



**FEUP** FACULDADE DE ENGENHARIA  
UNIVERSIDADE DO PORTO

**MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2015/2016**

# **MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DO EXERCÍCIO FÍSICO**

**DIOGO MADEIRA CALHEIROS**

Dissertação submetida para obtenção do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE**

**Presidente do Júri:** Cidália Maria de Sousa Botelho  
(Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da  
Universidade do Porto)

---

**Orientador académico:** Clito Félix Alves Afonso  
(Professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia  
da Universidade do Porto)

*Abril, 2016*

---



## Agradecimentos

Para começar gostaria de agradecer ao meu orientador, o Professor Clito Afonso. Primeiro por ter embarcado comigo nesta dissertação e ter acreditado que era algo de valor e com “pernas para andar”, dado ser um tema fora dos temas “standard” do meu curso e segundo por ser um assunto que ainda se encontra no seu estado embrionário. À Professora Cidália Botelho por inicialmente ter procurado possíveis soluções de orientadores de outros departamentos para assim ser possível fazer uma tese com um tema escolhido por mim. Um obrigado também ao pessoal da contabilidade do Departamento de química, Catarina Costa e Elisa Duarte, pela disponibilidade e boa vontade ao tentarem-me ajudar com as enormes burocracias encontradas para a compra dos aparelhos de que necessitava para a realização da dissertação e por estarem sempre prontas a ajudar mesmo quando algumas empresas dificultavam a vida.

Aos meus amigos por me terem sempre feito acreditar neste tema que sempre quis trabalhar e ajudando-me, cada um à sua maneira, em dificuldades que me iam aparecendo. Um agradecimento especial à Raquel Mateus, professora no ginásio do Clube de Ténis do Porto, que se disponibilizou para ajudar com as experiências com a corda, pondo os seus atletas no fim dos treinos a saltar para conseguir ter resultados. Um agradecimento também à Sofia Monteiro e à Inês Guimarães pela ajuda que me foram dando com certos pormenores da tese.

E como não podia deixar de ser, aos meus pais, Olga Calheiros e António Calheiros, pelo apoio constante e por serem sempre uma inspiração importante na minha vida para querer sempre e fazer sempre melhor, ensinando-me os valores que tenho hoje e que os guardarei para a vida!

---

## Resumo

O trabalho teve como objetivo estudar alternativas para reduzir o consumo de combustíveis fósseis, essencialmente aproveitando a energia proveniente do nosso corpo. O Homem tem sabido evoluir com os tempos e nos últimos anos começou a perceber a importância de arranjar substitutos para os combustíveis fósseis. O uso de fontes de energia renováveis, como a solar e a eólica, têm progredido de década para década e a sua utilização tem aumentado igualmente. Porventura só muito recentemente é que se começou a dar alguma importância à geração de energia oriunda do nosso corpo: a microgeração de energia humana. Cada indivíduo produz uma quantidade assinalável de energia durante a sua vida, mas não a aproveita totalmente. Esta tese foca-se essencialmente nas várias tecnologias que existem para se aproveitar energia humana, sendo que a maioria são extremamente recentes. Tecnologias que aproveitam o choque da sapatilha com o chão, o simples movimento da perna, pisos com materiais piezoelétricos que através do abaixamento do mesmo gera energia elétrica, bolas de futebol e cordas de saltar. Ao serem usadas armazenam toda a energia numa bateria que depois permite carregar telemóveis ou acender lâmpadas durante várias horas e muito mais. Na busca de um rendimento superior de todos os produtos juntou-se esta tecnologia ao desporto. Dado que um atleta a treinar coloca muito mais intensidade em todos estes aparelhos do que uma pessoa que apenas caminha ou dá pequenas corridas, é importante conciliar esta nova tecnologia com o exercício físico. Os choques entre chão e sapatilha vão ser mais intensos, a perna irá rodar muitas mais vezes, o pavimento será pisado mais vezes e com mais força e assim por diante. Analisou-se a importância do desporto na vida das pessoas, que para além de ser importante a nível estético e psicológico ajuda-nos em praticamente todas as variantes da nossa vida desde saúde até à melhoria da vida social. O desporto combate um dos mais graves flagelos que assombra as pessoas neste século: a obesidade. Esta forma de produção de energia é mais uma motivação para se fazer desporto. Saber que vamos estar a zelar pela nossa saúde (diminuindo riscos de doenças), melhorar a forma física (ficando mais aptos para várias atividades), ficar mais confiantes e melhores a nível psicológico e, ao mesmo tempo, estarmos a produzir energia elétrica o que se torna extremamente gratificante.

Dos aparelhos de microgeração humana apresentados, fez-se o estudo da bola Soccket e da corda Pulse. Estes dois aparelhos, embora ainda apresentem algumas imperfeições, são já de bastante qualidade. A bola permitiu obter 2 horas e 53 minutos de luz com uma hora de uso e a corda 3 horas e meia. Assim é possível eliminar até  $1,6 \cdot 10^9$  kg CO<sub>2</sub>/ano, se metade da população mundial usar a bola e  $8,3 \cdot 10^9$  kgCO<sub>2</sub> com a corda PULSE. Para além de servirem como forma de poupança para o consumidor (pois conseguem ter luz ou carregar aparelhos só

---

pela energia do seu exercício) ainda serve para populações que têm dificuldade em obter energia elétrica nas suas casas. Desta forma, conseguem suprir parte das suas necessidades.

