



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Microgeração de energia elétrica através de exercício físico

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica na Especialidade de Sistemas de Produção

Autor

João Manuel Domingues Antunes

Orientadores

Professor Doutor Fernando Ventura Antunes

Professor Doutor André Manuel dos Santos Mendes

Júri

Presidente Professora Doutora Ana Paula Bettencourt Martins Amaro
Professora Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogais Professor Doutor Fernando Ventura Antunes
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
Professor Doutor André Manuel dos Santos Mendes
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra
Professor Doutor José Domingos Moreira da Costa
Professor Associado da Universidade de Coimbra

Coimbra, Julho, 2012

“Vede sempre o lado melhor das coisas e não o pior.

Mas o melhor meio para alcançar a felicidade é contribuir para a felicidade dos outros. Procurai deixar o mundo um pouco melhor de que o encontrastes e quando vos chegar a vez de morrer, podeis morrer felizes sentindo que ao menos não desperdiçastes o tempo e fizestes todo o possível por praticar o bem.”

Baden-Powell, em *A Última Carta do Chefe*, 1941.

Aos meus pais e à minha irmã, por tudo.

Agradecimentos

O trabalho que aqui se apresenta só foi possível graças à colaboração e apoio de algumas pessoas, às quais não posso deixar de prestar o meu reconhecimento:

Ao Professor Doutor Fernando Ventura Antunes, pela dedicação na orientação e auxílio incondicional ao longo do trabalho, pelos ensinamentos e disponibilidade constante.

Ao Professor Doutor André Manuel dos Santos Mendes, que se disponibilizou em todos os momentos, com ensinamentos e sugestões.

Uma vez mais, aos meus pais por toda a motivação e confiança que depositaram em mim.

A todos os meus amigos de longa data, em particular à Helena Martins e ao Miguel Esteves, pelo apoio durante estes anos de faculdade.

A todos, o meu muito obrigado.

[Folha deixada intencionalmente em branco.]

Resumo

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um equipamento destinado a gerar energia elétrica por acionamento humano, através da adaptação de um aparelho específico de exercício físico, com um sistema mecânico capaz de ativar um gerador.

Pretende-se que a solução adotada seja económica, segura, compacta e flexível, de forma que o aparelho possa ser utilizado por adolescentes e adultos, além de ter uma função didática, na poupança e geração de energia.

Para cumprir os objetivos, o sistema de transmissão do aparelho foi dimensionado para ser ativado no mínimo por um adolescente de 55 kg, de forma a gerar uma potência mecânica de 250 W.

No dimensionamento elétrico não foi possível atingir a potência desejada, devido à escolha de componentes elétricos *standard*. A seleção e aplicação destes, implicou a diminuição da potência elétrica para 120 W.

Este equipamento funciona em conformidade com os requisitos das normas portuguesas de segurança aplicadas aos aparelhos de treino fixo.

Terminada a análise conceptual do aparelho, conclui-se que a energia humana transformada em energia elétrica renovável é viável apresentando contudo, valores de retorno económico baixos.

Palavras-chave: acionamento humano, gerar eletricidade, microgeração, *stepper*

[Folha deixada intencionalmente em branco.]

Abstract

The purpose of this work is the development of equipment intended to generate electrical power with the use of human action, by adapting a specific exercise machine with a mechanical system capable of activating a generator.

It is intended that the adopted solution is economical, safe, compact and flexible; in order to be used by adolescents and adults. It also has a pedagogical function, about saving and generating energy.

To meet the objectives, the transmission system of the device was dimensioned to be activated at least by one 55 kg adolescent, in order to generate a mechanical power of 250 W.

In the electrical dimensioning it wasn't possible to achieve the desired power, due to the choice of standard electrical components. The selection and application of these implied the decrease of electric power to 120 W.

This equipment functions in accordance with the requirements of the Portuguese security rules applied to fixed training devices.

After the conceptual analysis of the device, it can be concluded that human energy converted into renewable electrical energy is viable; but has low payback values.

Keywords human action, generate electricity, microgeneration, *stepper*

[Folha deixada intencionalmente em branco.]

Índice

Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas	xi
Simbologia e Siglas.....	xiii
Simbologia.....	xiii
Siglas	xiv
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Estrutura.....	3
2. Revisão bibliográfica.....	5
2.1. Energia	5
2.2. Mecanismos de transmissão	8
2.3. Geração de Corrente Elétrica	11
2.3.1. Máquinas de Corrente Contínua.....	11
2.3.2. Inversores	15
2.3.3. Regulador de tensão contínua (DC-DC).....	17
2.4. Atividade física.....	17
2.4.1. Fitness	17
2.4.2. Ergonomia	18
2.4.3. Equipamentos com acionamento humano.....	20
3. Desenvolvimento do produto.....	25
3.1. Análise Conceptual.....	25
3.2. Gerador de energia.....	28
3.2.1. Seleção do Gerador.....	28
3.2.2. Seleção do Regulador de Tensão.....	31
3.2.3. Seleção do Inversor.....	32
3.3. Análise Quantitativa.....	33
3.3.1. Transmissão Mecânica.....	33
3.3.2. Geração	35
3.3.3. Acumulação.....	39
3.3.4. Análise Estrutural	42
3.4. Ergonomia	47
4. Estimativa de custos.....	49
5. Conclusões e Trabalhos futuros.....	53
Referências bibliográficas	55
Bibliografia.....	56
Anexos.....	57
A - Dados Técnicos REN, 2011.....	57

B - Inversor de Corrente DC/AC.	61
C - Chumaceira de escorregamento.	63
D - Rótula.	65
E - Bucha flangeada.	67
F - Acoplador de veios.	69
G - Conversor DC-DC.	71
H - Inversor DC/AC.	73
I - Bateria.	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. As diversas fontes de energia, transformação, distribuição e consumo [1].....	6
Figura 2. Fontes de energia renovável e não renovável [1].....	6
Figura 3. Esquema elétrico de um sistema de microgeração [1].	8
Figura 4. Mecanismos para alteração de velocidade angular.	9
Figura 5. Mecanismos de alteração de movimento de translação em rotação.	11
Figura 6. Motor DC de ímanes permanentes.....	12
Figura 7. Ilustração de um gerador DC básico	12
Figura 8. Efeito do movimento da espira, detalhe do coletor e das escovas	13
Figura 9. (a) Escovas (b) Ação do comutador	14
Figura 10. Ilustração do campo magnético criado por eletroímãs.	14
Figura 11. Exemplo de um inversor 12V-220V de 300W.	16
Figura 12. Exemplo de uma aplicação de um inversor <i>Grid-Tie</i>	16
Figura 13. Conversor de tensão DC-DC (159x97x38mm)	17
Figura 14. Ângulos máximos permitidos pela anca [13].	19
Figura 15. Ângulos máximos permitidos pelo joelho [13].....	19
Figura 16. Ângulos máximos permitidos pelo pé [13].....	19
Figura 17. Gerador a pedais.....	21
Figura 18. (a) Adaptação para uma bicicleta; (b) Gerador manual	21
Figura 19. Tipos de <i>stepper</i> [15].....	22
Figura 20. Tipos de bicicleta [15].....	22
Figura 21. Tipos de remos [15].	23
Figura 22. Alternativas de conceção.	26
Figura 23. Equipamento desmontado parcialmente.....	26
Figura 24. Dimensões do aparelho.	27
Figura 25. Pedais.....	28
Figura 26. Gerador MY1016.	29
Figura 27. Gráfico do gerador testado, Volts/r.p.m.	30
Figura 28. Conversor DC-DC, modelo VC 6.8S, (79x74x31 mm).	31
Figura 29. Inversor DC-AC, marca TRONIC, modelo KH3901.....	32

Figura 30. Mecanismo biela-manivela.....	33
Figura 31. Transmissão por correia.....	34
Figura 32. Caixa multiplicadora.....	34
Figura 33. Transmissão direta.....	34
Figura 34. Força aplicada aos pedais.....	36
Figura 35. Raio da polia trapezoidal e comprimento da manivela.....	36
Figura 36. Relação de raios entre as polias dentadas.....	37
Figura 37. Engrenagem.....	37
Figura 38. Biela-manivela.....	38
Figura 39. Gráfico distância/graus.....	39
Figura 40. Gráfico força/graus.....	39
Figura 41. Diagrama de blocos.....	40
Figura 42. Curva Volts-Carga.....	40
Figura 43. Apresentação do aparelho exteriormente.....	43
Figura 44. Ilustração das reações no pedal.....	43
Figura 45. Eixo que suporta o pedal.....	44
Figura 46. Biela.....	45
Figura 47. Tubo roscado.....	45
Figura 48. Apoio do pedal estático.....	46
Figura 49. Apoio do pedal estático.....	46
Figura 50. Ângulo dos pedais.....	47

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Potência consumida em diferentes atividades [14].	20
Tabela 2. Especificações do motor	29
Tabela 3. Tempo de duração da bateria consoante a potência do inversor.	41
Tabela 4. Custos da estrutura do aparelho.	50
Tabela 5. Custos dos componentes elétricos.	51

[Folha deixada intencionalmente em branco.]

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

AC – Corrente alternada

b – Braço

d – Diâmetro

DC – Corrente contínua

Ea – Tensão gerada

F – Força

g – Aceleração gravítica

I – Intensidade de corrente

I_y – Momento de inércia

i – Relação de transmissão

K – Constante

M – Momento fletor

m – Massa

n – Frequência rotacional

P – Potência

R – Resistência elétrica

r – Raio primitivo das polias

T – Binário

V – Tensão

Z – Número de dentes

Φ – Fluxo magnético

σ – Tensão normal

τ – Tensão de corte

ω – Velocidade angular

Siglas

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

EDP – Energias de Portugal

EN – Norma Europeia

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

NP – Norma Portuguesa

ONU – Organização das Nações Unidas

REN – Rede Elétrica Nacional

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

O consumo de energia a nível mundial é bastante elevado, presumindo-se que aumente no futuro. Atualmente os recursos energéticos, a geração e o consumo de energia de cada país são bastante diferenciados. Neste contexto, o nosso país importa desde eletricidade a combustíveis fósseis, o que faz com que as faturas energéticas das famílias sejam bastante dispendiosas. Esta energia não renovável de origem fóssil é poluente, com reserva finita, resultando numa falta de sustentabilidade económica e ambiental. Conscientes destes fatores, nomeadamente os custos de aquisição desta energia, as famílias têm procurado alterar os seus hábitos de consumo. Atualmente todas as formas de economizar, reaproveitar e gerar energia (elétrica, térmica...) são consideradas vantajosas, na medida em que seja garantida a sua renovabilidade e consequentemente a sua sustentabilidade. Em Dezembro de 2010, a Assembleia Geral da ONU declarou 2012, o ano internacional da sustentabilidade energética para todos. Trata-se pois de um tema bastante atual e de preocupação mundial.

Um aspeto importante na dinâmica cultural contemporânea é a preocupação crescente das pessoas com a sua saúde e com a boa forma física. Neste contexto, introduz-se o conceito de *Fitness*, que significa aptidão física, tendo como função traçar um padrão de treino para que um indivíduo possa chegar ao estado de boa condição física, através das componentes: flexibilidade, força, eficiência cardiovascular, resistência aeróbica e resistência muscular localizada. O *Fitness* incentiva a busca do equilíbrio entre a dedicação e o prazer, a saúde mental e a emocional, que ajuda a controlar os sentimentos e as ansiedades originadas pela vida agitada da atualidade. Como foi referido, o recurso ao exercício físico contribui para a manutenção da saúde e bem estar das pessoas. Atualmente o culto do corpo exige a prática de muitas horas de exercício por dia/semana.

No âmbito deste estudo está a geração de energia elétrica, por acionamento de aparelhos de exercício físico. Os desportistas que utilizam regularmente os diversos aparelhos, para se manterem em forma e assegurarem uma boa saúde, vão aproveitar a sua energia para gerar eletricidade. Para isso é preciso adaptar e desenvolver os aparelhos

destinados à prática de exercício físico. A energia elétrica será acumulada numa bateria e posteriormente convertida, para poder ser utilizada no consumo da própria habitação ou comercializada na rede elétrica geral, ou seja, pretende-se um sistema de microgeração para uso doméstico. Esta técnica já é utilizada em ginásios (E.U.A. e Japão), com o propósito de reduzir os custos elétricos dos mesmos.

1.2. Objetivos

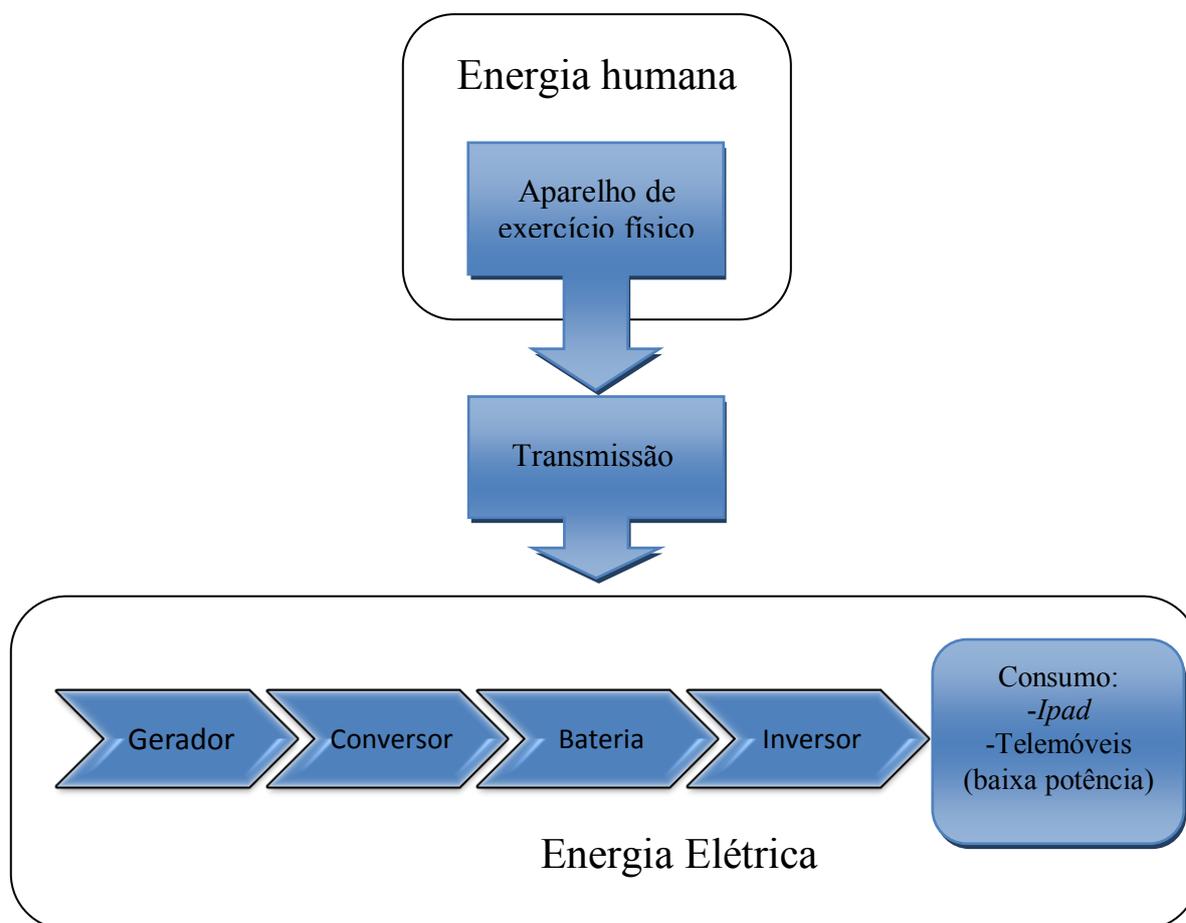
O objetivo geral da presente tese consiste no desenvolvimento de um equipamento destinado a gerar energia elétrica por acionamento humano. Pretende-se adaptar um aparelho específico de exercício físico, com um sistema mecânico capaz de ativar um gerador, com a finalidade de obter a máxima potência elétrica.

Pretende-se ainda que a solução adotada seja económica, segura, compacta e flexível, para que o aparelho possa ser utilizado por diversas pessoas de uma mesma família, incluindo adultos, adolescentes e idosos, do sexo masculino e feminino. Este equipamento também tem uma função didática, uma vez que vai sensibilizar os seus utilizadores para o problema da poupança e geração de energia.

Os objetivos específicos da dissertação de tese são os seguintes:

- ✓ Selecionar um gerador elétrico.
- ✓ Selecionar um modelo de máquina de exercício físico e desenvolver estudo ergonómico.
- ✓ Fazer a conceção da máquina de exercício físico.
- ✓ Projetar um mecanismo conversor do movimento e força humana em *input* do gerador.
- ✓ Selecionar componentes para o sistema elétrico.
- ✓ Analisar os custos de produção do equipamento.

Esquemáticamente:



1.3. Estrutura

Para concretizar o objetivo proposto - a geração de energia por acionamento humano – a presente tese foi estruturada da seguinte forma: o capítulo 2 analisa o estado da arte em relação ao consumo de energia, ao tipo de máquinas rotativas capazes de gerar energia elétrica, aos diversos aparelhos de exercício físico e à sua ergonomia, aos meios de transmissão mecânica e aos aparelhos elétricos necessários. O capítulo 3 apresenta o desenvolvimento do produto, que se traduz na análise conceptual e quantitativa. O capítulo 4 trata da produção do equipamento, consistindo na análise de custos. As conclusões e sugestões para trabalhos futuros encontram-se no capítulo 5.

[Folha deixada intencionalmente em branco.]

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Energia

Ao longo da história da ocupação da Terra pela humanidade, a utilização de energia passou por diversas fases. Na antiguidade era usada a força muscular do homem; mais tarde, com a domesticação de animais, foi possível utilizar a sua força. Com a invenção da roda deu-se uma grande evolução nos transportes. Muito mais tarde, no século XVII, deu-se a invenção da máquina a vapor que permitiu a revolução industrial. No final do século XIX, surgiu o motor de combustão interna bem como o gerador elétrico.

O disseminar do consumo de energia elétrica a nível mundial, juntamente com a evolução tecnológica, fez aumentar o consumo energético. Este consumo não é igual em todos os países, sendo muito superior nos países industrializados. A energia elétrica é largamente utilizada por ser relativamente fácil de transportar e de converter em outras energias. Um dos grandes problemas da eletricidade é não poder ser armazenada em períodos muito longos, implicando que a sua produção seja adaptada a cada instante ao consumo.

