

Desenvolvimento de uma Ferramenta para Aconselhamento na Escolha da Classe de Rendimento de Motores Eléctricos

António Ruben Pinheiro Duarte Neves



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Rua Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, Portugal

Março de 2008

Desenvolvimento de uma Ferramenta para Aconselhamento na Escolha da Classe de Rendimento de Motores Eléctricos

António Ruben Pinheiro Duarte Neves

Licenciado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores pela Faculdade de
Engenharia da Universidade do Porto

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e
de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, orientada pelo
Professor Doutor Carlos Araújo Sá

Presidente do Júri

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Rua Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, Portugal

Março de 2008

Resumo

Mediante a oferta do mercado de motores eléctricos, pretende-se aconselhar o utilizador a optar por um produto que lhe apresente vantagens a nível do consumo de energia, traduzindo-se estas vantagens em benefícios a nível económico, bem como a nível ecológico. Para tal, foram tidas em conta algumas características de funcionamento de uma população de motores considerada, tais como o seu preço e rendimento energético a diferentes fracções de carga. Foi também considerado o tarifário de venda de energia eléctrica utilizado pelo consumidor e os diagramas de carga a que o motor seria submetido durante o período de sua utilização.

Após manipulação dos factores considerados é efectuado um cálculo económico que, mediante os seus resultados, podem auxiliar o utilizador na escolha da classe de rendimento do motor eléctrico a aplicar para desempenho das funções pretendidas.

Abstract

Before the offers of the electric motors market, is intended to advise the user to opt for a product that presents advantages at the energy consumption level, expressing these advantages in a benefit at an economic level as well as at the ecological one. For such, had been had in account some functioning characteristics of an electric motors population considered, as its price and energy efficiency at different fractions of load. It was also considered, the prices of the electric energy in use by the consumer, and the load diagrams, that the motor would be submitted during the period of its use.

After manipulation of the considered factors, an economic calculation is executed and, before its results, the user is assisted in the choosing process of the electric motor energy efficiency class, of the motor to apply for performance of the intended functions.

Aos meus pais,
Irmã
E amigos

Agradecimentos

Na elaboração deste trabalho foram vários os que contribuíram para que fosse possível atingir o fim desta dissertação.

Em primeiro lugar, agradecer ao meu orientador Professor Doutor Carlos Araújo Sá pela proposta deste tema, pela forma como contribuiu e me acompanhou.

Agradecer também aos Professores Doutores António Miguel Gomes e João Claro pelo tempo disponibilizado para esclarecimento de dúvidas.

Ao Sr. Engenheiro Filipe Líder Rocha da Edifícios Saudáveis, pela enorme quantidade de informação disponibilizada e pela prontidão com a qual me disponibilizou.

Ao Sr. Engenheiro Élio Ferreira também pela informação disponibilizada ao nível de diagramas de carga.

Ao Sr. Napoleão da Dutchi Motors pela informação disponibilizada.

À Sra. Dra. Joana Castelhana pela ajuda técnica a nível do programa *Microsoft Word*.

À Sra. Engenheira Inês Sá pela ajuda disponibilizada a nível de programação HTML e elaboração da página web.

Aos meus caros colegas que, através de inúmeros comentários e ajudas, contribuíram de forma valiosa para a realização deste trabalho.

Índice

1	Introdução	13
1.1	<i>Enquadramento e Motivação.....</i>	<i>13</i>
1.2	<i>Objectivos</i>	<i>14</i>
1.3	<i>Estrutura da Dissertação.....</i>	<i>15</i>
2	Motores Eléctricos de Indução Trifásicos – Bases Gerais.....	17
2.1	<i>Componentes.....</i>	<i>17</i>
2.1.1	<i>Estator</i>	<i>18</i>
2.1.2	<i>Rotor</i>	<i>19</i>
2.1.3	<i>Veio.....</i>	<i>19</i>
2.1.4	<i>Carcaça</i>	<i>20</i>
2.2	<i>Princípio de Funcionamento.....</i>	<i>21</i>
2.3	<i>Velocidade.....</i>	<i>22</i>
2.4	<i>Deslizamento rotórico</i>	<i>23</i>
2.5	<i>Carga.....</i>	<i>23</i>
2.6	<i>Factor de Potência.....</i>	<i>24</i>
2.7	<i>Factor de Carga</i>	<i>25</i>
2.8	<i>Perdas</i>	<i>25</i>
2.9	<i>Rendimento</i>	<i>26</i>
2.10	<i>Causas de baixa eficiência em motores eléctricos de indução trifásicos</i>	<i>27</i>
3	Classes de Rendimento	29
3.1	<i>Norma Norte-Americana – NEMA.....</i>	<i>29</i>
3.2	<i>Norma Europeia – Voluntary Agreement.....</i>	<i>30</i>
3.3	<i>Norma Internacional – IEC.....</i>	<i>31</i>
4	Ferramenta para aconselhamento na escolha da classe de rendimento de motores eléctricos.....	33
4.1	<i>Informação Presente na Ferramenta.....</i>	<i>35</i>
4.1.1	<i>Motores Eléctricos</i>	<i>35</i>
4.1.1.1	<i>Classes de Rendimento.....</i>	<i>35</i>
4.1.1.2	<i>Número de Pólos</i>	<i>35</i>
4.1.1.3	<i>Potência</i>	<i>36</i>
4.1.1.4	<i>Preço de Aquisição</i>	<i>37</i>
4.1.1.5	<i>Rendimentos a diferentes factores de carga.....</i>	<i>37</i>
4.1.2	<i>Tarifário de energia eléctrica.....</i>	<i>41</i>
4.1.3	<i>Diagramas de Carga</i>	<i>50</i>
4.2	<i>Informação Inserida na Ferramenta.....</i>	<i>55</i>
4.2.1	<i>Informação Relativa ao Motor Eléctrico</i>	<i>55</i>
4.2.2	<i>Informação Relativa ao Tarifário de Energia Eléctrica.....</i>	<i>56</i>
4.2.3	<i>Informação Relativa ao Diagrama de Cargas</i>	<i>62</i>
4.3	<i>Funcionamento da Ferramenta para Aconselhamento na Escolha da Classe de Rendimento de Motores Eléctricos.....</i>	<i>65</i>
4.3.1	<i>Sub-Rotina EscolhaMotor.....</i>	<i>66</i>
4.3.2	<i>Sub-Rotina EscolhaTarifario</i>	<i>67</i>

4.3.3 Sub-Rotina EscolhaDiagramaCarga.....	68
4.3.4 Sub-Rotina CalculoEconomico.....	72
5 Análise de Resultados	86
6 Conclusões e Perspectivas de Desenvolvimento.....	93
Anexo 1 - Eficiências-Limite para classificação de Motores Eléctricos pela Norma Americana - NEMA	98
Anexo 2 - Valores dos Rendimentos Nominais de Referência para Classificação de Motores Eléctricos segundo o VA	100

Índice de Figuras

FIGURA 1 – CHAPA DE CARACTERÍSTICAS [6].....	17
FIGURA 2 – CONSTITUIÇÃO DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO [6]	18
FIGURA 3 – ESTATOR [5].....	18
FIGURA 4 – ROTOR [5]	19
FIGURA 5 – VEIO [5]	20
FIGURA 6 – CARÇAÇA [5].....	20
FIGURA 7 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE UM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO [6]	21
FIGURA 8 – POLARIDADE DE UM MOTOR DE INDUÇÃO.....	22
FIGURA 9 – PERDAS DE UM MOTOR ELÉCTRICO [5].....	25
FIGURA 10 – SUBDIVISÃO EM 3 ÁREAS DE RENDIMENTO CONFORME EU/CEMCP [8].....	31
FIGURA 11 – EVOLUÇÃO DAS QUOTAS DO MERCADO EUROPEU (1998-2002) [9]	34
FIGURA 12 – CURVAS DE EFICIÊNCIA TÍPICA VS PERCENTAGEM DE CARGA PARA MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS DE 1800RPM, 60HZ [10]	37
FIGURA 13 – CURVA DE TENDÊNCIA PARA CÁLCULO DO RENDIMENTO A 25% DA CARGA NOMINAL DE MOTORES ELÉCTRICOS DE 4 PÓLOS E CLASSE EFF2.....	40
FIGURA 14 – POTÊNCIA CONSUMIDA POR UM MOTOR DE UMA MÁQUINA EXTRUSORA. 51	
FIGURA 15 – INTERFACE DE ENCOLHA DE NÚMERO DE PÓLOS DO MOTOR	56
FIGURA 16 – INTERFACE DE ESCOLHA DA POTÊNCIA DO MOTOR.....	56
FIGURA 17 – INTERFACE DE ESCOLHA DO PERÍODO HORÁRIO	57
FIGURA 18 – INTERFACE PARA ESCOLHA DO NÍVEL DE TENSÃO APÓS ESCOLHA DE CICLO SEMANAL OU CICLO DIÁRIO	58
FIGURA 19 – INTERFACE PARA ESCOLHA DO NÍVEL DE TENSÃO APÓS ESCOLHA DE CICLO SEMANAL OPCIONAL.....	58
FIGURA 20 – INTERFACE PARA ESCOLHA DA TARIFA DE BAIXA TENSÃO NORMAL	59
FIGURA 21 – INTERFACE PARA ESCOLHA DA TARIFA DE BAIXA TENSÃO NORMAL COM CONSUMOS SAZONAIS	60
FIGURA 22 – INTERFACE PARA ESCOLHA DA TARIFA DE BAIXA TENSÃO ESPECIAL.....	60
FIGURA 23 – INTERFACE PARA ESCOLHA DA TARIFA DE MÉDIA TENSÃO OU ALTA TENSÃO	61
FIGURA 24 – INTERFACE PARA ESCOLHA DA TARIFA DE MUITO ALTA TENSÃO	62
FIGURA 25 – INTERFACE PARA ESCOLHA DA TARIFA NO CASO NÃO DISPONÍVEL.....	62
FIGURA 26 – INTERFACE PARA ESCOLHA DA UTILIZAÇÃO DO MOTOR	63
FIGURA 27 – INTERFACE PARA ESCOLHA DO NÚMERO DE DIAS ÚTEIS	64
FIGURA 28 – INTERFACE PARA ESCOLHA DO NÚMERO DE DIAS DE FIM-DE-SEMANA	64
FIGURA 29 – INTERFACE PARA ESCOLHA DO FACTOR DE CARGA	65
FIGURA 30 – ORGANIZAÇÃO DA FERRAMENTA DE ACONSELHAMENTO	66
FIGURA 31 – INFORMAÇÃO INSERIDA PELO UTILIZADOR RELATIVAS AO FACTOR DE CARGA E DIAS DE FUNCIONAMENTO	68
FIGURA 32 – DIAGRAMA DE FUNCIONAMENTO DA PARTE INICIAL DA SUB-ROTINA CALCULOECONOMICO.....	73
FIGURA 33 – MULTIPLICAÇÃO DOS VECTORES DA ENERGIA CONSUMIDA PELO PREÇO DA ENERGIA ELÉCTRICA.....	75
FIGURA 34 – CÁLCULO DO CUSTO TOTAL DE FUNCIONAMENTO ANUAL NOS PERÍODOS DE INVERNO E VERÃO	78
FIGURA 35 – CÁLCULO DO CUSTO TOTAL DE FUNCIONAMENTO ANUAL PARA MOTORES DAS 3 CLASSES RENDIMENTO.....	78
FIGURA 36 – DIAGRAMA DE CAIXA REPRESENTATIVO DOS ENCARGOS ECONÓMICOS DE UM MOTOR DE 4 PÓLOS, 45KW DA CLASSE EFF2	79
FIGURA 37 - DIAGRAMA DE CAIXA REPRESENTATIVO DOS ENCARGOS ECONÓMICOS DE UM MOTOR DE 4 PÓLOS, 45KW DA CLASSE EFF1	80
FIGURA 38 - DIAGRAMA DE CAIXA REPRESENTATIVO DOS ENCARGOS ECONÓMICOS DE UM MOTOR DE 4 PÓLOS, 45KW DA CLASSE TOP-EFF1	80
FIGURA 39 – DIAGRAMA DE CAIXA REPRESENTATIVO DA DIFERENÇA DE ENCARGOS ECONÓMICOS ENTRE MOTORES DE 4 PÓLOS, 45KW DAS CLASSE EFF2 E EFF1.....	81
FIGURA 40 - DIAGRAMA DE CAIXA REPRESENTATIVO DA DIFERENÇA DE ENCARGOS ECONÓMICOS ENTRE MOTORES DE 4 PÓLOS, 45KW DAS CLASSE EFF2 E TOP-EFF1. 81	

FIGURA 41 - DIAGRAMA DE CAIXA REPRESENTATIVO DA DIFERENÇA DE ENCARGOS ECONÓMICOS ENTRE MOTORES DE 4 PÓLOS, 45KW DAS CLASSE EFF1 E TOP-EFF1.	84
FIGURA 42 – TEMPO DE AMORTIZAÇÃO A BAIXA TENSÃO ESPECIAL COM VARIAÇÃO DA POTÊNCIA	86
FIGURA 43 - TEMPO DE AMORTIZAÇÃO A MÉDIA TENSÃO COM VARIAÇÃO DA POTÊNCIA	87
FIGURA 44 - TEMPO DE AMORTIZAÇÃO A ALTA TENSÃO COM VARIAÇÃO DA POTÊNCIA	87
FIGURA 45 - TEMPO DE AMORTIZAÇÃO A MUITO ALTA TENSÃO COM VARIAÇÃO DA POTÊNCIA	87
FIGURA 46 – TEMPO DE AMORTIZAÇÃO A BAIXA TENSÃO ESPECIAL COM VARIAÇÃO DO TEMPO DE FUNCIONAMENTO	89
FIGURA 47 - TEMPO DE AMORTIZAÇÃO A MÉDIA TENSÃO COM VARIAÇÃO DO TEMPO DE FUNCIONAMENTO	90
FIGURA 48 - TEMPO DE AMORTIZAÇÃO A ALTA TENSÃO COM VARIAÇÃO DO TEMPO DE FUNCIONAMENTO	90
FIGURA 49 - TEMPO DE AMORTIZAÇÃO A MUITO ALTA TENSÃO COM VARIAÇÃO DO TEMPO DE FUNCIONAMENTO	90
FIGURA 50 - TEMPO DE AMORTIZAÇÃO A DIFERENTES FACTORES DE CARGA PARA MOTORES DE 4 PÓLOS 90KW	91

Índice de Tabelas

TABELA 1 – INFORMAÇÃO ARMAZENADA PARA MOTORES DA CLASSE EFF2, DE 3000RPM, 2 PÓLOS	41
TABELA 2 – CICLO SEMANAL [12].....	43
TABELA 3 – CICLO SEMANAL OPCIONAL [12].....	44
TABELA 4 – CICLO DIÁRIO [12].....	44
TABELA 5 – PERÍODOS HORÁRIOS.....	45
TABELA 7 – VECTOR DO PREÇO DE ENERGIA PARA CICLO SEMANAL, MÉDIA TENSÃO – TARIFA DE MÉDIAS UTILIZAÇÕES, PERÍODO DE INVERNO.....	48
TABELA 8 – VECTOR DO PREÇO DE ENERGIA ELÉCTRICA PARA CICLO DIÁRIO, BAIXA TENSÃO ESPECIAL – TARIFA DE MÉDIAS UTILIZAÇÕES, PERÍODO DE INVERNO.....	49
TABELA 9 – VECTOR DE ARMAZENAMENTO DO FACTOR DE CARGA PARA ACCIONAMENTO DE UMA CARGA NOMINAL POR UM TURNO LABORAL.....	52
TABELA 10 – FACTORES DE CARGA ASSOCIADOS ÀS DIFERENTES CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO.....	53
TABELA 11 – VECTOR DE ARMAZENAMENTO DO FACTOR DE CARGA PARA ELEVADORES E ESCADAS ROLANTES	54
TABELA 12 – INFORMAÇÃO ARMAZENADA PELA SUB-ROTINA ESCOLHAMOTOR	67
TABELA 13 – INFORMAÇÃO ARMAZENADA PELA SUB-ROTINA ESCOLHATARIFARIO	69
TABELA 14 – FACTORES DE CARGA ASSOCIADOS ÀS DIFERENTES CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO, PARA UTILIZAÇÃO PELA SUB-ROTINA.....	70
TABELA 15 – INFORMAÇÃO ARMAZENADA PELA SUB-ROTINA ESCOLHADIAGRAMACARGA.....	70
TABELA 16 – INFORMAÇÃO ARMAZENADA PELA SUB-ROTINA ESCOLHADIAGRAMACARGA.....	71
TABELA 17 – ENERGIA CONSUMIDA POR MOTORES DE 4 PÓLOS E 45KW DAS DIFERENTES CLASSES DE RENDIMENTO	75
TABELA 18 – VECTORES DE CUSTO DE FUNCIONAMENTO.....	76
TABELA 19 – CUSTO TOTAL DE FUNCIONAMENTO SEMANAL OU DIÁRIO.....	77
TABELA 20 – PREÇOS DOS MOTORES ELÉCTRICOS DE 4 PÓLOS E 45KW DAS DIFERENTES CLASSES DE RENDIMENTO	79
TABELA 21 – DIFERENÇAS DE PREÇOS E CUSTOS TOTAIS DE FUNCIONAMENTO	83

Glossário

CEMEP: Comité Europeu de Construtores de Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência;

NEMA: National Electrical Manufacturers Association;

CSA: Canadian Standards Association;

COPANT: Comissão Pan-americana de Normas Técnicas;

AS/NZS: Australian/New-Zeland Standards;

CEI: Comissão Electrotécnica Internacional;

VA: Voluntary Agreement;

DOE: US Department Of Energy;

UTC: Tempo Universal Coordenado;

EUA: Estados Unidos da América;

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Motivação

A eficiência energética é, hoje em dia, uma questão crucial para a humanidade: as actuais fontes de energia disponíveis e os padrões de utilização da mesma são insustentáveis. A dependência mundial dos combustíveis fósseis poderá causar danos irreversíveis ao meio ambiente, riscos estes sem precedentes ao nível de mudanças climáticas, e esgotará rapidamente as reservas petrolíferas. É estritamente necessária uma reforma energética, orientando o consumidor para uma melhor gestão dos seus consumos. Procura-se uma produção energética mais limpa e apurada, contando com uma maior integração de energias renováveis, para que desta forma os problemas relativos aos actuais padrões de uso de energia, e suas tendências, possam ser reduzidos e, idealmente, eliminados. No entanto, e embora as energias renováveis sejam uma ajuda fundamental na caminhada para o equilíbrio, deve prioritariamente atender-se a uma optimização na gestão de energia. A utilização racional de energia é essencial e deve acompanhar, senão antecipar, a implementação de energias renováveis no mundo.

O conceito de Sustentabilidade surgiu no final do século XX, pela constatação de que o desenvolvimento económico deve ter também em conta o equilíbrio ecológico. Este conceito tem vindo a ser fortalecido à medida que, cada vez mais, o referido desenvolvimento económico depende da adopção desta filosofia “verde”. A ideia de desenvolvimento sustentável tem por base o princípio de que o Homem deve gastar os recursos naturais de acordo com a capacidade de renovação desses mesmos recursos, tanto quanto possível de modo a evitar o seu esgotamento. Desenvolvimento sustentável é, então, aquele que procura responder às necessidades do futuro sem comprometer as necessidades actuais.

Tal raciocínio leva a Humanidade de encontro ao mote: “a energia mais barata é aquela que não se consome”.

As aplicações industriais de motores eléctricos consomem cerca de 30% a 40% de toda a energia eléctrica produzida mundialmente. Melhorar a eficiência dos motores eléctricos, bem como a de todo o sistema electromecânico, é de elevada prioridade no que diz respeito a uma melhoria da eficiência energética. O potencial de poupança de energia de um sistema otimizado ronda os 30% - 60% [1]. A utilização de motores eléctricos de eficiência melhorada, em conjunto com conversores de frequência, podem poupar até 7% de toda a energia eléctrica mundial. Aproximadamente, cerca de um quarto a um terço desta economia provém da utilização de motores eléctricos com eficiência energética melhorada [2].

Demonstrada a elevada importância dos motores eléctricos para uma elevada poupança de energia, têm vindo a ser introduzidas regulamentações por parte de alguns países e comissões, tais como o CEMEP (Comité Europeu de Construtores de Máquinas Eléctricas e Electrónica de Potência), a NEMA (National Electrical Manufacturers Association - EUA), a CSA (Canadian Standards Association), a COPANT (Comissão Pan-americana de Normas Técnicas), a AS/NZS (Australian/New-Zeland Standards), entre outros. A introdução destas novas regulamentações tem como objectivo principal conduzir o mercado de motores eléctricos na direcção de elevadas eficiências e menores consumos de electricidade [3], indo, desta forma, de encontro aos princípios de sustentabilidade. No entanto, devido ao facto de novas classes de rendimento normalizadas estarem a ser constantemente criadas, torna-se cada vez mais difícil, para os fabricantes de motores eléctricos, a criação de motores para um mercado global e, para o consumidor, a compreensão das diferenças e semelhanças entre as normas em vigor nos diferentes países. Tal diversidade de normas conduziu à necessidade, e naturais vantagens, dum futuro estabelecimento de um código internacional de eficiências, o que ainda está em fase de estudo ao nível da CEI (Comissão Electrotécnica Internacional) [1].

1.2 Objectivos

Com o objectivo de ajudar o consumidor a executar uma escolha acertada da classe de rendimento do motor a adquirir, para uma determinada função, foi desenvolvida uma aplicação informática. Esta aplicação pretende, mediante a especificação do motor a utilizar, do tarifário energético em uso e do diagrama de

cargas a que o motor será sujeito, ajudar o utilizador a optar por um motor com determinada classe de rendimento. O aconselhamento promovido, por esta aplicação pretende levar o consumidor a tomar uma decisão economicamente vantajosa para si, mas que também tenha em conta os potenciais ganhos ecológicos associados a uma maior poupança de energia garantida pela utilização de motores eléctricos com melhor Eficiência.

Um dos grandes objectivos desta aplicação, em conjunto com o já referido anteriormente, é ser uma aplicação simples, rápida, fácil de utilizar, por parte do utilizador e que visa criar neste, uma opinião critica acerca da classe de rendimento pela qual deve optar, na aquisição de um motor eléctrico. Para abordagens mais aprofundadas e muito mais pormenorizadas, estão presentes no mercado softwares muito mais desenvolvidos tais como o EuroDEEM International Software [4], não sendo objectivo desta aplicação rivalizar com tais softwares mas sim, proporcionar ao utilizador uma abordagem mais leve.

Segundo [5], cerca de 80% a 85% dos motores actualmente em serviço no mundo são motores de indução. Como tal, a aplicação desenvolvida considera apenas a utilização deste tipo de motores. Não é abordada, pela aplicação, a utilização de variadores de velocidade nos sistemas electromecânicos em estudo. Para um melhor conhecimento do assunto em causa, é feita uma pequena revisão dos conceitos básicos e gerais relativos a motores eléctricos de indução trifásicos.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos dos quais, o primeiro é composto por esta introdução ao trabalho.

No segundo capítulo é feita uma introdução ao Motor Eléctrico de Indução, sendo apresentadas bases gerais relacionadas com este tópico, permitindo uma contextualização e uma melhor compreensão do assunto abordado nesta dissertação.

No terceiro capítulo é abordada a problemática da classificação, dos motores eléctricos de indução, em classes de rendimento de acordo com o rendimento

apresentado por estes em regime nominal. São abordadas algumas normas em vigor actualmente e a possibilidade da entrada em vigor de uma norma internacional.

No quarto capítulo é abordada, em concreto a Ferramenta para Aconselhamento na Escolha da Classe de Rendimento de Motores Eléctricos desenvolvida. É feita uma referência à informação contida nesta, à informação inserida pelo utilizador e a forma como esta é inserida. É descrito, de forma pormenorizada, o funcionamento de todas as sub-rotinas constituintes desta ferramenta.

No quinto capítulo é realizada uma análise aos resultados apresentados pela ferramenta, analisando a forma como estes variam, de acordo com a variação dos factores inerentes ao cálculo realizado por esta.

O sexto e último capítulo, contém as conclusões gerais do trabalho, analisa os seus principais resultados, e apresenta algumas perspectivas de desenvolvimentos futuros.