**Palavras Chave (Tema):** Microgeração, desporto, combustíveis fósseis, energia, renovável

---

## Abstract

The aim of this work is to present alternatives to the overuse of fossil fuels mainly through the production of energy produced by our own body.

Man has always known how to evolve and has understood the importance of getting new forms of energy that can replace the use of fossil fuels. The use of the renewable energies, such as solar and wind, has developed a lot since the last decades. However, only recently people started to focus on the energy each individual can produce: microgeneration of energy through our own body. Each individual produces a great amount of energy during his life, which is totally wasted. There are already some technologies available to use this body energy. There are technologies to take/get the energy from a heel strike, or from a simple move of a leg; floors made of piezoelectric materials, which through the depression of the floor, produce electric energy; football balls and ropes which when used store all the energy produced in a battery that can be used to charge mobile phones, give light during hours and much more. When we join this technology to sport activity, the result is successful. An athlete, more than a common person, takes advantage from all this technology as he/she produces much more energy. That's why this relation sport-energy harvesting can be really advantageous. The heel strike on the floor, from an athlete is much stronger because the floor will receive more impact.

Everybody knows how important sport is, not only physically, but also psychologically and socially. Sport fights obesity, one of the worst problems of our societies nowadays. Furthermore, this kind of body energy production motivates people to do some exercise, they feel confident, as they are doing something to keep fit and healthy and at the same time they are producing energy which they can use in many ways.

I've studied 2 of these human microgeneration devices. The Soccket ball and the Pulse rope. Although these 2 items still present some faults, they have great quality and we can get much energy from them without a long time use. With the ball we could get 2 hours and 53 minutes of light in an hour of usage and 3 hours and a half with the rope. This way we can reduce the amount of CO<sub>2</sub> to  $1,6 \cdot 10^9$  kg/per year if half of the world population uses the ball and to  $8,3 \cdot 10^9$  kg if it uses the Pulse rope. Besides this, some money can be saved as we are generating our own energy through exercise. It can also be very useful to take energy to remote places, where it is not easy to have access to electricity.

**Key words:** Microgeneration, sport, fossil fuels, renewable, energy

---

# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento e Apresentação do Projeto .....	1
1.2	Contributos do Trabalho.....	4
1.3	Organização da Tese .....	4
<b>2</b>	<b>Estado da Arte .....</b>	<b>5</b>
2.1	Revisão Bibliográfica .....	5
2.1.1	História da Energia.....	5
2.1.2	Problema energético .....	8
2.2	Alternativas de produção de energia.....	11
2.2.1	Energias Renováveis .....	11
2.2.2	Microgeração humana .....	19
2.3	Desporto .....	22
2.3.1	Importância no ser humano .....	22
2.3.2	Obesidade, um problema à escala mundial .....	23
2.4	Tecnologias de microgeração humana através do exercício físico .....	25
2.4.1	Aparelho de colheita de energia nas sapatilhas [47]. .....	25
2.4.2	Bateria Auto carregável que produz e armazena energia .....	32
2.4.3	<i>AMPY Move</i> .....	33
2.4.4	<i>Stepper</i> de ginásio que produz energia eléctrica.....	35
2.4.5	<i>SOLEPOWER - Power by walking</i> .....	37
2.4.6	<i>PAVEGEN</i> - A empresa que criou um campo de futebol que produz eletricidade .....	37
2.4.7	<i>SOCCKET</i> .....	40
2.4.8	<i>PULSE</i> .....	42
<b>3</b>	<b>Descrição Técnica e Discussão dos Resultados .....</b>	<b>43</b>
3.1	Poupança de energia através dos aparelhos de microgeração humana .....	43
3.2	Poupança de energia em eventos desportivos .....	50
3.2.1	Corrida de S. Silvestre Porto .....	50
3.2.2	Maratona de Nova Iorque 2014 .....	53

<b>4</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>55</b>
<b>Anexo 1</b>	<b>Conteúdo em Anexos .....</b>	<b>65</b>

## Notação e Glossário

d,m	coeficiente de amortecimento mecânico	
g	gravidade	$m/s^2$
i	corrente induzida nas bobinas	
t	tempo	s
A	área da secção transversal da bobina	$m^2$
B	densidade de fluxo magnético	
Cf	fator de acoplamento	
F <sub>air</sub>	força devido á compressão do ar	N
F <sub>dm</sub>	força de amortecimento mecânica	N
F <sub>e</sub>	força de amortecimento eléctrica	N
F <sub>ext</sub>	entrada externa de aceleração do movimento do pé	N
F <sub>m</sub>	força magnética	N
F <sub>r</sub>	forças de fricção	N
k	coeficiente de acoplamento	
L <sub>eff</sub>	comprimento efetivo	m