A procura incessante de energia originou a construção de grandes centrais elétricas, principalmente centrais térmicas. A maior parte destas consome somente produtos de origem fóssil, no entanto, existem outras fontes de energia que produzem razoavelmente, como a hidroelétrica, a eólica, ondas do mar, solar e geotérmica, conforme exemplificado na Figura 1.

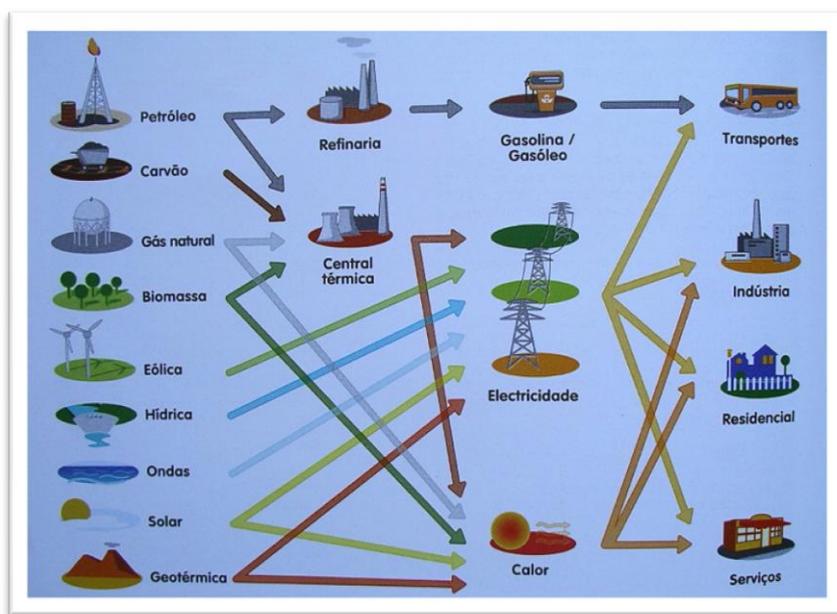


Figura 1. As diversas fontes de energia, transformação, distribuição e consumo [1].

As atividades humanas utilizam muita energia, cuja principal fonte são os combustíveis fósseis. A falta de sustentabilidade ambiental e económica faz com que se torne crucial encontrar outras soluções energeticamente viáveis. Com base na consciência destes fatores, surgiu o conceito de energia renovável.

De facto, as fontes de energia podem ser renováveis ou não renováveis, Figura 2. As principais fontes de energia não renováveis convencionais são: o petróleo, gás natural, carvão e nuclear. As energias ditas renováveis são as que têm origem em fontes naturais que são supostamente inesgotáveis e estão normalmente associadas a um baixo impacto ambiental. As principais fontes são: biomassa, hídrica, eólica, geotérmica, ondas do mar, marés e solar.



Figura 2. Fontes de energia renovável e não renovável [1].

Como foi referido, ao longo dos anos tem-se centralizado as fontes de energia (grandes centrais), mas esse paradigma está em mudança; existem países que têm apostado em descentralizar para reduzir perdas nas redes de distribuição e a dependência externa.

Na última década, Portugal tem feito grandes esforços para diminuir a sua dependência energética, investindo em diversas formas de geração de energia limpa, tais como a fotovoltaica, eólica e hídrica. É um país que tem o privilégio de ter as maiores taxas de incidência de sol anualmente na Europa, aliado a uma geografia que permite ter grandes e diversas barragens e ainda parques de turbinas eólicas [2].

Desde o ano de 2007, o Estado português tem incentivado a população a adquirir sistemas de microgeração, oferecendo regalias a quem for produtor. Infelizmente estes sistemas são bastante dispendiosos quando adquiridos e aplicados. O Estado tem ainda investido em diversas fontes renováveis, uma das mais recentes, em 2008, foi o aproveitamento da energia das ondas do mar. No final de 2010, o Grupo EDP dispunha de um mix energético globalmente equilibrado entre centrais convencionais (combustíveis fósseis) e centrais renováveis (eólica, hídrica e biomassa). Em termos de potência instalada, as centrais renováveis representam cerca de 61% da capacidade total. Desde 2009, mais de metade da energia elétrica produzida tem origem em fontes renováveis, embora no ano de 2011 tenha reduzido para 48%. Estas variações existem porque há fatores condicionantes: são energias que dependem muito das condições climáticas como o vento, a chuva e o sol, o que implica grandes diferenças de consumos de energias renováveis entre anos, como se pode verificar nos dados da REN no anexo A.

Para sistemas de microgeração doméstica, como demonstra a Figura 3, existem variadas soluções comerciais, que têm como base painéis voltaicos e pequenas turbinas eólicas.

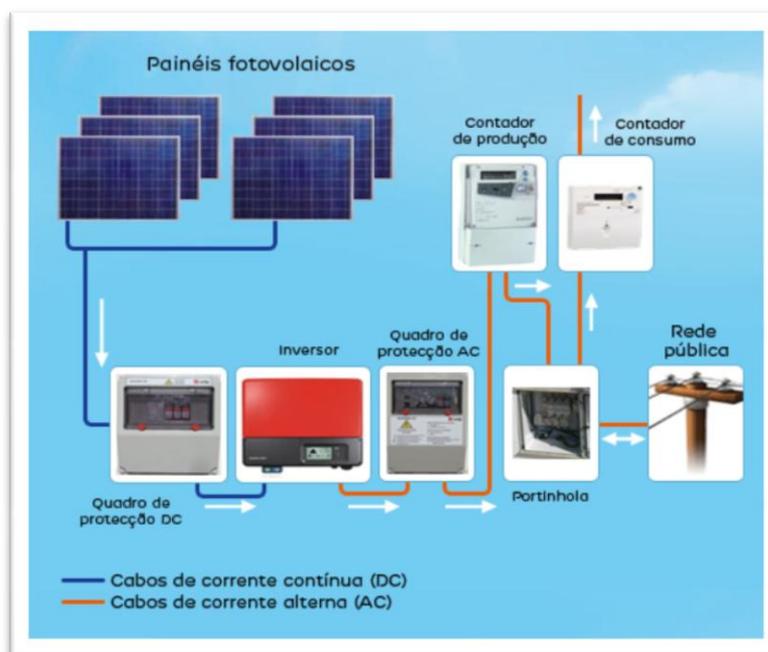


Figura 3. Esquema elétrico de um sistema de microgeração [1].

Dependendo das necessidades ou vantagens económicas, estes equipamentos domésticos podem ser utilizados de diferentes formas: Consumo Base, onde o equipamento funciona continuamente à sua potência nominal; Picos de Consumo, o equipamento funciona apenas para cobrir os picos de consumo; Equipamento Auxiliar de Segurança, fornece a potência total necessária quando ocorrem falhas inesperadas da rede elétrica; Fornecimento Ininterrupto de Eletricidade, fornece potência constante independente da rede elétrica.

2.2. Mecanismos de transmissão

O equipamento em estudo envolve multiplicação de velocidade angular e transformação de movimento de translação em movimento de rotação. Na Figura 4 podem ver-se as diferentes soluções disponíveis para alterar uma velocidade de rotação. As transmissões por corrente ou correia (a) permitem transmitir movimento angular (e força) entre veios paralelos que estão a distâncias relativamente grandes. As transmissões por rodas dentadas (b) são as mais utilizadas em maquinaria. De facto, permitem soluções bastante compactas, e o espaço é muitas vezes crucial. Nos relógios, por exemplo, as rodas dentadas têm dimensões minúsculas. Quando as engrenagens são metálicas têm elevada capacidade de transmissão de potência e permitem elevadas velocidades de rotação, porém

são relativamente caras, necessitam de lubrificação e são um pouco ruidosas. As rodas de plástico têm a vantagem de ser bastante leves e baratas se forem produzidas em grandes séries. A transmissão por rodas cónicas (c) tem por objetivo alterar a direção do movimento, permitindo também uma variação de velocidade. O redutor epicicloidal (d) permite relações de transmissão bastante elevadas em soluções bastante compactas. Finalmente, a transmissão fuso-roda helicoidal (e) permite grandes reduções de velocidade. Tem também a grande vantagem de auto-bloquear se o ângulo de inclinação da rosca do fuso for suficientemente pequeno. Isso inibe a transmissão de movimento da roda para o fuso o que é interessante em algumas aplicações como as máquinas de elevação de carga. Porém, normalmente só funciona bem sendo o fuso o elemento motor e tem uma dissipação de energia relativamente grande. De facto, a transmissão de movimento implica um grande escorregamento entre o fuso e conseqüentemente problemas de desgaste e perdas por atrito.

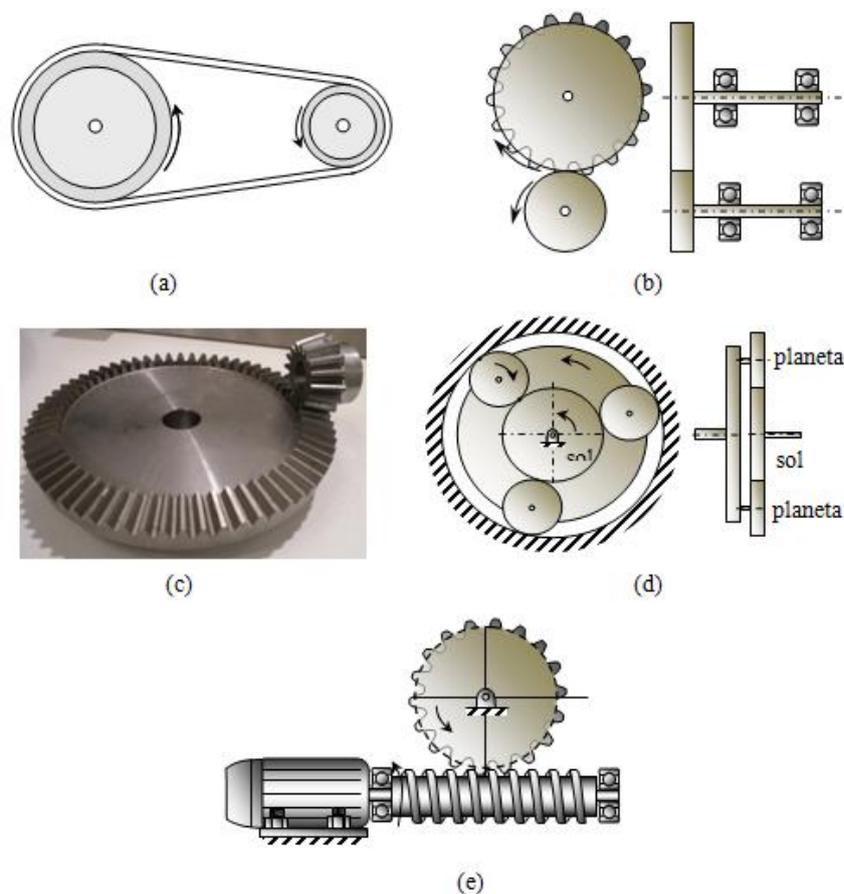


Figura 4. Mecanismos para alteração de velocidade angular.

(a) Transmissão por correia ou corrente; (b) Transmissão por engrenagem; (c) Transmissão por rodas cónicas; (d) Transmissão epicicloidal; (e) transmissão fuso-roda.

Estas soluções aparecem muitas vezes combinadas, com o objetivo de somar os seus efeitos. As engrenagens, por exemplo, aparecem muitas vezes com vários estágios, com o objetivo de aumentar a relação de velocidades.

Define-se relação de transmissão como sendo a relação entre as velocidades dos veios rápido e lento:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (1)$$

Verifica-se que a relação de transmissão também é igual à relação entre os raios primitivos das rodas. No caso de rodas dentadas, os raios primitivos podem ser substituídos pelos números de dentes. Na transmissão por fuso-roda, o número de dentes a considerar para o fuso é o número de entradas.

Para transformar movimento de translação em rotação existem as duas soluções ilustradas na Figura 5: pinhão-cremalheira e biela-manivela. No mecanismo biela-manivela a manivela roda totalmente, enquanto a biela somente oscila entre duas posições extremas. Nos motores de combustão interna, a expansão do ar resultante da combustão provoca o movimento do pistão, que é transformado em movimento de rotação utilizando este mecanismo. O mecanismo pinhão-cremalheira é perfeitamente reversível. A cremalheira pode ser vista como um troço de uma roda dentada de raio infinito. No sentido oposto, ou seja, na transformação da rotação em translação existem outras soluções como as cames, fuso-cubo, mecanismo de scotch e mesmo transmissões com cabos, tambores e roldanas [7].

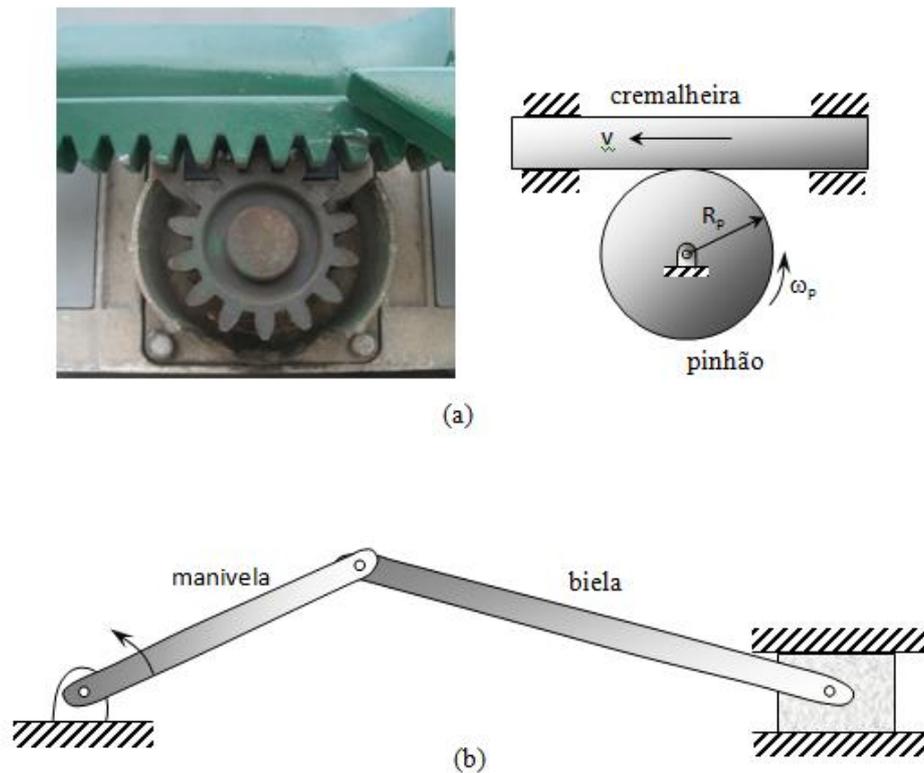


Figura 5. Mecanismos de alteração de movimento de translação em rotação.

2.3. Geração de Corrente Elétrica

2.3.1. Máquinas de Corrente Contínua

As máquinas de corrente contínua, DC, são capazes de converter energia elétrica em mecânica e vice-versa, i.e., funcionando como motor ou gerador. Estas máquinas têm a mesma base de construção diferindo no sentido da conversão de energia. As máquinas DC são iguais em alguns aspetos às da corrente alternada síncrona (AC), pois produzem tensão e correntes em AC, simplesmente têm um dispositivo que converte para DC, chamado comutador [3].

Um gerador DC é constituído por um estator e um rotor como demonstra a Figura 6. O rotor é o elemento rotativo da máquina, sendo composto por um eixo onde estão montadas as bobinas de fio de cobre, em torno de um núcleo laminado de ferro. O estator é o elemento fixo da máquina que gera os pólos do campo magnético. Estes pólos podem ser criados por ímanes permanentes ou por eletroímãs [4].

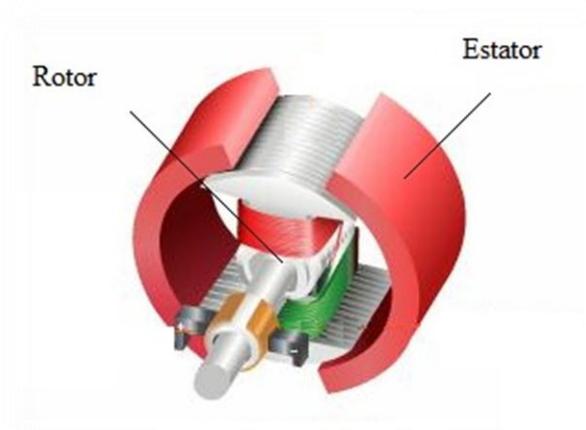


Figura 6. Motor DC de ímãs permanentes.

Para estas máquinas induzirem uma tensão elétrica num condutor precisam de um campo magnético, um condutor e um movimento relativo entre os dois.

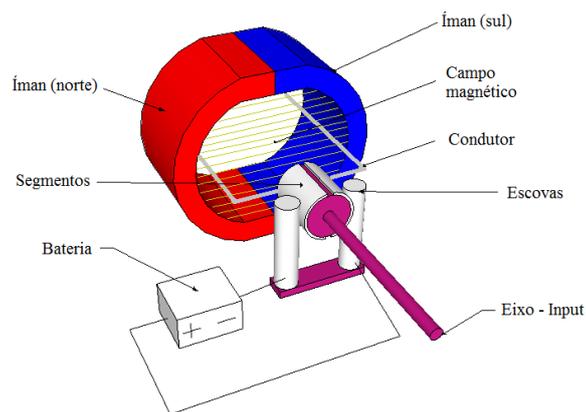


Figura 7. Ilustração de um gerador DC básico

A Figura 7 demonstra em particular um gerador DC de ímãs permanentes, constituído por um condutor em forma de espira, posicionado entre os pólos magnéticos. Enquanto a espira estiver parada, o campo magnético não provoca nela nenhum efeito. Quando a espira roda, o fluxo magnético varia na sua área interior e assim é induzida uma tensão na mesma (lei de Ampere). A intensidade da tensão induzida depende da intensidade do campo magnético e da velocidade de rotação da espira.

Tem-se então:

$$Ea = K \times \Phi \times n \quad (2)$$

Ea - Tensão gerada [V]

K – Constante

Φ - Fluxo magnético [Wb]

n - Velocidade rotacional [rad/s]

O sentido de movimento do condutor e o sentido do campo magnético, segundo a lei de Ampere, vão definir qual o sentido da tensão elétrica induzida e portanto a polaridade aos terminais das escovas.