2 Motores Eléctricos de Indução Trifásicos – Bases Gerais

Na análise de um motor eléctrico de corrente alternada, consideram-se basicamente as seguintes grandezas nominais (expressas em unidades SI):

- Potencia nominal: P_n (W);
- Frequência nominal: f_n (Hz);
- Tensão nominal: U_n (V);
- Corrente nominal: I_n (A);
- Factor de Potência: $\cos \varphi$;
- Velocidade nominal: n_n (r.p.m.).

Estas grandezas estão indicadas na chapa de características do motor, onde, possivelmente, também constará a classe de rendimento actualmente atribuída ao motor. A chapa de características é, como se sabe, uma chapa metálica afixada na carcaça do motor, como exemplificado na Figura 1.

ABB		ABB Motors			CE	
3-motor M2QA 90 S2 A					IEC 34-1	
3GQA091101-ASA					EFF2	
6205/C3		6205/C3		IP 55		Ins.cl F
V	Hz	r/min	kW	cos φ	A	
220-240Δ	50	2850	1.5	0.87	5.58	
380-420Y	50	2850	1.5	0.87	3.23	
440-480Y	60	3420	1.73	0.87	3.30	
No 329 11117711				21 kg		

Figura 1 – Chapa de Características [6]

2.1 Componentes

Um Motor de Indução é constituído, grosso modo por:

- Estator;
- Rotor;
- Veio;
- Carcaça.

A sua constituição pode ser vista na Figura 2.

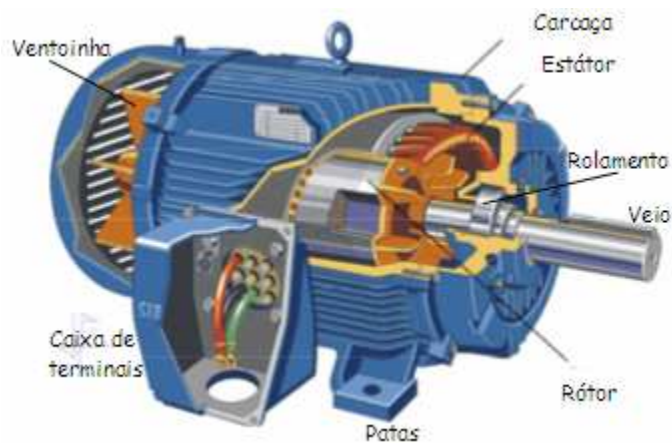


Figura 2 – Constituição do Motor de Indução Trifásico [6]

2.1.1 Estator

O estator é a parte estática do circuito magnético do motor e é constituído por chapas de aço, destinadas a fazer circular o fluxo magnético. Constitui um circuito magnético laminado e tem ranhuras alinhadas axialmente e igualmente espaçadas na sua periferia interna, no seu interior são alojados as bobinas e na sua face externa observa-se que possui aletas para melhor dissipação de calor.



Figura 3 – Estator [5]

2.1.2 Rotor

O rotor é a parte girante do circuito magnético do motor, que transmite o movimento à carga através de um veio. Tal circuito magnético é também laminado e ranhurado axialmente na sua periferia externa. É a parte do motor que completa o circuito magnético criado no estator, sendo o material e disposição das chapas iguais ao do estator. Possui um circuito eléctrico podendo este ser em curto-circuito - gaiola de esquilo ou bobinado. Nos rotores bobinados o enrolamento trifásico tem uma técnica de fabrico semelhante à do estator, sendo bobinado com igual número de pares de pólos, e os seus terminais são ligados a 3 anéis que permitem a ligação ao enrolamento a partir do exterior através de 3 escovas fixas que atrimam sobre eles [5].



Figura 4 – Rotor [5]

2.1.3 Veio

O veio, também conhecido por eixo, é o componente que transmite a potência mecânica à carga. É a parte mais robusta do motor e pode dispor de uma só, ou de ambas as pontas livres, através das quais se liga à carga. Encontra-se representado na Figura 5.



Figura 5 – Veio [5]

2.1.4 Carcaça

A carcaça é geralmente em ferro fundido ou alumínio, sustenta todo o conjunto de peças do motor, envolvendo o estator e protegendo o motor em relação ao exterior. Não desempenha qualquer papel magnético na condução de correntes.



Figura 6 – Carcaça [5]

2.2 Princípio de Funcionamento

O funcionamento do motor de indução trifásico assenta no princípio da indução. A passagem dum sistema trifásico de correntes eléctricas alternadas pelo enrolamento também trifásico, uniformemente distribuído, localizado na periferia interior do estator, origina um campo magnético girante. Este campo magnético irá induzir um sistema polifásico de forças electromotrizas alternadas no enrolamento do rotor, que, conseqüentemente, cria nele um sistema polifásico de correntes. Este sistema de correntes rotóricas gera, por sua vez, um campo magnético, também girante, que tende a seguir o movimento do campo estatórico. No fundo, formam-se dois campos síncronos entre si, um com origem no estator e, o outro, no rotor, cuja interacção provoca o movimento do veio.

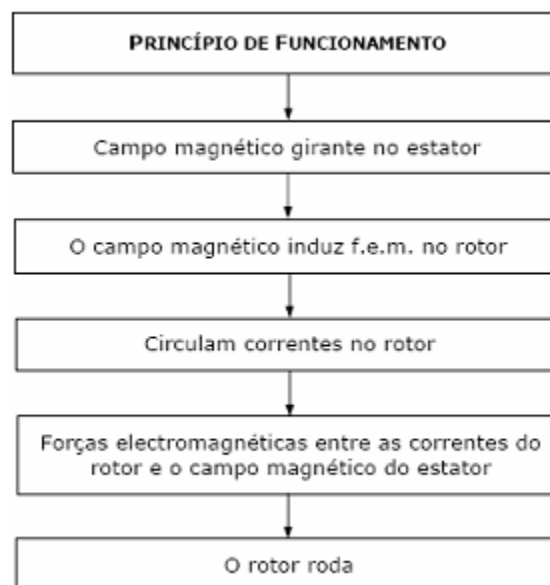


Figura 7 – Princípio de Funcionamento de um Motor de Indução Trifásico [6]

A menos dum pequeno desvio explicado na secção seguinte e que confere a este tipo de motores um carácter assíncrono, a velocidade do veio do motor é aproximadamente igual à velocidade de rotação do campo magnético criado pelo seu enrolamento estatórico.

2.3 Velocidade

Dependendo da forma como são dispostas as bobinas do enrolamento estático do motor, formam-se diferentes números de pólos magnéticos (sempre em número par) e, conseqüentemente, varia-se a velocidade de rotação do respectivo campo magnético, dita de sincronismo. Quando a corrente de alimentação completa um ciclo (sendo um ciclo $1/50\text{Hz} = 20\text{ms}$, no nosso país), o campo vai de “norte a norte” (ver Figura 8). O campo girante completa então 50 ciclos num segundo, à frequência de 50 Hz, e pela equação:

$$n_s = \frac{f}{p} \times 60 \quad (\text{Equação 1})$$

em que:

- n_s - velocidade de sincronismo (r.p.m.);
- f - frequência da alimentação (Hz);
- p - número de pares de pólos magnéticos,

obtêm-se velocidades de sincronismo iguais a 3000 r.p.m., 1500 r.p.m. ou 1000 r.p.m., para 1, 2 ou 3 pares de pólos, respectivamente.

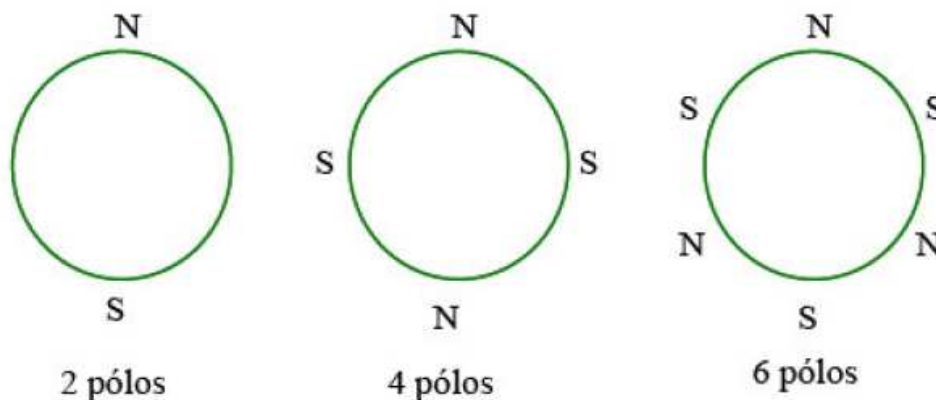


Figura 8 – Polaridade de um Motor de Indução

2.4 Deslizamento rotórico

De acordo com o princípio de funcionamento deste tipo de motores, sumariamente descrito atrás, para ocorrer indução magnética do estator sobre o rotor e, assim, poder criar-se binário motor, o rotor não poderá girar à mesma velocidade do campo magnético estatórico. A grandeza que relaciona a velocidade de rotação do rotor com a velocidade do campo magnético girante estatórico designa-se por deslizamento e exprime-se geralmente em valor relativo:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (\text{Equação 2})$$

em que:

s – deslizamento rotórico;

n_s - velocidade de sincronismo do motor (r.p.m.);

n – velocidade do rotor (r.p.m.).

No funcionamento como motor, este deslizamento assume valores entre 0 e 1, sendo praticamente igual a 0 quando o motor se encontra a funcionar em vazio ($n_0 \approx n_s$), e sendo igual a 1 quando o rotor se encontra travado ($n = 0$).

2.5 Carga

As grandezas associadas ao funcionamento do motor variam naturalmente conforme a carga solicitada no seu eixo. Numa primeira análise, excluindo os períodos de funcionamento em sobrecarga, normalmente limitados no tempo, a gama de funcionamento normal dum motor está compreendida entre as duas seguintes situações-limite:

Carga nominal – o motor, normalmente alimentado, desenvolve a sua potência nominal, ou seja, satisfaz a carga que serviu para o seu dimensionamento. Diz-se que trabalha com 100% de carga. É neste regime que praticamente se verificam todos os valores de grandezas constantes na chapa de características do motor.

Em vazio – o motor, normalmente alimentado, encontra-se desacoplado de qualquer carga mecânica. Diz-se que trabalha com o veio livre ou a 0% de carga. Algumas grandezas eléctricas são diferentes de zero nesta situação, tais como a corrente estatórica e a potência absorvida pelo motor, mas apresentam os seus valores mínimos. Já a velocidade de rotação do rotor assume o seu valor máximo, muito próximo da do campo girante estatórico.

2.6 Factor de Potência

Este valor, associado ao enrolamento estatórico do motor, será a relação entre a potência eléctrica activa por ele absorvida, medida em W, e a sua potência eléctrica aparente, medida em VA, no mesmo regime de funcionamento. Para grandezas sinusoidais, o factor de potência é dado por:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (\text{Equação 3})$$

em que:

φ - ângulo de defasamento entre corrente e tensão na mesma fase estatórica (graus ou rad);

P - potência eléctrica activa (W);

S - potência eléctrica aparente (VA).

Este valor está naturalmente compreendido entre 0,1-0,2 e 0,9, dependendo do regime de carga do motor, mas é sempre de tipo indutivo. Deve ser o mais alto possível, para que o que se paga ao fornecedor de energia eléctrica, isto é, a potência eléctrica aparente, (energias eléctricas activa e reactiva) seja próxima da que o motor converterá em trabalho útil (energia eléctrica activa).

2.7 Factor de Carga

No caso específico dos motores, o factor de carga indica a razão entre a potência que está a ser desenvolvida pelo motor e o valor da sua potência nominal, normalmente expressa em percentagem. O factor de carga apresenta valor unitário quando o motor eléctrico trifásico acciona uma carga de valor igual à carga nominal.

2.8 Perdas

A eficiência de um motor depende do valor relativo das suas perdas e de quanto se consegue reduzi-las. É por isso importante identificar quais as perdas e onde podem ocorrer. Na Figura 9 são observáveis as perdas que ocorrem desde a potência de alimentação até à potência que chega ao veio do motor.

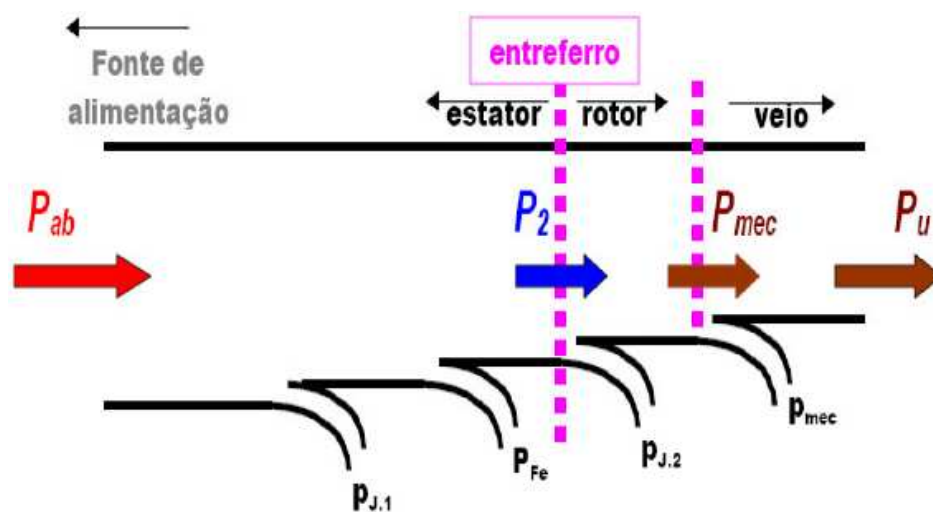


Figura 9 – Perdas de um Motor Eléctrico [5]

- P_{ab} – potência eléctrica activa absorvida;
- P_u – potência mecânica útil;
- P_2 – potência eléctrica activa transferida para o rotor;
- P_{mec} – potência mecânica total desenvolvida;

- $p_{J.1}$ – perdas no estator, devidas ao efeito Joule (25 a 40% das perdas totais);
- p_{Fe} – perdas devidas à magnetização do estator(15 a 25% das perdas totais);
- $p_{J.2}$ – perdas no rotor, igualmente devidas ao efeito Joule (15 a 25% das perdas totais);
- p_{mec} – perdas mecânicas, devido ao atrito nos mancais e à ventilação(5 a 15% das perdas totais).

A redução de perdas consegue-se com o volume e melhoria dos materiais utilizados (nomeadamente no respectivo circuito magnético, mas também no enrolamento rotórico), aumento da secção recta dos condutores usados nos respectivos enrolamentos e optimização do seu projecto (particularmente no seu enrolamento estático), no desenho do ventilador e na qualidade dos rolamentos, sem menosprezar o aperfeiçoamento das técnicas construtivas utilizadas. Ou seja, actuando em todas as fontes geradoras de perdas, limitadoras do rendimento nominal do motor.

2.9 Rendimento

Será a razão entre a potência útil (mecânica) e a potência eléctrica activa consumida pelo motor, no mesmo regime. É dada por:

$$\eta = \frac{P_u}{P_{ab}} \quad (\text{Equação 4})$$

em que:

η - rendimento (%);

P_u - potência útil (W);

P_{ab} - potência absorvida (W).

2.10 Causas de baixa eficiência em motores eléctricos de indução trifásicos

Os motores de indução trifásicos são máquinas de elevada eficiência, naturalmente variável com o tipo de motor envolvido (potência nominal e número de pólos magnéticos) e com o regime de carga considerado. Regra geral, o rendimento nominal deste tipo de motores, em regime nominal, situa-se acima dos 80%. No entanto, em algumas situações de exploração, o seu rendimento efectivo pode ser bem menor. Podem-se apontar quatro causas principais de operação do motor com baixo rendimento:

- **Motor sobredimensionado:** para condições de funcionamento com factor de carga baixo (grosso-modo, menor do que 50%), ocorre uma quebra mais ou menos acentuada do rendimento evidenciado pelo motor. A faixa ideal de operação do mesmo vai de 75% a 125% de carga e os motores devem então ser seleccionados para responder a esta solicitação;
- **Instalação deficiente:** as más condições mecânicas de instalação do sistema motor-acoplamento-carga, tais como fixação e alinhamento, ou condições ambientais desajustadas (principalmente no respeitante a temperatura e altitude) não só afectam o volume de perdas no mesmo, num dado regime (perdas Joule e mecânicas, principalmente), como potenciam o encurtamento da vida útil do mesmo;
- **Qualidade da alimentação eléctrica:** o desequilíbrio/assimetria entre as tensões de alimentação do motor, que podem advir da própria rede distribuidora a montante da instalação ou da diferença de indutâncias entre os diferentes condutores de fase que alimentam o motor, e as distorções na forma de onda sinusoidal da tensão da rede, provocadas hoje, na sua maioria, por equipamentos electrónicos como os variadores de frequência, não só afectam as perdas Joule e magnéticas do motor, como também contribuem para o encurtamento da vida útil do mesmo;

- **Manutenção Correctiva**: uma possível avaria em motores eléctricos resulta da perda de isolamento adequado no seu enrolamento estatórico, seja ela entre as espiras de uma mesma bobina, entre duas bobinas de diferentes fases, ou entre uma bobina e o núcleo magnético. Tecnicamente, diz-se que houve curto-circuito entre espiras, entre fases ou entre fase e massa (carcaça ou terra). Tal obriga à sua rebobinagem, isto é, a uma manutenção correctiva, o que pode fazer com que o motor perca rendimento. Na própria manutenção correctiva poderá acontecer uma má substituição de rolamentos ou, até da sua ventoinha, levando ao mesmo efeito de diminuição do rendimento. Uma possível solução preventiva passa por adoptar rotinas de limpeza e manutenção. A este propósito refere-se que embora seja difícil quantificar a sua influência, aspectos como a limpeza, lubrificação adequada, ambiente limpo e boas conexões, são factores que influenciam a eficiência de um motor.

Ainda em relação ao primeiro ponto apresentado, o indesejado sobredimensionamento do motor, é necessário referir que o mesmo contribui para uma degradação do factor de potência e pode resultar da análise do seu período de arranque, uma vez que este é um momento delicado, na operação do motor de indução trifásico. Com o deslizamento a apresentar um valor muito alto, a corrente do motor é consequentemente muito elevada, chegando tipicamente a 4 a 8 vezes a sua corrente nominal. O que pode causar problemas tanto à rede de alimentação, provocando uma queda de tensão transitória apreciável, como ao próprio motor (aquecimento exagerado).

O tempo de arranque é decisivo e o limite para um motor é o chamado tempo de rotor bloqueado, que é o tempo máximo que o motor pode resistir nesta condição. A grandeza fundamental que limita a taxa de aceleração é o momento de inércia axial do sistema motor-carga. No caso de cargas com elevada inércia, estas merecem, portanto, um estudo especial em termos de arranque. E, por vezes, a solução adoptada é o sobredimensionamento do motor, o que implica que este, como já referido, funcione mais tarde com um valor de rendimento reduzido.

3 Classes de Rendimento

Com o objectivo de conduzir o mercado de motores eléctricos na direcção de maiores eficiências e menores consumos de electricidade [3], mantendo os mesmos níveis de produção, senão melhorando-os, várias entidades emitiram regras para classificação dos motores eléctricos em relação ao seu rendimento nominal.

No entanto, estas entidades apenas emitem normas com validade local/regional, como por exemplo o Voluntary Agreement efectuado entre a Comunidade Europeia e o CEMEP, cujas directivas são aplicáveis ao nível comunitário europeu, ou as normas emitidas pela NEMA, aplicadas nos EUA. Também entidades como a CSA (Canadá), COPANT (continente americano) e AS/NZS (Ásia) emitiram as suas normas a nível local. Como tal, apesar de haver um senso comum relativamente à classificação dos motores eléctricos, de acordo com a sua eficiência energética, não existe, até hoje uma regulamentação desta classificação a nível mundial. Tal diversidade de normas não só torna cada vez mais difícil o projecto de motores para um mercado mundial por parte dos respectivos fabricantes, como dificulta a compreensão das diferenças e das semelhanças entre normas oriundas de diferentes países por parte dos consumidores [1]. Este problema conduziu à necessidade dum futuro estabelecimento de um código internacional, o que ainda está em fase de estudo ao nível da CEI.

3.1 Norma Norte-Americana – NEMA

Nos EUA, as normas, em vigor, para classificação da eficiência energética dos motores eléctricos foram estabelecidas pela respectiva Associação Nacional de Fabricantes do Sector Eléctrico (NEMA). Tais normas foram estabelecidas tendo em conta o mesmo tipo de preocupações ecológicas e de sustentabilidade de recursos, que preocupam outras entidades e países.

Assim, em 1992, num evento denominado Energy Policy Act, foi estabelecido que algumas classes de motores eléctricos deveriam ter valores mínimos de rendimento nominal, a serem atingidos até 27 de Outubro de 1997. Tais motores seriam denominados por “*Energy Efficient Motors*” (Motores Energeticamente Eficientes). Por

pressão do mercado, a NEMA veio a introduzir, posteriormente (Junho de 2001), uma nova classe de rendimento, denominada por “*Premium Efficiency Motors*” (Motores de Eficiência Premium), em que se ultrapassam os níveis propostos no Energy Policy Act original. Actualmente, existem portanto duas classes de rendimento em vigor nos EUA, sendo os motores a elas pertencentes denominados por “Motores Energeticamente Eficientes” e “Motores de Eficiência Premium” [1]. As eficiências-limite para classificação dos diferentes motores eléctricos, em cada uma destas denominações, estão presentes no Anexo 1.

3.2 Norma Europeia – Voluntary Agreement

A norma europeia para classificação de motores eléctricos em relação à sua eficiência energética advém do acordo, estabelecido em 1998, entre a Comunidade Europeia e o CEMEP. É vulgarmente reconhecido por Voluntary Agreement (VA). A Comissão Europeia e o CEMEP concordaram que os sistemas electromecânicos têm um impacto significativo no consumo de electricidade na Europa. Mais de 150TWh [7] de electricidade, anualmente consumidos, poderiam ser poupados a nível europeu se os sistemas electromecânicos fossem projectados dum ponto de vista da sua eficiência energética intrínseca. Os motores eléctricos representam uma parte destes sistemas e, como tal, podem contribuir de forma significativa para a diminuição dos consumos energéticos globais [3].

Portanto, os fabricantes de motores eléctricos europeus, conjuntamente com a Comissão Europeia, comprometeram-se na elaboração de um sistema de classificação conjunto que permitisse a todos utilizadores e consumidores de motores eléctricos ter uma apreciação da eficiência energética deste componente.

Foi então celebrado o mencionado acordo voluntário - VA - que estipula que os motores de indução trifásicos, de rotor em gaiola de esquilo, com potências nominais compreendidas entre 1.1 e 90 kW, de 2 ou 4 pólos, para 400V e 50Hz, deverão ser classificados, mediante o seu rendimento nominal, em classes de eficiência energética.

Para tal, este acordo estabeleceu a criação de três classes de rendimento: EFF3, EFF2 e EFF1.

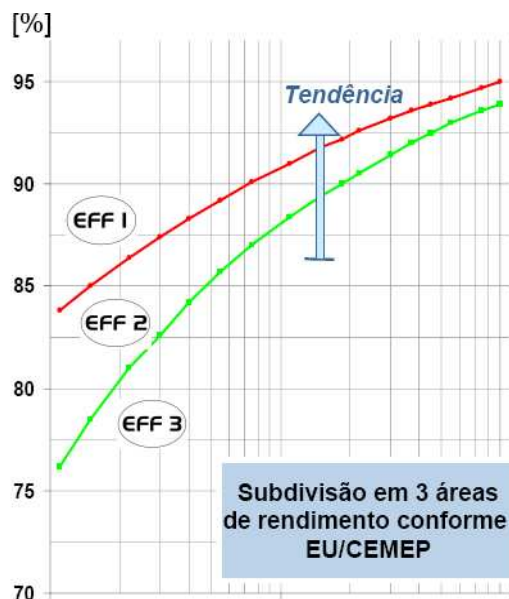


Figura 10 – Subdivisão em 3 áreas de rendimento conforme EU/CEMEE [8]

Nestas, a classe EFF1 corresponde aos motores de Alta Eficiência, EFF2 à classe de Eficiência Aumentada e EFF3 à classe de Eficiência Standard, sendo estes últimos os motores predominantes na altura da criação do acordo. Adicionalmente, o acordo pretendeu vedar a prazo a introdução de motores da classe EFF3 no mercado comunitário europeu [3]. Os valores dos rendimentos nominais tomados como referência para estas classificações poderão ser consultados no Anexo 2.

