso às redes						Período inverno	Período verão	Período inverno	Período verão
WhP (kWh)						0,06 €	0,00 €	0,06 €	0,00 €
WhC (kWh)						0,10 €	0,11 €	0,10 €	0,11 €
WhV (kWh)						0,06 €	0,06 €	0,06 €	0,06 €
WhSV (kWh)						0,07 €	0,07 €	0,07 €	0,07 €
Pponta (kW/dia)						0,14 €	0,00 €	0,14 €	0,00 €
Total (diário)						0,43 €	0,24 €	0,43 €	0,24 €

Período de hora legal de inverno					
Consumo (kW)	n° HP	n° HC	n° HV	n° H.S.V	
Poupança	1,1308	2,5	4,5	3	4

Período de hora legal de Verão					
Consumo (kW)	n° HP	n° HC	n° HV	n° H.S.V	
Poupança	1,1308	0	5	3	4

Figura B-1: Cálculo da receita diária

Segue-se posteriormente o estudo económico através do método VPL.

Ano	Investimento 1	Manutenção actual	Manutenção Substituição	Receita	Ano	Investimento 1	Manutenção actual	Manutenção Substituição	Receita	Investimento total	Receita total	VPL
2013	3.846,12 €	473,55 €		290,44 €	2013	3.846,12 €	473,55 €	0,00 €	290,44 €	3.846,12 €	763,99 €	-3.082,13 €
2014				299,15 €	2014		0,00 €	0,00 €	284,90 €	3.846,12 €	1.048,89 €	-2.797,23 €
2015				308,12 €	2015		0,00 €	0,00 €	279,48 €	3.846,12 €	1.328,37 €	-2.517,75 €
2016		380,08 €		317,37 €	2016		328,33 €	0,00 €	274,15 €	3.846,12 €	1.930,85 €	-1.915,27 €
2017				326,89 €	2017		0,00 €	0,00 €	268,93 €	3.846,12 €	2.199,78 €	-1.646,34 €
2018				336,69 €	2018		0,00 €	0,00 €	263,81 €	3.846,12 €	2.463,59 €	-1.382,53 €
2019		415,33 €		346,80 €	2019		309,92 €	0,00 €	258,78 €	3.846,12 €	3.032,30 €	-813,82 €
2020				357,20 €	2020		0,00 €	0,00 €	253,85 €	3.846,12 €	3.286,16 €	-559,96 €
2021			834,07 €	367,92 €	2021		0,00 €	564,53 €	249,02 €	4.410,65 €	3.535,18 €	-875,48 €
2022		453,84 €		378,95 €	2022		292,55 €	0,00 €	244,28 €	4.410,65 €	4.072,00 €	-338,65 €
2023				390,32 €	2023		0,00 €	0,00 €	239,62 €	4.410,65 €	4.311,62 €	-99,03 €
2024				402,03 €	2024		0,00 €	0,00 €	235,06 €	4.410,65 €	4.546,68 €	136,03 €
2025		495,92 €		414,09 €	2025		276,15 €	0,00 €	230,58 €	4.410,65 €	5.053,42 €	642,76 €
2026				426,51 €	2026		0,00 €	0,00 €	226,19 €	4.410,65 €	5.279,61 €	868,95 €
2027				439,31 €	2027		0,00 €	0,00 €	221,88 €	4.410,65 €	5.501,49 €	1.090,84 €
2028		1.279,68 €	702,36 €	452,49 €	2028		615,55 €	337,85 €	217,66 €	4.748,50 €	6.334,69 €	1.586,19 €
2029			1.056,58 €	466,06 €	2029		0,00 €	484,03 €	213,51 €	5.232,53 €	6.548,20 €	1.315,67 €
2030				480,05 €	2030		0,00 €	0,00 €	209,44 €	5.232,53 €	6.757,64 €	1.525,11 €
2031		592,16 €		494,45 €	2031		246,05 €	0,00 €	205,45 €	5.232,53 €	7.209,15 €	1.976,62 €

Figura B-2: Estudo económico

ANEXO C – PROGRAMAS DE APOIO

Com visa a minimizar os impactos da dependência energética, o estado português a par de outras entidades têm apresentado programas específicos que em seguida se resumem. Além, de metas energéticas são também delineadas metas ambientais.