O comutador tem como função converter a corrente AC gerada na espira numa corrente retificada, como exemplificado na Figura 8, servindo também de ligação entre as escovas e a espira ou condutor. Os geradores simples são compostos por uma única espira e o coletor é feito a partir de duas placas semicilíndricas de um material condutor macio, normalmente cobre.

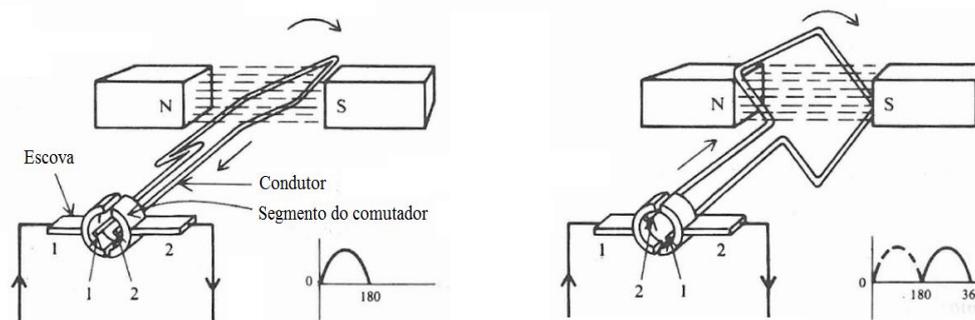


Figura 8. Efeito do movimento da espira, detalhe do coletor e das escovas

Os segmentos estão separados através de um material isolante, cada um está ligado permanentemente a cada terminação da espira. As escovas, usualmente feitas à base de carbono, são pressionadas através de molas, conforme exemplificado na Figura 9 (a), contra o coletor de forma a promover o contacto elétrico. Ao rodar, o coletor desliza contra as escovas que contactam cada uma das terminações da espira.

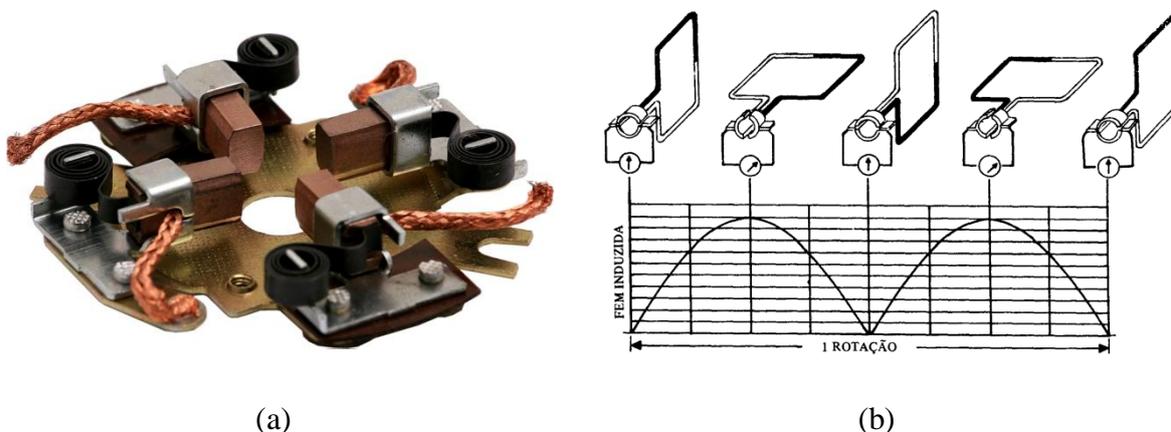


Figura 9. (a) Escovas (b) Ação do comutador

Como as escovas estão posicionadas em lados opostos no comutador, cada uma vai deslizar ao longo de um segmento e depois ao longo de outro. Este conjunto está desenhado de forma que se verifique uma comutação de segmentos no instante em que a espira inverte a polaridade aos seus terminais. Portanto, para um dado sentido de rotação, uma escova é sempre positiva em relação à outra. A tensão observada entre as escovas varia entre 0 V e um valor máximo, como demonstra a Figura 9 (b).

Para completar o funcionamento de um gerador, foi referido anteriormente que o campo magnético pode ser criado por eletroímãs ou ímanes permanentes. Para facilidade de entendimento, foi mostrado o funcionamento com ímanes permanentes, contudo, é comum encontrar máquinas com eletroímãs. Para criar um campo magnético sempre com o mesmo sentido, a corrente que percorre o electroíman terá de ser DC como mostra a Figura 10. Esta corrente chama-se de excitação e pode ser gerada de duas formas: através de uma fonte DC externa ou através da própria saída do gerador, denominado gerador auto-excitado [5].

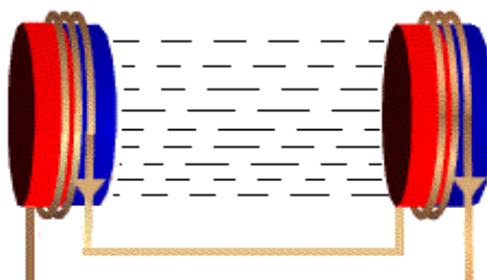


Figura 10. Ilustração do campo magnético criado por eletroímãs.

Em geral, nas máquinas existem fatores de perdas. As que contribuem para a redução de eficiência de um gerador DC são as perdas: no cobre, por corrente de Foucault, por histerese e mecânicas.

As principais características que são avaliadas nos geradores DC são:

- Tensão nominal (V): a tensão depende do número de espiras dos enrolamentos assim como do tipo de isolamento usado.
- Corrente (A): a seção de fio do cobre e a quantidade de calor que a máquina pode dissipar definem a corrente disponível no gerador.
- Potência (W): a potência do gerador depende das limitações mecânicas do dispositivo que o faz rodar e das limitações térmicas de condutores, rolamentos e restantes componentes.
- Velocidade (r.p.m.): a velocidade máxima é aquela em que a integridade mecânica da máquina atinge o limiar de resistência e estabilidade [6].

2.3.2. Inversores

O inversor de tensão tem como função o controlo do fluxo de energia elétrica entre uma fonte de tensão contínua e uma carga em corrente alternada monofásica ou polifásica. As principais aplicações dos inversores de tensão são o acionamento de máquinas elétricas de corrente alternada, sistemas de alimentação ininterrupta em tensão alternada a partir de uma bateria, aquecimento indutivo e fontes comutadas.

Existem diversas topologias de inversores:

- Inversor monofásico em ponte.
- Inversor monofásico com ponto médio.
- Inversor monofásico com ponto médio com condensador.
- Inversor *Push-Pull*.

No mercado existem duas categorias destes dispositivos, os *Grid-Tie* e os inversores *Stand-alone*. Os *Stand-alone* funcionam autonomamente, alimentando cargas independentes da rede elétrica. Está exemplificado na Figura 11, um equipamento de marca NORU, que converte 12 V DC em 220 V AC e que tem uma potência de 300 W as suas especificações estão contidas no anexo B. São equipamentos relativamente

económicos, a potência debitada é baixa e a tensão de saída é aproximada a uma onda quadrada (não é o ideal).



Figura 11. Exemplo de um inversor 12V-220V de 300W.

Nesta categoria existem também modelos de maior potência, capazes de fornecer a energia a uma habitação, podendo ser aplicados a um sistema de microgeração, obviamente mais dispendioso.

A outra categoria, *Grid-tie*, compreende dispositivos que produzem uma onda senoide de boa qualidade e que automaticamente sincronizam à frequência e à tensão da rede, podendo assim estar ligados permanentemente à rede elétrica, conforme exemplificado na Figura 12. Alguns destes modelos têm como vantagem poder absorver ou exportar potência reativa de modo a regular o fator de potência da instalação, apoiado ou não por um banco de baterias. O seu funcionamento é mais delicado, implicando maiores custos de aquisição [8].

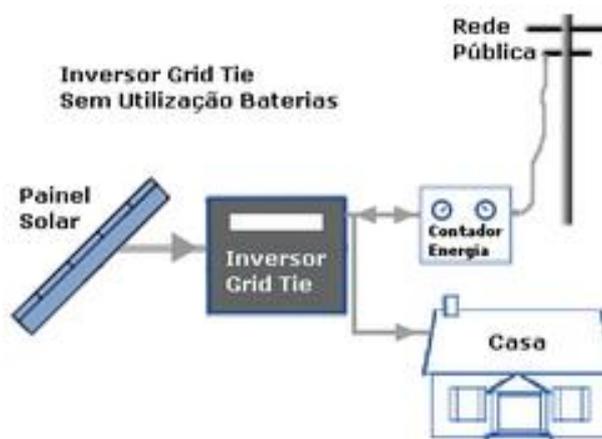


Figura 12. Exemplo de uma aplicação de um inversor *Grid-Tie*.

2.3.3. Regulador de tensão contínua (DC-DC)

O regulador de tensão tem como função o controlo do fluxo de energia elétrica à saída de uma fonte de tensão (na prática são conversores de tensão). A sua finalidade é garantir que a tensão produzida aos terminais de saída seja constante, independentemente da tensão que é fornecida na sua entrada.

Existem 3 tipos de conversores: podem ser do tipo *buck*, que reduzem a tensão de saída, do tipo *boost*, que conseguem fornecer maior tensão de saída do que de entrada, e também a combinação dos dois, chamado *buck-boost*, em que a gama de tensões de entrada pode ser maior ou menor do que a tensão de saída.

Os conversores que forneçam maior tensão de saída do que de entrada, têm custos mais elevados, precisam de mais componentes, por exemplo uma bobina, para acumular energia. Este componente é caro e de grande volume, tornando estes conversores mais dispendiosos que os do tipo *buck* [9].

No mercado existem conversores de tensão DC-DC, que conseguem estabilizar a tensão de saída para um valor pretendido. Na Figura 13 é apresentado um dos modelos disponível e de baixo custo.

O aparelho demonstrado é do tipo *buck*, tem uma potência de 50 W, é capaz de produzir uma saída estável de 12 V, podendo ter uma variação de tensão na entrada entre os 19-36 V.



Figura 13. Conversor de tensão DC-DC (159x97x38mm)

2.4. Atividade física

2.4.1. Fitness

De origem inglesa, a palavra "*fitness*" significa aptidão física e/ou, boa condição física.

Na medida em que o mercado profissionalizou a expressão, o termo ganhou novas analogias que remetem sempre para a prática da atividade física. Na busca de um "corpo perfeito", a expressão vem sendo adulterada por atitudes e pensamentos inconsequentes de pessoas que desprezam o prazer da prática de uma atividade em busca de resultados somente estéticos [10].

O *fitness* tem como função básica traçar um padrão de treino para que um indivíduo possa chegar ao estado de boa condição física, através das seguintes componentes: flexibilidade, força, eficiência cardiovascular, resistência aeróbica e resistência muscular localizada [11].

O verdadeiro conceito de *fitness* incentiva a busca do equilíbrio entre a dedicação e o prazer, ou seja, o "bem-estar" do ser como um todo, inclusive a saúde mental e emocional [10]

Os desportistas treinam em aparelhos cardiovasculares, diferentes de aparelhos de musculação.

2.4.2. Ergonomia

A palavra ergonomia vem do Grego “ergon”, que significa trabalho e “nomos”, lei. Citando Wisner (1972), é o “conjunto de conhecimentos científicos relativos ao homem e necessários à concepção de instrumentos, máquinas e dispositivos que possam ser utilizados com o máximo de conforto e eficácia”. A Ergonomia tem por objetivo adaptar o trabalho ao homem.

Dentro desta disciplina existem 3 domínios de especificação, ergonomia física, organizacional e cognitiva, que têm como objetivo aprofundar competências em atributos específicos humanos ou a caracterização da interação humana.

A mais relevante é a ergonomia física, que se concentra na anatomia humana, antropometria, características fisiológicas e biomecânicas que se relacionam com a atividade física. Os tópicos relevantes incluem posturas de trabalho, manuseio de materiais, movimentos repetitivos, distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho, disposição, segurança e saúde [12].

O estudo do corpo humano é muito complexo, existindo diversas maneiras de caracterizar os seus movimentos. No âmbito da tese, o estudo vai incidir sobre os membros inferiores pois têm mais força, uma vez que suportam o corpo. Assim, de seguida

apresentam-se algumas figuras, com informação relevante sobre os movimentos dos membros inferiores. A Figura 14 apresenta os ângulos máximos permitidos pela anca, consoante a extensão da flexão do joelho.

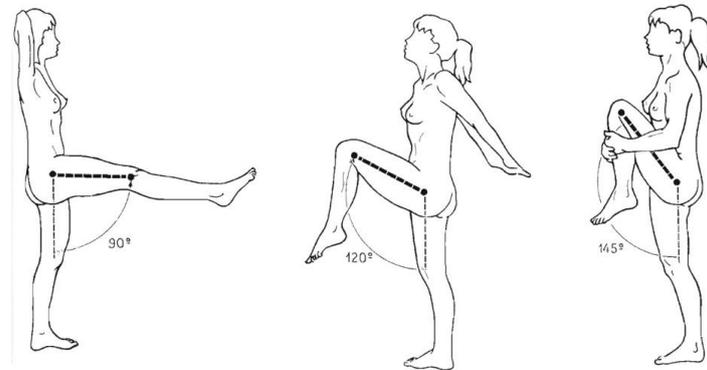


Figura 14. Ângulos máximos permitidos pela anca [13].

As duas seguintes ilustrações apresentam os ângulos máximos efetuados por o joelho e pé, Figura 15 e Figura 16 respetivamente.

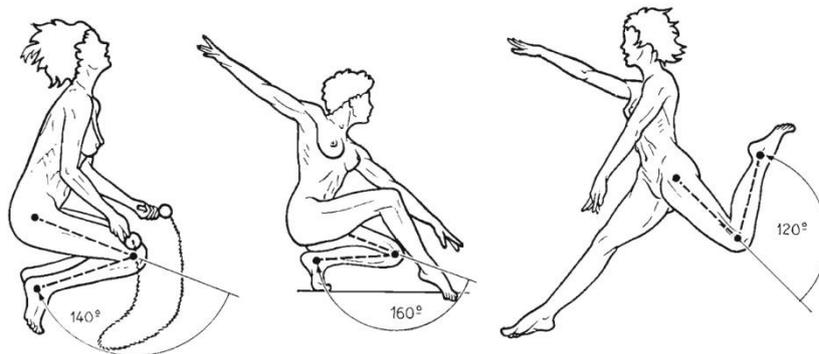


Figura 15. Ângulos máximos permitidos pelo joelho [13].

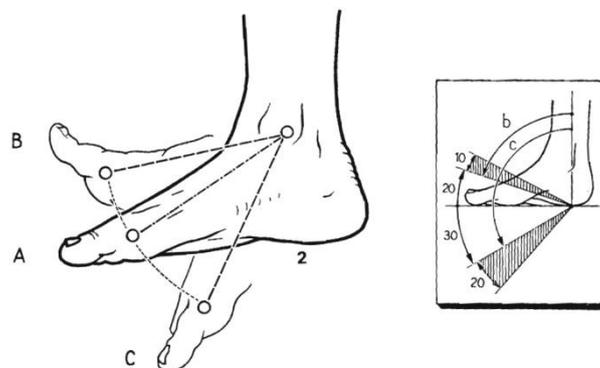


Figura 16. Ângulos máximos permitidos pelo pé [13].

De seguida, na Tabela 1, são apresentados valores de gastos energéticos em diferentes atividades físicas.

Tabela 1. Potência consumida em diferentes atividades [14].

Atividade	Potência (W)
Caminhar a 5 km/h na horizontal	330
Subir encosta com 16 % de inclinação a 0,79 km/h	689
Andar de bicicleta a 16 km/h	473
Martelar com um martelo de 4,4 kg: 15 pancadas/min	620
Escavar: 2 metros horizontais e 1 vertical a 10 pás/min	654
Cortar madeira a 60 movimentos por minuto	738

A tabela anterior foi retirada do livro “Fundamentos de biomecânica músculo-esquelética ortopédica”, em que também se considera que o consumo para diferentes atividades básicas é de 110 W.

2.4.3. Equipamentos com acionamento humano

Na atualidade, a transformação dos movimentos de exercício físico em energia elétrica é uma prática comum. Um dos melhores exemplos são os ginásios que aproveitam parte dos aparelhos para gerar energia. Os próprios fabricantes de aparelhos de exercício físico já colocam nestes pequenos geradores que fornecem energia aos mostradores do equipamento.

A necessidade deste aproveitamento é muito variável, pode ser por uma questão de aproveitamento de energia desperdiçada (ginásios) ou a única solução para gerar energia elétrica (isolamento). Ainda não há muito tempo, nos primórdios dos emissores/transmissores de rádio, estes eram ativados por pedais, exemplo na Figura 17.

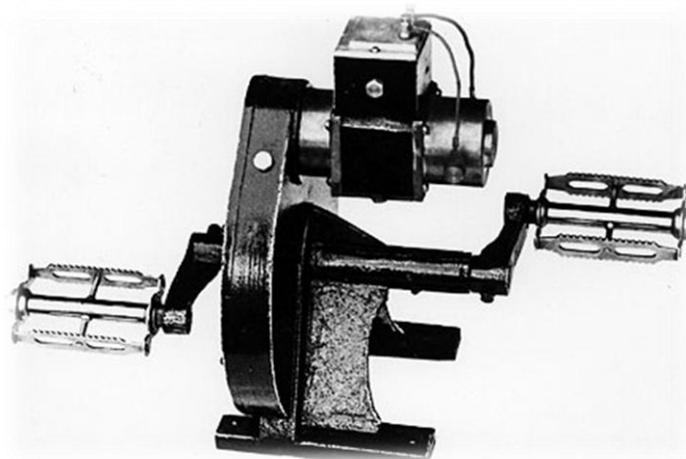


Figura 17. Gerador a pedais.

Na perspetiva de gerar energia, existem empresas dedicadas a apresentar várias propostas desde adaptações para bicicletas (a), a manivelas (b), conforme a Figura 18.



(a)



(b)

Figura 18. (a) Adaptação para uma bicicleta; (b) Gerador manual

Por outro lado, no mercado existe uma diversidade de aparelhos de exercício físico. Os aparelhos exemplificados na Figura 19 são do tipo *stepper* e estão vocacionados para a área cardiovascular.



Figura 19. Tipos de *stepper* [15].