3.3 Norma Internacional – IEC

Inúmeras dificuldades advêm do facto de existirem variadas classes de rendimentos normalizadas, dificuldades referidas anteriormente, tanto para os fabricantes de motores eléctricos como para os consumidores. O facto de não haver normas com aceitação internacional nesta matéria, leva a que, em última instância, a eficiência energética saia prejudicada, devido a equívocos e eventuais erros de escolha e aplicação do motor adequado.

Para evitar estes problemas, encontra-se em estudo, por parte da CEI, a criação de uma norma internacional de classificação da eficiência de motores eléctricos [futura CEI 60034-30]. Esta norma levaria a uma internacionalização de todo o sistema de classificação de motores eléctricos e como tal, levaria a uma homogeneização do mercado. Por outro lado, também iria actualizar a forma de caracterização dos motores, uma vez que nos últimos anos se assistiu a uma enorme evolução no seu projecto e fabrico, com contínuos aumentos dos seus rendimentos energéticos e progressiva ultrapassagem das regras de classificação actuais.

Estima-se que esta nova norma venha a abranger motores cujas potências nominais estejam compreendidas entre 0,75kW e 370kW, uma vez que representam a grande maioria da população de motores instalados na actualidade. No que respeita ao número de pólos magnéticos, também se admite que venham a ser abrangidos os motores com 2, 4 e 6 pólos (motores com 8 pólos não serão provavelmente contemplados uma vez que a sua quota de mercado é muito diminuta - cerca de 1% ou menos). Devido ao aumento da aceitação do uso de variadores electrónicos de velocidade e ao baixo custo relativo associado a motores com até 6 pólos, é esperado que os motores com 8 pólos venham mesmo a desaparecer do mercado num futuro mais ou menos próximo.

Após aproximações sucessivas, tudo indica que a nova designação da classe de eficiência consistirá nas letras “IE” (diminutivo de “International Energy Efficiency Class”), directamente seguida por um algarismo representativo da classificação, com o seguinte significado:

IE1 – Standard Efficiency

IE2 – High Efficiency

IE3 – Premium Efficiency

IE4 – Super Premium

No entanto, à data da elaboração da presente dissertação, esta norma encontra-se ainda em estudo por parte do CEI e, como tal, os seus parâmetros e novas designações não foram considerados para a realização da aplicação em causa. O que demonstra a actualidade da contribuição prestada pelo presente trabalho e teve influência orientadora do seu autor no respeitante ao futuro do mercado mundial de motores eléctricos.

4 Ferramenta para aconselhamento na escolha da classe de rendimento de motores eléctricos

Na actualidade, a norma em vigor nos países da Comunidade Europeia, é aquela definida no VA. Com o objectivo de aconselhar o utilizador de motores eléctricos a efectuar uma escolha correcta da classe de rendimento do motor a utilizar, numa determinada função, foi criada uma aplicação informática, desenvolvida em ambiente Excel e com base em programação de Macros com a linguagem Visual Basic for Applications. Para o seu funcionamento, esta aplicação necessita do conhecimento de algumas informações, a introduzir pelo utilizador, tais como: informação relativa ao motor a utilizar, ao tarifário energético aplicável e ao diagrama de cargas a que o motor estará sujeito. Perante tais informações, algumas variáveis - tais como preços de motores eléctricos, preços de energia, factores de carga e rendimentos, entre outros - serão interrelacionadas, assim se obtendo um resultado expresso em unidades de tempo, permitindo ao utilizador formar uma opinião acerca de qual a classe de rendimento do motor mais adequada ao sistema electromecânico.

Um aspecto a salientar na aplicação desenvolvida é o facto de as classes de rendimento utilizadas não serem totalmente iguais às classes de rendimento estabelecidas no VA.

Como já referido, este acordo estabelece 3 classes de rendimento - EFF3, EFF2 e EFF1, por ordem crescente de eficiência energética. No entanto, este acordo foi estabelecido em 1998, tendo sido a classe EFF3 atribuída aos motores então predominantes [9]. Para além disso, este acordo apresentava, como objectivo, a redução para metade, dos valores das vendas europeias de motores EFF3, no quinquénio 1998-2003, para posterior evolução para uma oferta exclusiva de motores com classe de rendimento não inferior a EFF2. A aplicação prática do acordo superou as expectativas mais optimistas, como comprovam os resultados publicitados pelo último Relatório de Acompanhamento (ver Figura 11).

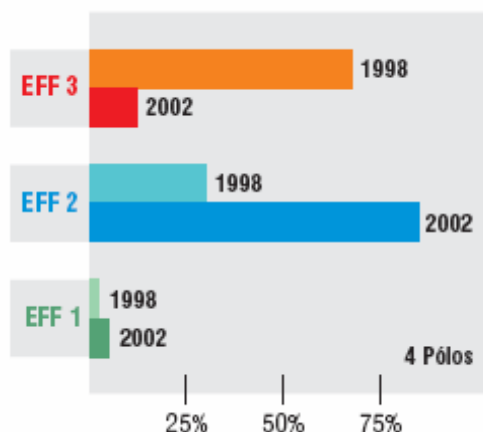


Figura 11 – Evolução das quotas do mercado europeu (1998-2002) [9]

Assim, na actualidade os motores da classe EFF2 são considerados motores de rendimento normal e, ambos os fabricantes consultados para a realização desta aplicação, não apresentam, disponíveis para o mercado, motores de classe de rendimento EFF3, nem informações relativas aos mesmos. Desta forma, a classe de rendimento EFF3 não foi considerada na realização da ferramenta.

Devido à grande evolução de processos de fabrico, resultante da progressiva aplicação de melhores materiais magnéticos, eléctricos e correspondentes isolantes, é já hoje possível atingir uma eficiência bastante superior à então estabelecida para motores de classe EFF1. Como tal, o mercado de motores eléctricos adoptou uma nova classe, conhecida como *top-EFF1*. Esta nova classe de rendimento, por se enquadrar de melhor forma no contexto actual do mercado de motores eléctricos, foi considerada na realização desta ferramenta.

Resumindo, nesta ferramenta de aconselhamento na escolha da classe de rendimento de motores eléctricos são consideradas as classes EFF2, EFF1 e *top-EFF1*, ordenadas por ordem crescente de eficiência energética.

4.1 Informação Presente na Ferramenta

Para a realização desta aplicação foi realizada uma pesquisa a nível dos motores eléctricos disponíveis no mercado, das suas classes de rendimento, dos seus rendimentos a diferentes fracções de carga e correspondentes preços. Foram também estudadas as diversas alternativas em termos de tarifários de aquisição de energia eléctrica e investigados diferentes diagramas de carga para aplicações mais ou menos típicas.

4.1.1 Motores Eléctricos

Para a recolha de informação relativa aos motores eléctricos actualmente presentes no mercado, foram consultados dois fabricantes de motores eléctricos: *WEG* e a *Dutchi Motors*. Os mesmos cederam diversa informação técnico-comercial, nomeadamente relativa aos preços dos motores eléctricos por si fabricados e comercializados no nosso país e à evolução do rendimento e do factor de potência dos mesmos, para diferentes regimes de carga.

4.1.1.1 Classes de Rendimento

A informação disponibilizada foi agrupada, inicialmente, segundo a classe de rendimento em que cada motor está classificado. Tendo estes sido divididos em 3 agrupamentos, como já referido anteriormente – *EFF2*, *EFF1* e *top-EFF1*.

4.1.1.2 Número de Pólos

Dentro de cada uma destas classes de eficiência energética, os motores eléctricos foram ordenados segundo o seu número de pólos magnéticos, (2, 4 ou 6 pólos).

A este propósito refira-se que o VA estabelece regras, apenas, para motores de 2 e 4 pólos. No entanto, a nova classificação, actualmente em estudo pela CEI, alarga as regras de classificação de motores eléctricos aos motores de 6 pólos, mas, como referido anteriormente, esta é ainda uma norma em estudo. Mediante informação disponibilizada pelos fabricantes de motores eléctricos, que também já efectuam a classificação da eficiência energética para motores de 6 pólos, a aplicação realizada tem em conta motores com este número de pólos. Como tal, dentro de cada classe de rendimento, os motores agrupam-se segundo o seu número de pólos, isto é, 2, 4 e 6 pólos.

4.1.1.3 Potência

Dentro de cada uma das classes de eficiência energética abrangidas, os motores eléctricos foram, ainda, ordenados segundo a sua potência nominal, expressa em kW.

Pese embora o VA apenas abarcar, para efeitos de classificação de motores eléctricos, os valores de potência nominal compreendidos entre 1,1 kW e 90 kW, como, tudo o indica, o novo código em estudo pela CEI, virá a abranger motores com potência nominal compreendida entre 0,75 kW e 370 kW e como, para além disso, também os fabricantes de motores eléctricos consultados já hoje fazem uma distinção da classe de rendimento de motores eléctricos para um intervalo de potências nominais mais alargado do que o estabelecido pelo VA, de forma a não limitar o campo de utilização da ferramenta desenvolvida, procurou-se um “meio-termo” em concordância com as informações disponibilizadas pelos fabricantes de motores eléctricos consultados. Concretamente, foram consideradas as potências nominais, sempre expressas em kW, de 0,75; 1,1; 1,5; 2,2; 3; 4; 5,5; 7,5; 11; 15; 18,5; 22; 30; 37; 45; 55; 75; 90; 110; 132; 160 e 200 para as classes de rendimento EFF2 e EFF1, enquanto que para a nova classe de rendimento *top-EFF1* apenas foram consideradas os mesmos valores de potências nominais, mas começando em 4 kW.

4.1.1.4 Preço de Aquisição

Uma outra informação, bastante importante para a análise realizada por esta ferramenta, é o preço de aquisição dos motores eléctricos. Esta informação representa o investimento que é feito inicialmente, para que o utilizador possa dispor dum determinado motor eléctrico. Para tal foram considerados os preços de referência de motores eléctricos de indução trifásicos, de baixa tensão (400 V – 50Hz), blindados, com potências nominais compreendidas entre 0,75kW e 200kW, com 2, 4 e 6 pólos magnéticos, com carcaça de ferro fundido e montagem *standard* (B3), comercializados pelo fabricante *WEG*.

A este propósito refira-se que não existe uma grande variação nos níveis de preços de venda ao público praticados por diferentes fabricantes de motores eléctricos do tipo dos considerados neste trabalho, pelo que a consideração anterior não constitui, em si, uma limitação séria ao campo de aplicação da ferramenta desenvolvida.

4.1.1.5 Rendimentos a diferentes factores de carga

Como visto anteriormente, o rendimento dos motores eléctricos não se mantém constante, antes variando conforme o factor de carga a que o motor está sujeito.

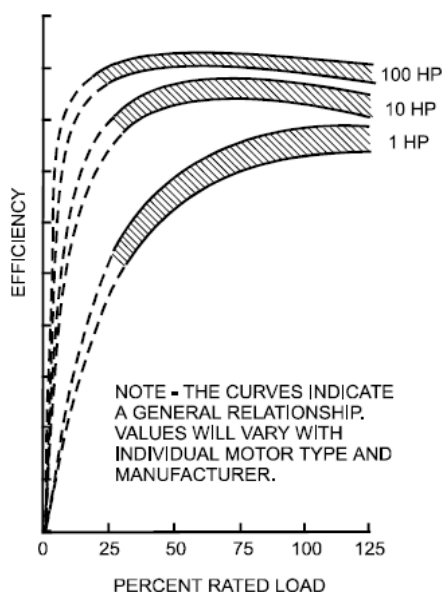


Figura 12 – Curvas de Eficiência Típica VS Percentagem de Carga para motores de indução trifásicos de 1800rpm, 60Hz [10]

Como tal, outra informação inserida na aplicação foi a do rendimento dos variados motores eléctricos a diferentes factores de carga. Foram consideradas sete condições de funcionamento:

1. Desligado
2. Vazio
3. Factor de Carga < 50%
4. Factor de Carga = 50%
5. Factor de Carga = 75%
6. Carga Nominal (Factor de Carga = 100%)
7. Factor de Carga > 100%

Para cada uma destas diferentes condições de funcionamento, o motor apresenta diferentes valores de rendimento. A informação relativa a estes rendimentos, para funcionamento a diferentes factores de carga, foi não só fornecida pelos catálogos técnico-comerciais dos fabricantes de motores eléctricos já mencionados, como também foram utilizados valores apresentados pelo DOE (U.S. Department Of Energy) e, até, por processos de aproximação, nomeadamente pelo cálculo de linhas de tendência. Desta forma foi criada uma base de dados relativa aos diferentes rendimentos, apresentados pelos diferentes motores eléctricos considerados, a diferentes factores de carga. Nesta mesma base de dados consta também informação relativa às perdas apresentadas pelos motores eléctricos no seu funcionamento em vazio. Uma vez que neste modo de funcionamento o rendimento dos motores eléctricos é nulo, foi inserida informação relativa às perdas que estes apresentam em vazio.

É necessário ter em conta algumas considerações adicionais relativamente à forma como foi organizada a informação disponível, como foi obtida informação em falta e como foram feitas certas aproximações.

Estando o motor desligado, obviamente que não há qualquer consumo de energia, nem produção de trabalho útil. No funcionamento em vazio, o rendimento do motor será igualmente nulo, uma vez que toda a energia por ele consumida apenas tem a finalidade de alimentar as perdas eléctricas, magnéticas e mecânicas apresentadas

pelo motor nesse mesmo regime. A aplicação tem integrados valores típicos de perdas, eléctricas e mecânicas, apresentadas por motores de 4 pólos, das classes de rendimento EFF2 e EFF1 [11].

Referindo-se a informação disponível sobre perdas em vazio a motores de 4 pólos e pertencentes às classes de rendimento EFF2 e EFF1 [11], algumas considerações adicionais foram feitas a este propósito. Para o caso de motores com 4 pólos da classe de rendimento *top-EFF1*, as suas perdas em vazio foram considerados iguais às apresentadas pelos motores da classe EFF1. Sendo de esperar que os valores destas perdas, para motores da classe *top-EFF1*, sejam menores do que os valores correspondentes, apresentados por motores da classe EFF1, tal consideração traduz-se numa aproximação por excesso, sem no entanto afectar, de forma significativa, o resultado final apresentado pela aplicação, salvo em utilizações com prolongados períodos de funcionamento do motor em vazio. Por outro lado, não estando também disponíveis os valores das perdas em vazio para motores com 2 e 6 pólos magnéticos, foi assumido que tais perdas, para motores com este número de pólos, variariam entre os motores das classes de rendimento EFF2, EFF1 e *top-EFF1* nas mesmas proporções que estas variam para motores de 4 pólos. Mais uma vez, esta consideração não afectará de forma significativa o resultado final da aplicação, uma vez que as comparações, para decisão, são realizadas entre motores com o mesmo número de pólos magnéticos e potência nominal, variando apenas a sua classe de rendimento.

Para o funcionamento a fracções de carga < 50%, 50%, 75%, 100% e > 100%, o rendimento do motor eléctrico apresenta-se variável. Uma vez mais, nem todos os valores de rendimento estavam disponíveis, tendo alguns deles sido obtidos por cálculo através de uma curva de tendência, como exemplificado na Figura 13.

No entanto, uma vez mais é necessário fazer algumas considerações devido à insuficiência de dados disponíveis. Os valores de rendimentos para fracções de carga superiores a 100% (> 100%) apenas estão disponíveis para motores de 2, 4 e 6 pólos, da classe de rendimento EFF2. Como tal, estes valores são utilizados para as outras classes de rendimento, fazendo-se uma aproximação por excesso, uma vez que é de esperar que os rendimentos para a classe EFF2, sejam menores do que os valores apresentados pelas classes EFF1 e *top-EFF1*. Para motores com 6 pólos magnéticos, da classe de rendimento EFF1, não foi possível encontrar os valores dos seus rendimentos para

fracções de carga menores que 50% (< 50%). e Como tal, foram adoptados os valores, do mesmo tipo de motor, mas da classe EFF2.

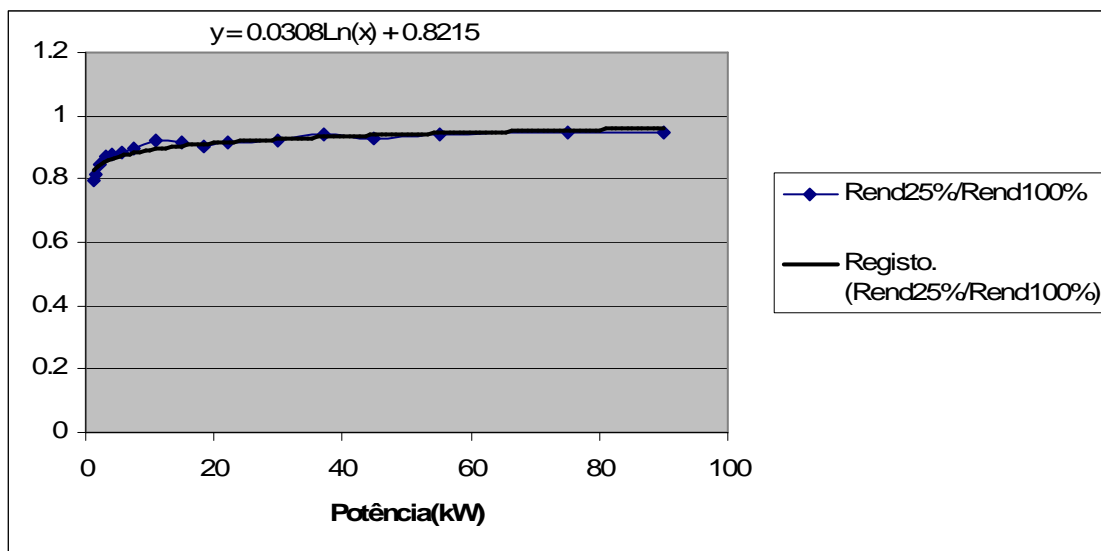


Figura 13 – Curva de Tendência para cálculo do rendimento a 25% da carga nominal de motores eléctricos de 4 pólos e classe EFF2

No caso de motores da classe de rendimento *top-EFF1*, os valores de rendimentos para fracções de carga menores que 50% (< 50%) foram tomados como iguais aos valores utilizados para os motores com 2 e 4 pólos magnéticos, mas da classe EFF1. Os valores de rendimentos para fracções de carga maiores que 100% (> 100%), como já referido anteriormente, foram assumidos iguais aos valores utilizados para motores de 2 e 4 pólos da classe EFF2.

Daqui se conclui que todas as aproximações feitas são por excesso, não prejudicando o resultado final em termos económicos uma vez que o cálculo é realizado entre motores com o mesmo número de pólos magnéticos e mesma potência nominal, diferindo apenas na sua classe de rendimento, tendo sido considerados, no caso da falta de dados, valores de classes de rendimento inferiores. Ou seja, se num caso concreto se concluir pela vantagem económica da escolha dum motor de classe de rendimento superior, tal decisão será, na prática, ainda mais segura.

Como tal, a informação relativa aos motores eléctricos está organizada em tabelas semelhantes à Tabela 1. Tabelas semelhantes são utilizadas para motores de

3000 r.p.m. – 2 pólos, 1500 r.p.m. – 4 pólos, 1000 r.p.m. – 6 pólos, pertencentes às classes de rendimento EFF2, EFF1 e *top-EFF1*. Desta forma, encontra-se organizada toda a informação referente a motores eléctricos, presente na ferramenta.

Tabela 1 – Informação armazenada para motores da classe EFF2, de 3000rpm, 2 pólos

Potência (kW)	EFF2 – 3000 r.p.m. - 2 pólos							
	Preço (€)	Desligado	PerdasVazio(kW)	< 50%	50%	75%	100%	> 100%
0,75	84,1	0	0,205	63,12	75,5	80	79,9	75,7
1,1	96,1	0	0,265	61,2	77,1	80,2	79,7	78,8
1,5	116,7	0	0,295	64,3	81,7	83,7	83,6	78,3
2,2	150	0	0,371	70,1	82,2	83,7	83,4	78,9
3	181,4	0	0,429	73,6	83,7	85,8	85,6	81
4	223,3	0	0,500	76,2	86,4	87,5	87,5	82,6
5,5	287,3	0	0,624	76,3	83,9	87	88,3	86,3
7,5	367	0	0,762	79,2	87	89	89,3	85,7
11	489,2	0	1,007	80,5	88	90,2	90,3	87,4
15	538,2	0	1,249	82,2	89,6	91,3	91,2	88,6
18,5	767,6	0	1,467	84,5	90,6	92	91,7	90,6
22	979,4	0	1,683	83	91,1	92,4	92,1	90,2
30	1274,8	0	2,013	84,9	90	92	92,7	90,7
37	1658,6	0	2,289	86,5	92,4	93	93	91,8
45	2057,1	0	2,644	85,7	91,6	93,3	93,6	92,1
55	2591,3	0	3,031	87,3	92,1	93,5	93,8	92,8
75	3554,2	0	3,846	88,1	91,4	93,4	94,2	93,4
90	4305,8	0	4,514	87,5	92	93,8	94,5	93,6
110	5384,1	0	5,377	91,01	92,9	94,4	94,9	93,9
132	6448,8	0	6,202	91,7	92,6	94,5	95	94,4
160	7939,8	0	7,341	92,7	93	94,8	95,4	95
200	11409,8	0	9,577	91,76	92	93,4	93,7	95,3

4.1.2 Tarifário de energia eléctrica

A aplicação desenvolvida tem o objectivo ser aplicada a nível nacional; como tal, os preços da energia eléctrica considerados são aqueles praticados pela EDP (Energias De Portugal) no ano de 2008 [12].

Como se sabe, os preços da energia eléctrica variam de acordo com o *Período Horário*, o *Nível de Tensão* e a *Tarifa* escolhidos pelo utilizador do motor eléctrico. Os preços da energia eléctrica foram, então, organizados segundo estas variáveis.

Inicialmente, estes foram agrupados segundo o *Período Horário* de utilização, de entre os possíveis:

1. Ciclo Semanal;
2. Ciclo Semanal Opcional (para clientes de Média Tensão, Alta Tensão e Muito Alta Tensão);
3. Ciclo Diário,

definidos, tal como representado nas Tabelas 2, 3 e 4, respectivamente.

Todos estes períodos horários encontram-se subdivididos em *Período de Hora Legal de Inverno* e *Período de Hora Legal de Verão*, sendo estes definidos da forma descrita no parágrafo seguinte:

O *Período de Hora Legal de Inverno* é definido como o período compreendido entre a 1 hora UTC (Tempo Universal Coordenado) do último domingo de Outubro e a 1 hora UTC do último domingo de Março seguinte, enquanto que o *Período de Hora Legal de Verão* é definido como o período compreendido entre a 1 hora UTC do último domingo de Março e a 1 hora UTC do último domingo de Outubro. [13]. Para efeitos de simplificação, na realização desta ferramenta, foi considerado que o *Período de Hora Legal de Inverno* seria o período compreendido entre o dia 31 do mês de Outubro, até ao dia 31 do mês de Março, inclusive, enquanto que o *Período de Hora Legal de Verão* seria o período compreendido entre o dia 31 do mês de Março, até ao dia 31 do mês de Outubro, inclusivé.