C.1 SGCIE

No âmbito da estratégia nacional para a energia, foi publicado o decreto-lei nº 71/2008 de 15 de Abril que regulamenta o SGCIE (Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia). Este programa, tem como objetivos principais, a promoção da eficiência energética e a monitorização das instalações consumidoras intensivas de energia (CIE), em especial no sector industrial através da regulamentação dos seus consumos energéticos. São também apresentados indicadores para o cálculo das emissões de CO₂, o que reflete uma natural preocupação ambiental.

O SGCIE aplica-se às CIE que tenham um consumo energético superior a 500 tep/ano. Neste caso são convertidos todos os vetores energéticos usados numa base anual e definidas metas de redução dos consumos a cumprir num período específico que é em função do consumo específico da CIE.

C.2 SIME

O Sistema de Incentivos à Modernização Empresarial suportado pela Portaria nº 456/2005 de 2 de Maio tem como objetivos promover junto das empresas abordagens integradas de investimentos que se insiram na estratégia de desenvolvimento e de reforço da competitividade do sector, assim como estimular a intervenção em fatores estratégicos não diretamente produtivos, designadamente nas áreas de internacionalização, qualidade e ambiente, energia e qualificação de recursos humanos.

O investimento mínimo elegível é de 150 mil euros ou 600 mil euros, respetivamente, para PME ou não PME, que visem o reforço da produtividade e da competitividade das empresas e da sua participação no mercado global [iapmei, 2012; edsNORTE, 2012].

C.3 Programa ECO EDP

O Programa ECO EDP é destinado a todas as empresas cujos códigos de atividade empresarial (CAE) pertençam aos sectores da Indústria e Agricultura. Este é um programa de

eficiência energética cujo apoio se concretiza em compartições na aquisição de equipamento mais eficiente.

C.4 QREN

O Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN) tem como grande desígnio estratégico a qualificação dos portugueses, valorizando o conhecimento, a ciência, a tecnologia e a inovação, bem como a promoção de níveis elevados e sustentados de desenvolvimento económico, sócio-cultural e de qualificação territorial, num quadro de valorização da igualdade de oportunidades e, bem assim, do aumento da eficiência e qualidade das instituições públicas.

A prossecução desta estratégia é assegurada por Fundos Estruturais e do Fundo de Coesão, por todos os Programas Operacionais, no período 2007-2013, de três grandes agendas operacionais temáticas. Estas incidem sobre três domínios essenciais de intervenção, o potencial humano; os fatores de competitividade da economia e a valorização do território [qren,2012].

ANEXO D – CARACTERISTICAS DOS APARELHOS

D.1 Luxímetro – TESTO 545

- Memória 3000;
- LCD de quatro linhas;
- Temperatura de armazenamento -20 ... +70 °C;
- Temperatura de funcionamento 0 ... +50 °C;
- Tipo de pilha quadrada de 9V;
- Vida útil da pilha 50 h;
- Peso 500 g;
- Medidas 220 x 68 x 50 mm;
- Material/Carçaça ABS;
- Tipo de sonda Lux;
- Gama de medição 0 ... +100000 Lux;
- Resolução 1 Lux (0 ... +32000 Lux);

D.2 FLUKE

V/A/Hz	Largura de banda utilizável:	10 Hz..3.5 kHz
	Harmônicos na frequência fundamental dos 400 Hz	9th
	Precisão típica para a frequência fundamental dos	5%
Harmônicos	Largura de banda utilizável:	10 Hz..3.5 kHz
	Harmônicos na frequência fundamental dos 400 Hz	9th
	Precisão típica para a frequência fundamental dos	10% Canal 1, 50% Canal 2
Características de entrada	Impedância de entrada	1 MΩ, 20 pF
	Regime de tensão	600V rms, CAT III
Visualização de V/A/Hz	Tensão de valor eficaz verdadeiro (ca + cc)	
	Gamas:	5,000 V, 50,00 V, 500,0 V, 1250 V*
	Precisão:	±(1% + 10 contagens)
	Corrente de valor eficaz verdadeiro (ca + cc)	
	Gamas:	50 A, 500 A, 5,000 kA, 50,00 kA, 1250 kA

Precisão:	$\pm(1\% + 10 \text{ contagens})$
Frequência	
Gamas:	40,0 a 15,9 kHz
Precisão:	$\pm(0,5\% + 2 \text{ contagens})$
Fator de crista FC	
Gamas:	1,0 - 10,0
Precisão:	$\pm(0,5\% + 1 \text{ contagem})$

D.3 Analisador de energia - HIOKI

O analisador de energia permite medir:

- Transitórios de sobre-tensão;
- Parâmetros de qualidade de tensão RMS;
- Sobre-tensões, sub-tensões e interrupções de tensão;
- Frequência, tensão, corrente, potência ativa, reativa, aparente e fator de potência;
- Harmônicos de tensão, corrente, potência, inter-harmônicos de tensão e corrente;
- Flicker, Fator k.