### Letras gregas

$\varphi$	Fluxo magnético	$Tm^2$
-----------	-----------------	--------

### Lista de Siglas

BTU - *British Thermal Unit*  
 CSP - Centrais solares termoeléctricas de concentração  
 EIA - *Environmental Impact Assessment*  
 FER - Fontes de Energia Renováveis  
 Mtoe - Milhares de toneladas de óleo equivalente  
 OCDE - Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Económico  
 PVC - Policloreto de vinila  
 PVDF - Fluoreto de polivinilideno  
 TJ - Terajoules

# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto

A revolução energética do início do século desencadeou-se devido ao constante aumento do preço do petróleo. Para além deste aumento, a proximidade do apelidado “pico do petróleo”, que se define como o desnível entre a quantidade de petróleo produzido e o petróleo presente nas reservas recém-descobertas, é outro fator preponderante para esta revolução energética. Este problema teve o seu expoente máximo a partir da década de 80, altura em que o mundo começou a usar mais petróleo do que o que descobria. Outro fator que levou a esta revolução, foi a realização tardia de uma política de redução de consumo das energias fósseis. Esta política necessita de ser promovida com urgência pela comunidade internacional para se conseguir limitar as mudanças climáticas provocadas pela excessiva emissão de gases de efeito de estufa, que se podem tornar mortíferas e irreversíveis.

Por outro lado o aumento do preço do petróleo acaba por acarretar certas vantagens tornando a saída desta “era do petróleo” mais acessível. Isto porque o Homem necessitou de começar a pensar e a criar opções de substituir esta fonte de energia por outras mais baratas, limpas e duradouras. Na história das fontes de energia usadas, nunca se transitou devido ao esgotamento de nenhuma fonte de energia mas sim por se identificar uma nova fonte com qualidades superiores e custos inferiores [1].

Apareceram as energias renováveis que são fontes de energia disponibilizadas na natureza de forma cíclica podendo ser utilizadas para gerar energia elétrica ou calor ou para produzir combustíveis líquidos para o sector dos transportes. Estas “novas” fontes possuem uma importância colossal nas políticas energéticas devido ao seu papel importante para a sustentabilidade do sistema energético. As energias renováveis têm crescido nos últimos anos mas os países mais desenvolvidos ainda contam principalmente com as fontes não renováveis que se estão a esgotar o que faz com que os custos de produção aumentem [2].

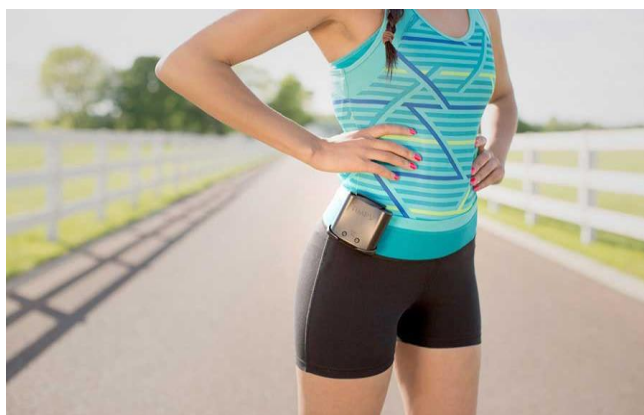
É então necessário criar mais formas de produzir energia e aprimorar as que já existem de forma a ser mesmo possível transitar definitivamente, ou quase, das energias não renováveis para as renováveis. Têm surgido cada vez mais formas de produzir energia de forma “limpa” sendo que a energia solar e a eólica são, das renováveis, as que têm sido mais implementadas e com maior sucesso nos países mais industrializados. Pode-se ver um exemplo destas tecnologias na Figura 1.



*Figura 1 - Uma opção de fonte renovável numa habitação neste caso o aproveitamento da energia solar [44].*

Outra forma de geração de energia elétrica em pequena escala é a geração de energia através do ser humano. Durante todos estes anos a energia produzida por cada pessoa só tem sido aproveitada como forma a conseguirmos efetuar as várias atividades a que nos propomos. A energia gasta nessas atividades tem sido desperdiçada no que toca a aproveitá-la como fonte de energia. Todos os dias milhões de pessoas andam, correm, saltam e essa energia pode ser toda aproveitada para produzir energia elétrica, com a transformação da energia mecânica em energia elétrica. Numa época em que cada vez mais as pessoas preocupam-se com a imagem e em adotar um estilo de vida saudável é importante que se consiga aproveitar essa energia.

Têm-se criado aparelhos cada vez mais rentáveis, confortáveis e que permitem ao “atleta” fazer o seu desporto de forma natural. Um desses aparelhos está presente na Figura 2.



*Figura 2 - Ampy, um dos aparelhos de microgeração humana que permitem produzir energia elétrica [45].*

Nesta tese de mestrado exploraram-se as formas de energia renováveis possíveis para combater o uso insustentável dos combustíveis fósseis. Para além das energias renováveis mais usuais, deu-se especial foco á microgeração humana que permite aproveitar a energia conseguida através do movimento humano. Esta tecnologia foi criada à poucos anos e como tal ainda está numa fase inicial da sua evolução. Apesar disso já há vários exemplos do aproveitamento desta tecnologia como, por exemplo, os materiais piezoelétricos, e pequenos aparelhos que possuem baterias no seu interior, conseguindo “guardar” a energia humana e permitindo que esta seja usada em variadíssimas aplicações do nosso dia-a-dia como por exemplo carregar a bateria de um telemóvel.