- Ciclo Semanal

Tabela 2 – Ciclo Semanal [12]

Período de hora legal de Inverno	Período de hora legal de Verão
Segunda a Sexta-feira	Segunda a Sexta-feira
Ponta: 09.30/12.00h 18.30/21.00h	Ponta: 09.15/12.15h
Cheias: 07.00/09.30h 12.00/18.30h 21.00/24.00h	Cheias: 07.00/09.15h 12.15/24.00h
Vazio: 00.00/07.00h Super vazio: 02.00/06.00h Vazio normal: 00.00/02.00h 06.00/07.00h	Vazio: 00.00/07.00h Super vazio: 02.00/06.00h Vazio normal: 00.00/02.00h 06.00/07.00h
Sábados	Sábados
Cheias: 09.30/13.00h 18.30/22.00h	Cheias: 09.00/14.00h 20.00/22.00h
Vazio: 00.00/09.30h 13.00/18.30h 22.00/24.00h Super vazio: 02.00/06.00h Vazio normal: 00.00/02.00h 06.00/09.30h 13.00/18.30h 22.00/24.00h	Vazio: 00.00/09.00h 14.00/20.00h 22.00/24.00h Super vazio: 02.00/06.00h Vazio normal: 00.00/02.00h 06.00/09.00h 14.00/20.00h 22.00/24.00h
Domingos	Domingos
Vazio: 00.00/24.00h Super vazio: 02.00/06.00h Vazio normal: 00.00/02.00h 06.00/24.00h	Vazio: 00.00/24.00h Super vazio: 02.00/06.00h Vazio normal: 00.00/02.00h 06.00/24.00h

- Ciclo Semanal Opcional

Tabela 3 – Ciclo Semanal Opcional [12]

Período de hora legal de Inverno	Período de hora legal de Verão
Segunda a Sexta-feira	Segunda a Sexta-feira
Ponta: 17.00/22.00h	Ponta: 14.00/17.00h
Cheias: 00.00/00.30h 07.30/17.00h 22.00/24.00h	Cheias: 00.00/00.30h 07.30/14.00h 17.00/24.00h
Vazio: 00.30/07.30h Super vazio: 02.00/06.00h Vazio normal: 00.30/02.00h 06.00/07.30h	Vazio: 00.30/07.30h Super vazio: 02.00/06.00h Vazio normal: 00.30/02.00h 06.00/07.30h
Sábados	Sábados
Cheias: 10.30/12.30h 17.30/22.30h	Cheias: 10.00/13.30h 19.30/23.00h
Vazio: 00.00/10.30h 12.30/17.30h 22.30/24.00h Super vazio: 03.00/07.00h Vazio normal: 00.00/03.00h 07.00/10.30h 12.30/17.30h 22.30/24.00h	Vazio: 00.00/10.00h 13.30/19.30h 23.00/24.00h Super vazio: 03.30/07.30h Vazio normal: 00.00/03.30h 07.30/10.00h 13.30/19.30h 23.00/24.00h
Domingos	Domingos
Vazio: 00.00/24.00h Super vazio: 04.00/08.00h Vazio normal: 00.00/04.00h 08.00/24.00h	Vazio: 00.00/24.00h Super vazio: 04.00/08.00h Vazio normal: 00.00/04.00h 08.00/24.00h

- Ciclo Diário

Tabela 4 – Ciclo Diário [12]

Período de hora legal de Inverno	Período de hora legal de Verão
Ponta: 09.30/11.30h 19.00/21.00h	Ponta: 10.30/12.30h 20.00/22.00h
Cheias: 08.00/09.30h 11.30/19.00h 21.00/22.00h	Cheias: 09.00/10.30h 12.30/20.00h 22.00/23.00h
Vazio: 22.00/08.00h Super vazio: 02.00/06.00h Vazio normal: 22.00/02.00h 06.00/08.00h	Vazio: 23.00/09.00h Super vazio: 02.00/06.00h Vazio normal: 23.00/02.00h 06.00/09.00h

Nos termos do Regulamento Tarifário consideram-se ainda os seguintes períodos tarifários:

Períodos Trimestrais:

- Período I – de 1 de Janeiro a 31 de Março
- Período II – de 1 de Abril a 30 de Junho
- Período III – de 1 de Julho a 30 de Setembro
- Período IV – de 1 de Outubro a 31 de Dezembro

Períodos Horários:

Tabela 5 – Períodos Horários

Horas fora de Vazio	Horas de Ponta
	Horas Cheias
Horas de Vazio	Horas de Vazio Normal
	Horas de Super Vazio

Dentro dos períodos horários, referidos anteriormente, os preços da energia eléctrica foram organizados segundo o *nível de tensão* a que o consumidor recebe a energia eléctrica, sendo eles:

1. Baixa Tensão Normal (BTN);
2. Baixa Tensão Normal, com consumos sazonais;
3. Baixa Tensão Especial (BTE);
4. Média Tensão (MT);
5. Alta Tensão (AT);
6. Muito Alta Tensão (MAT).

Os preços da energia eléctrica, dentro de cada período horário e dentro do nível de tensão são, por último, organizados mediante a *tarifa* em utilização.

Sendo que para o caso de recepção da energia eléctrica em *Baixa Tensão Normal*, os preços encontram-se organizados mediante *Tarifa Social* ou *Tarifa Simples*, ambas para potência contratada menor ou igual a 2,3kVA, *Tarifa Simples* ou *Tarifa Bi-Horária*, para potência contratada entre 2,3kVA e 20,7kVA, inclusivé, ou *Tarifa Simples*, *Tarifa de Médias Utilizações* ou *Tarifa de Longas Utilizações*, para potência contratada maior do que 20,7kVA e menor do que 41,4kVA, inclusivé.

Para o caso de *Baixa Tensão Normal*, com consumo sazonais os preços da energia eléctrica estão ordenados mediante *Tarifa Simples*, *Tarifa Bi-Horária*, ou *Tarifa Tri-Horária*, para potência contratada menor ou igual a 20,7kVA ou *Tarifa Tri-Horária*, para potência contratada entre 20,7kVA e 41,4kVA, inclusivé.

No caso de *Baixa Tensão Especial*, os preços da energia eléctrica organizam-se segundo *Tarifa de Médias Utilizações* ou *Tarifa de Longas Utilizações*, ambas para potência contratada superior a 41,4kVA.

Para o caso da energia eléctrica ser recebida em *Média Tensão* ou *Alta Tensão*, os preços desta dispõem-se mediante *Tarifa de Curtas Utilizações*, *Tarifa de Médias Utilizações* ou *Tarifa de Longas Utilizações*. Enquanto que para o caso de *Muito Alta Tensão*, existe somente uma tarifa disponível, a chamada *Tarifa de Muito Alta Tensão*.

Resumindo:

Tabela 6 – Organização dos Tarifários de Energia Eléctrica

1. Baixa Tensão Normal	pot. cont. \leq 2,3kVA - Tarifa Social
	pot. cont. \leq 2,3kVA - Tarifa Simples
	2,3kVA < pot. cont. \leq 20,7kVA - Tarifa Simples
	2,3kVA < pot. cont. \leq 20,7kVA - Tarifa Bi-Horária
	20,7kVA < pot. cont. \leq 41,4kVA - Tarifa Simples
	20,7kVA < pot. cont. \leq 41,4kVA - Tarifa de Médias Utilizações
	20,7kVA < pot. cont. \leq 41,4kVA - Tarifa de Longas Utilizações
2. Baixa Tensão Normal, com Consumos Sazonais	pot. cont. \leq 20,7kVA - Tarifa Simples
	pot. cont. \leq 20,7kVA - Tarifa Bi-Horária
	pot. cont. \leq 20,7kVA - Tarifa Tri-Horária
	20,7kVA < pot. cont. \leq 41,4kVA - Tarifa Tri-Horária
3. Baixa Tensão Especial	41,4kVA < pot. cont. - Tarifa de Médias Utilizações
	41,4kVA < pot. cont. - Tarifa de Longas Utilizações
4. Média Tensão	Tarifa de Curtas Utilizações
	Tarifa de Médias Utilizações
	Tarifa de Longas Utilizações
5. Alta Tensão	Tarifa de Curtas Utilizações
	Tarifa de Médias Utilizações
	Tarifa de Longas Utilizações
6. Muito Alta Tensão	Tarifa de Muito Alta Tensão

Para simplificar o cálculo matemático efectuado pela ferramenta, foi atribuída, a cada meia hora diária, um preço da energia eléctrica a ser paga pelo consumidor, mediante o tarifário em utilização, resultando num vector semelhante ao representado na Tabela 6.

O vector apresentado na Tabela 6 corresponde aos preços da energia eléctrica em *Média Tensão*, *Tarifa de Médias Utilizações* e *Ciclo Semanal*, período de Inverno e mais especificamente, período I. Apenas está representado um dia, neste caso, segunda-feira, no entanto, o mesmo procedimento foi utilizado para todos os dias da semana, incluindo dias não úteis, como sábado e domingo. Outro procedimento foi adoptado quando o período horário em funcionamento é o *Ciclo Diário*. Nesse caso, todos os dias apresentam o mesmo padrão de preços, como constatado na Tabela 7.

Tabela 6 – Vector do Preço de Energia para Ciclo Semanal, Média Tensão – Tarifa de Médias Utilizações, Período de Inverno

Dia	Hora	Período Horário	Preço Energia €/kWh	
Segunda-Feira	0:00	Vazio	0,0472	
	0:30		Vazio Normal	0,0472
	1:00			0,0472
	1:30		Super Vazio	0,0472
	2:00			0,0443
	2:30			0,0443
	3:00			0,0443
	3:30			0,0443
	4:00			0,0443
	4:30			0,0443
	5:00		0,0443	
	5:30		0,0443	
	6:00		Vazio Normal	0,0472
	6:30			0,0472
	7:00	Cheias	0,0761	
	7:30		0,0761	
	8:00		0,0761	
	8:30		0,0761	
	9:00		0,0761	
	9:30	Ponta	0,1072	
	10:00		0,1072	
	10:30		0,1072	
	11:00		0,1072	
	11:30		0,1072	
	12:00	Cheias	0,0761	
	12:30		0,0761	
	13:00		0,0761	
	13:30		0,0761	
	14:00		0,0761	
	14:30		0,0761	
15:00	0,0761			
15:30	0,0761			
16:00	0,0761			
16:30	0,0761			
17:00	0,0761			
17:30	0,0761			
18:00	Ponta	0,0761		
18:30		0,1072		
19:00		0,1072		
19:30		0,1072		
20:00		0,1072		
20:30	Cheias	0,1072		
21:00		0,0761		
21:30		0,0761		
22:00		0,0761		
22:30		0,0761		
23:00		0,0761		
23:30	0,0761			

Tabela 7 – Vector do Preço de Energia Eléctrica para Ciclo Diário, Baixa Tensão Especial – Tarifa de Médias Utilizações, Período de Inverno

Dia	Hora	Período Horário	Preço Energia €/kWh	
Dia	0:00	Vazio	0,0579	
	0:30		Vazio Normal	0,0579
	1:00			0,0579
	1:30		0,0579	
	2:00		Super Vazio	0,0579
	2:30			0,0579
	3:00			0,0579
	3:30			0,0579
	4:00			0,0579
	4:30			0,0579
	5:00		0,0579	
	5:30		0,0579	
	6:00		Vazio Normal	0,0579
	6:30			0,0579
	7:00	0,0579		
	7:30	0,0579		
	8:00	Cheias	0,0928	
	8:30		0,0928	
	9:00		0,0928	
	9:30	Ponta	0,1851	
	10:00		0,1851	
	10:30		0,1851	
	11:00	Cheias	0,1851	
	11:30		0,0928	
12:00	0,0928			
12:30	0,0928			
13:00	0,0928			
13:30	0,0928			
14:00	0,0928			
14:30	0,0928			
15:00	0,0928			
15:30	0,0928			
16:00	0,0928			
16:30	0,0928			
17:00	0,0928			
17:30	0,0928			
18:00	0,0928			
18:30	0,0928			
19:00	Ponta	0,1851		
19:30		0,1851		
20:00		0,1851		
20:30	Cheias	0,1851		
21:00		0,0928		
21:30	0,0928			
22:00	Vazio	Vazio Normal	0,0579	
22:30			0,0579	
23:00			0,0579	
23:30			0,0579	

O vector representado na Tabela 7 corresponde aos preços da energia eléctrica em *Baixa Tensão Especial*, *Tarifa de Médias Utilizações* e *Ciclo Diário*, período de Inverno.

A escolha de intervalos de tempo de meia hora deve-se ao facto de, em alguns casos tarifários, os preços da energia eléctrica se alterarem em períodos inferiores a uma hora, não sendo estas mudanças consideradas se fossem utilizados períodos horários, e desta forma é concedido um maior pormenor ao tarifário energético.

4.1.3 Diagramas de Carga

O regime de funcionamento dos motores eléctricos é, em geral, variável, excepto nos raros casos em que o seu funcionamento é praticamente binário, isto é, ou se encontra ligado accionando uma carga constante, ou então desligado. Como referido anteriormente, o rendimento do motor eléctrico varia mediante a carga que este tem que accionar, sendo necessário ter em conta o seu regime de funcionamento (factor de carga).

A aplicação desenvolvida já possui alguns diagramas de carga “integrados”. Estes diagramas de carga são diagramas de carga típicos para determinadas funções que os motores eléctricos geralmente desempenham. Para esta finalidade foi feita uma pesquisa, a nível de várias empresas de diversos sectores do ramo electrotécnico. No entanto, este tipo de informação é de difícil obtenção. Uma das razões deve-se ao facto do diagrama de cargas, na maioria dos casos, depender do utilizador do motor, sendo este que controla o horário de funcionamento do motor eléctrico e a carga a que este está sujeito. No entanto, há casos em que tal não acontece e o funcionamento do motor eléctrico apresenta padrões que podem ser traduzidos através de um diagrama de carga a ser aplicado de forma horária, diária, semanal ou mesmo mensal.

Os diagramas de carga presentes na aplicação são referentes aos seguintes casos:

1. Utilização Ininterrupta Contínua – Carga Nominal
2. Utilização Contínua Durante 1 Turno Laboral – Carga Nominal
3. Utilização Contínua Durante 2 Turnos Laborais – Carga Nominal
4. Escadas Rolantes
5. Elevadores

A informação foi organizada de uma forma semelhante à adoptada para a informação relativa ao Tarifário de Energia Eléctrica, isto é, a cada meia hora diária foi atribuído um factor de carga, resultando num vector semelhante ao representado na Tabela 8.

O vector apresentado corresponde ao caso de Utilização Contínua Durante 1 Turno Laboral. Como exemplo de um motor eléctrico com este tipo de funcionamento, apresenta-se um motor de 1,5 kW de laboração contínua, aplicado a uma máquina de fabrico de cabos de aço em espiral:

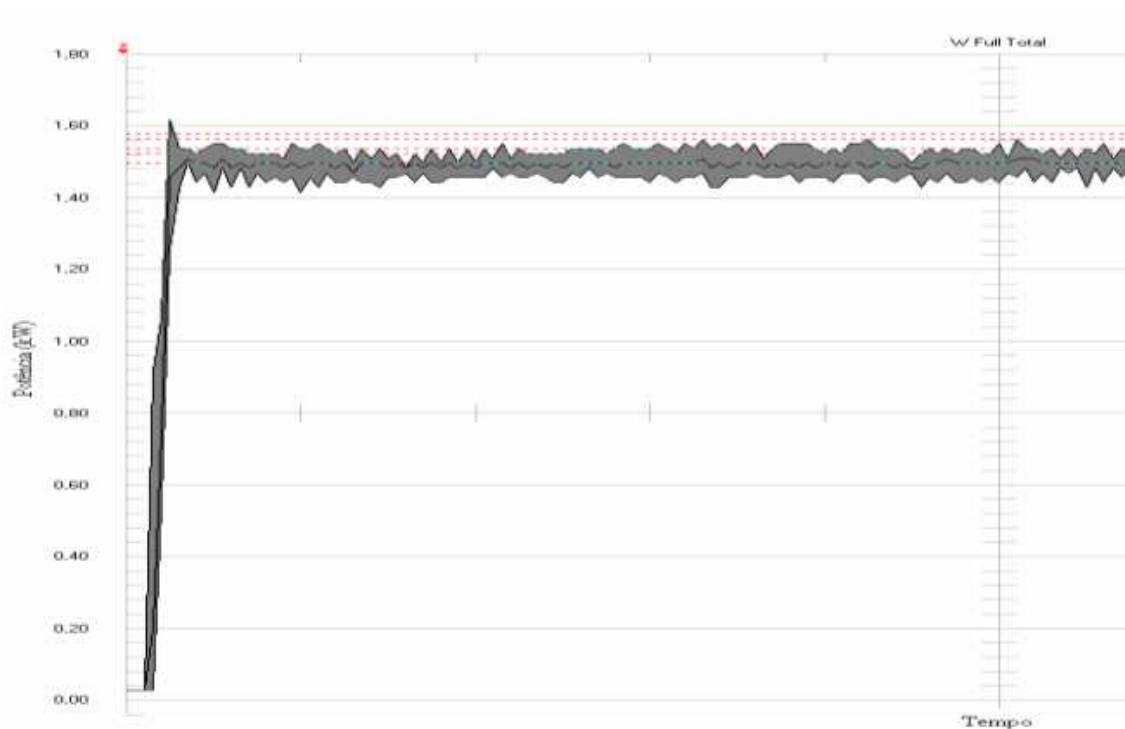


Figura 14 – Potência Consumida por um Motor de uma Máquina Extrusora

Tabela 8 – Vector de Armazenamento do Factor de Carga para Accionamento de uma Carga Nominal por um Turno Laboral

Dia	Hora	Factor de Carga
Segunda-Feira	0:00	0
	0:30	0
	1:00	0
	1:30	0
	2:00	0
	2:30	0
	3:00	0
	3:30	0
	4:00	0
	4:30	0
	5:00	0
	5:30	0
	6:00	0
	6:30	0
	7:00	0
	7:30	0
	8:00	1
	8:30	1
	9:00	1
	9:30	1
	10:00	1
	10:30	1
	11:00	1
	11:30	1
12:00	1	
12:30	1	
13:00	1	
13:30	1	
14:00	1	
14:30	1	
15:00	1	
15:30	1	
16:00	1	
16:30	1	
17:00	0	
17:30	0	
18:00	0	
18:30	0	
19:00	0	
19:30	0	
20:00	0	
20:30	0	
21:00	0	
21:30	0	
22:00	0	
22:30	0	
23:00	0	
23:30	0	

Como é possível ver através da Figura 14, a potência consumida por este motor eléctrico anda em torno do valor da sua potência nominal. O que significa que, durante o seu período de funcionamento, o seu factor de carga é praticamente unitário. Desta forma e baseado em possíveis casos semelhantes, foram introduzidos na ferramenta, diagramas de carga como Utilização Contínua Durante 1 Turno Laboral, Utilização Contínua Durante 2 Turnos Laborais e Utilização Contínua Ininterrupta. Nestes casos foi considerado que no período de funcionamento do motor eléctrico, 1 turno laboral, 2 turnos laborais ou funcionamento contínuo, respectivamente, o motor se encontra a accionar uma carga igual à carga para que este foi dimensionado, isto é, carga nominal. Como tal, o factor de carga é considerado unitário.

Para a construção destes diagramas de carga pré-definidos foi assumido que o motor eléctrico não se encontra em funcionamento durante o fim-de-semana, isto é, durante os dias de Sábado e Domingo.

Para a construção dos diagramas de carga para elevadores e escadas rolantes, algumas considerações especiais foram feitas. A informação, gentilmente disponibilizada por uma empresa de auditoria energética, é referente a elevadores e escadas rolantes presentes em centros comerciais. Como tal, foi considerado o seu funcionamento durante o fim-de-semana. Entretanto, a informação recebida foi alvo de tratamento, nomeadamente foi calculado, para intervalos de meia hora, o factor de carga médio, tendo em conta todos os valores de factores de carga fornecidos pela empresa. Desta forma foram criados vectores semelhantes a aquele da Tabela 10, sendo que os diferentes factores de carga são específicos da funcionalidade em questão.

Os valores para os factores de carga considerados, nas diferentes condições de funcionamento são os seguintes:

Tabela 9 – Factores de Carga Associados às Diferentes Condições de Funcionamento

Condição de Funcionamento	Factor de Carga
Desligado	0
Em Vazio	0
< 50%	0,25
50%	0,5
75%	0,75
100%	1
> 100%	1,25

Tabela 10 – Vector de Armazenamento do Factor de Carga para Elevadores e Escadas Rolantes

Dia	Hora	Factor de Carga	
		Elevadores	Escadas Rolantes
Segunda-Feira	0:00	0	0
	0:30	0	0
	1:00	0	0
	1:30	0	0
	2:00	0	0
	2:30	0	0
	3:00	0	0
	3:30	0	0
	4:00	0	0
	4:30	0	0
	5:00	0	0
	5:30	0	0
	6:00	0	0
	6:30	0	0
	7:00	0	0
	7:30	0	0
	8:00	0	0
	8:30	0	0
	9:00	0	0
	9:30	0.25	0
	10:00	0	0.25
	10:30	0	0.25
	11:00	0.25	0.25
	11:30	0.25	0.25
12:00	0.25	0.25	
12:30	0.25	0.25	
13:00	0.25	0.25	
13:30	0.25	0.25	
14:00	0.25	0.25	
14:30	0.25	0.25	
15:00	0.5	0.25	
15:30	0.5	0.25	
16:00	0.5	0.25	
16:30	0.5	0.25	
17:00	0.5	0.25	
17:30	0.5	0.25	
18:00	0.5	0.25	
18:30	0.5	0.25	
19:00	0.5	0.25	
19:30	0.25	0.25	
20:00	0.25	0.25	
20:30	0.25	0.25	
21:00	0.25	0.25	
21:30	0	0.25	
22:00	0.25	0.25	
22:30	0	0	
23:00	0	0	
23:30	0	0	

4.2 Informação Inserida na Ferramenta

Para que a informação presente na ferramenta seja acedida de forma correcta, é necessária a introdução de alguma informação por parte do potencial utilizador da mesma. Esta informação necessária divide-se em 3 campos principais, sendo eles:

1. Informação Relativa ao Motor Eléctrico;
2. Informação Relativa ao Tarifário de Energia Eléctrica;
3. Informação Relativa ao Diagrama de Cargas.

A inserção da informação é feita através da escolha de uma opção possível, de entre um conjunto de opções disponíveis apresentadas por um *drop-down menu*. Desta forma, a ferramenta limita as escolhas do utilizador a apenas informação presente na base de dados desta aplicação. Tal leva a que o utilizador apenas possa proceder à escolha de informação que permita o acesso correcto à base de dados por parte da ferramenta.

4.2.1 Informação Relativa ao Motor Eléctrico

Para que a ferramenta tenha acesso às informações necessárias para o cálculo a efectuar, nomeadamente informação relativa ao preço e rendimento do motor eléctrico, a diferentes factores de carga, o utilizador tem que inserir informação referente ao correspondente número de pólos magnéticos e potência nominal do motor eléctrico.

Tal escolha é apresentada ao utilizador, na interface da aplicação, da seguinte forma:

- Para a escolha do Número de Pólos

Escolha do Motor (preencha os 2 campos de forma sequencial)

Número de Pólos:

Potência (kW):

Figura 15 – Interface de Encolha de Número de Pólos do Motor

Como referido anteriormente, o *drop-down menu* limita a escolha do número de pólos do motor eléctrico a 2, 4 ou 6 pólos.

- Para a escolha da Potência:

Escolha do Motor (preencha os 2 campos de forma sequencial)

Número de Pólos:

Potência (kW):

Figura 16 – Interface de Escolha da Potência do Motor

Neste caso, o *drop-down menu* limita a escolha da potência apenas às potências dos motores eléctricos para os quais a ferramenta possui informações, sendo estas as constantes da série normalizada, de 0,75 a 200kW.

4.2.2 Informação Relativa ao Tarifário de Energia Eléctrica

Para que a ferramenta tenha correctamente acesso ao tarifário energético utilizado é necessária informação, que neste caso será inserida em 3 campos distintos. Especial atenção tem que ser dada ao facto de que estes 3 campos são sucessivamente dependentes, isto é, a escolha feita no primeiro campo, condiciona as opções de escolha disponíveis no segundo campo e que, por sua vez, a escolha feita no segundo campo

condiciona as opções disponíveis para escolha no terceiro campo. Como tal, surge a necessidade de um preenchimento destes campos de forma sequencial. Esta técnica guia o utilizador no processo de escolha do Tarifário de Energia Eléctrica e evita possíveis erros.

- Para escolha do Período Horário:

Escolha do Tarifário (preencha os 3 campos de forma sequencial)

The image shows a form with three input fields. The first field, 'Período Horário', is a dropdown menu with a blue border and a downward arrow on the right. It is currently open, showing a list of four options: 'Ciclo Semanal', 'Ciclo Semanal Opcional', 'Ciclo Diário', and 'Não Disponível'. The second field, 'Nível de Tensão', is an empty text box. The third field, 'Tarifa', is also an empty text box. The labels for the fields are in a dark blue font.

Figura 17 – Interface de Escolha do Período Horário

As escolhas do *Período Horário* encontram-se limitadas aos períodos horários existentes no “Tarifário de Venda de Energia Eléctrica a Clientes Finais – ano 2008” praticado pela EDP. No entanto, surge a possibilidade, de perante o caso do utilizador não saber qual o Período Horário em utilização, este inserir a opção *Não Disponível*. Esta opção assume automaticamente que o Período Horário em utilização é o *Ciclo Semanal*, por ser este o mais utilizado em Portugal [26].