Está em conformidade com as normas IEEE1159, EN50160:1999, IEC61000-4-30:2003, Permite medir circuitos monofásicos e trifásicos e tem uma escala de tensão de 150 até 600V e corrente de 5 a 5000 A.

ANEXO E – DADOS PARA ESTUDOS LUMINOTÉCNICOS

E.1 Resultados dos estudos luminotécnicos

E.1.1 Nota introdutória

Apresenta-se de seguida os estudos luminotécnicos referentes ao capítulo 6. Nos casos onde não se encontraram dados para as armaduras atuais (equipamento com alguma antiguidade) foram realizados apenas estudos para a situação proposta. Nos estudos luminotécnicos foi utilizado o programa Dialux.

Para o caso de estudo envolvendo a tecnologia solartube foram considerados os dados da secção E.1.3 (horas de irradiação solar e dados das células crepusculares) e E.1.4 (software comercial).

E.1.2 Resultados

Para a proposta do setor da pintura foram realizados dois estudos luminotécnicos. Um que enquadra a situação atual (Figura E-1) e um outro que enquadra a situação proposta de melhoria de eficiência energética (Figura E-2). De referir que os resultados obtidos encontram-se de acordo com a norma EN 12464-1, pelo que se consegue obter a desejada iluminância com menor consumo de energia.