Nos ginásios existem também máquinas de exercício físico do tipo bicicleta, exemplificados na Figura 20



Figura 20. Tipos de bicicleta [15].

As bicicletas têm travões de fricção ou magnéticos, para exigir esforço por parte do desportista, podendo ser considerado um desperdício de energia. Outros aparelhos menos convencionais são exemplificados na Figura 21.



Figura 21. Tipos de remos [15].

Um dos aparelhos de exercício mais conhecido é o tapete rolante. Ao contrário de outros aparelhos em que é necessário aplicar algum tipo de força para obter movimento, este é feito para o atleta simular a corrida. O motor introduzido nestas máquinas tem a função de rodar o tapete, impossibilitando este de funcionar como gerador.

Para além dos exemplos aqui referidos existem outros equipamentos de ginástica. É exequível a adaptação de transmissão de movimento de um destes aparelhos para acionar um gerador elétrico.

[Folha deixada intencionalmente em branco.]

3. DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

3.1. Análise Conceptual

Após a análise de diversos aspetos, escolheu-se o *stepper* (que simula a subida de escadas) por ter dimensões reduzidas e pelas suas múltiplas configurações. Através do *Software Autodesk Inventor* foi possível a conceção de algumas alternativas, exemplificadas na Figura 22.

As soluções criadas têm essencialmente diferenças no modo de transformação do movimento de rotação a partir do movimento de translação.

A Figura 22 (a), apresenta uma solução do tipo bicicleta, não existindo nenhum braço para amplificar a força. Os pedais deslizam em calhas nas barras onde os pés apoiam.

Foi analisada uma segunda solução em que o pedal seria uma guia, onde a manivela seguiria o movimento criando rotação na polia, conforme a Figura 22 (b). Existindo o efeito de alavanca. Os problemas desta solução são a falta de resistência do perfil, o desgaste da guia e ainda o tamanho exagerado da polia da correia.

O sistema da Figura 22 (c) é aproximado à solução adotada; os pedais funcionam como uma alavanca, amplificando a força. A transmissão nesta solução não se apresenta como ideal por se tratar de corrente de rolos.

Assim, o sistema adotado foi por biela-manivela, pois tem a vantagem de necessitar apenas de rolamentos nas rótulas. A transmissão é feita por correia síncrona. A existência de uma caixa multiplicadora é inevitável, devido à necessidade do gerador ter uma elevada velocidade de rotação.

Pode-se verificar na Figura 22 que as alternativas de conceção também diferem na construção estrutural do aparelho.

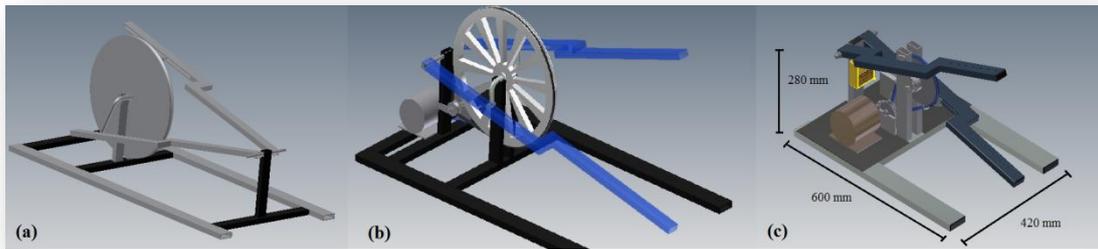


Figura 22. Alternativas de concepção.

(a) Sem alavanca; (b) Com alavanca; (c) Aproximação à solução adotada;

Uma característica de primordial importância é que o aparelho seja leve e compacto. Assim, para ter em consideração o peso, a estrutura e a maior parte dos componentes devem ser de alumínio e de dimensões reduzidas. A configuração proposta é apresentada na Figura 23.

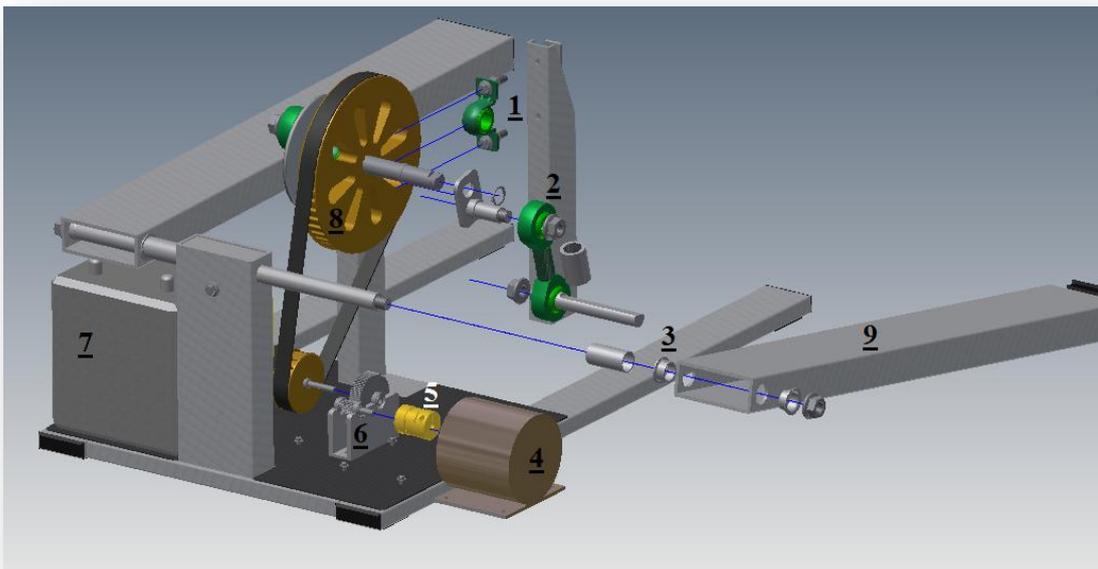


Figura 23. Equipamento desmontado parcialmente.

Estão numerados os principais componentes:

1. Chumaceira.
2. Rótula.
3. Bucha.
4. Gerador.
5. Acoplador de veios.
6. Caixa multiplicadora.

7. Bateria.
8. Polia de correia dentada síncrona.
9. Pedal.

Para que o aparelho seja durável, os componentes que sofrem rotação estão equipados com rolamentos, o eixo principal que suporta o peso do atleta e que está solidário com a polia (8) está munido de duas chumaceiras (1) de cada lado. As especificações estão no anexo C.

A biela é composta por duas rótulas (2), que são conectadas através de um tubo roscado, as especificações destas rótulas estão contidas no D.

O pedal (9) está apoiado em dois locais, na biela e no eixo mais pequeno onde a rotação é baixa. Para não haver desgaste são aplicadas buchas (3), cujas especificações estão contidas no anexo E.

A caixa multiplicadora (6) está fixa à estrutura, sendo ligada ao gerador por um acoplador de eixos (5) (especificações no anexo F) por não se poder garantir o alinhamento perfeito entre os mesmos.

O gerador (4) e a bateria (7) são desenvolvidos nos capítulos seguintes.

A Figura 24 demonstra o aparelho com a caixa de proteção e com as suas medidas externas.

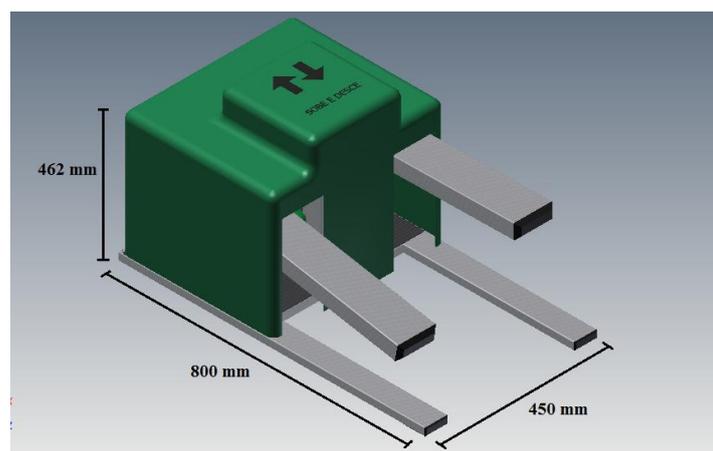


Figura 24. Dimensões do aparelho.

O aparelho tem um comprimento útil de posicionamento do pé, conforme exemplificado na Figura 25.

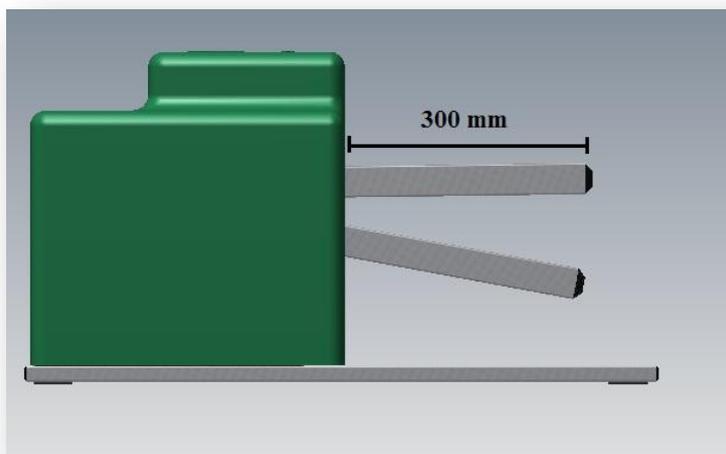


Figura 25. Pedais.

A transmissão tem que ser dimensionada para que um adolescente consiga um binário mínimo para girar o rotor do gerador. É admitido que um atleta, em média, consiga 250 W de potência, estando o aparelho dimensionado para conseguir essa potência mecânica à velocidade máxima definida de 120 graus por minuto.

O dimensionamento da parte elétrica, começa pela escolha de um gerador, que funcionará a 24 V; terá de ser implementado um conversor de tensão, que tem como função regulá-la. Procura-se garantir uma tensão estável, superior a 12 V no sistema de armazenamento. Para o efeito será utilizada uma bateria de *scooter* elétrica, devido à facilidade de aquisição e a sua pequena dimensão. Depois de ter estes parâmetros bem definidos, a aplicação de um inversor à bateria fornecerá a energia elétrica a 220 V, 50 Hz.

Para obter a máxima potência elétrica, sem contar com perdas de rendimento, esta deve de ser de 250 W, porque foi definido que o atleta consegue fornecer essa potência.

3.2. Gerador de energia

3.2.1. Seleção do Gerador

Para o caso em estudo, não há uma solução direta ou ideal, i.e., qualquer seleção de gerador é praticável, tendo em conta as suas necessidades/restrições. Para esta aplicação, uma solução mais apropriada, seria um gerador DC de ímanes permanentes. A escolha de corrente DC deve-se à maior facilidade de armazenamento da energia elétrica.

A sua instalação é simples e de baixa manutenção, mas apresentam como desvantagem o facto de que com calor os ímanes permanentes poderem desmagnetizar. Em termos económicos a utilização de um gerador/alternador de um automóvel é viável devido à sua facilidade de aquisição, apresenta contudo, alguns inconvenientes. Estes geradores exigem a manutenção das escovas, que promovem o contacto elétrico com o rotor, e também necessitam de uma corrente para gerar o campo magnético, implicando menor rendimento.

O gerador escolhido, Figura 26, foi o MY1016 de 250 W, a 24 V de corrente contínua, com escovas e de ímanes permanentes. Este em particular foi retirado de uma *scooter* elétrica.



Figura 26. Gerador MY1016.

As suas características estão de seguida na Tabela 2.

Tabela 2. Especificações do motor

Modelo (MY 1016)	250W 24V
No-load current/A	≤1.6
No-load rate speed /rpm	3350
Rating Torque/N·m	0.90
Rating speed /rpm	2750
Rating current/A	≤13.4
Efficiency/%	≥78

Na escolha de um gerador, têm que se ter em conta a velocidade angular que se consegue impor ao gerador e claro o binário.

A potência mecânica é dada por:

$$P_{\text{mec}} = T \cdot \omega \quad (3)$$

Em que:

T – Binário

ω – Velocidade angular

O ideal seria poder ligar um gerador direto a uma bateria, porém não é assim tão simples, porque se parte do princípio que nenhum atleta consegue manter a velocidade de rotação constante, e conseqüentemente o binário. Assim não se pode garantir que o gerador forneça sempre a mesma tensão aos terminais como seria ideal.

Para contornar este aspeto, dever-se-á escolher um gerador com uma tensão superior a 12 V, para que quando o atleta não esteja a utilizar o aparelho à velocidade máxima, o gerador consiga fornecer tensão suficiente ao regulador para que este consiga recarregar as baterias.

O gerador em questão foi adquirido, sendo posteriormente testado nas oficinas do DEM. O teste foi efetuado variando a velocidade angular do gerador com o auxílio de um motor de velocidade variável. A velocidade de rotação foi medida através de um tacômetro digital e com um voltímetro mediou-se a tensão gerada. O gráfico da Figura 27, identifica o resultado do teste da variação da tensão gerada com a velocidade de rotação, verificando-se que a tensão é diretamente proporcional à velocidade de rotação.

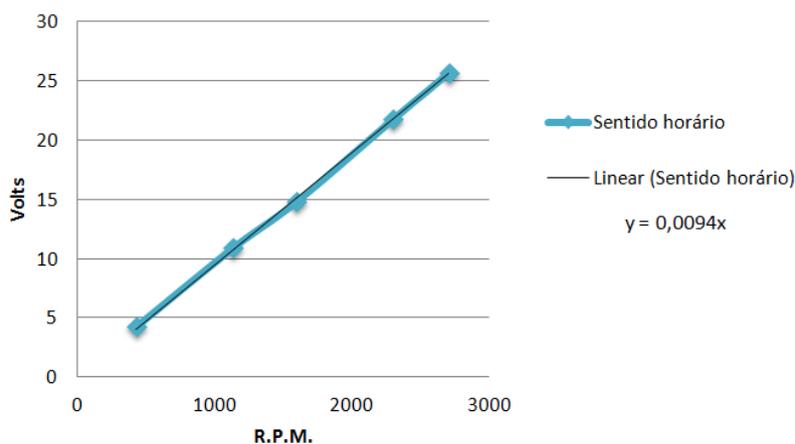


Figura 27. Gráfico do gerador testado, Volts/r.p.m..

3.2.2. Seleção do Regulador de Tensão

Os modelos *standard* dos conversores de tensão, têm valores definidos de utilização, tanto para a gama de valores da tensão de entrada como para o valor de tensão de saída. A fim de reduzir os custos de aquisição, será utilizado um aparelho existente que consiga abranger da melhor maneira a gama de tensões que o gerador fornece.

É necessário que a sua tensão de saída tenha pelo menos 12 V para conseguir carregar a bateria. O conversor DC-DC escolhido é o modelo VC 10S, da *Wallen Antennae*: tem uma potência de 120 W, a tensão de entrada varia entre 15-38 V e tem uma tensão de saída de 13,2 V. Outras especificações técnicas estão contidas no anexo G.

O modelo apresentado na Figura 28, é um modelo muito similar com o referido mas apresenta uma menor capacidade de corrente.



Figura 28. Conversor DC-DC, modelo VC 6.8S, (79x74x31 mm).

A escolha deste conversor de menor potência, resulta da não existência no mercado, de conversores *standard* de 250 W com as especificações necessárias. Era possível criar um conversor personalizado mas seria mais dispendioso. Este foi selecionado, devido à sua potência, à sua gama de tensões de entrada e à sua tensão de saída de 13,2 V que permite carregar a bateria.

O conversor escolhido funciona entre os 15 V e 38 V. Do gráfico anterior (Figura 27), é possível retirar a rotação equivalente; os 15 V traduzem-se numa rotação de 1600 r.p.m.. Os 38 V não são possíveis, devido à limitação da velocidade máxima que o gerador pode atingir sem por em causa a sua resistência e estabilidade, as 2750 r.p.m. (equivalente a 25,8 V).

Devido a estas condicionantes, a gama de funcionamento do conversor fica restringido entre os 15 V e os 25,8 V, respetivamente 1600 e 2750 r.p.m..

3.2.3. Seleção do Inversor

A seleção de um inversor depende da quantidade de potência que conseguimos gerar quando se está a fazer exercício físico. Sabe-se que o corpo humano não consegue debitar mais do que algumas centenas de Watts e apenas por algum tempo. Assim, não sendo necessário ter um inversor de grande potência, a categoria *Stand Alone* é ideal, pois tem baixo custo e é compacta. A sua desvantagem consiste em não conseguir alimentar aparelhos de grande consumo. Contudo, se a aplicação for feita para diversas máquinas, como por exemplo de um ginásio, seria viável ligar à rede elétrica, sendo necessário um inversor do tipo *Gid-Tie*.

O inversor selecionado, é do tipo *Stand Alone*, tem 150 W, da marca TRONIC, modelo KH3901. Está representado na Figura 29, encontrando-se os seus detalhes estão no anexo H.



Figura 29. Inversor DC-AC, marca TRONIC, modelo KH3901.

Como se pode constatar, o inversor tem maior potência que o conversor pode gerar. A razão desta escolha resulta novamente do facto destes produtos se encontrarem disponíveis no mercado, a baixo custo.

Pode-se concluir que o inversor está sobredimensionado, dado que o conversor DC-DC na teoria só consegue os 120 W. A bateria tem um papel essencial para garantir os 150 W.

3.3. Análise Quantitativa

3.3.1. Transmissão Mecânica

A fim do gerador alcançar a velocidade de rotação máxima pretendida de 2750 r.p.m., é necessário ter uma transmissão com diversas multiplicações.

Pressupõe-se que o atleta não consegue subir mais que 120 degraus num minuto, o que equivale a 60 r.p.m., assim será necessária uma relação de transmissão de aproximadamente 46×.

O aparelho transforma o movimento de translação em rotação por um mecanismo biela-manivela, representado na Figura 30 (a). Este mecanismo está ligado diretamente a uma polia de correia síncrona. Na Figura 30 (b) são apresentadas as medidas da biela, da manivela e do desalinhamento. A possível situação de o mecanismo biela-manivela bloquear no ponto morto torna-se pouco provável devido ao desalinhamento.