O grande objetivo é fazer com que esta tecnologia seja utilizada em grande escala, permitindo que as populações consigam reduzir os seus gastos energéticos através de uma energia renovável e sustentável. Juntar esta tecnologia com as já existentes e desta forma conseguir minimizar o uso dos combustíveis fósseis e provocar uma redução das emissões de gases com efeito de estufa.

## 1.2 Contributos do Trabalho

O grande foco desta dissertação foi mostrar as diferentes formas de energia possíveis para combater os combustíveis fósseis, dando especial realce a uma nova e inovadora forma de produção de energia; a microgeração de energia elétrica a partir do movimento humano. Esta área ainda se encontra pouco desenvolvida mas pode ser bastante mais explorada trazendo bons resultados futuros. Aliando aos milhares de praticantes de desporto em todo mundo e sabendo que cada vez mais as pessoas têm preocupações com a sua saúde e também com a própria estética do corpo, torna-se extremamente rentável trabalhar em aparelhos que consigam aproveitar toda essa energia.

## 1.3 Organização da Tese

### Capítulo 1 - Introdução

Neste primeiro capítulo faz-se uma pequena introdução sobre o problema energético que se vive nas últimas décadas e várias soluções que se tem trabalhado e evoluído nos últimos tempos, desde a energia solar como a energia eólica e por fim a microgeração humana.

### Capítulo 2 - Estado de Arte

No estado de arte apresenta-se vários temas de relevo para a dissertação. Inicialmente faz-se um breve resumo sobre a história da energia, assim como ela evoluiu desde os primórdios até aos dias de hoje. De seguida deu-se ênfase aos problemas energéticos que o planeta enfrenta neste momento com o aumento populacional e devido ao consumo insustentável dos recursos que possui assim como, as alternativas de produção de energia.

Nos últimos 2 capítulos explica-se a importância do desporto no ser humano e as formas de aproveitar a atividade física para produzir energia elétrica, apresentando-se uma grande diversidade de soluções, aparelhos e protótipos criados recentemente.

### Capítulo 3 - Descrição técnica e discussão de resultados

Os resultados obtidos estão descritos neste capítulo, apresentando os valores de poupança de energia conseguida com os aparelhos de microgeração humana descritos nesta dissertação assim como, os valores de emissões de dióxido de carbono que se consegue evitar com o seu uso.

## 2 Estado da Arte

### 2.1 Revisão Bibliográfica

#### 2.1.1 História da Energia

Deslocando-nos para os primórdios da Humanidade notamos que a primeira forma de energia utilizada pelo Homem foi a energia proveniente do seu corpo. Seguiu-se a descoberta do fogo, considerada a maior conquista do ser Humano pré-histórico, sendo uma fonte constante de calor, luz e proteção e útil para cozinhar. Depois do fogo começou a aproveitar-se a energia dos animais para transporte, a aproveitar a força da água em moinhos (para transformar os produtos primários) e a energia do vento para rodar os moinhos e empurrar as caravelas. Isto permitiu ao ser humano deslocar-se para locais mais longínquos.

No século XVIII a invenção da máquina a vapor por James Watt contribuiu, decisivamente para o avanço da Revolução Industrial, fazendo esta, o trabalho de dezenas de cavalos. Esta máquina fornecia energia para locomotivas e indústrias e o carvão permitia o aquecimento de edifícios para fazer a fundição de ferro em aço.

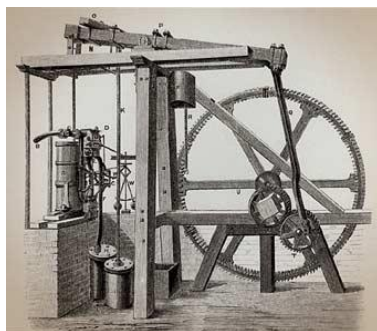


Figura 3 - Máquina a vapor de James Watt [30].

Foi nesta altura que se deu a descoberta dos combustíveis fósseis sendo os principais o petróleo, o carvão e o gás natural. Em 1880 usou-se o carvão como combustível da máquina a vapor e anos depois Thomas Edison criou a primeira lâmpada incandescente com filamento de carvão [3].

No fim do século XIX e início do século XX inicia-se a exploração de petróleo e começa-se a usá-lo como combustível. Surge a produção em série através do empresário Henry Ford, produzindo mais automóveis em menos tempo e menor custo.

Estas evoluções fizeram com que o uso energético por parte da sociedade mudasse para sempre. As centrais elétricas tornaram-se cada vez maiores facultando energia para as áreas rurais durante a Grande Depressão (crise económica de 1929). O uso de energia duplicava a cada 10 anos e, como tal, o custo da produção ia decaindo. Após a 2ª Guerra Mundial, que desencadeou a energia nuclear, começou-se a utilizar este tipo de energia para produzir eletricidade. Construíram-se centenas de centrais nucleares e casas com sistema de aquecimento totalmente elétricos para aproveitar essa energia mais “barata” [3]. Este tipo de energia continua a ser a base de produção de eletricidade de alguns países industrializados, mas não é considerada uma fonte de energia fiável por motivos económicos, de segurança e ambientais.