- Para escolha do Nível de Tensão:

Como já referido anteriormente, os *drop-down menus* são sucessivamente dependentes e como tal, as opções disponíveis neste segundo campo dependem da escolha efectuada no primeiro campo.

Se no primeiro campo (escolha do *Período Horário*) a opção seleccionada foi *Ciclo Semanal*, *Ciclo Diário* ou *Não Disponível* então a interface de escolha deste segundo campo será:

Escolha do Tarifário (preencha os 3 campos de forma sequencial)

Período Horário:

Nível de Tensão:

Tarifa:

Figura 18 – Interface para Escolha do Nível de Tensão Após Escolha de Ciclo Semanal ou Ciclo Diário

Podendo o utilizador optar por qualquer um dos níveis de tensão disponíveis no Tarifário Energético e, mais uma vez, caso não tenha informação sobre o nível de tensão em utilização, ele pode optar pela opção *Não Disponível*, que assume como valor predefinido *Média Tensão*, devido a estes preços serem os mais intermédios. No entanto, a escolha desta opção, no segundo campo, assume automaticamente que o utilizador desconhece também a tarifa em utilização e, como tal, no terceiro campo (escolha da *Tarifa*) as opções de escolha encontram-se limitadas a apenas uma, sendo esta: *Não Disponível*. Neste caso, como já anteriormente referido, a aplicação assume que o nível de tensão é *Média Tensão* e que a tarifa é a *Tarifa de Médias Utilizações*.

Se no primeiro campo (escolha do *Período Horário*) a opção seleccionada foi *Ciclo Semanal Opcional*, então, no segundo campo, o utilizador ficará limitado e poderá optar apenas por *Média Tensão*, *Alta Tensão* ou *Muito Alta Tensão*, uma vez que o *Ciclo Semanal Opcional* só está disponível para estes 3 níveis de tensão. Entretanto, mais uma vez se repete a hipótese de escolha *Não Disponível*, que produz o mesmo resultado referido no ponto anterior. Como tal, a interface apresenta-se da seguinte forma:

Escolha do Tarifário (preencha os 3 campos de forma sequencial)

Período Horário:

Nível de Tensão:

Tarifa:

Figura 19 – Interface para Escolha do Nível de Tensão Após Escolha de Ciclo Semanal Opcional

- Para escolha da Tarifa

Neste terceiro campo a variedade de escolhas possíveis depende, uma vez mais, das escolhas efectuadas nos 2 campos anteriores.

Caso as escolhas efectuadas anteriormente tenham sido *Ciclo Semanal*, *Ciclo Diário* ou *Não Disponível* (escolha efectuada no primeiro campo) – *Baixa Tensão Normal* (escolha efectuada no segundo campo), então a interface apresentada para a recolha de informação, no terceiro *drop-down menu*, é a seguinte:

Escolha do Tarifário (preencha os 3 campos de forma sequencial)

Período Horário:

Nível de Tensão:

Tarifa:

- pot. cont. ≤ 2,3kVA - Tarifa Social
- pot. cont. ≤ 2,3kVA - Tarifa Simples
- 2,3kVA < pot. cont. ≤ 20,7kVA - Tarifa Simples
- 2,3kVA < pot. cont. ≤ 20,7kVA - Tarifa Bi-horária
- 20,7kVA < pot. cont. ≤ 41,4kVA - Tarifa Simples
- 20,7kVA < pot. cont. ≤ 41,4kVA - Tarifa de Médias Utilizações
- 20,7kVA < pot. cont. ≤ 41,4kVA - Tarifa de Longas Utilizações
- Não Disponível

Figura 20 – Interface para Escolha da Tarifa de Baixa Tensão Normal

Podendo o utilizador optar por *Tarifa Social* ou *Tarifa Simples*, ambas para potência contratada menor ou igual a 2,3kVA, por *Tarifa Simples* ou *Tarifa Bi-Horária*, para potência contratada entre 2,3kVA e 20,7kVA, inclusivé, ou por *Tarifa Simples*, *Tarifa de Médias Utilizações* ou *Tarifa de Longas Utilizações*, para potência contratada maior do que 20,7kVA e menor do que 41,4kVA, também inclusivé. Surge mais uma vez a possibilidade do utilizador não conhecer a tarifa utilizada e, assim, escolher a opção *Não Disponível*, que assume automaticamente a *Tarifa de Médias Utilizações*, para potências contratadas compreendidas entre 20,7kVA e 41,4kVA, inclusivé.

Caso as escolhas efectuadas anteriormente tenham sido *Ciclo Semanal*, *Ciclo Diário* ou *Não Disponível* – *Baixa Tensão Normal com Consumos Sazonais*, o utilizador poderá optar por *Tarifa Simples*, *Tarifa Bi-Horária*, ou *Tarifa Tri-Horária*, para potência contratada menor ou igual a 20,7kVA ou *Tarifa Tri-Horária*, para

potência contratada entre 20,7kVA e 41,4kVA, inclusivé. Mais uma vez surge a possibilidade de, no caso do utilizador não saber qual a tarifa em utilização, ele optar pela opção *Não Disponível*. Neste caso a ferramenta assume que a tarifa em utilização é a *Tarifa Tri-Horária*, para potência contratada entre 20,7kVA e 41,4kVA inclusivé. A interface apresentada pela ferramenta é, então, a seguinte:

Escolha do Tarifário (preencha os 3 campos de forma sequencial)

Período Horário:

Nível de Tensão:

Tarifa:

- pot. cont. ≤ 20,7kVA - Tarifa Simples
- pot. cont. ≤ 20,7kVA - Tarifa Bi-horária
- pot. cont. ≤ 20,7kVA - Tarifa Tri-horária
- 20,7kVA < pot. cont. ≤ 41,4kVA - Tarifa Tri-horária
- Não Disponível

Figura 21 – Interface para Escolha da Tarifa de Baixa Tensão Normal com Consumos Sazonais

Caso as escolhas efectuadas anteriormente tenham sido *Ciclo Semanal*, *Ciclo Diário* ou *Não Disponível – Baixa Tensão Especial*, a interface apresentada pela aplicação será:

Escolha do Tarifário (preencha os 3 campos de forma sequencial)

Período Horário:

Nível de Tensão:

Tarifa:

- 41,4kVA < pot. cont. - Tarifa de Médias Utilizações
- 41,4kVA < pot. cont. - Tarifa de Longas Utilizações
- Não Disponível

Figura 22 – Interface para Escolha da Tarifa de Baixa Tensão Especial

Permitindo ao utilizador a escolha da *Tarifa de Médias Utilizações* ou *Tarifa de Longas Utilizações*, ambas para potência contratada superior a 41,4kVA, segundo a própria definição de *Baixa Tensão Especial*. Neste caso, a opção *Não Disponível* assume automaticamente que a tarifa em utilização é a *Tarifa de Médias Utilizações*.

Se as escolhas efectuadas anteriormente tiverem sido *Ciclo Semanal*, *Ciclo Semanal Opcional*, *Ciclo Diário* ou *Não Disponível – Média Tensão* ou *Alta Tensão*, a aplicação apresenta a seguinte interface:

Escolha do Tarifário (preencha os 3 campos de forma sequencial)

Período Horário:

Nível de Tensão:

Tarifa:

- Tarifa de Curtas Utilizações
- Tarifa de Médias Utilizações
- Tarifa de Longas Utilizações
- Não Disponível

Figura 23 – Interface para Escolha da Tarifa de Média Tensão ou Alta Tensão

Esta interface apresenta-se igual, quer a opção escolhida, no segundo campo, seja *Média Tensão* ou *Alta Tensão*. O utilizador tem a possibilidade de escolha da *Tarifa de Curtas Utilizações*, *Tarifa de Médias Utilizações* ou *Tarifa de Longas Utilizações*. Uma vez mais, em ambos os casos referidos anteriormente, o utilizador tem a opção de escolher *Não Disponível*. Caso seja esta a opção escolhida, a ferramenta assume automaticamente que a tarifa em utilização é a *Tarifa de Médias Utilizações*. No entanto, o resultado não é semelhante: este varia mediante a escolha do nível de tensão, isto é, se a escolha de *Não Disponível* ocorrer para o caso de *Média Tensão*, então a tarifa assumida é a *Tarifa de Médias Utilizações* em *Média Tensão*, enquanto que, para o caso de *Alta Tensão*, a tarifa assumida é a *Tarifa de Médias Utilizações* em *Alta Tensão*.

Caso as escolhas efectuadas anteriormente tenham sido *Ciclo Semanal*, *Ciclo Semanal Opcional*, *Ciclo Diário* ou *Não Disponível – Muito Alta Tensão*, o terceiro *drop-down menu* apenas apresenta uma opção disponível, sendo esta a tarifa de *Muito Alta Tensão*.

Escolha do Tarifário (preencha os 3 campos de forma sequencial)

Período Horário:

Nível de Tensão:

Tarifa:

Figura 24 – Interface para Escolha da Tarifa de Muito Alta Tensão

Se as escolhas efectuadas nos campos anteriores tiverem sido *Ciclo Semanal*, *Ciclo Semanal Opcional*, *Ciclo Diário* ou *Não Disponível – Não Disponível*, então, uma vez mais, o terceiro *drop-down menu* apenas apresenta uma opção disponível, sendo esta *Não Disponível*. Neste caso, a ferramenta assume automaticamente como nível de tensão *Média Tensão* e *Tarifa de Médias Utilizações*, como já referido anteriormente. Sendo a interface apresentada a seguinte:

Escolha do Tarifário (preencha os 3 campos de forma sequencial)

Período Horário:

Nível de Tensão:

Tarifa:

Figura 25 – Interface para Escolha da Tarifa no Caso Não Disponível

4.2.3 Informação Relativa ao Diagrama de Cargas

Para que a ferramenta tenha acesso às informações necessárias para os cálculos a efectuar, nomeadamente informação relativa ao diagrama de cargas, ao factor de carga e, numa fase posterior, acesso também ao valor das perdas em vazio e ao rendimento do motor, este último indexado ao factor de carga a que este vier a ser sujeito, a aplicação necessita que o utilizador introduza informações referentes ao diagrama de cargas previsto para o motor.

Tal como referido anteriormente, a aplicação contém alguns diagramas de carga típicos. O utilizador pode optar pela escolha de um destes diagramas já integrados na aplicação ou, caso o utilizador tenha informação precisa em relação ao diagrama de cargas a que o motor eléctrico estará sujeito, este poderá inseri-lo na ferramenta.

A interface apresentada pela aplicação para inserção de informação relativa ao diagrama de cargas do motor é a seguinte:

Diagrama de Cargas (preencha o seguinte campo)

Utilização do Motor:

Utilização do Motor:	▼
Utilização Ininterrupta Contínua - Carga Nominal Utilização Contínua Durante 1 Turno Laboral - Carga Nominal Utilização Contínua Durante 2 Turnos Laborais - Carga Nominal Elevadores Escadas Rolantes Definido Pelo Utilizador	

Figura 26 – Interface para Escolha da Utilização do Motor

Sendo possível ao utilizador escolher *Utilização Ininterrupta Contínua*, *Utilização Contínua Durante 1 Turno Laboral*, *Utilização Contínua Durante 2 Turnos Laborais*, qualquer uma destas opções considerando o accionamento de uma carga nominal e o não funcionamento do motor durante o fim-de-semana. Poderá também escolher *Elevadores* ou *Escadas Rolantes*, opções estas que consideram os diagramas de carga anteriormente referidos e funcionamento do motor durante o fim-de-semana. O utilizador poderá ainda optar por *Definido pelo Utilizador*, caso este saiba pormenorizadamente como irá funcionar o seu motor.

Se o utilizador escolher esta última opção, *Definido pelo Utilizador*, a aplicação parte do princípio que o utilizador conhece ao pormenor o funcionamento do motor e como tal, o seu diagrama de cargas. A ferramenta assume como valores de factor de carga e dias de funcionamento a informação inserida pelo utilizador. Neste caso, a informação solicitada pela aplicação é o *Número de dias úteis*, *Número de dias de Fim-de-Semana* e o *Factor de Carga*, este último tendo a ser definido para intervalos de uma hora, ao longo de 24h diárias.

A informação inserida relativa ao *Número de dias úteis* poderá ter o valor de 1, 2, 3, 4 ou 5 dias úteis sendo a interface apresentada pela ferramenta, para o efeito, a seguinte:

Dias Semanais de Funcionamento

Número de dias úteis:

Número de di

The image shows a software interface titled 'Dias Semanais de Funcionamento'. It features a label 'Número de dias úteis:' above a light blue rectangular input field. Below this field is a dropdown menu that is currently open, displaying a list of numbers: 1, 2, 3, 4, and 5. To the left of the dropdown menu, the text 'Número de di' is partially visible.

Figura 27 – Interface para Escolha do Número de Dias Úteis

A informação inserida relativa ao *Número de dias de Fim-de-Semana* poderá tomar valores de *Nenhum*, *Sábado*, *Domingo* e *Sábado e Domingo*, sendo apenas considerados como dias de funcionamento de fim-de-semana os dias especificados nesta opção. Para tal, a interface apresentada pela ferramenta é a seguinte:

Dias Semanais de Funcionamento

Número de dias úteis:

Número de dias de Fim-de-Semana:

The image shows a software interface titled 'Dias Semanais de Funcionamento'. It features a label 'Número de dias úteis:' above a light blue rectangular input field. Below this field is another label 'Número de dias de Fim-de-Semana:' above another light blue rectangular input field. Below this second field is a dropdown menu that is currently open, displaying a list of options: Nenhum, Sábado, Domingo, and Sábado e Domingo.

Figura 28 – Interface para Escolha do Número de Dias de Fim-De-Semana

Para a inserção da informação relativa ao factor de carga a ferramenta apresenta a interface demonstrada pela Figura 29.

O utilizador poderá optar entre *Desligado*, *Em Vazio*, *< 50%*, *50%*, *75%*, *100%* ou *> 100%*, sendo-lhes atribuídos, pela ferramenta, os factores de carga 0; 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1 e 1,25, respectivamente e como já referido anteriormente. É de salientar o facto de, apesar da ferramenta efectuar o cálculo com intervalos de meia hora, o valor do factor de carga ser atribuído a intervalos de uma hora, para desta forma se facilitar a utilização da ferramenta, tornando-a o mais prática possível na óptica do utilizador.

Horas	Factor de Carga
0:00	
0:30	Desligado
1:00	Em Vazio
1:30	< 50%
2:00	50%
2:30	75%
3:00	100%
3:30	> 100%
4:00	
4:30	
5:00	
5:30	
6:00	
6:30	
7:00	
7:30	
8:00	
8:30	
9:00	
9:30	
10:00	

Dias Semanais de Funcionamento

Número de dias úteis:

Número de dias de Fim-de-Semana:

Figura 29 – Interface para Escolha do Factor de Carga

4.3 Funcionamento da Ferramenta para Aconselhamento na Escolha da Classe de Rendimento de Motores Eléctricos

Como já foi referido anteriormente, esta aplicação tem como objectivo, aconselhar o utilizador na escolha da classe de rendimento de motores eléctricos. Para tal foi criada toda uma metodologia e processos de cálculo desenvolvidos em ambiente Excel, com suporte de Macros desenvolvidas em Visual Basic for Applications. Neste capítulo será descrito o funcionamento da ferramenta e todos os cálculos inerentes à obtenção do resultado final, que permitirá ao utilizador formar um juízo sobre qual a melhor classe de rendimento do motor a seleccionar, para desempenho de determinada função.

A ferramenta encontra-se organizada da seguinte forma:

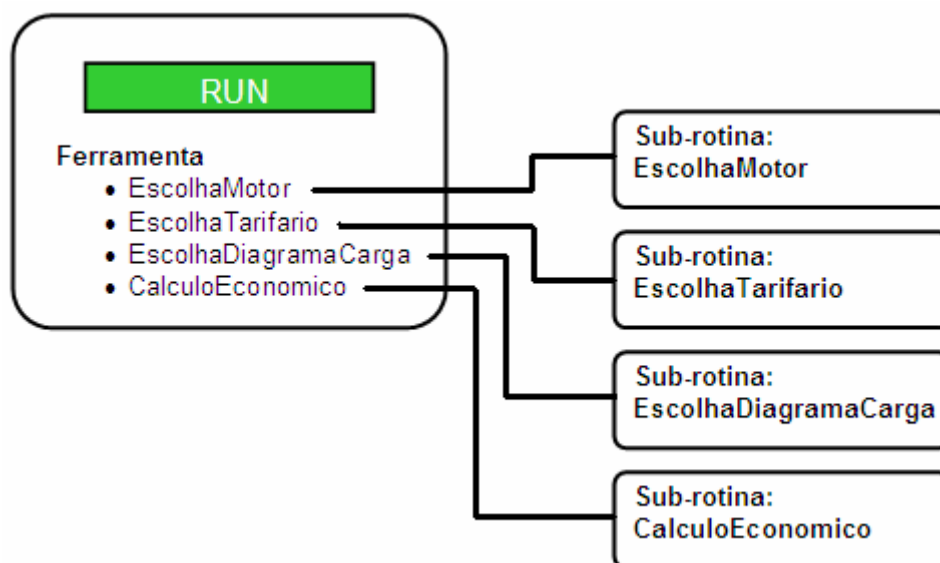


Figura 30 – Organização da Ferramenta de Aconselhamento

A rotina principal, tem quatro sub-rotinas incorporadas, sendo estas designadas por *EscolhaMotor*, *EscolhaTarifario*, *EscolhaDiagramaCarga* e *CalculoEconomico*. Após pressão do botão RUN, a rotina principal chama sucessivamente as sub-rotinas, desempenhando, cada uma destas, a sua função até à obtenção do resultado final.

Antes do início da rotina principal é necessária a inserção de informação, por parte do utilizador, relativamente ao tipo de motor (número de pólos magnéticos e potência nominal), ao tarifário aplicável (período horário, nível de tensão e tarifa) e ao diagrama de carga a que o motor estará sujeito durante o seu funcionamento (factor de carga, dias úteis e dias de fim-de-semana de utilização). Este processo de inserção de informação foi anteriormente descrito.

4.3.1 Sub-Rotina EscolhaMotor

Após toda a informação necessária ter sido inserida e o botão RUN ter sido premido, a ferramenta chama a primeira das quatro sub-rotinas, *EscolhaMotor*. Esta sub-rotina, irá, a partir da informação relativa ao número de pólos magnéticos e potência nominal do motor eléctrico, aceder ao preço do motor da classe EFF2, EFF1 e *top-EFF1*, com as características especificadas, armazenando esta informação em 3

variáveis, cada uma com o valor do preço correspondente à respectiva classe de rendimento.

A sub-rotina *EscolhaMotor* acede também aos rendimentos, a diferentes fracções de carga, dos motores eléctricos das diferentes classes de rendimento, armazenando esta informação em 3 vectores. Cada um destes vectores possui os valores dos rendimentos correspondentes à condição de motor desligado, perdas em vazio (não eléctricas + eléctricas), funcionamento a cargas menores do que 50%, de 50%, de 75%, nominal e maior do que nominal, correspondentes à respectiva classe de rendimento do motor. A informação ficará, portanto, organizada da seguinte forma:

Tabela 11 – Exemplo de Informação Armazenada pela Sub-Rotina EscolhaMotor

	EFF2	EFF1	top-EFF1
Desligado	0	0	0
PerdasVazio	2,644	1,991	1,991
< 50%	87	89,8	89,8
50%	91	93,9	93,9
75%	92,9	94,4	94,7
100%	93,5	94,4	94,7
> 100%	92	92	92
Preço (€)	1999,4	2440,4	2805,41

4.3.2 Sub-Rotina EscolhaTarifario

Esta sub-rotina é chamada em segundo lugar, após todas as instruções da primeira sub-rotina terem sido executadas e, mediante a informação inserida pelo utilizador no campo de *Escolha do Tarifário*, esta sub-rotina irá aceder à base de dados de tarifários energéticos, seleccionando o tarifário apropriado. De acordo com as informações recebidas, aquela sub-rotina irá armazenar o correspondente tarifário em dois vectores. Um dos vectores será correspondente ao tarifário energético escolhido pelo utilizador, mas referente ao período de Inverno, enquanto que o outro vector corresponde ao mesmo tarifário energético, mas referente ao período de Verão. O tamanho destes vectores é constante mas a informação neles contida varia de acordo com o Período Horário. Se o Período Horário for *Ciclo Semanal*, *Ciclo Semanal Opcional* ou *Não Disponível*, os vectores terão elementos relativos a uma semana de

funcionamento. Caso o Período Horário for *Ciclo Diário*, os vectores serão compostos, apenas, por elementos relativos a um dia de funcionamento, sendo nulo o valor dos seus restantes elementos.

É apresentado, em seguida, um exemplo de dois vectores de tarifário, ambos referentes ao *Ciclo Semanal*, sendo um referente ao período de Inverno e, o outro, ao período de Verão, ver Tabela 12. Neste exemplo apenas está demonstrado um dia da semana, concretamente uma segunda-feira; no entanto, estes vectores são preenchidos por elementos que abrangem toda a semana, uma vez que o Período Horário é o *Ciclo Semanal*.

4.3.3 Sub-Rotina EscolhaDiagramaCarga

Esta sub-rotina terá como função o reconhecimento do diagrama de cargas a que o motor estará sujeito. A sub-rotina *EscolhaDiagramaCarga* armazena a informação inserida num vector com valores de factor de carga definidos para intervalos de meia hora, ao longo de uma semana. No caso de o utilizador optar por algum dos diagramas de carga previamente estabelecidos, aquele vector já se encontra previamente definido. No entanto, caso o utilizador escolha *Definido pelo Utilizador* no *drop-down menu* de escolha de Utilização do Motor, o vector armazenado será configurado de acordo com as indicações dadas pelo utilizador, como exemplificado na Figura 31.

Diagrama de Cargas (preencha o seguinte campo)

Utilização do Motor:

Preencha o seguinte quadro, somente se a opção escolhida para Utilização do Motor é: "Definido pelo Utilizador"

Horas	Factor de Carga
0:00	Desligado
0:30	
1:00	Em Vazio
1:30	
2:00	< 50%
2:30	
3:00	50%
3:30	
4:00	75%
4:30	
5:00	100%
5:30	
6:00	> 100%
6:30	
7:00	100%
7:30	

Dias Semanais de Funcionamento

Número de dias úteis:

Número de dias de Fim-de-Semana:

Figura 31 – Informação Inserida pelo Utilizador Relativas ao Factor de Carga e Dias de Funcionamento

Tabela 12 – Informação Armazenada pela Sub-Rotina EscolhaTarifario

Dia	Hora	Período Horário - Inverno	€/kWh	Período Horário - Verão	€/kWh	
Segunda-Feira	0:00	Vazio		Vazio	0,05	
	0:30		0,0472		Vazio Normal	0,05
	1:00		0,0472		Vazio Normal	0,05
	1:30		0,0472		Vazio Normal	0,05
	2:00		0,0443		Super Vazio	0,0465
	2:30		0,0443			0,0465
	3:00	0,0443	0,0465			
	3:30	0,0443	0,0465			
	4:00	0,0443	0,0465			
	4:30	0,0443	0,0465			
	5:00	0,0443	0,0465			
	5:30	0,0443	0,0465			
	6:00	Vazio Normal	0,0472	Vazio Normal	0,05	
	6:30		0,0472		0,05	
	7:00	Cheias	0,0761	Cheias	0,0765	
	7:30		0,0761		0,0765	
	8:00		0,0761		0,0765	
	8:30		0,0761		0,0765	
	9:00	Ponta	0,0761	Ponta	0,114	
	9:30		0,1072		0,114	
	10:00		0,1072		0,114	
	10:30		0,1072		0,114	
	11:00	Cheias	0,1072	Cheias	0,114	
	11:30		0,1072		0,114	
	12:00		0,0761		0,0765	
	12:30		0,0761		0,0765	
	13:00	Cheias	0,0761	Cheias	0,0765	
	13:30		0,0761		0,0765	
	14:00		0,0761		0,0765	
	14:30		0,0761		0,0765	
	15:00		0,0761		0,0765	
	15:30		0,0761		0,0765	
16:00	0,0761		0,0765			
16:30	0,0761		0,0765			
17:00	0,0761		0,0765			
17:30	0,0761		0,0765			
18:00	Ponta	0,0761	Ponta	0,0765		
18:30		0,1072		0,0765		
19:00		0,1072		0,0765		
19:30		0,1072		0,0765		
20:00	Cheias	0,1072	Cheias	0,0765		
20:30		0,1072		0,0765		
21:00		0,0761		0,0765		
21:30		0,0761		0,0765		
22:00	Cheias	0,0761	Cheias	0,0765		
22:30		0,0761		0,0765		
23:00		0,0761		0,0765		
23:30		0,0761		0,0765		

Através de um conjunto de instruções, contidas nesta sub-rotina, é feita a conversão dos valores inseridos pelo utilizador, para o *Factor de Carga* (*Desligado, Em Vazio, < 50%, 50%, 75%, 100%, > 100%*), em valores apropriados para serem usados pela sub-rotina na realização do cálculo económico. A conversão é feita de acordo com os valores da Tabela 13.