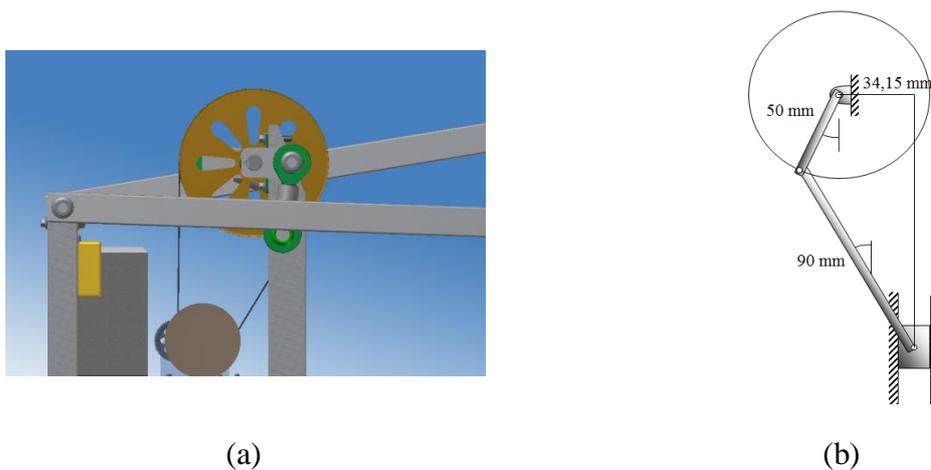


Figura 30. Mecanismo biela-manivela.

(a) Aplicado no aparelho; (b) Esquemáticamente;

A transmissão por correia é utilizada entre a polia principal e a polia da caixa multiplicadora, identificada na Figura 31, com uma razão de multiplicação de cerca de 3×. A escolha da transmissão por correia em vez de corrente de rolos, deve-se ao facto de não ser necessário lubrificação e ainda ao ruído relativamente baixo.

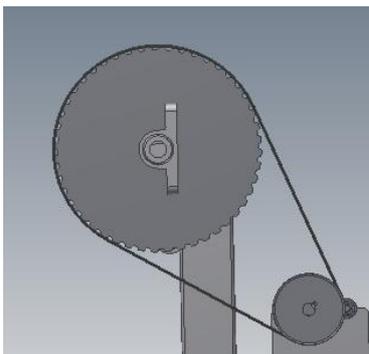


Figura 31. Transmissão por correia.

A caixa multiplicadora tem dois estágios, conforme ilustra a Figura 32. A polia síncrona tem o mesmo diâmetro que a roda dentada de maior dimensão. A caixa tem uma razão de multiplicação de 16 \times .

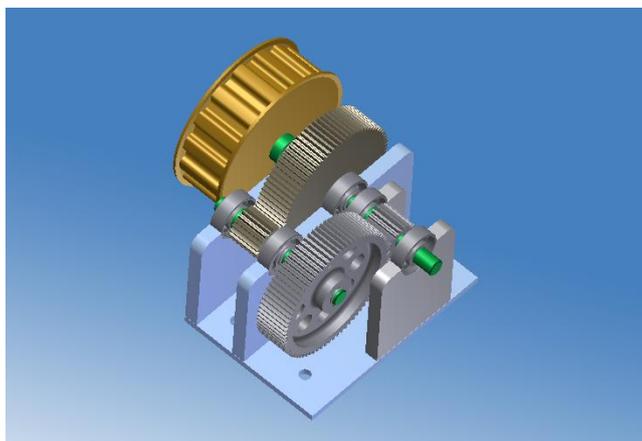


Figura 32. Caixa multiplicadora.

O ideal seria que as polias e as engrenagens fossem de um material leve como a liga de alumínio ou até de plástico, para poder reduzir a inércia e o peso.

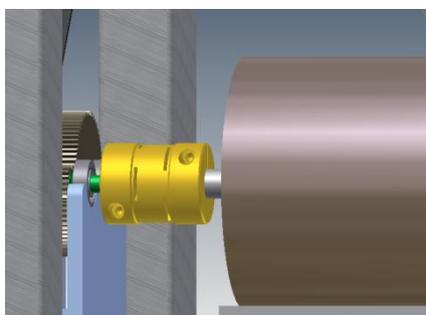


Figura 33. Transmissão direta.

A transmissão da caixa multiplicadora, para o gerador é direta, ficando assim com uma razão final de 48 \times . Como já foi referido, não há forma de garantir o alinhamento

perfeito entre a caixa e o gerador, é necessário um acoplador de veios flexível, conforme está exemplificado na Figura 33.

O sistema de transmissão garante a velocidade máxima pretendida ao gerador, as 2750 r.p.m., quando o atleta se encontra à velocidade definida de 120 de graus por minuto.

3.3.2. Geração

O aparelho estudado, destina-se à produção de energia elétrica e tem como particularidade o facto de o atleta estar na posição vertical, fletindo alternadamente as pernas de forma confortável, podendo o seu peso ser rentabilizado. Ao longo da investigação foram registados os diferentes valores das forças realizadas durante o exercício. Neste contexto, alguns autores estudaram as forças realizadas por um ciclista, i.e., dada a equivalência dos movimentos de uma bicicleta com o de um *stepper*. Segundo Cardoso (2009) um ciclista exerce uma força de 60% do seu peso. Outros autores consideram uma maior percentagem, pelo que não há consenso para um valor exato a aplicar. No caso em análise, por o atleta estar na posição vertical, pode considerar-se que este fornece à máquina pelo menos 80% do seu peso, o que se pode concluir que este valor será o máximo que o atleta conseguirá realizar.

Para obter um valor de referência para cálculos, considerar-se-á que o atleta é um adolescente e que terá cerca de 55 kg de massa corporal, assim pela Equação 4, exerce uma força de 539,5 N.

$$F = m \times g \text{ [N]} \quad (4)$$

Considerando apenas os 80% do peso, temos que a força realizada é de 431,6 N.

De seguida são analisadas as forças e binários aplicados em cada componente, para garantir a velocidade de rotação do gerador e o binário necessário. A Figura 34 mostra as dimensões do pedal.

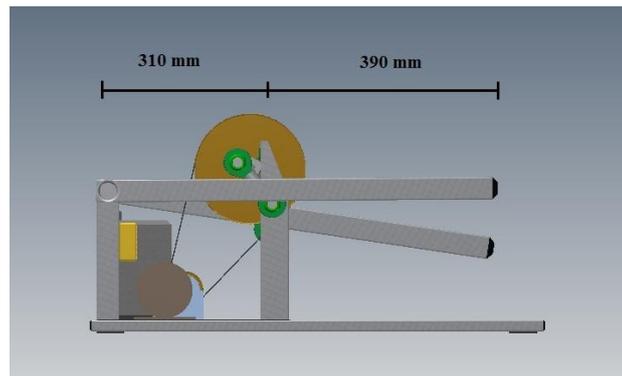


Figura 34. Força aplicada aos pedais.

A força exercida na biela é de 974,5 N no caso de ser um adolescente.

A Figura 35, demonstra a relação de raios entre a manivela e a polia de maior dimensão. Retirando, pela Equação 5, o binário máximo ao veio.

$$M_{m\acute{a}x} = b \times R = 0,050 \times 974,5 = 48,7 \text{ N.m} \quad (5)$$

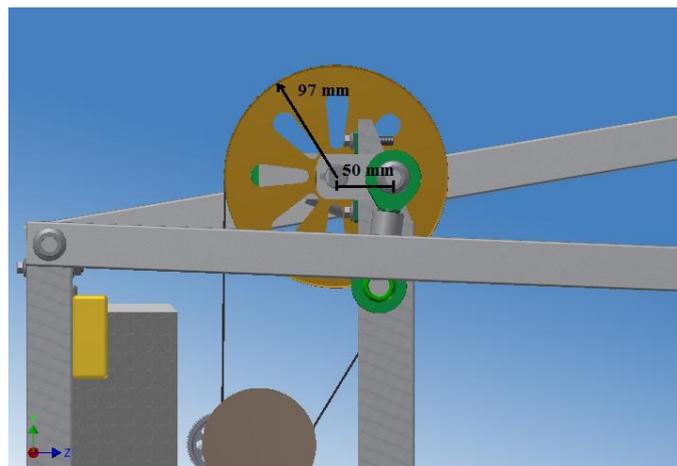


Figura 35. Raio da polia trapezoidal e comprimento da manivela.

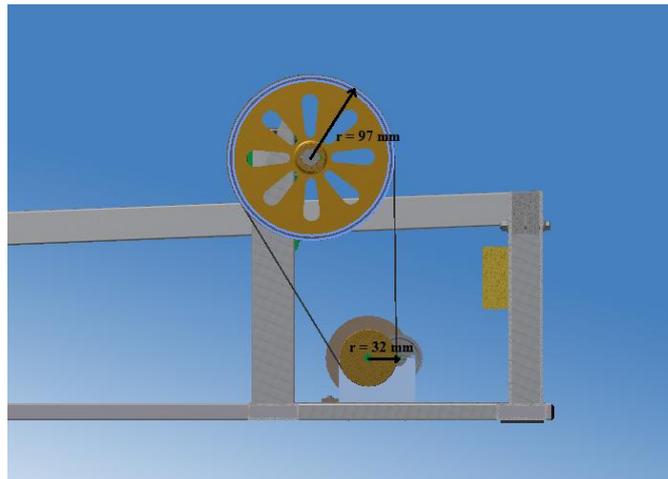


Figura 36. Relação de raios entre as polias dentadas.

Com o binário da polia de maior diâmetro e os raios primitivos de ambos, retira-se o binário aplicado a polia de menor diâmetro, representado na Figura 36.

$$i = \frac{97}{32} = 3,03 \quad (6)$$

Considerando um rendimento de transmissão de 98%, o binário aplicado à polia menor é aproximadamente de 15,7 N.m.

A engrenagem, apresentada na Figura 37, tem uma relação de multiplicação de 4×. A caixa tem dois trens simples de engrenagens, ficando com uma relação de transmissão total de 16×.



Figura 37. Engrenagem

O binário máximo aplicado ao gerador é aproximadamente de 0,96 N.m. Esta máquina ao funcionar como motor em carga, debita 0,9 N.m; se funcionar como gerador, não precisa de um binário superior.

O sistema de transmissão garante o binário ao gerador, quando o atleta é um adolescente. Através da Equação 7 retira-se a potência mecânica aplicada ao gerador, considerando a velocidade máxima definida e o binário conseguido.

$$P_{mec} = T \cdot \omega \quad (7)$$

$$\omega = \left(\left(\frac{60 \text{ rotações}}{60 \text{ segundos}} \right) \times 2\pi \right) \times 48 = 301,59 \text{ rad/s}$$

$$P_{mec} = 0,96 \text{ N.m} \times 301,59 \text{ rad/s} = 289,52 \text{ W}$$

O braço da manivela varia com o tempo. Para calcular a potência média pode recorrer-se à energia potencial, através da Equação 8.

$$E = m \times g \times h \quad (8)$$

$$E = [(55 \times 0,8) \times 9,81] \times 2,25 \times (2 \times 0,05) = 97,1 \text{ J}$$

$$P = \frac{2 \times E}{t} = \frac{2 \times 97,1}{1} = 194,22 \text{ W}$$

Sabendo a geometria do mecanismo e as forças envolvidas, foi efetuada uma análise ao instante. É necessário que a manivela tenha uma velocidade angular de 6 rad/s e com uma potência de 265,6 W. Estes valores foram obtidos considerando uma frequência rotacional de 2750 r.p.m. e uma potência de 250 W ao gerador.

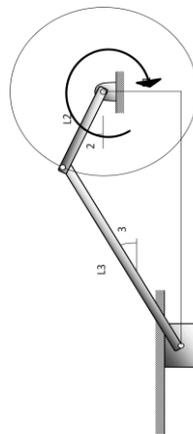


Figura 38. Biela-manivela.

O gráfico 39 mostra a variação da posição da manivela com o ângulo. Os valores foram retirados analiticamente através das duas Equações seguintes:

$$\theta_3 = \text{sen}^{-1} \left(\frac{L_1 + L_2 \text{sen}(\theta_2)}{L_3} \right) \quad (9)$$

$$L_4 = L_2 \cos(\theta_2) + L_3 \cos(\theta_3) \quad (10)$$

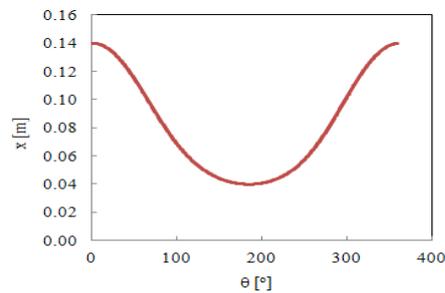


Figura 39. Gráfico distância/graus.

Sabendo a posição, numericamente retirou-se a velocidade, a aceleração e as forças. O gráfico 40 ilustra a força que o atleta necessita de exercer nos pedais, para conseguir uma potência constante de 265 W à manivela.

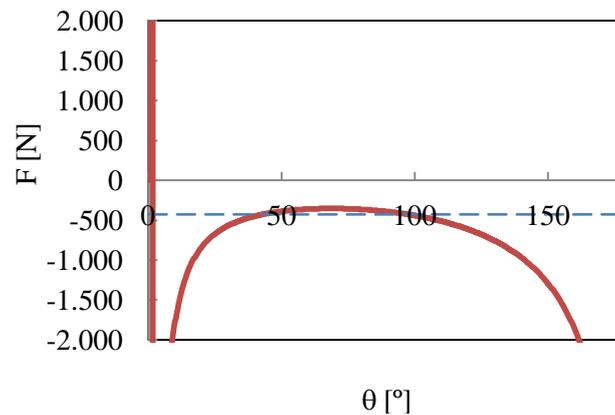


Figura 40. Gráfico força/graus.

Existe zonas em que o atleta não consegue fornecer a força necessária.

3.3.3. Acumulação

O diagrama de blocos, apresentado na Figura 41, demonstra a potência e a tensão em cada ponto da instalação em condições nominais. A potência elétrica é determinada pela seguinte Equação:

$$P = V \times I - \text{Watts [W]} \quad (11)$$

$$V = \text{Tensão [V]}$$

$$I = \text{Intensidade de corrente [A]}$$

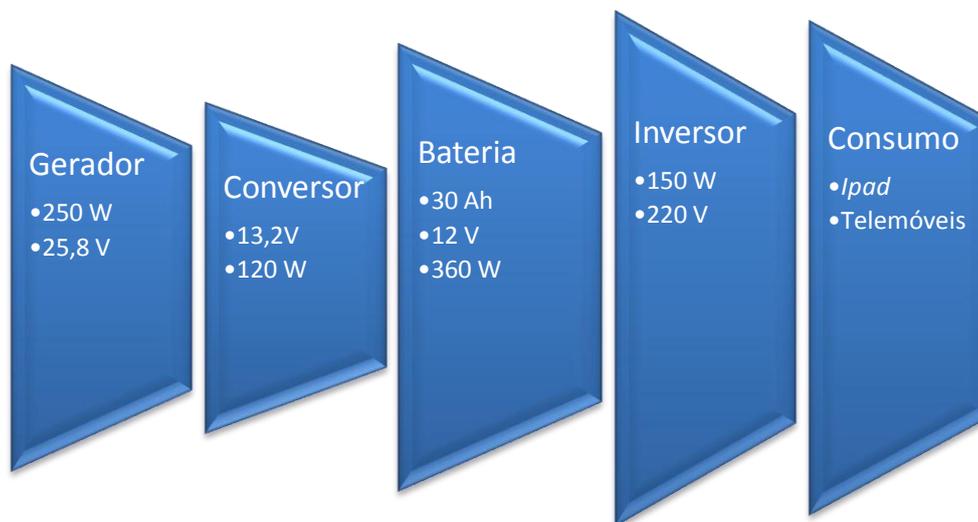


Figura 41. Diagrama de blocos.

O gerador de 250 W, a funcionar à velocidade máxima definida, tem uma tensão de saída de 25,8 V.

O regulador nunca exige mais potência além do que o gerador consiga fornecer.

Uma bateria funciona entre os 12 V e os 14 V, considera-se muito descarregada quando se encontra abaixo do valor de 12 V, como demonstra a curva típica de carga representada na Figura 42.

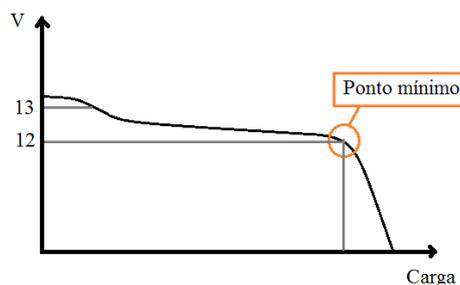


Figura 42. Curva Volts-Carga.

Assim, caso a bateria esteja descarregada e precise de ser carregada até aos 13,2 V, recorre-se à Equação 12, para determinar a intensidade de corrente necessária.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V_{In} - V_{Bat}}{R} = \frac{13,2 - 12}{1} = 1,2 A \tag{12}$$

R – Resistência interna [Ω]

O inversor escolhido tem uma potência nominal de 150 W, podendo atingir um pico de 300 W. Sabendo que a tensão de entrada é 12 V, obtém-se a corrente que o inversor solicita à bateria recorrendo à Equação 13.

$$I = \frac{150}{12} = 12,5 A \quad (13)$$

A bateria escolhida foi a de uma *scooter*, modelo 530 400 030, capacidade de 30 Ah, da Marca Varta, estando as suas especificações contidas no anexo I. Para garantir a sua durabilidade, a profundidade da descarga não deve ser superior a 90%. Para saber o tempo que a bateria funciona com este inversor recorre-se à Equação 14.

$$\text{Horas} = \frac{30 \times 0,9}{12,5} = 2 \text{ horas e } 10 \text{ minutos} \quad (14)$$

Para determinar o tempo necessário a pedalar para recarregar a bateria quando a profundidade de descarga é de 90%, recorre-se à Equação 15.

$$\frac{30 \times 0,9}{h} = 1,2 A \Leftrightarrow h = 22,5 \text{ horas} \quad (15)$$

Para saber o tempo máximo que a mesma bateria duraria aplicada aos diversos tipos de potência de inversores, (a funcionar à potência nominal) apresenta-se a Tabela 3.

Tabela 3. Tempo de duração da bateria consoante a potência do inversor.

Potência do inversor (W)	Corrente (A)	Tempo de utilização (h)
50	4,1	6,4
100	8,3	3,2
120	10	2,7
150	12,5	2,1
300	25	1,0
500	41,6	0,6

Na ausência da bateria, o atleta à velocidade nominal definida, consegue fornecer uma potência nominal elétrica de aproximadamente 120 W.