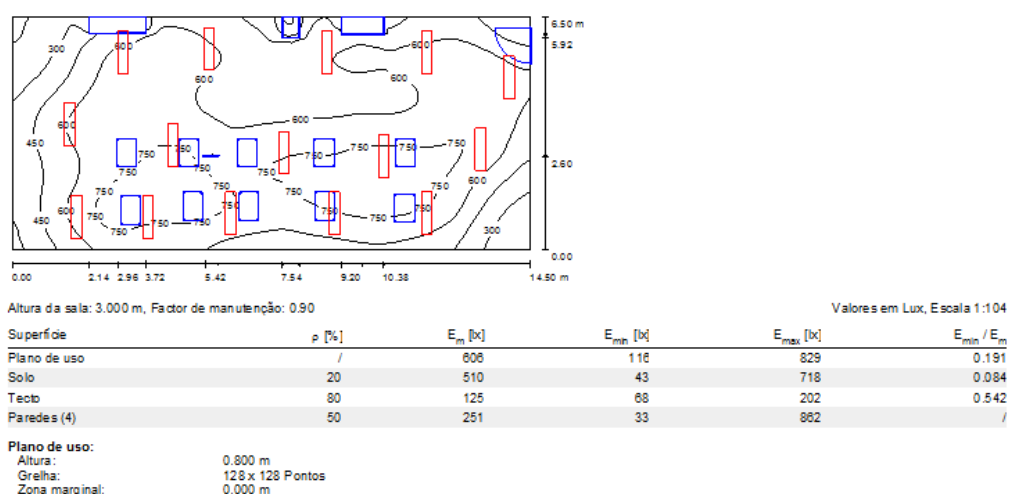


Figura E-1: Setor pintura para situação atual

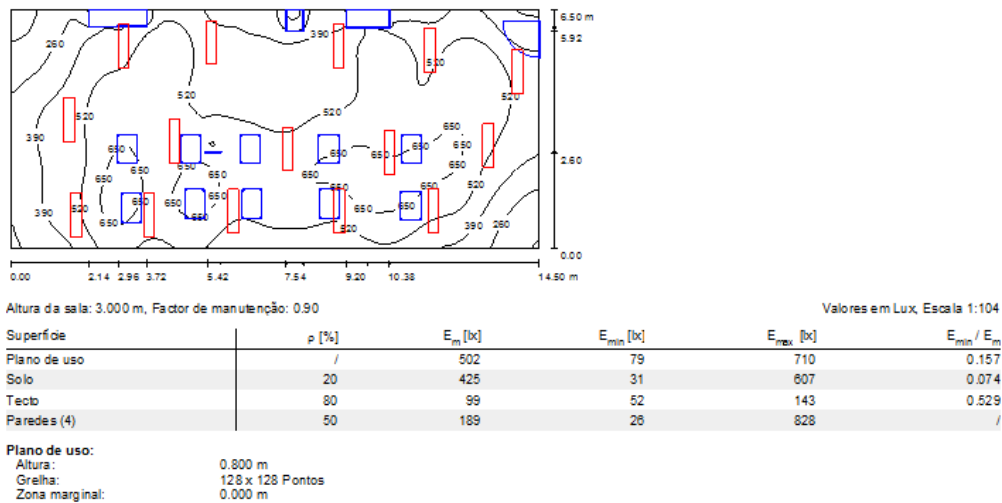


Figura E-2: Setor pintura para situação proposta

Nas propostas para os sectores do forno, embalagem e conformação apenas é realizado um estudo luminotécnico (por sector) para a situação proposta de melhoria de eficiência energética. A justificação prende-se com o facto de a diferença entre a situação atual e a situação proposta residir apenas no consumo do balastro. Assim, a figura E-3 encontra-se associada ao setor do forno, a Figura E-4 ao setor da conformação e por fim Figura E-5 ao setor da embalagem