Estes atos provocaram impactes prejudiciais na Natureza, devido ao ser humano usar os recursos naturais como se estes fossem inesgotáveis, consumindo e desperdiçando de forma inconcebível. Estes atos ajudaram certos desastres a acontecer: a 3 de Dezembro de 1984 ocorreu uma fuga de gás na “*Union Caribe*”, uma Indústria química na Índia que provocou 3000 mortos; a 24 de Março de 1989 o “*Exxon Valdez*”, um petroleiro, naufragou provocando uma das maiores marés negras de sempre. A par da ocorrência pelo petroleiro “*Prestige*” que ocorreu em 2002 na Galiza contaminando toda a costa norte da Península Ibérica; e por fim um dos acontecimentos mais marcantes dos últimos anos, uma fuga num reator nuclear soviético espalhou uma onda de radioatividade a partir de *chernobyl* pelo Mundo e principalmente pela Europa desenvolvida, provocando inúmeras mortes e efeitos a longo prazo, como cancro e deformidades que ainda estão a ser contabilizados.



*Figura 4 - Desastres humanos dos últimos anos; petroleiro Prestige a naufragar e o desastre de Chernobyl.*

Nos últimos anos o Homem tem ganho alguma consciência dos seus atos começando a abrandar na exploração dos recursos e começando a apostar em alternativas como as energias renováveis para substituir os combustíveis fósseis, a apostar na melhoria dos equipamentos para conseguir melhores rendimentos energéticos e na proteção ambiental [4]. Estas alternativas aos combustíveis fósseis são necessárias já que estes para além de finitos, poluentes e caros, não são fiáveis a nível de abastecimento e há uma instabilidade de preços. A nível ambiental a sua queima provoca emissões de gases poluentes como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que é o principal gás a provocar o aumento das temperaturas na Terra, dióxidos de enxofre e dióxidos de azoto [7].

### 2.1.2 Problema energético

Inicialmente o Homem “explorou a terra, cultivou-a e extraiu dela matérias úteis” [8]. A evolução tecnológica e científica permitiu ao Homem explorar a Terra de outras maneiras. Por exemplo explorar no subsolo onde se encontraram “tesouros” como o carvão, petróleo, metais e urânio. A partir dos anos 70 surgiram certas questões: “não estaremos nós em vias de esgotar as riquezas do subsolo? Não estaremos nós a espoliar as gerações futuras?” [57]. De fato os “tesouros” que a Natureza nos dá não estão esgotados mas um dos grandes problemas mundiais continua a ser o facto de a política mundial ser baseada na queima destes combustíveis fósseis, especialmente no petróleo. Este, o carvão e o gás natural representam cerca de 80% da energia final consumida anualmente.

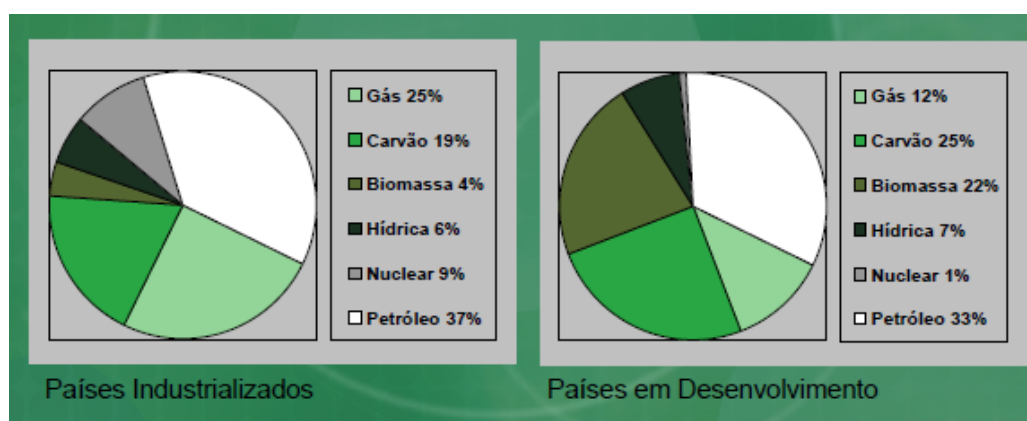


Figura 5- Gráficos das diferentes fontes de energia [31]

A energia consumida tem subido na última década fruto das evoluções tecnológicas, que dão cada vez mais opções aos consumidores de como “gastar energia”. Cada vez mais a população mundial está “viciada” em tecnologia, muito devido ao facto de estarmos rodeados dela para qualquer tarefa que realizemos. Estas melhorias constantes no sector tecnológico aumentam a diferença, no campo de energia (produção e serviços em geral), entre os países desenvolvidos e os restantes. Outro fator que tem contribuído para o aumento do consumo energético é o forte aumento demográfico. Estima-se que entre 1950 e 2011 a população passou de 2,52 mil milhões para 7 mil milhões, o que leva o Homem a explorar cada vez mais os recursos disponíveis de uma forma intensiva com consequências para o ambiente [5].