A principal vantagem da existência da bateria conjuntamente com o regulador direto ao inversor, é que mesmo que o atleta interrompa a atividade física, continua a existir energia elétrica. Também na situação de existência de picos de corrente superior ao que o regulador admite, a bateria consegue fornecer energia, pois a instalação está em paralelo.

Sabendo a potência nominal e para não ser necessário o fornecimento elétrico por parte da bateria, o consumo base deverá ser de 120 W. Uma hipótese seria ligar um *Ipad* para que o utilizador pudesse ler ou visualizar informação enquanto exercita. Este aparelho em particular tem um consumo de 10 W, sobrando cerca de 110 W para outro tipo de aparelhos elétricos de baixa potência, como carregadores de telemóvel.

Pode-se concluir que a potência mecânica poderia ser igual à potência elétrica, a dificuldade de encontrar um modelo de conversor com potência de 250 W, limitou a sua potência. Como foi referido poder-se-ia criar um conversor dedicado, com a característica desejada, com a potência de 250 W.

3.3.4. Análise Estrutural

O aparelho foi concebido, tendo em conta a norma de segurança, a NP EN 957-1 de 2009, de carácter geral, aplicável a todos os equipamentos de treino fixo. Esta norma é complementada pela norma NP EN 957-8 de 2009, que se aplica somente a simuladores de marcha, escadas e escalada. O aparelho segundo a norma é classificado como simulador de marcha, é um equipamento de treino fixo onde o pé se move num movimento recíproco sem que o pé deixe o pedal. As principais normas exigidas para este aparelho são:

1. A distância mínima entre a base do pedal e a base do quadro não deve não deve ser inferior a 60 mm.
2. Elementos de transmissão e partes rotativas devem estar protegidos.
3. As arestas dos pedais devem ser arredondadas com um raio maior que 2,5mm.
4. A distância mínima entre os pedais, para não necessitar de algum tipo de proteção tem de ser no mínimo 100 mm.
5. O equipamento não deve quebrar quando aplicada uma carga estática quatro vezes superior à massa corporal.

O aparelho está apresentado na Figura 43, encontrando-se em conformidade com as normas do ponto 1 ao 4.

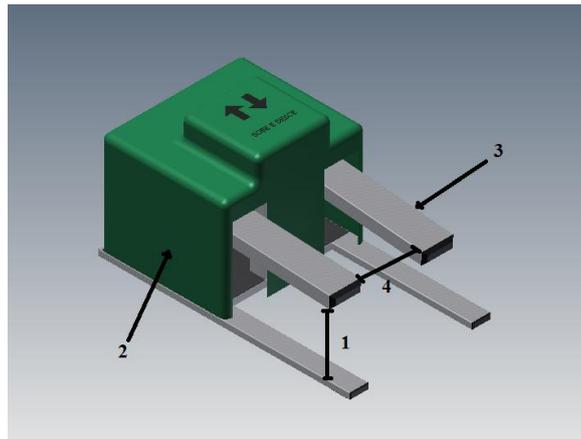


Figura 43. Apresentação do aparelho exteriormente.

No dimensionamento estrutural do equipamento foi considerado o ponto número 5, em que a carga aplicada é de quatro vezes a massa corporal (400 kg). Os pedais são os que vão suportar maior flexão.

$$F = m \times a = 400 \times 9,8 = 3920 \text{ N} \quad (16)$$

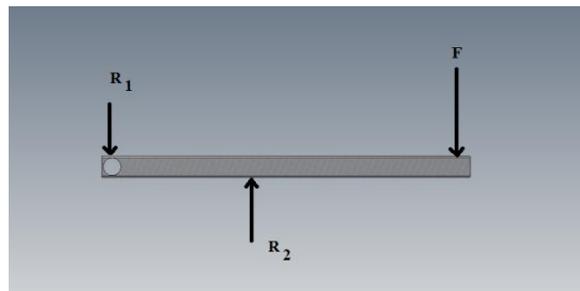


Figura 44. Ilustração das reações no pedal.

O momento fletor máximo é de 1528,80 N.m, o perfil selecionado é retangular de liga de alumínio com 100 mm de largura e 50 mm de altura, com uma espessura de 4 mm, podendo assim retirar-se o momento de inércia da secção transversal deste perfil. Com a Equação 17, sabe-se a tensão máxima que ocorre à tração.

$$\sigma = \frac{M_y \times y}{I_y} = \frac{1528,80 \times 0,02}{2,81 \times 10^{-7}} = 108,80 \text{ MPa} \quad (17)$$

O material é do importador LANEMA. A liga de alumínio utilizada tem uma tensão de cedência de 190 MPa. Não é considerado coeficiente de segurança, partindo-se do princípio que já está incluído na norma.

O eixo identificado na Figura 45, é de liga de alumínio do importador LANEMA, com uma tensão de cedência de 240 MPa. Este é um dos suportes do pedal que tem uma maior força aplicada.

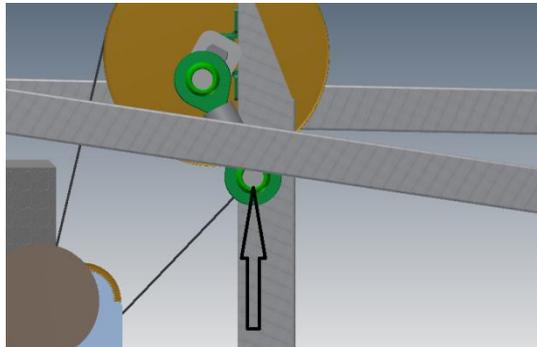


Figura 45. Eixo que suporta o pedal.

A força é de 8851,61 N, sabendo a tensão de cedência do alumínio, através do critério de Tresca, retira-se a tensão de corte admissível, sendo igual à tensão de cedência sobre $\sqrt{3}$. Assim pela Equação 18, retira-se a área necessária.

$$\tau_{adm} = \frac{F}{\text{área}} \Leftrightarrow \text{área} = \frac{8851,61 \times \sqrt{3}}{190} = 80,69 \text{ mm}^2 \quad (18)$$

Com a área do círculo retira-se o diâmetro:

$$\text{área} = \frac{\pi \times d^2}{4} \Leftrightarrow d = 10,12 \text{ mm}^2 \quad (19)$$

De seguida o veio é dimensionado à fadiga pelo critério de Soderberg.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times 1}{\pi} \times \left(\frac{88,51}{240}\right)} = 15,54 \text{ mm} \quad (20)$$

Este eixo será soldado ao pedal, na Figura 45, para isso é preciso facejar para que haja uma área de contacto com o pedal, para se conseguir soldar eficazmente. Para garantir a área útil, o diâmetro será maior do que o definido anteriormente.

O eixo referido é onde a biela vai conectar, sendo composta por duas rótulas que são solidárias por um tubo roscado, exemplificado na Figura 46:

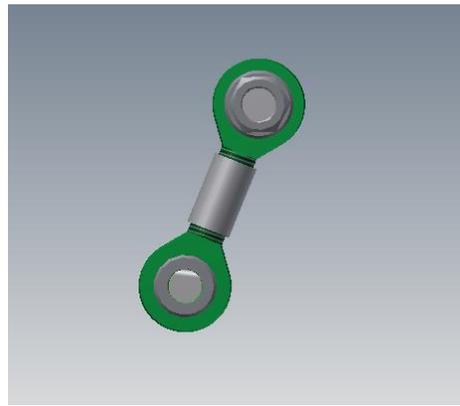


Figura 46. Biela.

A força aplicada nestes componentes é de 8851,61 N, as rótulas conseguem suportar esta carga. De seguida será dimensionado o tubo roscado que une as duas rótulas. Parte-se do princípio que o material do tubo será em aço, com uma tensão de cedência superior a 200 MPa. Assim:

$$\sigma = \frac{F}{\text{área}} \Leftrightarrow \text{área} = \frac{8851,61}{200} = 44,25 \text{ mm}^2 \quad (21)$$

O diâmetro interno é de 20 mm, através da Equação 19, retira-se o diâmetro externo.

$$\text{área} = \frac{\pi \times (d_{\text{ext}} - 20)^2}{4} \Leftrightarrow d_{\text{ext}} = 27,21 \text{ mm} \quad (22)$$

O tudo selecionado terá de diâmetro externo 28 mm, exemplificado na Figura 47.



Figura 47. Tubo roscado.

O eixo do veio principal, identificado na Figura 48, é feito em aço, está sujeito à flexão e à torção, e foi dimensionado recorrendo ao critério de Soderberg.

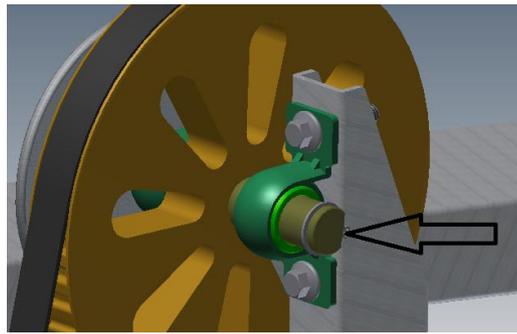


Figura 48. Apoio do pedal estático.

A tensão de cedência é de 540 MPa e o maior valor da torção no veio, ocorre na situação em que o atleta faz força nos dois pedais ao mesmo tempo. Assim:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times 2}{\pi} \times \sqrt{\left(\frac{168,16}{540}\right)^2 + \left(\frac{50,00}{540/\sqrt{3}}\right)^2}} = 19,00 \text{ mm} \quad (23)$$

O pedal está apoiado numa das extremidades, exemplificado na Figura 49, este tem uma carga de 4931,61 N, exercendo um momento fletor, no varão de aço, de 473,43 N.m.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \times 1}{\pi} \times \left(\frac{473,43}{540}\right)} = 20,07 \text{ mm} \quad (24)$$

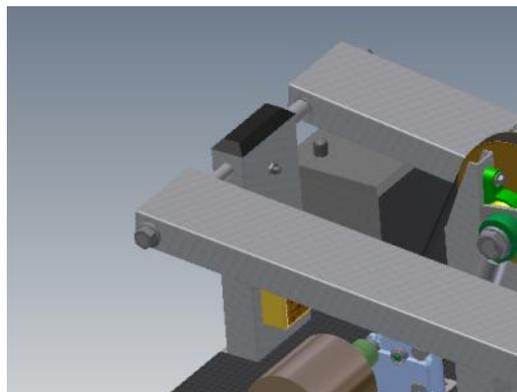


Figura 49. Apoio do pedal estático.

No interesse desta dissertação, desenvolveu-se um conceito de gerar eletricidade por acionamento humano. Neste contexto, o dimensionamento pormenorizado

de todas as partes do projeto seria demasiado ambicioso, não sendo este o objetivo principal deste trabalho.

O modelo cumpre quase todos os requisitos da norma NP EN 957-8, ficando a faltar a aplicação da norma EN 60335-1, relacionada com os aspetos elétricos.

3.4. Ergonomia

A ergonomia é associada à posição mais correta do corpo para realizar uma ação. Os membros inferiores constituídos pela perna, joelho e pé, têm uma mobilidade angular relativa. Este capítulo, tem como objetivo comprovar que o aparelho não permite que os membros efetuem movimentos que não sejam tolerados, neste caso o ângulo do pé, medido e ilustrado na Figura 50. Os valores obtidos estão dentro dos limites indicados na Figura 16.

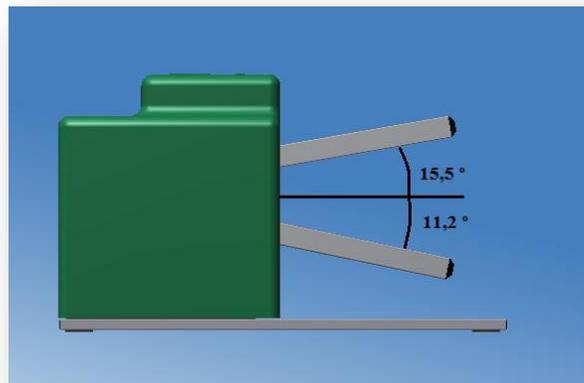


Figura 50. Ângulo dos pedais.

[Folha deixada intencionalmente em branco.]

4. ESTIMATIVA DE CUSTOS

Em relação ao custo da produção, foi efetuada uma estimativa referente aos valores gastos nos materiais utilizados e componentes. Na tabela seguinte são apresentados os dados necessários para determinar o valor da estrutura.

O cálculo para a parte mecânica é feito através do peso, porque os materiais são vendidos ao quilo e aplica-se aos perfis e barras de alumínio e aço, segundo a informação disponibilizada pelo importador LORELEM. O preço de outros componentes, como os rolamentos, rótulas e componentes elétricos foram pedidos aos respetivos distribuidores.

Tabela 4. Custos da estrutura do aparelho.

Componente	Quantidade	Peso (kg)	€/kg ou preço unitário	Preço (€)
Barra retangular de alumínio (60x20) 800 mm	2	0,86/m	5,60	7,70
Barra retangular de alumínio (60x20) 330 mm	3	0,86/m	5,60	4,76
Barra retangular de alumínio (50x30) 320 mm	2	1,25/m	5,60	4,48
Barra retangular de alumínio (100x40) 250 mm	1	2,99/m	5,60	4,18
Barra retangular de alumínio (100x40) 700 mm	2	2,99/m	5,60	23,44
Barra redonda (d=20 mm) 430mm	1	2,50/m	0,725	6,77
Barra redonda (d=25 mm) 120 mm	1	4,00/m	0,728	1,01
Barra redonda (d=25 mm) 55 mm	2	4,00/m	0,728	0,32
Barra redonda alumínio (d=18 mm) 140 mm	2	0,71/m	8	1,60
Chapa 350x450 (1,5mm)	1	-	-	12,37
Barra retangular (40x5) 100 mm	2	1,66/m	0,71	0,23
Barra retangular (25x5) 60 mm	2	1/m	0,71	0,09
Rolamentos veio principal	2	*	**	**
Rótulas	4	0,38	**	**
Buchas flageadas	4	*	38,29	153,16
Acoplador de veios	1	0,06	69,13	69,13
TOTAL		10,6		292

* - Valores desconhecidos.

** - Sem resposta do fornecedor.

Os custos da transmissão não são contemplados devido à falta de informação disponível.

Tabela 5. Custos dos componentes elétricos.

Componente	Quantidade	Peso (kg)	Preço (€)
Gerador	1	2	42
Regulador de tensão	1	0,27	62,42
Bateria	1	8,98	80
Inversor	1	0,47	20
TOTAL		10	204,42

A Tabela 5 ilustra o custo dos componentes elétricos mais importantes. Os restantes componentes elétricos, não foram contabilizados, nomeadamente fios elétricos, adaptadores, fusíveis, etc.

Para além destes custos diretos, existem outro tipo de gastos como o corte, maquinagem, soldaduras, parafusos, porcas, anéis de retenção, borrachas e plásticos, assim como a questão da pintura, embalamento, mão-de-obra, distribuição e transporte.

Os preços obtidos em ambas as tabelas são uma estimativa, dado que a encomenda de grandes quantidades diminui o preço de quase todos os componentes.

O peso do aparelho não deve ser muito elevado para não dificultar a sua mobilidade, por outro lado maior peso significa maior estabilidade. O peso total do aparelho rondará os 21 kg, aparentemente um valor aceitável.

A partir destes dados já se consegue ter um valor mínimo de custo dos materiais e componentes para produção do aparelho de exercício. O valor será de 496 €.

Pode-se concluir que é um preço bastante elevado para um aparelho de exercício físico. Para calcular o retorno económico do produto, considera-se que o aparelho é utilizado em média duas horas por dia, fornecendo uma potência de 0,24 kW/dia, ou 0,12 kWh.

Seguidamente é calculada uma aproximação do tempo a partir do qual o aparelho começa a ser rentável. Os clientes residenciais pagam à EDP 0,139 €/kWh e o preço do aparelho é aproximado de 496 €, então:

$$\text{Energia elétrica equivalente} = \frac{496}{0,139} = 3568,34 \text{ kWh} \quad (25)$$

Considerando que o aparelho é utilizado uma vez por dia, o tempo de amortização calculado em dias é de:

$$\text{Tempo} = \frac{3568,34}{0,24} = 14868 \text{ dias} = 40,7 \text{ anos} \quad (26)$$

Fica demonstrado que a duração da amortização é morosa. Reduzindo o preço de produção para metade, o tempo de amortização corresponde aproximadamente 20 anos.

Pode-se constatar que não estão a ser contabilizados outros benefícios, nomeadamente a saúde resultante da prática do exercício físico. A utilização do aparelho permitirá também realçar o baixo valor da energia gerada e assim sensibilizar os praticantes para outras poupanças de consumo da energia elétrica.

Finalmente, a existência de um equipamento de exercício doméstico pode evitar as deslocações a um ginásio e os custos que lhe estão associados. Contudo, um ginásio tem uma grande variedade de equipamentos não existentes numa habitação particular.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Os objetivos propostos inicialmente foram atingidos. Foi desenvolvido um aparelho de exercício físico, de dimensões relativamente pequenas, capaz de produzir e acumular energia elétrica em ambiente doméstico. O equipamento proposto respeita os requisitos de segurança, designadamente a norma NP EN 957-8, podendo ser ativado por adolescentes, com a potência mecânica de 250 W na teoria.

A solução proposta compreende um aparelho tipo subida de escadas, devido às suas dimensões reduzidas. Para converter o deslocamento linear dos pedais em rotação foi aplicado um mecanismo biela-manivela, permitindo facilmente a conversão do movimento de translação em rotação. Apresenta no entanto, a possível situação de o mecanismo biela-manivela bloquear no ponto morto. A solução será o atleta movimentar a polia trapezoidal de maior diâmetro deslocando-a fora do ponto morto.

O sistema de transmissão foi dimensionado para obter o binário mínimo para que seja ativado por um adolescente. Para conseguir ativar o gerador à velocidade pretendida de 2750 r.p.m., foram aplicadas duas transmissões distintas. A primeira transmissão por correia trapezoidal, com razão de multiplicação de 3×. Para a segunda transmissão recorreu-se a uma caixa multiplicadora de dois estágios, com uma razão de multiplicação de 16×. Ambos os sistemas não foram abordados no dimensionamento mecânico.

O gerador MY1016 de 250 W foi escolhido devido às suas dimensões reduzidas, ao baixo custo e ao seu funcionamento em corrente contínua, para facilmente acumular energia elétrica na bateria.