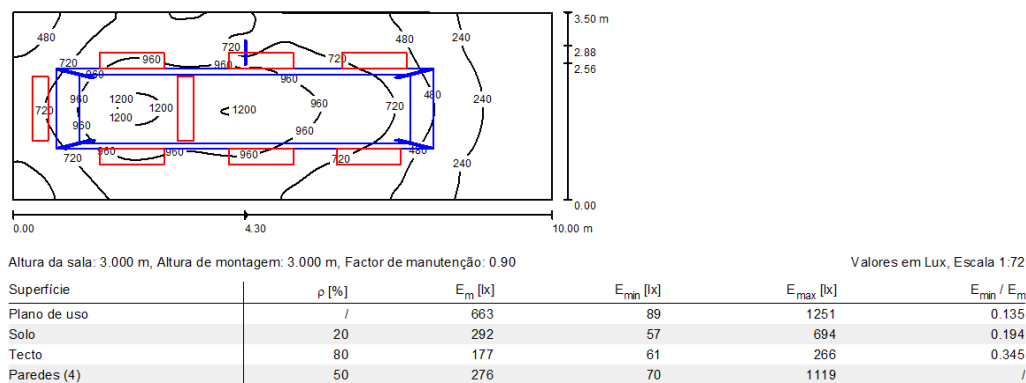


Figura E-3: Setor forno para situação proposta

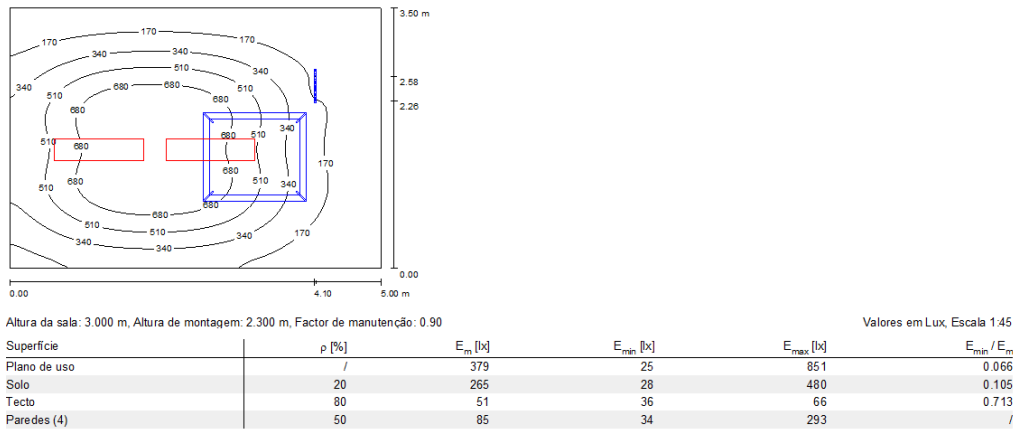


Figura E-4: Setor conformação para situação proposta

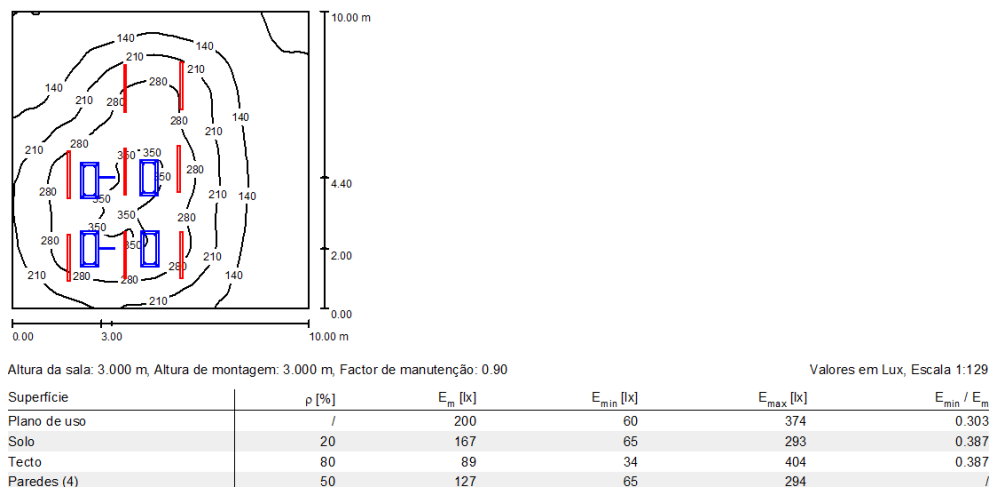
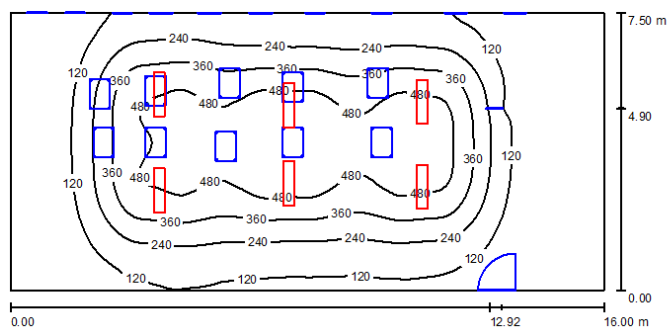


Figura E-5: Setor embalagem para situação proposta

Outro setor alvo de estudo foi o sector do Bar. Neste caso foram produzidos estudos luminotécnicos para duas situações a atual e proposta. Estas encontram-se apresentadas nas Figuras E-6 e E-7 respetivamente. De salientar que este local tem iluminação natural. Os resultados obtidos estão de acordo com a norma.

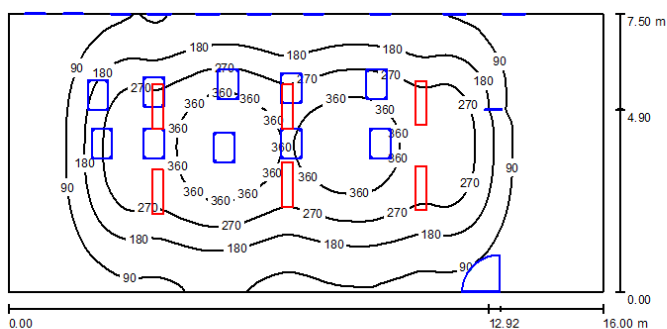


Altura da sala: 3.200 m, Altura de montagem: 3.251 m, Factor de manutenção: 0.90

Valores em Lux, Escala 1:115

Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	245	14	594	0.059
Solo	20	218	18	496	0.081
Tecto	80	40	15	67	0.376
Paredes (4)	50	49	15	165	/

Figura E-6: Setor Bar para situação atual



Altura da sala: 3.200 m, Altura de montagem: 3.251 m, Factor de manutenção: 0.90

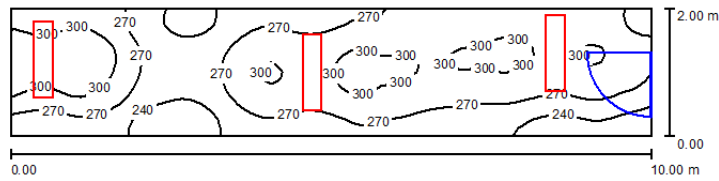
Valores em Lux, Escala 1:115

Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	177	11	444	0.062
Solo	20	157	14	379	0.087
Tecto	80	29	11	48	0.372
Paredes (4)	50	37	12	129	/

Figura E-7: Setor Bar para situação proposta

Referir que a iluminância no plano de trabalho, neste caso nas mesas se situa próximos dos 300 lux, no entanto à medida que nos afastamos este valor tende a ser menos uniforme.