A EIA (2003), permitiu ter uma noção do crescimento do consumo de energia a nível mundial, verificando-se que este consumo vai aumentar de forma rápida nos próximos anos.

A população mundial está atualmente a usar 15 mil milhões de BTU de energia por segundo, que é igual a 1,1 TJ por segundo pelo Sistema Internacional [5]. O aumento do consumo energético a nível mundial é comprovado pelos valores de consumo de energia final que em

1971 era de 4676 Mtep e em 2009 era de 8353 Mtep [5]. Segundo dados da Agência Internacional de Energia (AIE) a média de consumo de eletricidade a nível mundial, desde 2001, aumentou 30%, sendo que os países que registaram um maior valor de crescimento entre 2001 e 2009 foram a China e a Índia que registaram um aumento de 153% e de 64%, respetivamente [5]. No ano de 2010 o consumo retomou o crescimento devido a duas situações: o consumo de energia nos países da OCDE voltou a aumentar, com aumentos de 6,7% para o Japão, 4% na Europa e 3,7 nos EUA. A China é o maior consumidor de energia final a nível mundial seguido de EUA e Índia, verificando-se também que China e EUA são os dois países que mais energia primária produzem [6].

Nas representações gráficas que se encontram abaixo, pode observar-se o total de energia consumida e a energia primária produzida, a nível mundial, nos anos de 2000 e de 2014, de forma a ser perceptível a evolução [9].

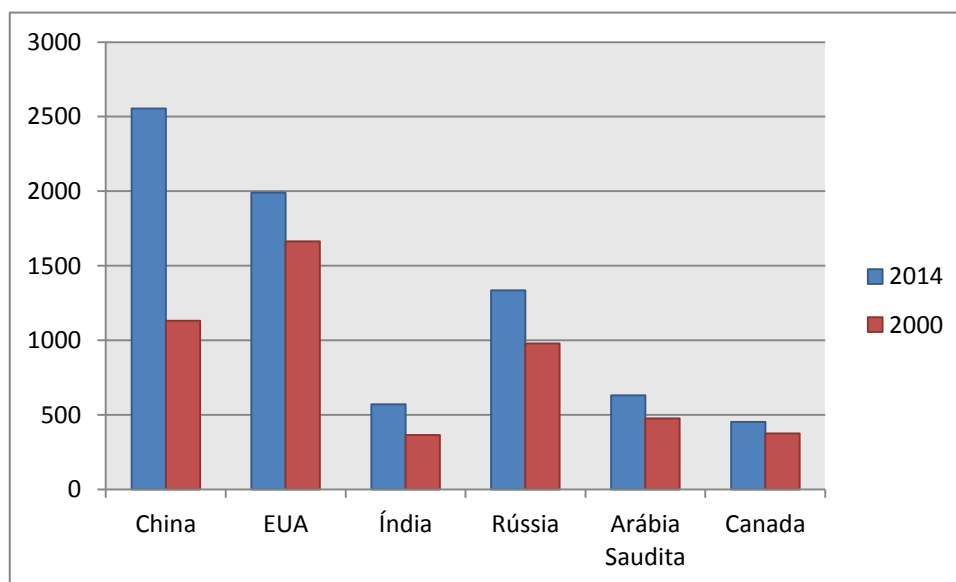


Figura 6 - Total de energia consumida em vários países a nível mundial em 2000 e 2014 [6].

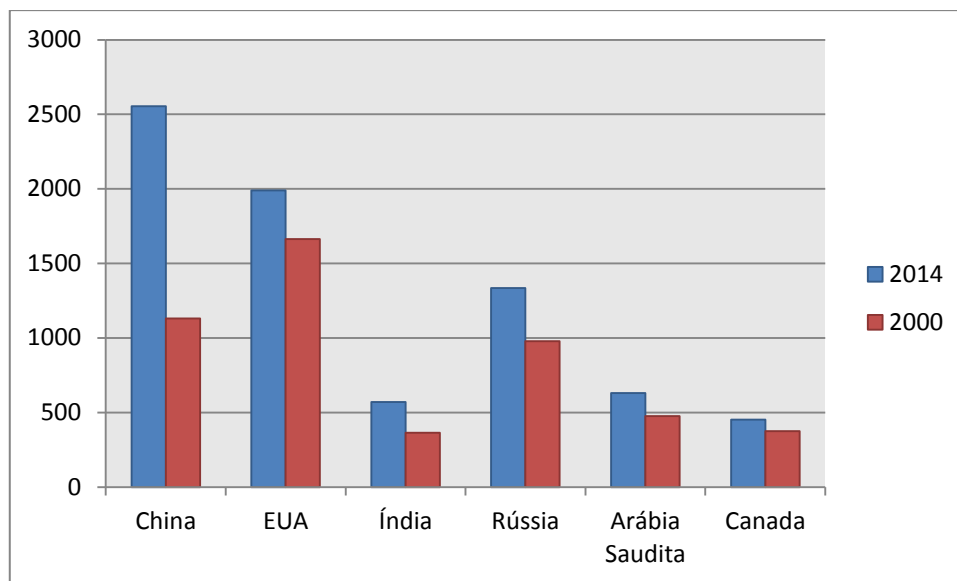


Figura 7 - Total de energia produzida em vários países a nível mundial em 2014 [6].