A inserção do conversor DC-DC, de 120 W, tem o objetivo de converter a gama de tensões fornecidas pelo gerador às diferentes velocidades e de estabilizar a tensão de saída para um valor estável de 13,2 V capaz de recarregar a bateria.

A bateria escolhida da Marca Varta de 30 Ah, tem como função acumular energia e compensar a existência de picos de energia ou a falta de geração elétrica por parte do atleta.

Para conseguir energia elétrica capaz de alimentar aparelhos domésticos, foi aplicado um inversor de corrente, para converter a energia elétrica DC em AC a 220 V.

A potência elétrica não atingiu 250 W, devida à condicionante referida na secção 3.2.2, ou seja, pela dificuldade de encontrar componentes elétricos específicos. Conclui-se que a criação de componentes elétricos dedicados pode ficar mais dispendioso contudo, apresenta-se como uma forma de rentabilizar a potência do atleta com a potência elétrica gerada. Esta otimização iria reduzir o tempo de amortização.

A estimativa do custo foi de 496 €, valor bastante elevado, cuja amortização pela poupança de energia exige uma utilização durante um longo período de tempo (40,7 anos). Porém, existem benefícios indiretos que motivam a produção deste equipamento, como a sensibilização para a poupança de energia elétrica e a promoção da saúde. Aspetos fundamentais que contextualizam os objetivos propostos deste trabalho.

No caso em estudo é considerada um único aparelho a funcionar duas horas por dia, contudo, a situação ideal seria que o aparelho fosse utilizado diariamente pelos diferentes elementos de uma família. A proposta da adaptação de diversos aparelhos em ginásios é uma grande vantagem ao nível da rentabilidade, devido ao uso continuado por parte dos atletas. Neste contexto, seria interessante estudar a aplicação de geradores nas máquinas de exercício físico e prever a potência espectral.

A potência gerada é baixa, mesmo considerando os 250 W, mas poder-se-á concluir que é uma alternativa para gerar energia elétrica, principalmente quando está a ser inadvertidamente desperdiçada.

A energia produzida por este aparelho, sendo reaproveitada, enquadra-se no desenvolvimento de energias alternativas, podendo dar “um pequeno contributo” para a preservação do Ambiente.

Para trabalho futuro sugere-se o dimensionamento mecânico detalhado da estrutura. E também de todos os componentes elétricos, nomeadamente um conversor específico com a potência desejada, para promover a otimização da parte mecânica.

No sentido de dar continuidade a esta dissertação, seria interessante desenvolver e aprofundar estratégias de fabrico do equipamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Energias Renováveis. Página acedida em 10 de Fevereiro de 2012, <http://www.edprenovaveis.com>.
- [2] Freire, Fausto 2011/2012, Sebenta da disciplina Gestão Energética e Ambiental, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra.
- [3] Chapman, S.J. (2005), “Electric Machinery Fundamentals”, 4ª Ed., Mc Graw Hill).
- [4] Fitzgerald et al., (2003), “Electric Machinery”, 6ª Ed., Mc Graw-Hill).
- [5] Mendes Ricardo 2011/2012, Sebenta de Eletrotecnia e Máquinas Elétricas, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra.
- [6] Cardoso, N.J.R.M. (2009), “Aproveitamento do Exercício Físico como Fonte de Energia Renovável”. Tese de Mestrado em Engenharia Eletrónica e Telecomunicações. Universidade de Aveiro, Aveiro.
- [7] Antunes, Fernando 2011/2012, Sebenta da disciplina de Mecânica Aplicada, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra.
- [8] João, T.B.B, (2008), “Inversor 24/230V para sistemas domésticos de produção de energia: projeto e construção de um protótipo”, Departamento Eletrónica, Telecomunicações e Informática, Universidade de Aveiro.
- [9] José, M.A.A., (2010), “Conversor DC-DC com busca de ponto de potência máxima (MPPT) para painéis solares”, Tese de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e Computadores, Universidade Nova de Lisboa.
- [10] “Fitness Origem”. Acedido a 21 de Abril de 2011 em <http://naturephysical.ohlog.com/fitness-origem.oh187375.html>
- [11] The President's Council on Physical Fitness and Sports Research Digest, “Definitions: Health, Fitness, and Physical Activity”. Acedido a 30 de Março de 2012 em http://www.fitness.gov/digest_mar2000.htm
- [12] International Ergonomics Association, “What is Ergonomics”,.Acedido a 20 de Março de 2012 em http://www.iea.cc/01_what/What%20is%20Ergonomics.html, Latest update date:28/11/2011.
- [13] Kapandji, I.A., (1987), “The Physiology of the Joints”, Volume 2 “Lower Limb”, 5º Ed., Churchill Livingstone.
- [14] Completo, A. e Fonseca, F. (2011), “Fundamentos de biomecânica músculo-esquelética ortopédica”, 1ª Ed., Publindústria.
- [15] Catálogo CARE (Aparelhos de Exercício Físico), 2011.

BIBLIOGRAFIA

Branco, C.M., Costa, J.D., Ferreira, J.M., Ribeiro, A.S., 2009, “Projeto Órgãos de Máquinas”, 2º Edição, Fundação C. Gulbenkian.

Catálogo, <http://www.ggbearings.com.br/>.

Catálogo LANEMA, <http://www.lanema.pt/>.

Catálogo MICHAUD CHAILLY, <http://www.michaud-chailly.fr/>.

Catálogo NORELEM, 2012, <http://www.norelem.com/>.

Decreto-Lei 118-A / 2010. “Diário da República, 1.ª série - N.º 207 - 25 de Outubro de 2010”. Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento. Lisboa.

Ferreira, J.M. e Nobre, J.P., 2008/2009, Apontamentos de Introdução ao Projeto Mecânico, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra.

NP EN 957-1 (2009). “Norma Portuguesa para equipamentos de treino fixo: Parte 1: Requisitos gerais de segurança e métodos de ensaio”. Instituto Português da Qualidade.

NP EN 957-8 (2009). “Norma Portuguesa para equipamentos de treino fixo: Parte 8: Simuladores de marcha, simuladores de escadas e simuladores de escalada. Requisitos específicos de segurança adicionais e métodos de ensaio”. Instituto Português da Qualidade.

ANEXOS

A - Dados Técnicos REN, 2011.

DADOS TÉCNICOS ELECTRICIDADE 2011



REN
Redes Energéticas Nacionais

CARACTERIZAÇÃO DO ANO

Em 2011 o consumo de energia elétrica situou-se em 50,5 TWh, registando a maior quebra anual até hoje verificada em Portugal, 3,2% ou 2,3% com correção dos efeitos de temperatura e nº de dias úteis. A potência máxima ocorrida na rede atingiu 9192 MW, cerca de 200 MW abaixo do máximo histórico registado em 2010.

A produção de origem renovável abasteceu 46% do consumo (sólida 18%, hídrica 22% e outras renováveis 6%), inferior aos 52% do ano anterior, verificados com condições meteorológicas excecionais. Os índices de hidrolicidade e eolicidade situaram-se respectivamente em 0,92 e 0,97. Pela primeira vez a produção eólica baixou face ao ano anterior apesar do aumento de 375 MW da potência ligada à rede. Nas grandes hídricas, entraram em serviço os reforços de potência de Picoas e Bemposta com 431 MW.

A produção térmica em Regime Ordinarário aumentou 12% e abasteceu 38% do consumo (20% a gás natural e 18% a carvão). O saldo importador aumentou 7% e representou 6% do consumo.

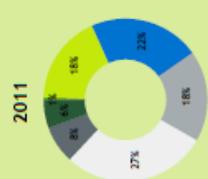
No Desempenhimento da RNT destacam-se, para a melhoria de alimentação aos consumos, no Porto a nova subestação de

Prelada e a remodelação de Ermesinde para 220 kV, e em Lisboa a abertura da subestação do Zambujal e a conclusão de um circuito subterrâneo entre Sacavém e a zona do Alto de S. João (220 kV mas nesta fase a operar a 60 kV). Em Três-os-Montes entrou em exploração a linha a 220 kV Macedo de Cavaleiros-Valpaços, componente importante do futuro eixo transmontano a 220 kV entre Lagoaça e Valdigem. Na região centro, facilitando os tráfegos norte-sul e o escoamento da produção nesta zona, entrou em serviço a linha a 400 kV Laxos-Paraimo. Na Península de Setúbal, a linha a 400 kV Palmela-pitajeiro foi desviada para Fernão Ferro, no âmbito da introdução dos 400 kV nesta subestação. No Alentejo, para reforço de abastecimento aos consumos, receção de energia renovável e nova investigação com Espanha, entraram em exploração a subestação de Tavira e a linha a 400 kV Portugal-Tavira e a conexão nacional da futura interligação Tavira-Puebla de Guzman (Espanha) bem como a linha a 150 kV Portimão-Tunes 3.

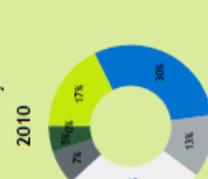
Em termos de qualidade de serviço a Rede de Transporte apresentou o melhor desempenho de sempre com um Tempo de Inermpção Equivalente de 0,27 minutos.

REPARTIÇÃO DA PRODUÇÃO

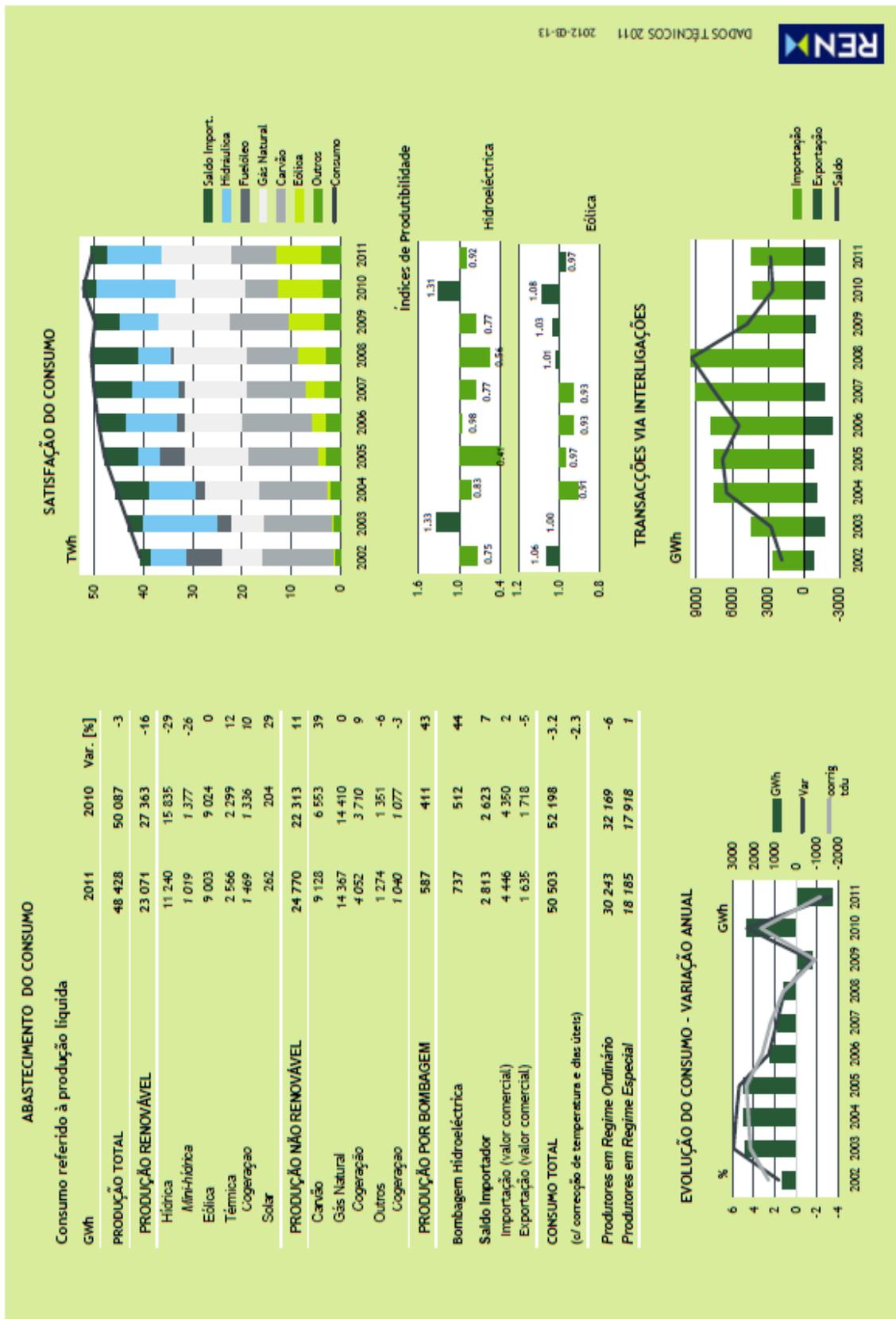
2011

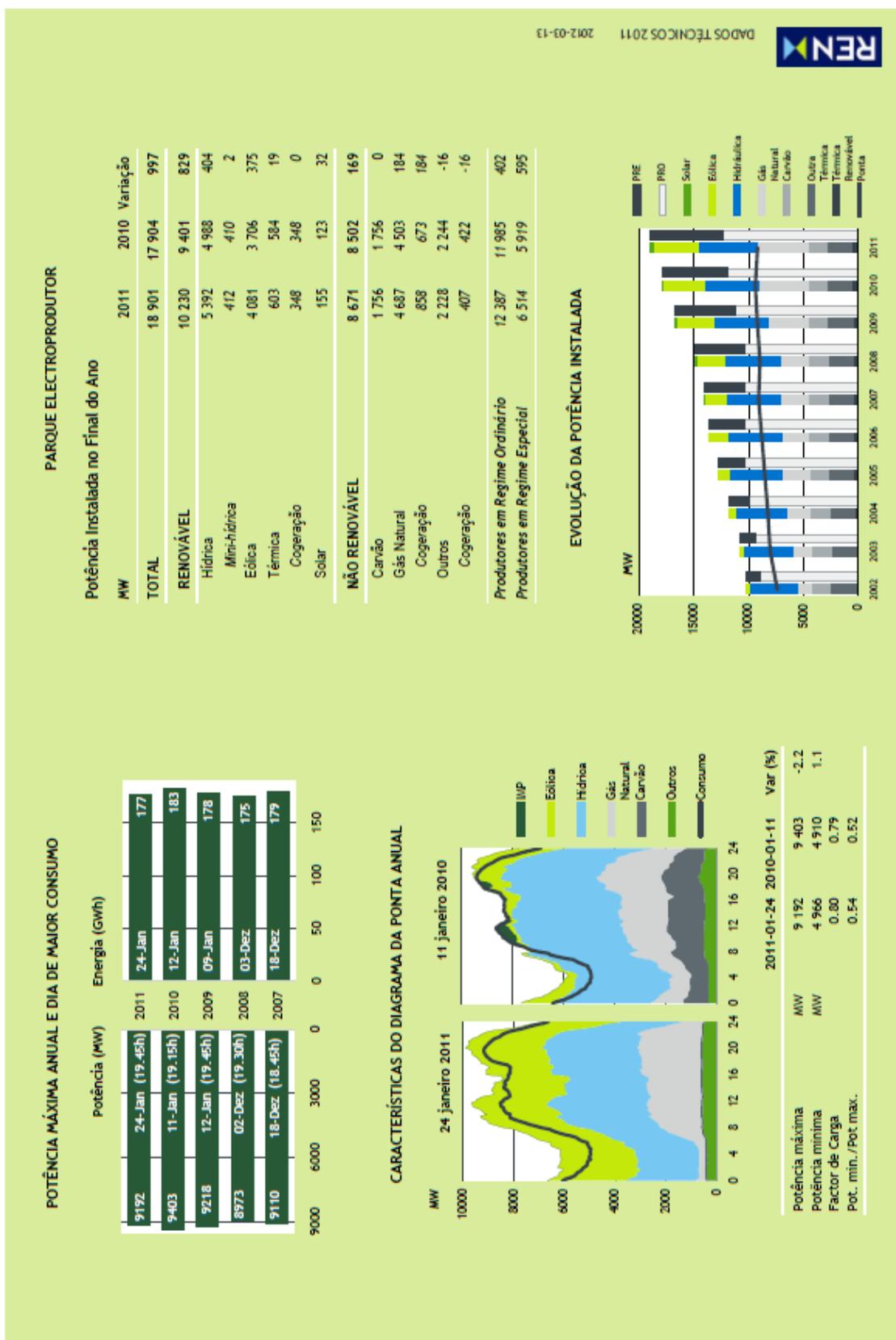


2010



Valores: promédios: 2011: 20-13





[Folha deixada intencionalmente em branco.]

B - Inversor de Corrente DC/AC.



INVERSOR de CORRIENTE DC/AC

300w

DISPONIBLE EN:

*  **12V**

*  **24V**



**INCLUYE ALIMENTACIÓN
POR USB 5V-500mA**





PROTECCIÓN TOTAL:
 BAJA Y ALTO VOLTAJE, CORTOCIRCUITOS, SOBRECARGAS.
 CARCASA DE EXTREMA RESISTENCIA.
 INCLUYE CONJUNTO DE PINZAS DE BATERÍA.
POTENCIA: 300W - PICO POTENCIA: 600W

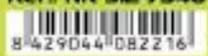
PRESENTACIÓN



ENTRADA: 12 V SALIDA: 220V

EMBALAJE **10** PIEZAS

REF: NR 912-7340



8 429044 082216

 **12V**

ENTRADA: 24 V SALIDA: 220V

EMBALAJE **10** PIEZAS

REF: NR 912-7340/24



8 429044 149344

 **24V**

44

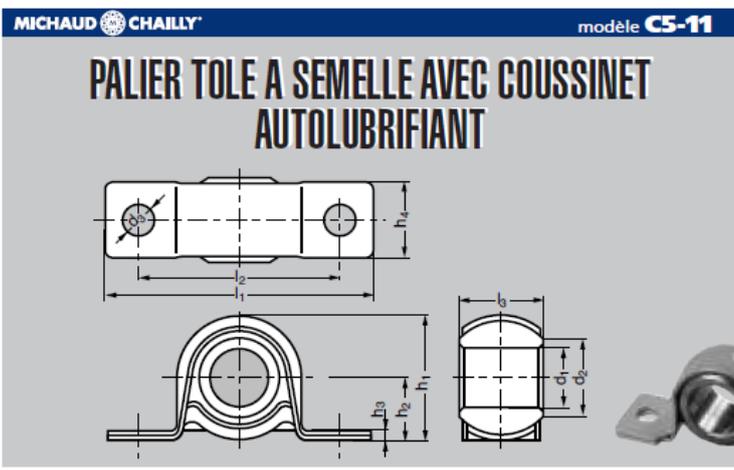
INVERSORES



TATILIA 912

[Folha deixada intencionalmente em branco.]