A figura E-8 ilustra o estudo realizado para o corredor para a situação proposta. O nível de iluminância está de acordo com a norma EN 12464-1.



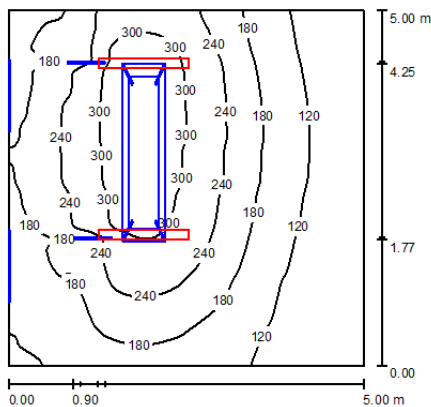
Altura da sala: 3.200 m, Factor de manutenção: 0.90

Valores em Lux, Escala 1:72

Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	276	216	332	0.783
Solo	20	219	167	267	0.761
Tecto	80	71	49	144	0.688
Paredes (4)	50	155	45	1278	/

Figura E-8: Setor corredor para situação proposta

Na Figura E-9 encontra-se representado o estudo para o setor dos moldes, onde o nível de iluminação é cumprido de acordo com a norma. Referir que este setor é também alvo de iluminação natural.



Altura da sala: 3.000 m, Altura de montagem: 3.000 m, Factor de manutenção: 0.90

Valores em Lux, Escala 1:65

Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	194	70	332	0.361
Solo	20	139	49	211	0.351
Tecto	80	88	35	457	0.397
Paredes (4)	50	128	58	778	/

Figura E-9: Setor Moldes para situação proposta

Finalmente apresenta-se o estudo luminotécnico para a iluminação exterior com lâmpadas de vapor de sódio. A Figura E-10 ilustra o cenário utilizado, e a Figura E-11 representa os lux médios médio registados.

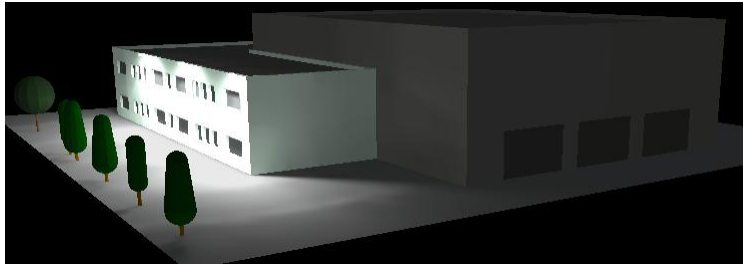


Figura E-10: Cenário utilizado para iluminação externa

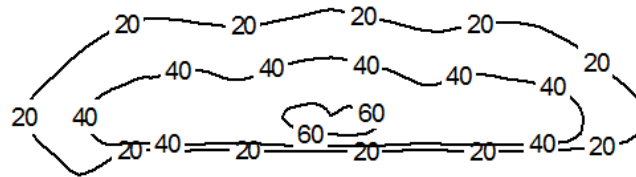


Figura E-11: Representação dos lux médios para iluminação exterior

E.1.3 Dados

Na Figura E-12 encontra-se representado o número de horas de sol para Portugal continental.

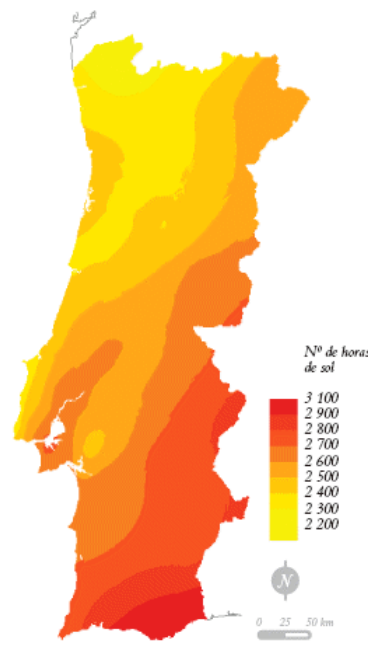


Figura E-12: Representação da insolação anual para Portugal continental [meteopt, 2012]

No seguimento do estudo para a tecnologia solartube foi referido a utilização de cinco células crepusculares, com a referência EE200 (Figura E-13), cujas características se apresentam de seguida.