Tendo em conta os cenários que são possíveis de observar nos gráficos 1 e 2, o grande problema é saber até que ponto as reservas fósseis vão ser capazes de “aguentar” este ritmo de consumo de energia e que alterações climáticas e ambientais vão provocar num futuro próximo [8].

## 2.2 Alternativas de produção de energia

### 2.2.1 Energias Renováveis

A utilização de fontes de energia renováveis (FER) apresenta diversas vantagens numa variedade de campos. No aspeto económico permite diminuir a fatura energética e promove atividades de geração de riqueza; no aspeto ambiental permite reduzir a emissão de gases poluentes com efeito de estufa; no aspeto social estas fontes de energia criam emprego, combatem a desertificação e permitem a fixação de populações; e por fim no aspeto estratégico já que reduzem a dependência energética e promovem recursos energéticos endógenos [7]. São consideradas fontes limpas de energia porque não poluem a atmosfera com gases com efeito de estufa (exceção da biomassa que origina dióxido de enxofre e óxidos de azoto) para além de serem ilimitadas podendo ser utilizadas localmente evitando a dependência com o exterior. As desvantagens deste tipo de fontes de energia continuam a ser o custo fastidioso que apresentam no que toca à instalação e a falta de informação por parte dos consumidores. Apesar disso o gradual aumento da sua utilização fará com que os custos de produção da energia elétrica baixem ao longo do tempo devido ao progresso tecnológico e ao aumento das economias de larga escala no fabrico dos equipamentos. Logo haverá menores custos de investimento e desta forma será possível minorar os montantes da energia final no consumidor. Nos últimos anos as fontes de energia renováveis que mais contribuíram na produção de energia elétrica foram a energia hídrica e a eólica em terra que já estão mais desenvolvidas. É previsto um aumento de todas as tecnologias renováveis nos próximos anos como, por exemplo, do solar fotovoltaico, biomassa e eólica no mar [5].

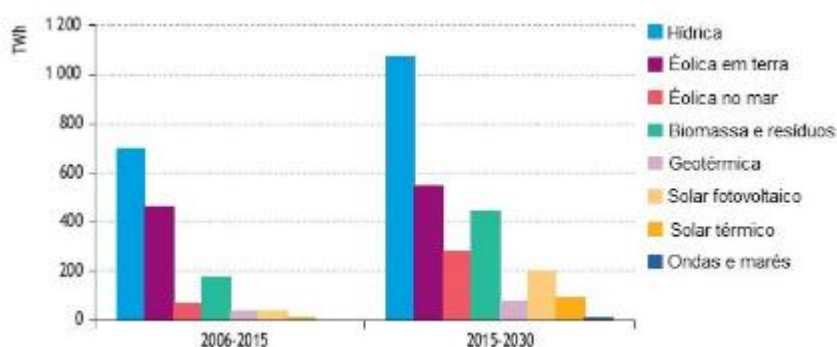


Figura 8- Aumento da produção de energia elétrica de 2006 até 2015 e de 2015 até 2030, a partir de fontes de energia renovável. (Adaptado de WEO 2008) [32].

Existem várias fontes de energias renováveis:

**Energia solar** - O sol para além de ser uma fonte de energia inesgotável, é uma energia limpa e de baixo custo. A luz solar está presente na origem dos combustíveis químicos, dado que permite a fotossíntese, pode ser usada naturalmente na forma de calor, ou através da conversão deste em energia elétrica excitando eletrões numa célula fotovoltaica. Temos então 3 tecnologias: solar fotovoltaico, solar termoelétrico de concentração e solar térmico.

Solar fotovoltaico - “Os sistemas de conversores de energia fotovoltaica convertem diretamente a energia solar em energia elétrica” [5]. São utilizados em aplicações de grande potência como centrais de produção descentralizada com ligação à rede, aplicações de média potência como eletrificação rural e em aplicações de pequena potência como os sinais rodoviários, relógios, etc. Tem-se conseguido rentabilizar cada vez mais os aparelhos com esta tecnologia. A Figura 9 mostra o aumento da potência instalada com esta tecnologia nos últimos anos.