Tabela 13 – Factores de Carga Associados às Diferentes Condições de Funcionamento, para utilização pela sub-rotina

Condição de Funcionamento	Factor de Carga
Desligado	0
Em Vazio	1
< 50%	0.25
50%	0.5
75%	0.75
100%	1
> 100%	1.25

É de realçar o facto de, no funcionamento em vazio, obviamente o valor do factor de carga ser nulo, no entanto, por motivos de cálculo efectuado pela sub-rotina *CalculoEconomico* este é considerado de valor igual a 1. A consideração deste valor trata-se de um estratagema de programação para que, desta forma, possa ser inserido o consumo em vazio.

O vector obtido, mediante o exemplo ilustrado na Figura 31 é o seguinte:

Tabela 14 – Informação Armazenada pela Sub-Rotina EscolhaDiagramaCarga

Dia	Hora	Factor de Carga
Segunda-Feira	0:00	0
	0:30	0
	1:00	1
	1:30	1
	2:00	0.25
	2:30	0.25
	3:00	0.5
	3:30	0.5
	4:00	0.75
	4:30	0.75
	5:00	1
	5:30	1
	6:00	1.25
	6:30	1.25
	7:00	1
	7:30	1
...	...	

Perante o exemplo da Figura 31, é mostrado na Tabela 14 um excerto do vector armazenado pela ferramenta. Uma vez que o *Número de Dias Úteis* exemplificado é 3, os valores demonstrados na Tabela 14 repetem-se também para os dias de terça-feira e quarta-feira, sendo preenchido por valores do factor de carga iguais a 0 para os dias de quinta-feira e sexta-feira. Entretanto, como especificado na Figura 31, o *Número de Dias de Fim-de-Semana* apenas contempla o funcionamento durante o dia de *Sábado*, pelo que estes mesmos valores voltam-se a repetir para o dia de sábado, sendo os valores do factor de carga iguais a 0 para o dia de domingo, como demonstrado na Tabela 15.

Tabela 15 – Informação Armazenada pela Sub-Rotina EscolhaDiagramaCarga

Dia	Hora	Factor de Carga
Sábado	0:00	0
	0:30	0
	1:00	1
	1:30	1
	2:00	0.25
	2:30	0.25
	3:00	0.5
	3:30	0.5
	4:00	0.75
	4:30	0.75
	5:00	1
	5:30	1
	6:00	1.25
	6:30	1.25
7:00	1	
7:30	1	
...
Domingo	0:00	0
	0:30	0
	1:00	0
	1:30	0
	2:00	0
	2:30	0
	3:00	0
	3:30	0
	4:00	0
	4:30	0
	5:00	0
	5:30	0
	6:00	0
	6:30	0
7:00	0	
7:30	0	
...

4.3.4 Sub-Rotina *CalculoEconomico*

A sub-rotina *CalculoEconomico* é a última das quatro sub-rotinas chamadas pela rotina principal. Esta é de elevada importância para o funcionamento da aplicação uma vez que, realiza cálculos entre as variáveis e vectores armazenados nas sub-rotinas anteriores, de forma à obtenção do resultado final.

A sub-rotina começa por calcular a energia consumida pelos motores eléctricos, de cada classe de rendimento, em cada intervalo de tempo com a duração de meia hora. Seguidamente, calcula o custo de funcionamento dos motores eléctricos para o período de Inverno e para o período de Verão, considerando ainda intervalos de tempo de meia hora. Posteriormente, irá calcular os valores do custo de funcionamento semanais, caso o período tarifário em utilização seja o *Ciclo Semanal* ou o *Ciclo Semanal Opcional*, ou irá calcular os valores do custo de funcionamento diários, caso o período tarifário em utilização seja o *Ciclo Diário*. Através destes valores será calculado o custo de funcionamento anual dos motores eléctricos pertencente a cada uma das classes de rendimento EFF2, EFF1 e *top-EFF1* que apresentem o número de pólos e a potência em causa. Tendo acesso à informação relativa ao preço e ao custo de funcionamento anual de cada um dos motores eléctricos, para as diferentes classes de rendimento, a sub-rotina irá efectuar o cálculo económico, produzindo um resultado, quantificado em anos, que indica o tempo necessário para que a escolha por uma determinada classe de rendimento seja economicamente vantajosa em relação às restantes opções.

Todo o procedimento efectuado pela sub-rotina *CalculoEconomico* é de seguida analisado em maior pormenor.

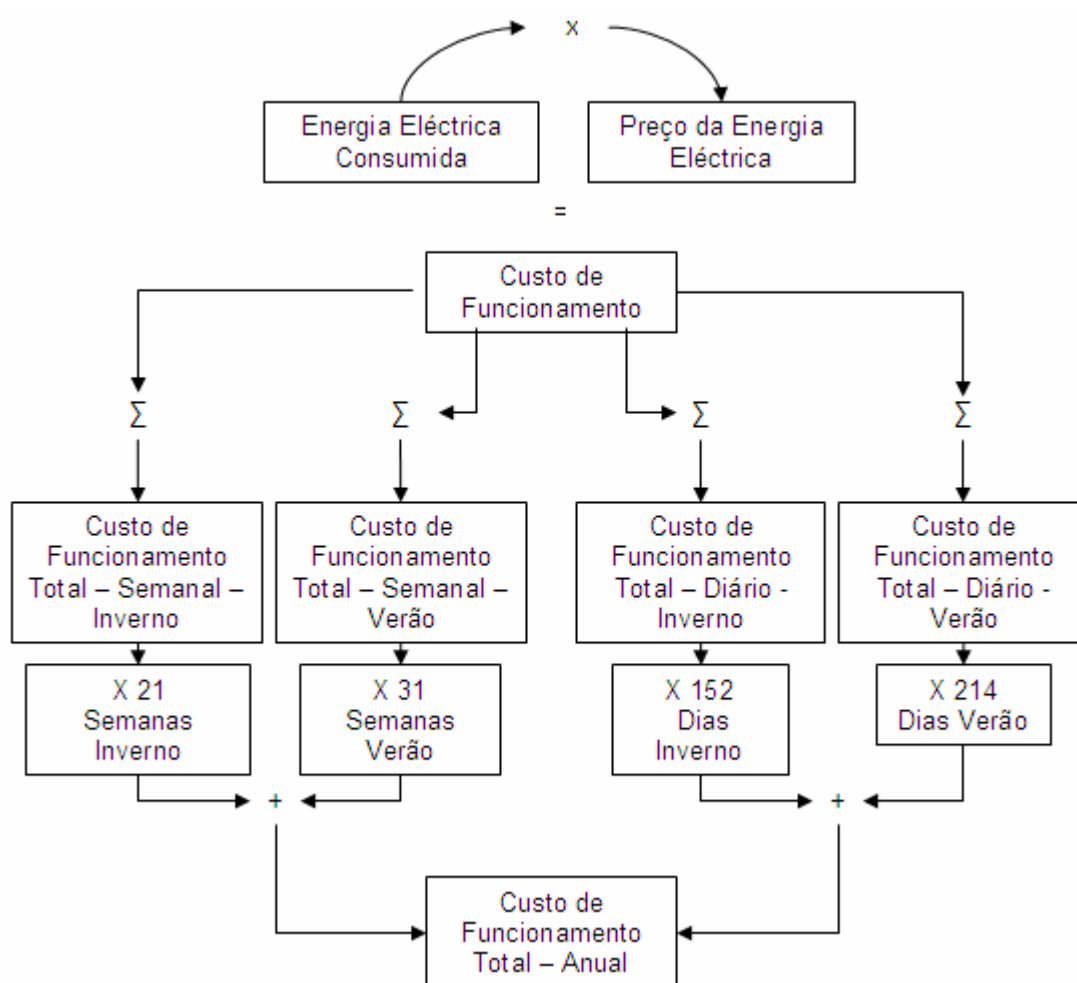


Figura 32 – Diagrama de Funcionamento da Parte Inicial da Sub-Rotina CalculoEconomico

São criados 3 vectores, sendo os elementos constituintes de cada um deles de valor igual à energia consumida, em cada intervalo de tempo, de duração de meia hora, para os motores eléctricos das classes de rendimento *abrangidas na aplicação*. Os valores dos elementos destes vectores são calculados através da seguinte expressão:

$$Energia Consumida = \frac{Potência Nominal \times Factor de Car ga}{Rendimento(Factor de Car ga)} \times \frac{1}{2} \quad (\text{kWh})$$

(Equação 5)

Sendo:

Potência Nominal – a potência nominal do motor eléctrico em questão - (kW);

Factor de Carga – o valor do factor de carga a que o motor se encontra em funcionamento, em cada intervalo de meia hora;

Rendimento (Factor de Carga) – o valor do rendimento do motor eléctrico, em cada intervalo de meia hora. É dependente do valor do *Factor de Carga* por razões já referidas anteriormente.

O factor 1/2 deve-se ao facto de estarem a ser considerados intervalos de tempo com duração igual a meia hora. Este factor faz com que tal consideração seja tomada em conta pela aplicação.

Especial atenção tem que ser dada a duas condições de funcionamento:

- Motor Desligado – neste modo de funcionamento o valor do factor de carga é nulo, mas também o valor do rendimento é nulo, como tal a sub-rotina iria estar perante uma indeterminação do tipo 0/0, para que tal não aconteça, é assumido automaticamente, por parte da ferramenta, que a energia consumida é nula.
- Funcionamento em Vazio – neste modo de funcionamento o rendimento é uma vez mais nulo, no entanto o motor apresenta consumo de energia, que irá alimentar perdas eléctricas e não eléctricas. Como tal é-lhe atribuído directamente o valor da energia consumida por essas mesmas perdas em vazio.

A Tabela 16 apresenta um exemplo dos três vectores, compostos pela energia consumida, em intervalos de meia hora, por um motor de 4 pólos magnéticos e 45kW de potência nominal, que se encontra a funcionar a diferentes regimes de carga, apresentando, portanto, diferentes factores de carga.

Os 3 vectores criados anteriormente serão multiplicados, cada um deles, pelos 2 vectores referentes ao tarifário eléctrico, sendo um deles referente ao período de Inverno e, outro, referente ao período de Verão, ver Figura 33.

Tabela 16 – Energia Consumida por Motores de 4 Pólos e 45kW das Diferentes Classes de Rendimento

Dia	Hora	Factor de Carga	EFF2(kWh)	EFF1(kWh)	top-EFF1(kWh)
Segunda-Feira	0:00		0	0	0
	0:30	Desligado	0	0	0
	1:00		1.322085	0.99545527	0.995455267
	1:30	Em Vazio	1.322085	0.99545527	0.995455267
	2:00		6.46551724	6.26391982	6.263919822
	2:30	< 50%	6.46551724	6.26391982	6.263919822
	3:00		12.3626374	11.9808307	11.98083067
	3:30	50%	12.3626374	11.9808307	11.98083067
	4:00		18.1646932	17.8760593	17.81942978
	4:30	75%	18.1646932	17.8760593	17.81942978
	5:00		24.0641711	23.8347458	23.7592397
	5:30	100%	24.0641711	23.8347458	23.7592397
	6:00		30.5706522	30.5706522	30.57065217
	6:30	> 100%	30.5706522	30.5706522	30.57065217
	7:00		24.0641711	23.8347458	23.7592397
	7:30	100%	24.0641711	23.8347458	23.7592397

Dia	Hora	Factor de Carga	eff2(kWh)	eff1(kWh)	top-eff1(kWh)	Periodo Horário - Inverno	€/kWh	Periodo Horário - Verão	€/kWh
Segunda-Feira	0:00		0	0	0		0.0472		0.05
	0:30	Desligado	0	0	0		0.0472		0.05
	1:00		1.322085	0.99545527	0.995455267	Vazio Normal	0.0472	Vazio Normal	0.05
	1:30	Em Vazio	1.322085	0.99545527	0.995455267	Vazio	0.0443	Vazio	0.0465
	2:00		6.46551724	6.26391982	6.263919822		0.0443		0.0465
	2:30	< 50%	6.46551724	6.26391982	6.263919822	Super Vazio	0.0443	Super Vazio	0.0465
	3:00		12.3626374	11.9808307	11.98083067		0.0443		0.0465
	3:30	50%	12.3626374	11.9808307	11.98083067		0.0443		0.0465
	4:00		18.1646932	17.8760593	17.81942978	Vazio Normal	0.0443	Vazio Normal	0.0465
	4:30	75%	18.1646932	17.8760593	17.81942978		0.0443		0.0465
	5:00		24.0641711	23.8347458	23.7592397	Vazio Normal	0.0443	Vazio Normal	0.0465
	5:30	100%	24.0641711	23.8347458	23.7592397		0.0443		0.0465
	6:00		30.5706522	30.5706522	30.57065217	Vazio Normal	0.0472	Vazio Normal	0.05
	6:30	> 100%	30.5706522	30.5706522	30.57065217	Cheias	0.0761	Cheias	0.0765
	7:00		24.0641711	23.8347458	23.7592397		0.0761		0.0765
	7:30	100%	24.0641711	23.8347458	23.7592397	Cheias	0.0761	Cheias	0.0765

Figura 33 – Multiplicação dos Vectors da Energia Consumida pelo Preço da Energia Eléctrica

Desta forma são obtidos 6 vectores, cada um deles composto por elementos de valor igual ao custo de funcionamento do motor eléctrico durante intervalos de meia hora.

A expressão considerada para a execução deste cálculo foi a seguinte:

$$\text{Custo de Funcionamento} = \text{Energia Consumida} \times \text{Preço da Energia} \quad (\text{Equação 6})$$

Considerando, ainda os vectores do exemplo anterior, e considerando como tarifário aplicável o de Média Tensão, Tarifa de Médias Utilizações – Ciclo Semanal, os vectores obtidos, referentes ao custo de funcionamento, serão semelhantes aos exemplificados pela Tabela 17.

Tabela 17 – Vectores de Custo de Funcionamento

Dia	Hora	EFF2 (€)		EFF1 (€)		top-EFF1 (€)	
		Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão
Segunda-Feira	0:00	0	0	0	0	0	0
	0:30	0	0	0	0	0	0
	1:00	0,062	0,066	0,047	0,050	0,047	0,050
	1:30	0,062	0,066	0,047	0,050	0,047	0,050
	2:00	0,286	0,301	0,277	0,291	0,277	0,291
	2:30	0,286	0,301	0,277	0,291	0,277	0,291
	3:00	0,548	0,575	0,531	0,557	0,531	0,557
	3:30	0,548	0,575	0,531	0,557	0,531	0,557
	4:00	0,805	0,845	0,792	0,831	0,789	0,829
	4:30	0,805	0,845	0,792	0,831	0,789	0,829
	5:00	1,066	1,119	1,056	1,108	1,053	1,105
	5:30	1,066	1,119	1,056	1,108	1,053	1,105
	6:00	1,443	1,529	1,443	1,529	1,443	1,529
	6:30	1,443	1,529	1,443	1,529	1,443	1,529
	7:00	1,831	1,841	1,814	1,823	1,808	1,818
	7:30	1,831	1,841	1,814	1,823	1,808	1,818
...

Relembrando que o objectivo desta parte do cálculo económico é a obtenção de valores dos custos de funcionamento anuais, para cada um dos motores eléctricos pertencentes às classes de rendimento EFF2, EFF1 e *top-EFF1*, é sucessivamente efectuado o somatório de todos os elementos dos vectores, obtendo-se assim 6 valores, a saber: o Custo Total de Funcionamento Semanal, separadamente para os períodos de Inverno e de Verão, para o motor da classe EFF2, idem para o motor da classe EFF1 e para o motor da classe *top-EFF1*, tudo isto no caso do período horário em utilização ser o *Ciclo Semanal* ou *Ciclo Semanal Opcional*. Caso o período horário em utilização seja o *Ciclo Diário*, todos os 6 valores referidos anteriormente dirão respeito ao Custo Total de Funcionamento Diário, nos períodos de Inverno e Verão, para os motores das 3 classes de rendimento *atrás discriminadas*.

Continuando com o exemplo que tem vindo a ser utilizado, esses valores seriam os seguintes:

Tabela 18 – Custo Total de Funcionamento Semanal ou Diário

	EFF2 (€)		EFF1 (€)		top-EFF1 (€)	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão
Custo Total de Funcionamento Semanal ou Diário	255,929	254,2101	252,9063	251,2276	252,3027	250,6505

Para que estes sejam convertidos em valores totais anuais é necessário efectuar a soma entre os custos anuais de funcionamento nos períodos de Inverno de Verão. Nesse sentido apurou-se, em média, anualmente há 21 semanas no período de Inverno e 31 semanas no período de Verão. Em termos diários, que existem 152 dias no período de Verão e 214 no período de Verão [14]

Como tal, a sub-rotina multiplica os 3 valores de Custo Total de Funcionamento no período de Inverno por 21 ou 152, caso o período tarifário em utilização seja o *Ciclo Semanal* ou o *Ciclo Semanal Opcional*, ou o *Ciclo Diário*, respectivamente. Sendo os restantes 3 valores de Custo Total de Funcionamento no período de Verão multiplicados por 31 ou 214, caso o período tarifário em utilização seja o *Ciclo Semanal* ou o *Ciclo Semanal Opcional*, ou o *Ciclo Diário*, respectivamente.

Para o exemplo considerado resulta, tendo em conta que o período horário em utilização é o *Ciclo Semanal*:

Tendo a sub-rotina obtido os valores do Custo Total de Funcionamento Anual para os motores da classe de rendimento EFF2, EFF1 e *top-EFF1*, e tendo acesso às variáveis onde estão armazenados os preços de aquisição desses mesmos motores, a sub-rotina tem a informação suficiente para completar o cálculo económico pretendido.

Para o exemplo considerado, os preços dos motores eléctricos das diferentes classes de rendimentos são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Preços dos Motores Eléctricos de 4 Pólos e 45kW das Diferentes Classes de Rendimento

Classe Rendimento	EFF2	EFF1	<i>top-EFF1</i>
Preço (€)	1999,4	2440,4	2805,41

Organizando esta informação em diagrama de caixa (diagramas *cash-flow*), os encargos económicos relativos à aquisição e utilização dos motores eléctricos daquelas 3 classes de rendimento apresentam a seguinte distribuição, considerando os valores do exemplo anterior e apenas um período de funcionamento de 7 anos:

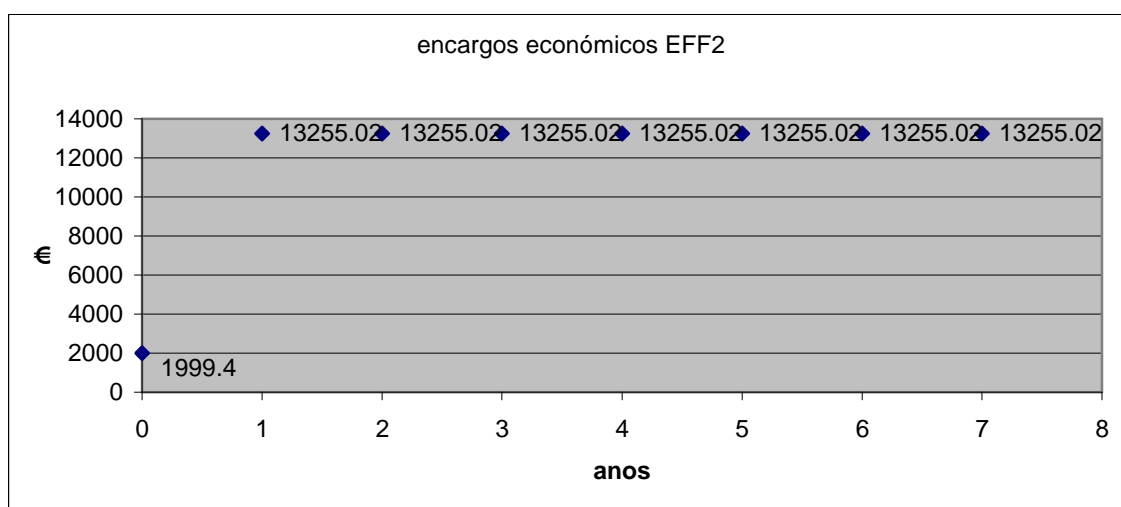


Figura 36 – Diagrama de Caixa representativo dos Encargos Económicos de um Motor de 4 Pólos, 45kW da Classe EFF2

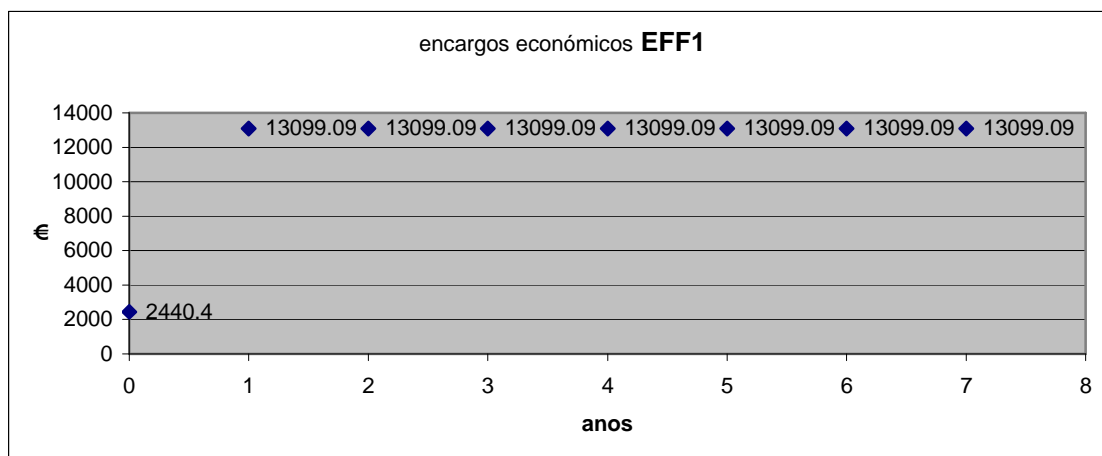


Figura 37 - Diagrama de Caixa representativo dos Encargos Económicos de um Motor de 4 Pólos, 45kW da Classe EFF1

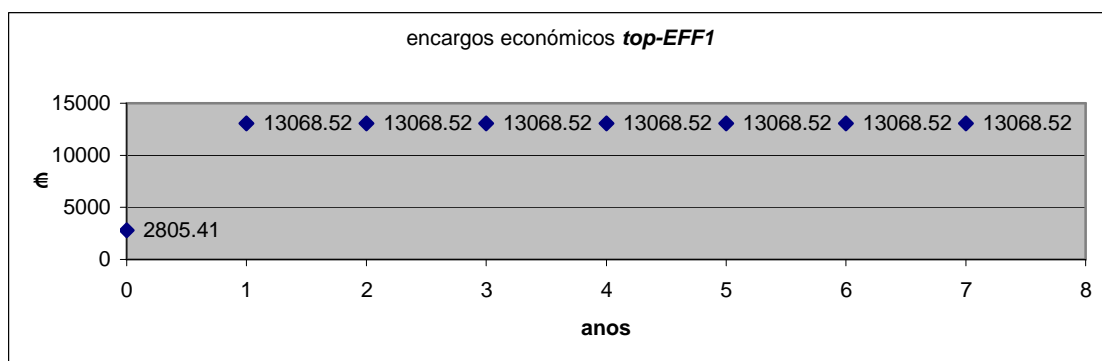


Figura 38 - Diagrama de Caixa representativo dos Encargos Económicos de um Motor de 4 Pólos, 45kW da Classe top-EFF1

Pela análise dos gráficos, facilmente se verifica que o preço dos motores eléctricos aumenta à medida que se consideram classes de rendimento mais elevadas e que o custo do seu funcionamento anual diminui à medida que se consideram classes de rendimento mais elevadas. Portanto, põe-se a seguinte questão: “Qual o motor eléctrico mais vantajoso, economicamente, para uma determinada utilização?”