C - Chumaceira de escorregamento.



MATIÈRE
 - Corps en tôle d'acier.
 - Coussinet bronze.

UTILISATION
 - Palier autoaligneur.
 - Ajustement sur coussinet : g7.

ref. **C5 - 11 - 12 - 14**
 EXEMPLE DE COMMANDE

	d ₁	d ₂	d ₃	l ₁	l ₂	l ₃	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	Vis Fixation	Tolérance arbre
C5 - 11 - 06 - 08	6	8,9	6	36	26	8	13,6	7	1,2	11	M 5	6 ^{-0,004} -0,016
C5 - 11 - 08 - 10	8	12,5	6	42	30	10	17,8	9	1,6	12	M 5	8 ^{-0,005} -0,020
C5 - 11 - 10 - 12	10	16	6	48	36	12	21,8	11	1,6	15	M 5	10 ^{-0,005} -0,020
C5 - 11 - 12 - 14	12	19,5	7	56	42	14	26	13	2	18	M 6	12 ^{-0,006} -0,024
C5 - 11 - 15 - 18	15	20,1	7	63	48	18	30	14,9	3,2	22	M 6	15 ^{-0,006} -0,024
C5 - 11 - 17 - 20	17	22,4	9	74	56	20	33,4	16,8	3,2	24	M 8	17 ^{-0,006} -0,024
C5 - 11 - 20 - 22	20	25,9	9	81	63	22	37,4	18,8	3,2	27	M 8	20 ^{-0,007} -0,028

[Folha deixada intencionalmente em branco.]

D - Rótula.

nlm 27627

Embout fileté à rotule sur palier lisse

**Matière :**

Corps des tailles (D) 6-10 : acier de décolletage, tourné.

Corps à partir de taille (D) 12 : acier, forgé.

Rotule : acier à roulements, trempé, rectifié, poli et chromé.

Finition :

Zingué.

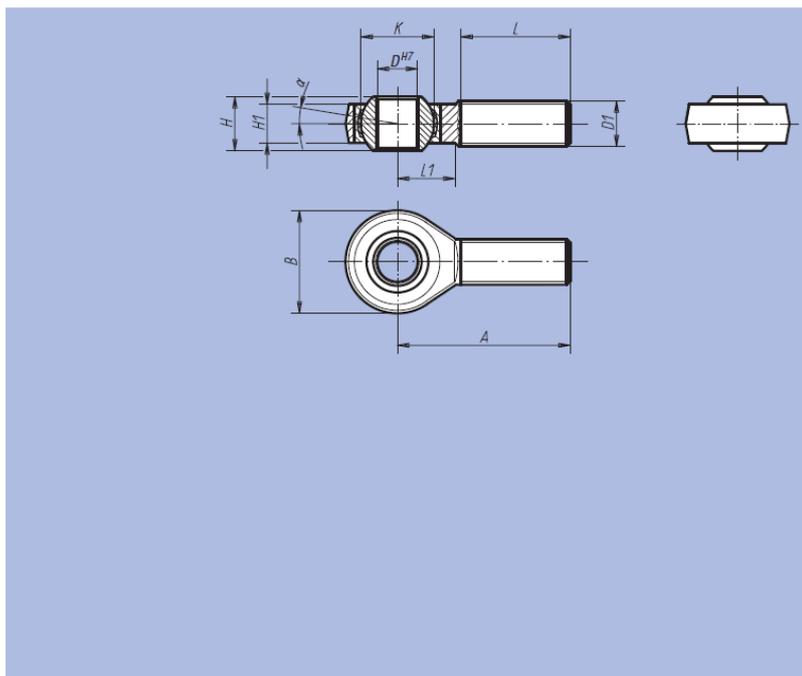
Exemple de commande :

nlm 27627-20

Nota :

Le palier lisse des embouts à rotule ne nécessite aucun entretien spécifique.

Les cotes de raccordement sont conformes à la norme DIN 648, série KA.



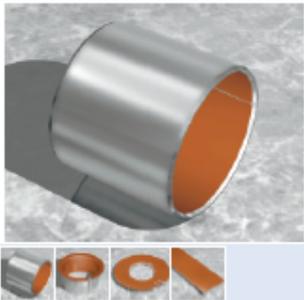
Référence Filetage à droite	Référence Filetage à gauche	D	D1	A	B	H	H1	K	L	L1	α	Charge de base dynamique kN	Charge de base statique kN	\square kg
27627-05	27627-051	5	M5	33	18	8	6	11,11	20	9	13°	7,5	4,3	0,013
27627-06	27627-061	6	M6	36	20	9	6,75	12,7	22	12	13°	9,3	6	0,020
27627-08	27627-081	8	M8	42	24	12	9	15,87	25	15	13°	16,7	11	0,033
27627-10	27627-101	10	M10	48	28	14	10,5	19,05	29	15	13°	23,4	17,4	0,056
27627-12	27627-121	12	M12	54	32	16	12	22,22	33	19	13°	32	23,5	0,087
27627-16	27627-161	16	M16	66	42	21	15	28,57	40	22	15°	52,7	32	0,189
27627-20	27627-201	20	M20x1,5	78	50	25	18	34,92	47	28	15°	78,1	43,8	0,348

[Folha deixada intencionalmente em branco.]

E - Bucha flangeada.

**DP4™
Bearing Material**


an EnPro Industries company

DP4™ Bearing Material	Characteristics		Applications	
	<ul style="list-style-type: none"> Compliant with the European Union's End of Life Vehicles (ELV) directive 2000/53/EC on the elimination of hazardous materials in the construction of passenger cars and light trucks Compliant with the European Union Directive 2002/95/EC concerning the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS Regulation) <p>Lubricated conditions</p> <ul style="list-style-type: none"> Good wear resistance and low friction performance over a wide range of load, speed and temperature conditions Very good performance in oil lubricated heavy duty hydraulic applications DP4™ offers benefits in applications where corrosion of the lead in DU® may occur DP4™ offers improved wear and friction performance along with good chemical resistance compared to DU® <p>Dry conditions</p> <ul style="list-style-type: none"> DP4™ performs well dry under light duty applications Particularly suitable for intermittent operation under reciprocating or oscillating movements 		<p>Automotive</p> <p>Braking systems, clutches, gearbox and transmissions, hinges: door, bonnet, boot, cabriolet roof tops, pedals; pumps: axial piston, radial piston, gear and vane; seat mechanisms, steering systems, struts and shock absorbers, wiper systems, etc.</p> <p>Industrial</p> <p>Aerospace, agricultural equipment, construction equipment, food and beverage, material handling equipment, forming machines: metal, plastic and rubber; office equipment, medical and scientific equipment, packaging equipment, pneumatic and hydraulic cylinders, pumps and motors, railroad and tramways, textile machinery, valves, etc.</p>	
Composition & Structure	Operating Conditions		Availability	
Metal-polymer composite material Steel + porous bronze sinter + PTFE + fillers	dry oiled greased water process fluid	good very good good fair good	<p>Ex Stock</p> <ul style="list-style-type: none"> Cylindrical bushes, flanged bushes, thrust washers, flanged washers and strips <p>To order</p> <ul style="list-style-type: none"> Non-standard parts 	
Microsection	Bearing Properties		Unit	Value
	<p>Dry</p> <p>Maximum sliding speed v</p> <p>Maximum pv factor</p> <p>Coefficient of friction f</p> <p>Oil lubrication</p> <p>Maximum sliding speed v</p> <p>Maximum pv factor</p> <p>Coefficient of friction f</p> <p>General</p> <p>Maximum temperature T_{max}</p> <p>Minimum temperature T_{min}</p> <p>Maximum load p static</p> <p>Maximum load p dynamic</p> <p>Shaft surface finish R_a - dry operation</p> <p>Shaft hardness</p>		m/s MPa x m/s – m/s MPa x m/s – °C °C MPa MPa µm HB	2.5 1.0 0.04-0.25 5.0 10.0 0.02-0.08 +280 -200 250 140 0.4±0.1 >200

[Folha deixada intencionalmente em branco.]

F - Acoplador de veios.

Elastomer Dog Couplings

with radial clamping hub



Material, surface finish:
Elastomer spider in polyurethane, shore hardness 98-A. Hub in aluminium, natural finish

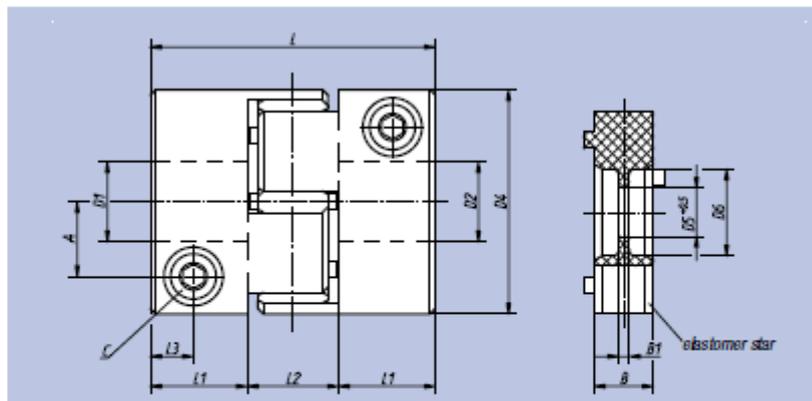
Sample order:
nim 23022-008,
D1 = 6
D2 = 6
(The hubs are supplied predrilled).

Note:
Short assembly times due to the radial clamping hub. The couplings can be mounted in complete assembled condition resp. a plug-in assembly is also possible. The assembly force can be minimised by slight oiling of the spider. The necessary tightening torque of the clamping screw must be noted.

Installation:
The seat shaft / hub is to be selected as transitional seat. Admissible seat clearance shaft / hub: min. 0.01 mm; max. 0.04 mm.
E.g. shaft: Ø 28 k6
hub: Ø 28 F6.

Hub boreholes which are smaller than D min. are possible; but an optimal transfer of the nominal torque of the coupling can not be guaranteed in this case.

On request:
Desired hub holes D1 and D2 separately with tolerance class or tolerance zone.



Order No.	Size	Nominal torque Nm	Inertia (10 ⁻⁴ kgm ²)	Static resistance to torsion Nm/r/min	Max. axial shaft displacement ±	Max. lateral shaft displacement	Radial spring stiffness N/mm	Tightening torque of screws (Nm)
23022-002	2	2	0,00016	0,007	0,6	0,1	405	0,5
23022-005	5	5	0,0011	0,016	0,8	0,1	510	1
23022-008	8	8	0,01	0,04	0,5	0,1	600	4
23022-015	15	15	0,03	0,24	0,5	0,1	2100	8
23022-030	30	30	0,09	0,41	0,5	0,1	2500	14
23022-060	60	60	0,18	0,61	0,5	0,1	2600	35
23022-150	150	150	0,38	1,05	1	0,1	3300	67
23022-300	300	300	1	2	1	0,12	4500	115
23022-500	500	500	2,2	5,8	1	0,15	5900	115
23022-700	700	700	5,2	8	1	0,15	7000	185

Order No.	D1/D2 predrilled	D1/D2 min.	D1/D2 max.	D4	D5	D6	A	L	L1	L2	L3	B	B1	C (DIN 912-10.9)	Gg
23022-002	3	3	5	14	-	-	4	22	7	8	3,5	6	-	M2	7
23022-005	5	5	8	20	-	-	6,5	30	10	10	5	8	-	M2,5	18
23022-008	6	8	15	32	8,5	10,5	10,5	40	13,5	13	6	10	2	M4	60
23022-015	7	10	20	40	9,5	18	13,5	50	17	16	8	12	3	M5	120
23022-030	9	13	26	50	12,5	27	16,5	58	20	18	9	14	3	M6	210
23022-060	12	15	29	60	12,5	27	19,5	62	22	18	10	14	3	M8	320
23022-150	15	22	33	70	14,5	30	23	73	26,5	20	12	15	4	M10	520
23022-300	18	30	42	85	16,5	38	29	86	31	24	14	18	4	M12	900
23022-500	20	38	56	100	20,5	47	36	94	33	28	16	22	5	M12	1500
23022-700	24	40	70	120	22,5	58	44	109	38	33	18	25	6	M14	2500

[Folha deixada intencionalmente em branco.]

G - Conversor DC-DC.



Performance data for non-isolated versions

	VC3.8S	VC6.8S	VC10S
Type	Switch mode Non-isolated	Switch mode Non-isolated	Switch mode Non-isolated
Input	15 - 38V DC	15 - 38V DC	15 - 38V DC
Output	13.2V DC	13.2V DC	13.2V DC
Constant current (100% duty cycle)	3.8A	6.8A	10A
Intermittent current (30% duty cycle)	7A	11A	14A
Quiescent current	<15mA	<15mA	<15mA
Oscillator frequency	60KHz	60KHz	60KHz
Transient voltage	Level 3 @ ± 2kV	Level 3 @ ± 2kV	Level 3 @ ± 2kV
Protection	Overload Reverse Polarity Short Circuit Soft-Shutdown	Overload Reverse Polarity Short Circuit Soft-Shutdown	Overload Reverse Polarity Short Circuit Soft-Shutdown
Efficiency (approx)	91%	90%	89%
Connection	4x spade	4x spade	4x spade
Colour	Black/gold	Black/gold	Black/gold
Dimensions (mm)	69 x 74 x 31	79 x 74 x 31	89 x 74 x 31
Weight	138g + fixings	186g + fixings	207g + fixings
Warranty*	Lifetime	Lifetime	Lifetime

* Against manufacturing defects



Specifications are approximate and are subject to change without prior notification

[Folha deixada intencionalmente em branco.]

H - Inversor DC/AC.



O aparelho é adequado apenas para o uso em espaços interiores.

⚠ Perigo de incêndio!

- Não utilize o aparelho próximo de superfícies quentes.
- Não coloque o aparelho em locais em que fique sujeito à exposição directa de raios solares. Caso contrário poderia sobreaquecer e ficar irreparavelmente danificado. Não utilize o aparelho dentro de um automóvel que se encontra ao sol.
- Nunca deixe o aparelho sem vigilância durante o seu funcionamento.
- Não cubra as aberturas de ventilação do ventilador, quando o aparelho está ligado.
- Não coloque quaisquer fontes de chamas abertas, como p.ex. velas, sobre o aparelho.
- Devido às elevadas resistências de passagem, pode acontecer que a conexão de ficha aqueça, ao utilizar o cabo com a ficha de isqueiro de 12 V para automóvel.

⚠ Indicação relativa à desconexão da rede

- O interruptor ligar/Desligar deste aparelho não o desliga totalmente da rede de bordo ou da bateria. Com a ficha de isqueiro para automóvel introduzida, o aparelho continua a consumir energia. Para desligar o aparelho totalmente da rede de bordo, é necessário retirar a ficha de isqueiro de 12 V para automóvel da tomada de bordo de 12 V.

⚠ Perigo de ferimentos!

- Mantenha as crianças afastadas do cabo de ligação e do aparelho. As crianças não têm noção dos perigos que os aparelhos eléctricos podem causar.
- Se o aparelho tiver caído ou estiver danificado, não o deve voltar a colocar em funcionamento. O aparelho deve ser verificado por um técnico especializado e, se necessário reparado.

Dados técnicos

Entrada DC

Tensão :	12 V
Tensão máxima:	15,5 V
Consumo máximo de corrente:	20 A
Alarme de sobrecarga:	a 10,6 ± 0,3 V
Desconexão de sobrecarga:	a 10 ± 0,3 V
Desconexão de sobrecarga:	a 16 ± 0,5 V

Saída AC

Tensão :	220-240 V ~ 50 Hz
Corrente de saída:	0,65 A
Potência contínua:	150 W (> 4 h) / 170 W (30 min)
Potência de pico:	300 W (0,1 s)
Rendimento:	aprox. 85 %
Forma de onda de saída:	seno modificado
Protecção de sobrecarga:	200 W (+/- 5%)
Desconexão da temperatura:	65 °C (a 50 W +/- 5% carga)

Fusíveis

Transformador de tensão:	Fusível plano 20 A para automóvel
--------------------------	-----------------------------------

Disjuntor de corrente de falha

Desconexão em caso de correntes de falha:	>3 mA
---	-------

Dados gerais

Dimensões (sem ficha de isqueiro para automóvel) [C x L x A]:	185 x 73 x 58 mm
Peso :	aprox. 470 g
Temperatura de funcionamento:	5...40 °C
Humidade de funcionamento:	0-80 % (humidade rel. do ar - sem condensação)

Reservam-se as alterações técnicas.

[Folha deixada intencionalmente em branco.]

I - Bateria.



EUROPEAN TYPE NO. (ETN)
530 400 030

VARTA FUNSTART FRESHPACK

- **Complete Package 2in1**
 Battery includes acid pack and filling tube
- **Top Starting**
 Reliable starting power
- **Longlife Technology**
 Long service life even in the most demanding conditions

ORDER INFORMATION

European Type No. (ETN):	530 400 030
Article Number:	530 400 030 A51 4
JIS Code:	YB30L-B
Barcode:	4016987141328
Packaging Unit:	1
Quantity per Pallet:	48

TECHNICAL INFORMATION

Voltage [V]:	12	Base Hold-down:	B00
Battery Capacity [Ah]:	30	Layout:	0
Cold Cranking Amps (CCA), EN [A]:	300	Terminal Types:	Y4
Length [mm]:	168	Venting:	Right
Width [mm]:	132	Weight filled (kg):	8,98
Height [mm]:	176	Weight (kg):	6,75

TECHNOLOGY

Battery terminal construction
Reduces corrosion and prevents acid leakage for a longer service life

Cell connectors
Directly linking the individual battery cells via the plate block creates a shorter "energy path", increasing the starting power

Specialised grid design
Optimum conductivity and high vibration resistance

Special separator
For exceptional starting power

Casing and lid material
The special oil and petrol-resistant plastic protects against extreme temperatures

[Folha deixada intencionalmente em branco.]