O objetivo da instalação destas células foi garantir um nível de iluminação médio no plano de trabalho, otimizando o sistema de iluminação. Assim, quando o solartube não tem capacidade para garantir os níveis médios de iluminação, estes serão colmatados pelo funcionamento das luminárias de iodetos.

Quadro E-1: Características de célula crepuscular EE200 [Hager, 2012]

Características elétricas	EE200
Alimentação	230 V AC +10/-15% 50Hz
Consumo	2.4W máx
Saídas	2 contactos NA
Poder de corte máx.	16 A 250V
Comutador	2 a 200lux ou 200 a 20000lux; regulação por canal.



Figura E-13: Célula crepuscular EE200 [Hager, 2012]

E.1.4 Software comercial

Finalmente é apresentado o software comercial utilizado para o cálculo das propostas 8.1, 8.2 e 8.3.

Trata-se de um programa único do fabricante que tem como objetivo calcular o número de solartubes a aplicar num determinado espaço. A Figura E-14 ilustra o interface.

Os dados pedidos ao utilizados são os seguintes:

- i) Tipo de infra-estrutura;
- ii) Horas diárias de laboração;
- iii) Tipo de luminárias existentes;
- iv) Localização da instalação no globo;
- v) Equipamento solartube a utilizar.

Importa esclarecer o significado de alguns itens e explicar como se objetivou a colocação de dados perante algumas limitações do próprio programa. Com efeito, no item i) o tipo de infraestrutura pode ser um escritório, uma sala ou um armazém. No caso da Cerutil foi escolhido a opção “armazém”. No que se refere ao item iv) a base de dados do programa apenas disponibiliza capitais australianas. Com vista a poder aplicar a situação a Portugal, em concreto ao Sátão (localização da Cerútil) foi escolhida uma cidade australiana (Perth) com índices (lúmen diários) ligeiramente superiores aos do Sátão. Ficamos com uma situação ligeiramente mais pessimista permitindo assim o uso do programa. No item v) é possível escolher o tipo de equipamento solartube a utilizar, tendo sido escolhido o solartube 330DS.

Como resultados é devolvido o número de solartube adequado face à quantidade de luminárias presentes na instalação em estudo. De salientar que em alguns dos sectores analisados foram obtidos resultados que revelam que a quantidade de solartube é superior ao número de luminárias existentes.

Solatube® Daylighting Calculation Tool Last Updated - June 2011

1. Area
 Building Type: Warehouse Location:
 Opening: 0:00am Closing: 23:00pm Week Days: 5
 Annual Hours: 5980 Daylight Hours: 3120

2. Existing Lighting
 Type: Lamps:
 Wattage: FALSED Fixture Quantity:

3. HVAC
 Is the space mechanically air conditioned? No

4. Lumen Displacement Calculations
 Fixture Lm × LLF: 0.81 × Qty = #VALOR!
 Daylight System Lm: LLF: 0.92
 Required Systems: #VALOR!
Based on lumen replacement calculation method.
 Total Artificial Lighting System Lumens divided by lumen output of selected Daylighting System.

5. Daylight System Selection
 Daylight System Type:
 U-Value: #N/D SHGC: #N/D FALSED

6. System Results

Current Lighting System:	Daylight Blend	Daylight Enhanced Lighting System:
Lighting Power Consumption p/a: 0 kWh p/a	#####	Estimated Power Consumption: 0 kWh p/a
Estimated HVAC Contribution (18%): 0 kWh p/a	Daylight Systems Require	Displaced HVAC Power (18%): 0 kWh p/a
Lighting & HVAC Power Combined: 0 kWh p/a		Total Displaced Power: 0 kWh p/a
Consumption During Daylight: 0 kWh p/a		New System Estimated CO ₂ Emissions: #N/D Tonne p/a
Annual CO ₂ Emissions Generated: #N/D Tonne		CO ₂ Emissions Reduction: #N/D Tonne p/a

[Continue to Report](#)

Figura E-14: Software comercial [solatube, 2012]