Para tentar dar uma resposta a esta questão são efectuadas comparações entre os diferentes casos possíveis. Para tal foi considerado um caso base, isto é, partiu-se do princípio que o utilizador iria optar pelo motor eléctrico pertencente à classe de rendimento que apresentasse o preço mais baixo, disponível no mercado, sempre partindo do mesmo número de pólos magnéticos e duma mesma potência nominal, para

as 3 classes de rendimento disponíveis. Posteriormente, é feita uma comparação entre os encargos económicos de utilização de um motor eléctrico da classe de rendimento EFF2 e um motor eléctrico da classe de rendimento imediatamente superior (neste caso, EFF1). Uma outra comparação é feita entre os encargos económicos de utilização de um motor eléctrico da classe de rendimento EFF2 com um motor eléctrico da classe de rendimento mais elevada possível (na actualidade, *top-EFF1*). Tais comparações são ilustradas através dos seguintes gráficos:

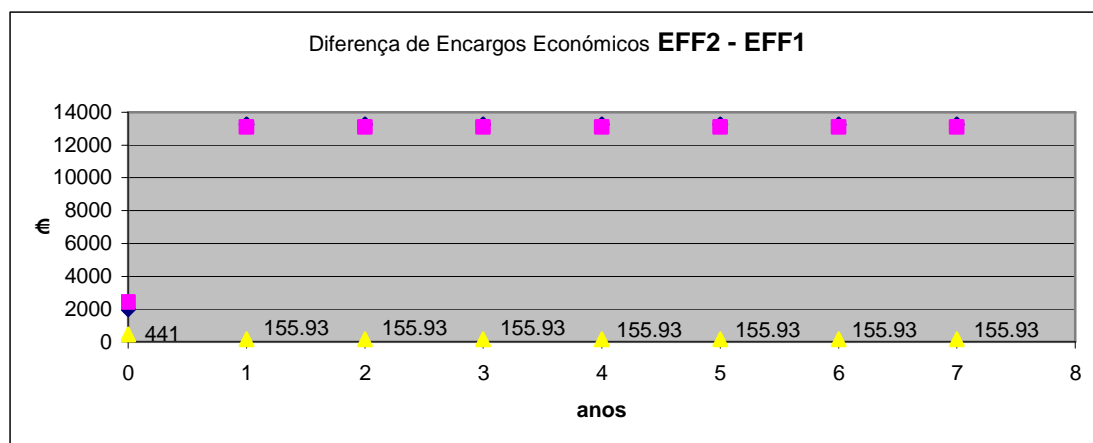


Figura 39 – Diagrama de Caixa representativo da Diferença de Encargos Económicos entre Motores de 4 Pólos, 45kW das Classe EFF2 e EFF1

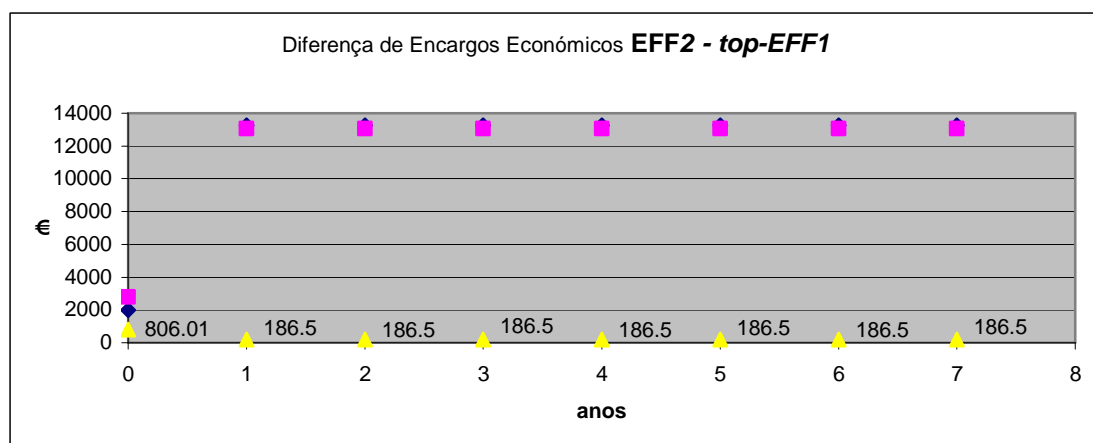


Figura 40 - Diagrama de Caixa representativo da Diferença de Encargos Económicos entre Motores de 4 Pólos, 45kW das Classe EFF2 e top-EFF1

Para a realização, de cada uma das comparações foi calculada a diferença entre o preço dos motores eléctricos de cada classe de rendimento e foi calculada, também, a diferença entre custos de funcionamento anual. De realçar que, na realidade, foi calculado o módulo do valor das diferenças, sendo este o valor representado nos gráficos e sendo este o valor utilizado pela sub-rotina.

A sub-rotina procura calcular o número de anos necessário para que o investimento inicial, isto é, o preço de aquisição em novo do motor eléctrico seja recuperado a partir dos fluxos financeiros gerados, entenda-se, o custo de funcionamento total anual. Ou, dito de outra forma, quantos anos seriam necessários para que a opção por um motor de classe EFF1 ou *top-EFF1*, em detrimento de um motor da classe EFF2, fosse remunerada e começasse a dar lucro para além do custo de oportunidade [15].

Um processo matematicamente exacto de calcular este número de anos, seria reduzir os fluxos de caixa a uma renda equivalente e, depois, verificar qual o valor de n que conduz a que, à taxa do custo de oportunidade, a renda equilibre o investimento.

A expressão para o cálculo da renda equivalente é:

$$C_0 = R \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad \text{(Equação 7)}$$

Na qual:

C_0 - Investimento Inicial (€);

R - Renda Anual (€);

i - Taxa de Custo de Oportunidade (%);

n - Número de Anos.

Aplicando esta fórmula ao caso em estudo, o valor de C_0 é o módulo da diferença dos preços dos motores das classes de rendimento em comparação, R é o módulo da diferença dos custos totais de funcionamento anual dos motores das classes de rendimento em comparação, enquanto que i é a Taxa do Custo de Oportunidade, considerada $i = 10\%$ [34].

Resolvendo esta equação em ordem ao número de anos n , obtém-se:

$$n = \frac{\ln\left(\frac{R}{R - C_0 \times i}\right)}{\ln(i + 1)} \quad \text{(Equação 8)}$$

Esta é a equação utilizada pela sub-rotina *CalculoEconomico* para cálculo do número de anos em que uma solução se paga e começa a apresentar lucros, em relação à opção base, isto é, à classe de rendimento EFF2.

Continuando com o exemplo seguido até agora, a Tabela 20, apresenta os valores dos módulos das diferenças, dos preços e do custo total de funcionamento, entre as classes EFF2 e EFF1, e entre as classes EFF2 e *top-EFF1*.

Tabela 20 – Diferenças de Preços e Custos Totais de Funcionamento

Classes Comparadas	EFF2 - EFF1	EFF2 - <i>top-EFF1</i>
Diferença Entre Preços (€)	441	806,01
Diferença Entre Custos Totais de Funcionamento Anual (€)	155,93	186,5

Introduzindo estes valores na equação utilizada:

$$n = \frac{\ln\left(\frac{155,93}{155,93 - 441 \times 0,1}\right)}{\ln(0,1 + 1)} = 3,49 \quad \text{(Equação 9)}$$

Conclui-se que a utilização de um motor da classe EFF1 em relação à utilização de um da classe EFF2, se auto-remunera num período de 3 anos e meio. Isto significa que, se o utilizador optar por um motor eléctrico da classe de rendimento EFF1, em detrimento de um motor da classe EFF2, num período de 3 anos e meio, o custo inerente ao maior preço do motor da classe EFF1 é igualado pela diminuição dos custos

de funcionamento anuais relativamente à utilização do motor da classe EFF2. Tornando-se, a partir deste período horário, mais vantajosa a aquisição e utilização de um motor da classe de rendimento EFF1.

Adicionalmente, de:

$$n = \frac{\ln\left(\frac{186,5}{186,5 - 806,01 \times 0,1}\right)}{\ln(0,1 + 1)} = 5,94 \quad \text{(Equação 10)}$$

Também se conclui que a utilização de um motor da classe *top-EFF1*, comparativamente com a opção por um de classe EFF2, já só se auto-remunera num período de aproximadamente 6 anos. A opção por um motor da classe *top-EFF1* tem uma justificação semelhante à anterior, embora seja de realçar o natural crescimento do período de tempo necessário para que ambos os investimentos se igualem.

Para que o utilizador possa formar uma opinião relativa à escolha entre um motor eléctrico das classes de rendimento EFF1 e *top-EFF1*, a aplicação também faz uma comparação entre estas duas alternativas, realizada da mesma forma que as comparações feitas para os casos anteriores e explicada seguidamente.

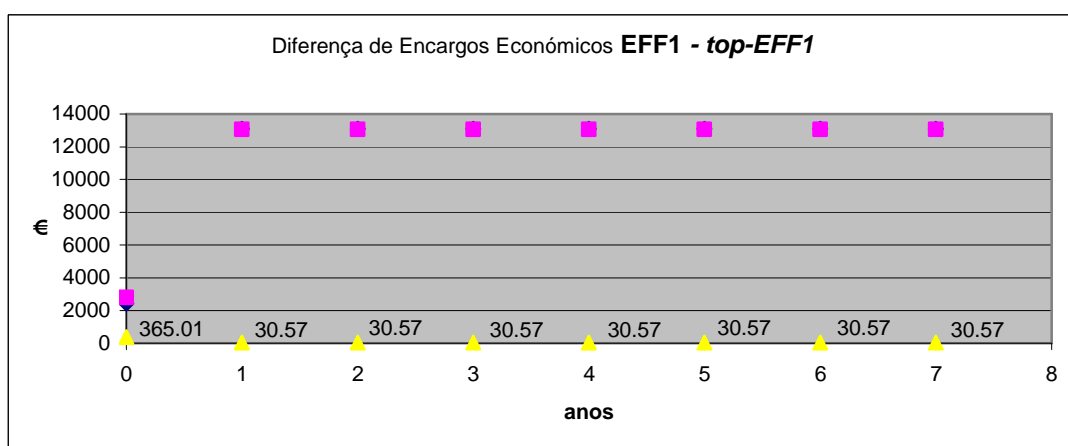


Figura 41 - Diagrama de Caixa representativo da Diferença de Encargos Económicos entre Motores de 4 Pólos, 45kW das Classe EFF1 e top-EFF1

Para o caso exemplificado, $R - C_0 \times i < 0$ e, como tal, a fórmula aplicada devolve um resultado impossível, uma vez que se encontra perante um logaritmo de um número negativo. Em termos reais, isto significa que, considerando a taxa i e o preço da energia eléctrica inalteráveis ao longo dos anos, a diminuição do custo do funcionamento total anual, produzida pela utilização de um motor *top-EFF1*, não é suficiente para compensar o rendimento anual, a uma taxa de 10%, da diferença entre os preços dos dois motores considerados. Para que tal seja economicamente viável, ao fim de n anos, é necessário que $R > C_0 \times i$.

5 Análise de Resultados

Para a realização da análise de resultados apuráveis com a ferramenta desenvolvida, foram testados vários cenários possíveis. Para tal, foram efectuadas variações em determinadas variáveis - tais como a potência nominal do motor, o tarifário eléctrico aplicável, as horas de funcionamento estipuladas, o factor de carga assumido - e foram registados os resultados assim obtidos para a realização de uma análise posterior. É o que se apresenta de seguida, com os resultados obtidos expressos em anos (número de anos que a opção por uma determinada alternativa demora a igualar, economicamente, a outra) e em que se utilizaram gráficos de barras, para facilitar o seu visionamento e interpretação.

- **Variação da Potência do Motor Eléctrico e Tarifário Energético**

Para avaliação da influência da variação da potência nominal do motor eléctrico e, também, do tarifário energético aplicável, foi considerado o funcionamento do motor por um período de 8h diárias, accionando uma carga de valor igual à carga nominal, encontrando-se o mesmo desligado no período restante. Esta situação foi testada perante 4 tarifários energéticos diferentes, mas possíveis: Baixa Tensão Especial – Tarifa de Médias Utilizações, Média Tensão - Tarifa de Médias Utilizações, Alta Tensão - Tarifa de Médias Utilizações e Muito Alta Tensão – Tarifa de Muito Alta Tensão, todos eles em Ciclo Semanal. Os resultados obtidos foram os seguintes:

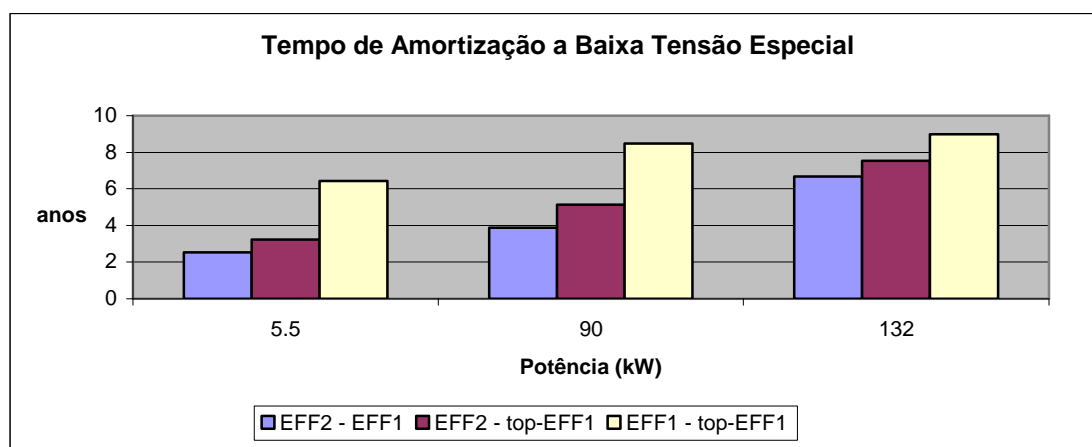


Figura 42 – Tempo de Amortização a Baixa Tensão Especial com Variação da Potência

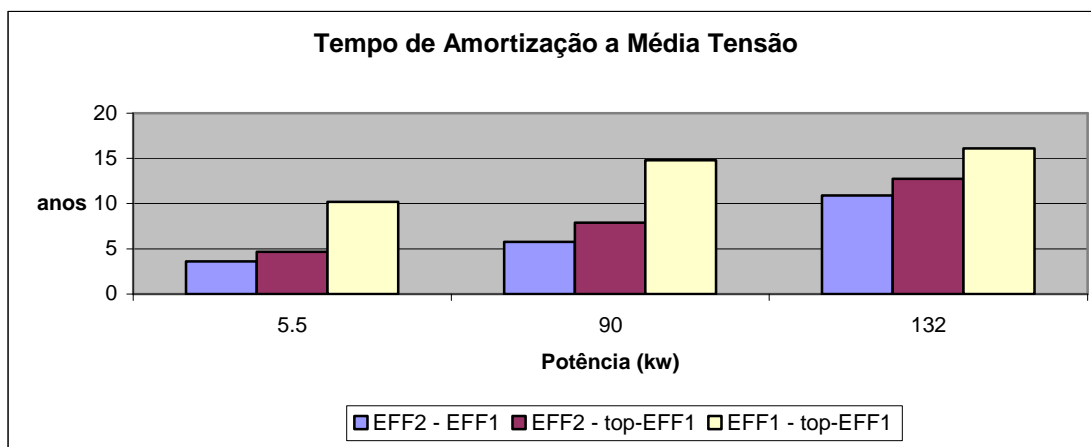


Figura 43 - Tempo de Amortização a Média Tensão com Variação da Potência

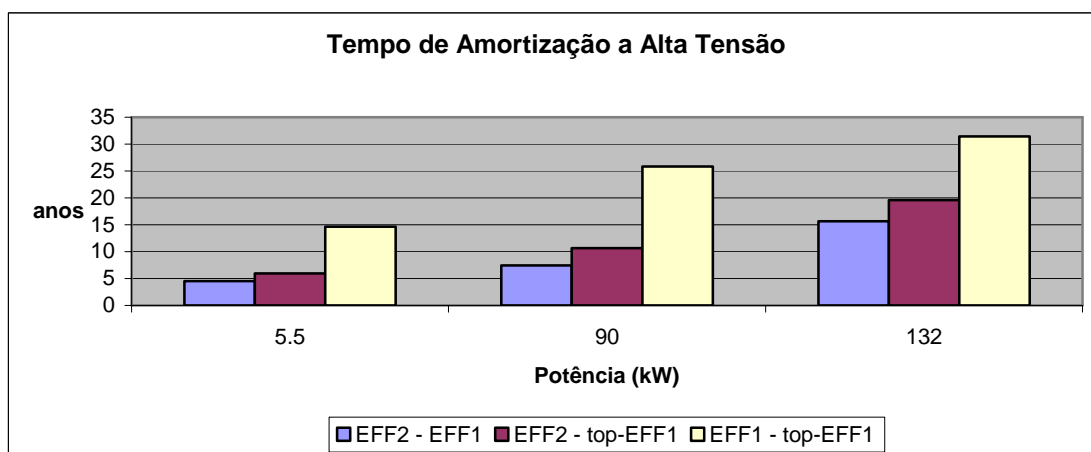


Figura 44 - Tempo de Amortização a Alta Tensão com Variação da Potência

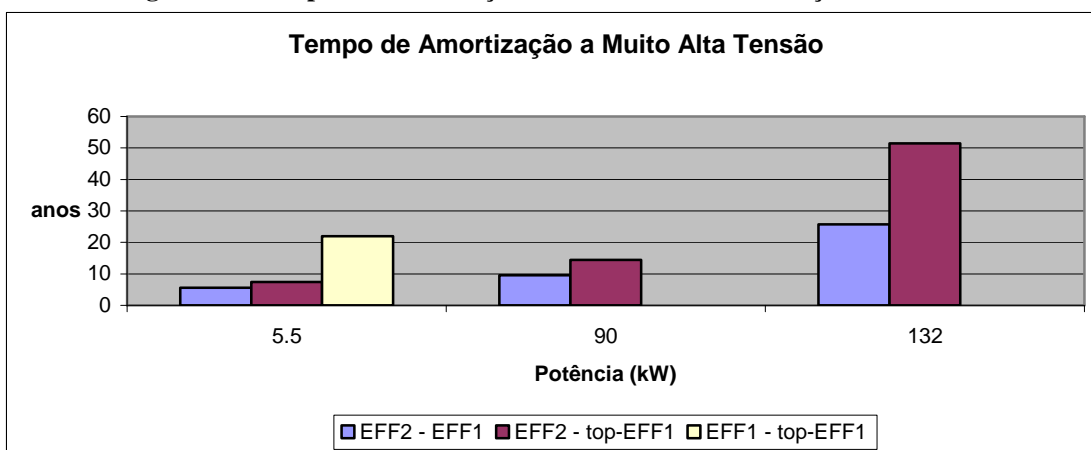


Figura 45 - Tempo de Amortização a Muito Alta Tensão com Variação da Potência

Através da análise de cada gráfico, em cada uma das opções tarifárias analisadas, conclui-se que o período de tempo necessário para que duas alternativas se igualem, diga-se tempo de amortização por motivos de simplificação, aumenta à medida que aumenta a potência nominal do motor. Como era de esperar, tal fica a dever-se ao facto de, para motores maiores, os valores do respectivo rendimento nominal, serem mais próximos uns dos outros, entre classes de rendimento diferentes, do que para os motores mais pequenos.

Adicionalmente e como também seria de prever, a comparação “a potência nominal constante”, por análise dos últimos 4 gráficos, mostra que os tempos de amortização aumentam à medida que o preço da energia diminui. Note-se que o preço da energia eléctrica diminui com o aumento do nível de tensão de entrega e, como tal, o preço da energia eléctrica é continuamente decrescente desde a Baixa Tensão Especial, passando pela Média Tensão e pela Alta Tensão, até à Muito Alta Tensão. Com a diminuição deste preço os custos anuais totais de funcionamento também irão diminuir e, conseqüentemente, será necessário um período temporal mais longo para que duas alternativas se igualem do ponto de vista económico. Outro aspecto que se retira do gráfico da Figura 45 é o facto de que a maior potência nominal dos motores eléctricos (90kW e 132kW), aliada a um mais baixo preço da energia eléctrica consumida (Tarifa de Muito Alta Tensão), faz com que a opção por um motor eléctrico da classe *top-EFF1*, em detrimento de um de classe *EFF1*, não seja lá muito promissor pelo menos de um ponto de vista puramente económico.

- **Variação do Período de Funcionamento**

Para a análise da influência do período de funcionamento do motor eléctrico, no tempo de amortização, foi considerada a condição de funcionamento de um motor de 4 pólos magnéticos e 90kW de potência nominal, accionando uma carga nominal durante 8h, 16 e 24h diárias, 1 turno laboral, 2 turnos laborais e 3 turnos laborais, respectivamente. Como tarifário eléctrico aplicável foi considerada, a recepção de energia eléctrica em Baixa Tensão Especial – Tarifa de Médias Utilizações. Os resultados obtidos apresentam-se no gráfico da Figura 46.

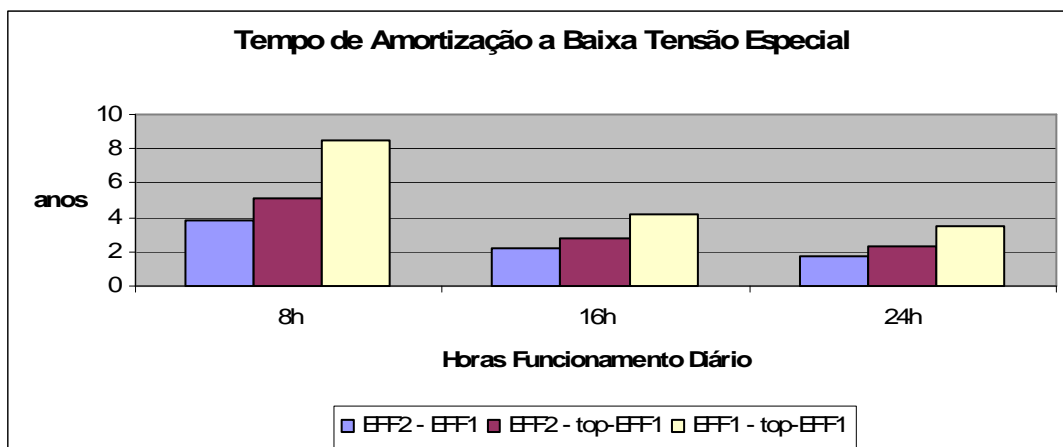


Figura 46 – Tempo de Amortização a Baixa Tensão Especial com Variação do Tempo de Funcionamento

Analisando o gráfico da Figura 46 constata-se que o período de funcionamento condiciona o período de amortização, uma vez que este aumenta à medida que o período de funcionamento diminui. Tal é facilmente justificado pelo facto de que, quanto maior for o período diário de funcionamento do motor eléctrico, maior será a energia consumida por este diariamente, assim contribuindo para um maior custo total de funcionamento anual. E, como já referido anteriormente, quanto maior for o valor dos custos totais de funcionamento anual, mais rapidamente a opção por um motor eléctrico de classe de rendimento superior iguala a opção por um motor de classe de rendimento inferior, logo com menor preço de aquisição.

Uma vez mais, se verifica que alterando o preço da energia eléctrica, por variação do nível de tensão de entrega, este tem influência no período temporal necessário para que duas opções de investimento se igualem economicamente. Como já referido anteriormente, quanto maior é o preço da energia eléctrica, menor é o tempo de amortização entre dois motores de classes de rendimento diferentes, o que também fica bem demonstrado nos gráficos das Figuras 46, 47, 48 e 49.

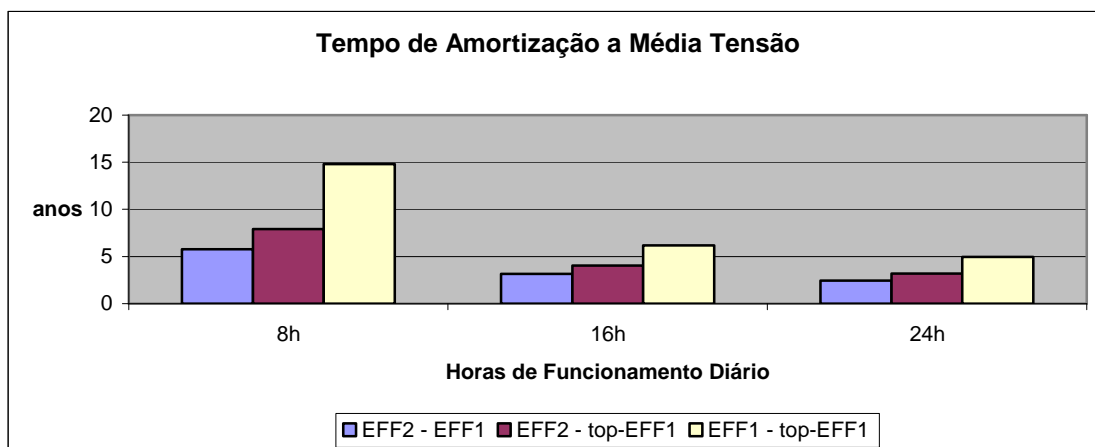


Figura 47 - Tempo de Amortização a Média Tensão com Variação do Tempo de Funcionamento

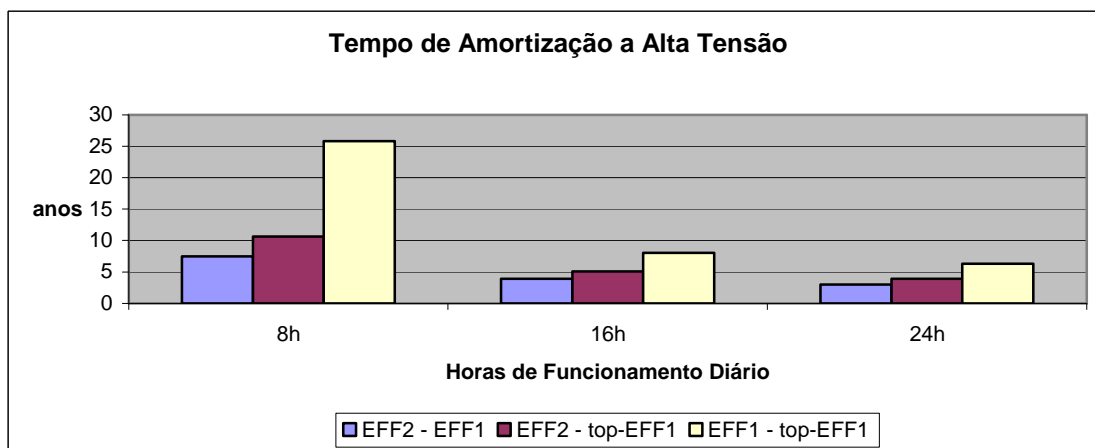


Figura 48 - Tempo de Amortização a Alta Tensão com Variação do Tempo de Funcionamento

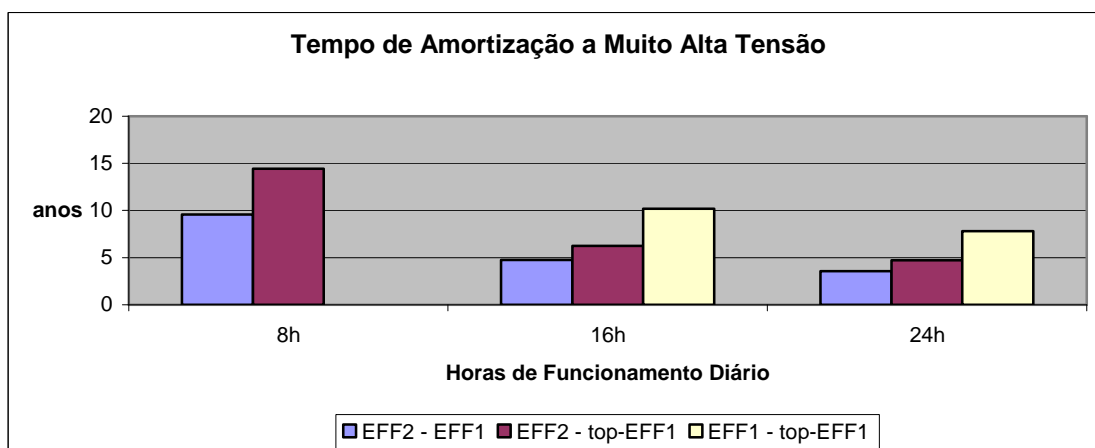


Figura 49 - Tempo de Amortização a Muito Alta Tensão com Variação do Tempo de Funcionamento

Pela análise deste último gráfico, vê-se que o baixo preço da energia eléctrica (Tarifa de Muito Alta Tensão), aliado a um período de funcionamento diário reduzido (8h – 1 turno laboral), faz com que a opção por um motor da classe de rendimento *top-EFF1*, em detrimento por um da classe EFF1 volte a não ser economicamente promissor.

- **Variação do Factor de Carga**

Foi também verificada a influência que o factor de carga produz no tempo de amortização. Para tal foi considerado o funcionamento do mesmo hipotético motor de 4 pólos magnéticos e 90kW de potência nominal, sendo o tarifário energético aplicável o de Média Tensão – Tarifa de Médias Utilizações, Ciclo Semanal. Considerou-se que o motor funcionava durante 8h diárias (1 turno laboral), ao longo de 5 dias úteis por semana, accionando, em alternativa, cargas de < 50%, 50%, 75% e 100% da respectiva carga nominal. Os resultados obtidos são os apresentados no gráfico da Figura 50.

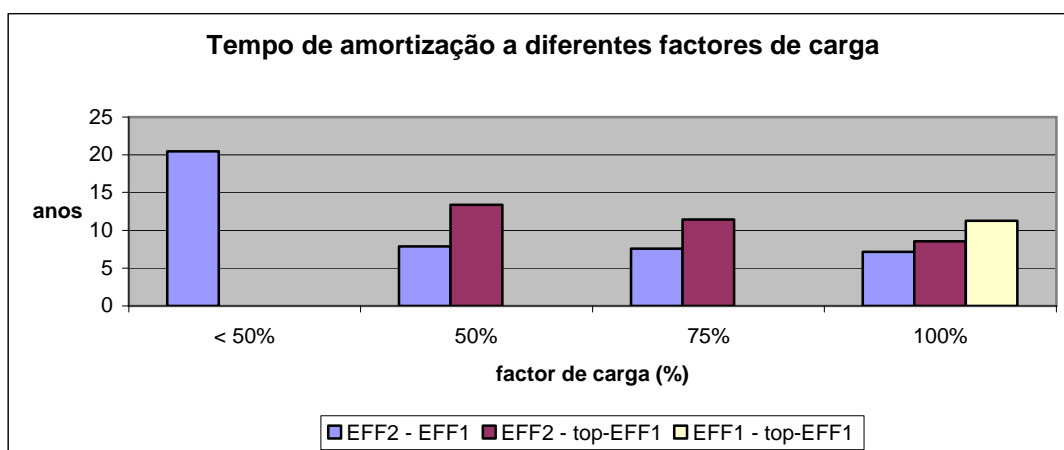


Figura 50 - Tempo de Amortização a Diferentes Factores de Carga para Motores de 4 Pólos 90kW

Por análise do gráfico, fica evidente que o factor de carga influencia de forma significativa o tempo necessário para que duas alternativas de investimento se igualem. É constatado que quanto menor o factor de carga, maior é o tempo de amortização, sendo que, para factores de carga menores que 50% da respectiva carga nominal, a opção por um motor de classe *top-EFF1*, em detrimento da opção por um motor da classe de rendimento EFF2 não chega sequer a ser economicamente interessante, não o sendo também por maioria de razões, a opção por um motor pertencente à classe *top-EFF1* face ao pertencente à classe EFF1.

Para o caso da alimentação de cargas com valores sucessivamente iguais a 50% e a 75% da carga nominal do motor, a escolha de um motor da classe *top-EFF1*, em detrimento da opção por um da classe EFF1 também não parece ser economicamente promissora, já o sendo, no entanto, para o caso em que o motor trabalha com a sua carga nominal (após cerca de 11 anos de funcionamento).

O factor de carga a que o motor vai estar sujeito, ao influenciar directamente o respectivo rendimento e, portanto, influenciar também directamente a potência por ele consumida (ver equação 5), vai condicionar, de forma significativa, os consumos totais anuais de energia eléctrica, acabando por ter um grande peso no tempo necessário para que duas alternativas de investimento se igualem.

Dos testes efectuados à aplicação desenvolvida verificou-se que os mesmos eram teoricamente credíveis e diversificados, claramente dependentes das inúmeras variáveis consideradas; para além disso, também se verificou a boa sensibilidade da aplicação aos diferentes pesos condicionadores do resultado final associados às diversas variáveis envolvidas.

6 Conclusões e Perspectivas de Desenvolvimento

A preocupação com uma boa gestão dos recursos, que o planeta dispõe, está a crescer de uma forma visível. Têm-se vindo a desenvolver tecnologias para a criação de energias alternativas, não poluentes e amigas do ambiente. Este aspecto tem de facto uma importância enorme, mas, e sem retirar qualquer protagonismo a estas tecnologias, a ideia principal deste projecto e do conceito da eficiência energética, é colocar em primeiro lugar a optimização dos sistemas energéticos, de forma a diminuir os consumos energéticos, mantendo ou mesmo aumentando a qualidade de serviço, tanto do ponto de vista do consumidor como do ponto de vista da produção.

Demonstrada, a enorme importância, dos motores eléctricos de indução trifásicos, nos valores de energia eléctrica consumida mundialmente, é evidenciada a prioridade que os sistemas electromecânicos, integrando este tipo de motores, possuem, no processo de implementação de uma política de eficiência energética, a nível mundial. Desta forma, é necessária uma boa escolha do motor eléctrico a utilizar em determinado sistema, justificando-se assim a criação da ferramenta apresentada.

Neste trabalho foi apresentada uma ferramenta para aconselhamento na escolha da classe de rendimento de motores eléctricos. Para tal, foi feito um estudo em torno dos conceitos gerais de funcionamento de um motor eléctrico de indução trifásico, das suas grandezas características e da forma como estas variam perante diversas condições de funcionamento. Foram apresentadas normas de classificação de motores eléctricos de indução trifásicos, em relação à sua classe de rendimento, em vigor na Europa e fora dela (nomeadamente nos EUA). Foi abordada a problemática da necessidade de uma norma internacional que unifique todo o sistema de classificação de motores eléctricos por forma a eliminar possíveis erros e equívocos por parte de fabricantes e de consumidores.

A ferramenta apresentada foi desenvolvida no sentido de fornecer ao utilizador informação, expressa em número de anos, referente ao período necessário para que a escolha de um motor eléctrico de uma classe de rendimento superior iguale a escolha de um motor eléctrico de uma classe de rendimento inferior, em termos puramente económicos.

Perante os diferentes resultados apresentados por esta aplicação é possível concluir que a escolha de um motor eléctrico, pertencente a uma determinada classe de rendimento, é condicionada por várias variáveis, influenciando estas, de forma e com pesos diferentes, o resultado final. Concluiu-se que a potência nominal do motor utilizado influencia o tempo de amortização entre opções, na medida em que quanto maior é a potência nominal do motor, maior é o tempo de amortização. Concluiu-se também que, quanto maior é o preço da energia eléctrica, menor será o tempo de amortização entre as várias opções. Outra conclusão foi retirada, em relação ao tempo de funcionamento do motor eléctrico, sendo que, quanto maior é o tempo de funcionamento, menor é o tempo de amortização. E, finalmente, conclui-se que o factor de carga é a variável que maior importância apresenta, uma vez que afecta directamente o valor da energia consumida pelo motor eléctrico através do valor do seu rendimento, sendo o tempo de amortização tanto maior quanto menor for o factor de carga.

De tudo isto se concluiu que a opção por motores eléctricos de classes de rendimento superiores se justifica quando este se encontra a funcionar por longos períodos de tempo, e/ou accionando cargas de elevado factor de carga, e/ou funcionando com preços de energia de mais elevado valor e/ou quando a sua potência nominal é menor. O que poderá ser bem menos promissor no caso de não se verificar um ou mais desses pressupostos.

Este trabalho poderia ser alvo de um maior desenvolvimento, nomeadamente em relação à informação contida na aplicação. Em particular, refere-se a expansão dos valores dos rendimentos e das perdas apresentados pelos motores eléctricos em diferentes regimes de funcionamento. A pesquisa de informação relativa a rendimentos de motores eléctricos de indução trifásicos demonstrou-se difícil por não estarem disponíveis os valores de rendimentos a diferentes regimes de carga; como tal, numerosas simplificações e aproximações tiveram de ser feitas neste campo. A título de exemplo, as perdas em vazio não são normalmente apresentadas pelos respectivos fabricantes e, mesmo para motores com 4 pólos magnéticos, foi necessário recorrer a dados de simulação. Pelo que será mais um campo de possível desenvolvimento do trabalho agora apresentado.

Em termos de cálculo económico, não foram consideradas alterações ao preço da energia eléctrica ao longo da vida útil do motor. Na realidade, tal não corresponde à

realidade, sendo os preços da energia eléctrica alvo de grandes oscilações na panorâmica actual. Como tal, este campo também é susceptível de desenvolvimento futuro.

Um outro campo sobre o qual existem inúmeras perspectivas de desenvolvimento é o campo referente aos diagramas de cargas. Neste ponto foi efectuada uma pesquisa sobre os possíveis diagramas de carga a que os motores eléctricos poderiam estar sujeitos. No entanto, tal pesquisa revelou-se, de certa forma, limitada. Um estudo neste campo seria seguramente interessante, uma vez que há pouca informação disponível e, pelo presente trabalho, foi confirmada, de forma quantificada, a elevada importância do factor de carga na escolha da classe de rendimento de motores eléctricos de indução trifásicos.

Esta ferramenta não contempla a utilização de motores associados a variadores de velocidade, nem abrange os custos de exploração relacionados com a manutenção de sistemas electromecânicos, sendo este, portanto, um campo com perspectivas de desenvolvimento.

Lista de Referências

- [1] IEC 60034-30: Rotating electrical machines – Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors, IEC, Reino Unido, 31 de Agosto de 2007
- [2] Industrial motor systems energy efficiency, IEA, Paris, 7 de Julho de 2006
- [3] Voluntary Agreement of CEMEP, CE/CEMEP, 1998
- [4] <http://sunbird.jrc.it/energyefficiency/eurodeem/index.htm>, acedido em Outubro de 2007
- [5] Costa, Artur; Capitulo2, Máquinas de indução trifásicas, FEUP, Março 2006
- [6] Araújo, Lucínio Preza; Introdução aos automatismos industriais
- [7] Actions to promote energy efficient electric motors, Contract nº 4.1031/E/94-008, European Commission – DG XVII
- [8] Amaral, S.; Standard Drives: Utilização Racional de Energia, PROMOTE Aveiro, Março 2006;
- [9] Sá, Carlos Araújo; Motores Eléctrico de Rendimento Melhorado Uma boa aposta!, INGENIUM, Março/Abril 2007
- [10] Energy Management Guide For Selection and Use of Fixed Frequency Medium AC Squirrel-Cage Polyphase Induction Motors, NEMA Standards Publication MG 10-2001 (R2007), NEMA, EUA, Outubro 2001
- [11] Sá, Carlos Araújo; On the Evolution of Induction Motor Parameters, FEUP, Portugal
- [12] Tarifário de venda de energia eléctrica a Clientes Finais, EDP, Portugal, 2008
- [13] Decreto-Lei nº. 17/96, de 8 de Março, artigo 1º
- [14] www.oal.ul.pt, acedido em Dezembro de 2007
- [15] Miranda, Vladimiro; Tópicos de Matemática Financeira – para Aplicação em Gestão de Energia, FEUP, Portugal, Março 2006
- [16] Almeida, A. De, Bertoldi, P., Leonhard, W.; Energy Efficiency Improvements in Electric Motors and Drives, Springer, Heidelberg, 1997

- [17] Almeida, A. De, Fonseca, P., Ferreira, F., Guisse, F., Blaise, J., Clair, E., Diop, A., Previ, A., Dominiononi, A. C., Pillo, M. Di, Russo, S., Falkner, H., Reichert. J., Tonsing, E., Malmose, K., Improving the Penetration of Energy-Efficient Motors and Drives, European Commission, ISR – Universidade de Coimbra, Portugal
- [18] Almeida, A. De, Fonseca, P., Ferreira, F., Chretien, B., Falkner, H., Reichert. J., West M., Nielsen, S., Both, D., VSDs for Electric Motors Systems, European Commission, ISR – Universidade de Coimbra, Portugal
- [19] Kirtley Jr., J. L., Designing Squirrel Cage Rotor Slots with High Conductivity, MIT, Cambridge, Massachusetts, USA, 13 de Setembro de 2002
- [20] Efficiency List, U.S. Department Of Energy, Washington State University, 2002
- [21] www.weg.com.br, acessido em Novembro de 2007
- [22] www.dutchi.com, acessido em Novembro de 2007
- [23] www.cemep.org, acessido em Outubro de 2007
- [24] www.seeem.org, acessido em Outubro de 2007
- [25] www.copper-motor-rotor.org, acessido em Outubro de 2007
- [26] www.edp.pt, acessido em Novembro de 2007
- [27] www.iec.ch, acessido em Dezembro de 2007
- [28] www.nema.org, acessido em Outubro de 2007
- [29] www.csa.ca, acessido em Novembro de 2007
- [30] www.copant.org, acessido em Novembro de 2007
- [31] www.standards.co.nz, acessido em Novembro de 2007
- [32] www.prof2000.pt/users/lpa, acessido em Novembro de 2007
- [33] www.energy.gov, acessido em Dezembro de 2007
- [34] www.cgd.pt, acessido em Janeiro 2008

Anexo 1 - Eficiências-Limite para classificação de Motores Eléctricos pela Norma Americana - NEMA

NOMINAL FULL-LOAD EFFICIENCIES OF ENERGY EFFICIENT MOTORS

Hp	Open Motors				Enclosed Motors			
	2 Pole	4 Pole	6 Pole	8 Pole	2 Pole	4 Pole	6 Pole	8 Pole
1.0	....	82.5	80.0	74.0	75.5	82.5	80.0	74.0
1.5	82.5	84.0	84.0	75.5	82.5	84.0	85.5	77.0
2.0	84.0	84.0	85.5	85.5	84.0	84.0	86.5	82.5
3.0	84.0	86.5	86.5	86.5	85.5	87.5	87.5	84.0
5.0	85.5	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5	85.5
7.5	87.5	88.5	88.5	88.5	88.5	89.5	89.5	85.5
10.0	88.5	89.5	90.2	89.5	89.5	89.5	89.5	88.5
15.0	89.5	91.0	90.2	89.5	90.2	91.0	90.2	88.5
20.0	90.2	91.0	91.0	90.2	90.2	91.0	90.2	89.5
25.0	91.0	91.7	91.7	90.2	91.0	92.4	91.7	89.5
30.0	91.0	92.4	92.4	91.0	91.0	92.4	91.7	91.0
40.0	91.7	93.0	93.0	91.0	91.7	93.0	93.0	91.0
50.0	92.4	93.0	93.0	91.7	92.4	93.0	93.0	91.7
60.0	93.0	93.6	93.6	92.4	93.0	93.6	93.6	91.7
75.0	93.0	94.1	93.6	93.6	93.0	94.1	93.6	93.0
100.0	93.0	94.1	94.1	93.6	93.6	94.5	94.1	93.0
125.0	93.6	94.5	94.1	93.6	94.5	94.5	94.1	93.6
150.0	93.6	95.0	94.5	93.6	94.5	95.0	95.0	93.6
200.0	94.5	95.0	94.5	93.6	95.0	95.0	95.0	94.1
250.0	94.5	95.4	95.4	94.5	95.4	95.0	95.0	94.5
300.0	95.0	95.4	95.4	....	95.4	95.4	95.0	....
350.0	95.0	95.4	95.4	....	95.4	95.4	95.0	....
400.0	95.4	95.4	....	....	95.4	95.4	....	....
450.0	95.8	95.8	....	....	95.4	95.4	....	....
500.0	95.8	95.8	....	....	95.4	95.8	....	....

NOMINAL FULL-LOAD EFFICIENCIES FOR NEMA PREMIUM® EFFICIENCY ELECTRIC

HP	Open Motors			Enclosed Motors		
	2 Pole	4 Pole	6 Pole	2 Pole	4 Pole	6 Pole
1	77.0	85.5	82.5	77.0	85.5	82.5
1.5	84.0	86.5	86.5	84.0	86.5	87.5
2	85.5	86.5	87.5	85.5	86.5	88.5
3	85.5	89.5	88.5	86.5	89.5	89.5
5	86.5	89.5	89.5	88.5	89.5	89.5
7.5	88.5	91.0	90.2	89.5	91.7	91.0
10	89.5	91.7	91.7	90.2	91.7	91.0
15	90.2	93.0	91.7	91.0	92.4	91.7
20	91.0	93.0	92.4	91.0	93.0	91.7
25	91.7	93.6	93.0	91.7	93.6	93.0
30	91.7	94.1	93.6	91.7	93.6	93.0
40	92.4	94.1	94.1	92.4	94.1	94.1
50	93.0	94.5	94.1	93.0	94.5	94.1
60	93.6	95.0	94.5	93.6	95.0	94.5
75	93.6	95.0	94.5	93.6	95.4	94.5
100	93.6	95.4	95.0	94.1	95.4	95.0
125	94.1	95.4	95.0	95.0	95.4	95.0
150	94.1	95.8	95.4	95.0	95.8	95.8
200	95.0	95.8	95.4	95.4	96.2	95.8
250	95.0	95.8	95.4	95.8	96.2	95.8
300	95.4	95.8	95.4	95.8	96.2	95.8
350	95.4	95.8	95.4	95.8	96.2	95.8
400	95.8	95.8	95.8	95.8	96.2	95.8
450	95.8	96.2	96.2	95.8	96.2	95.8
500	95.8	96.2	96.2	95.8	96.2	95.8

**Anexo 2 - Valores dos Rendimentos Nominais de
Referência para Classificação de Motores Eléctricos
segundo o VA**

Class definition for 4-pole motors, according to this agreement

kW	<i>eff3 - motors</i> η_N	<i>eff2 - motors</i> η_N	<i>eff1 - motors</i> η_N
1.1	< 76,2	\geq 76,2	\geq 83,8
1.5	< 78,5	\geq 78,5	\geq 85,0
2.2	< 81,0	\geq 81,0	\geq 86,4
3	< 82,6	\geq 82,6	\geq 87,4
4	< 84,2	\geq 84,2	\geq 88,3
5.5	< 85,7	\geq 85,7	\geq 89,2
7.5	< 87,0	\geq 87,0	\geq 90,1
11	< 88,4	\geq 88,4	\geq 91,0
15	< 89,4	\geq 89,4	\geq 91,8
18.5	< 90,0	\geq 90,0	\geq 92,2
22	< 90,5	\geq 90,5	\geq 92,6
30	< 91,4	\geq 91,4	\geq 93,2
37	< 92,0	\geq 92,0	\geq 93,6
45	< 92,5	\geq 92,5	\geq 93,9
55	< 93,0	\geq 93,0	\geq 94,2
75	< 93,6	\geq 93,6	\geq 94,7
90	< 93,9	\geq 93,9	\geq 95,0

Class definition for 2-pole motors, according to this agreement

kW	<i>eff3 - motors</i> η_N	<i>eff2 - motors</i> η_N	<i>eff1 - motors</i> η_N
1.1	< 76,2	\geq 76,2	\geq 82,8
1.5	< 78,5	\geq 78,5	\geq 84,1
2.2	< 81,0	\geq 81,0	\geq 85,6
3	< 82,6	\geq 82,6	\geq 86,7
4	< 84,2	\geq 84,2	\geq 87,6
5.5	< 85,7	\geq 85,7	\geq 88,6
7.5	< 87,0	\geq 87,0	\geq 89,5
11	< 88,4	\geq 88,4	\geq 90,5
15	< 89,4	\geq 89,4	\geq 91,3
18.5	< 90,0	\geq 90,0	\geq 91,8
22	< 90,5	\geq 90,5	\geq 92,2
30	< 91,4	\geq 91,4	\geq 92,9
37	< 92,0	\geq 92,0	\geq 93,3
45	< 92,5	\geq 92,5	\geq 93,7
55	< 93,0	\geq 93,0	\geq 94,0
75	< 93,6	\geq 93,6	\geq 94,6
90	< 93,9	\geq 93,9	\geq 95,0