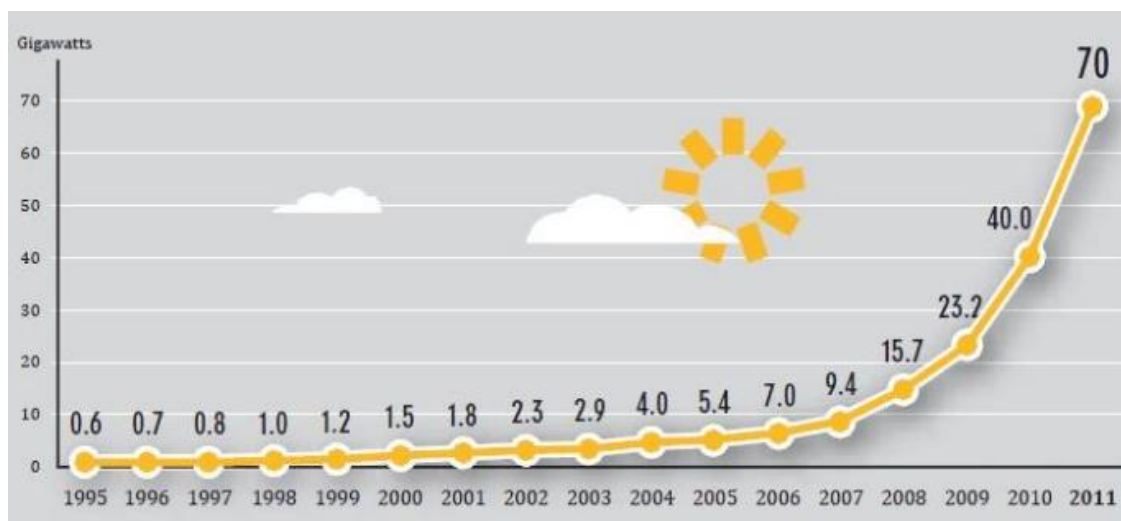


Figura 9- Evolução da potência instalada com a tecnologia solar fotovoltaica entre 1995 e 2011 [33].

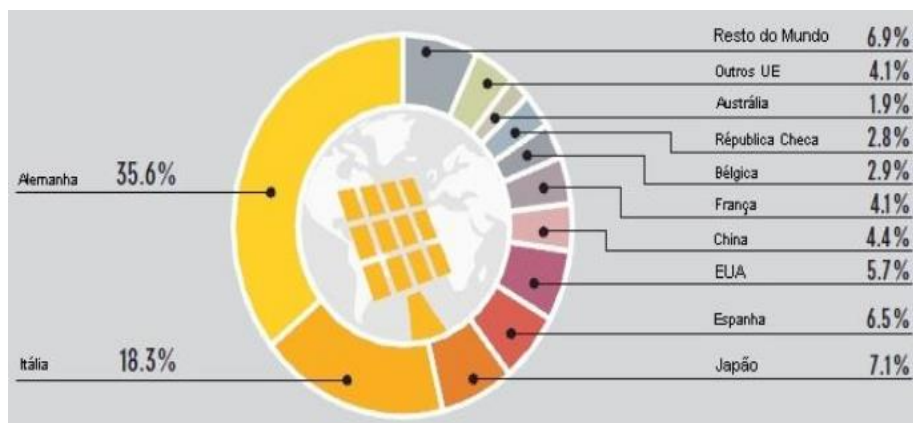


Figura 10 - Percentagem da potência fotovoltaica instalada no Mundo em 2011 [34].

Os custos de investimento são o maior problema desta tecnologia embora estes tenham diminuído nos últimos tempos devido à melhoria na eficiência dos painéis fotovoltaicos.

Solar termoelétrico de concentração - Este tipo de energia transforma a energia solar em eletricidade por via térmica de alta temperatura. Este calor de alta temperatura é concentrado pelos coletores solares conseguindo-se produzir energia por um ciclo termodinâmico convencional. Os sistemas CSP (Centrais solares termoelétricas de concentração) necessitam de um sistema mecânico que siga o movimento do sol, sendo que a concentração dos raios solares se dá pela utilização de espelhos. Posto isto, a energia que foi absorvida será transferida para um fluido térmico [10]. A evolução da potência instalada com esta tecnologia é apresentada na Figura 11.

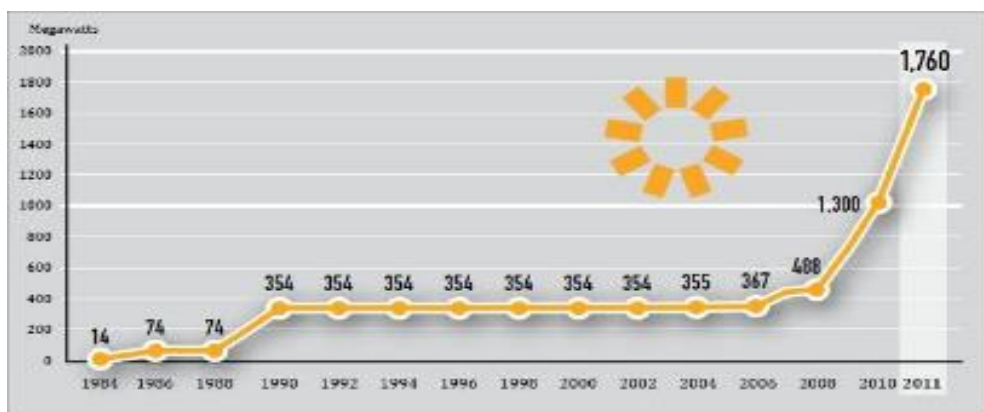


Figura 11 - Aumento da potência instalada a partir da tecnologia solar termoelétrica de concentração entre 1984 e 2011 [35]

Nas CSP a grande diferença em relação às centrais convencionais deve-se essencialmente à forma como é obtido o vapor, dado que nas convencionais o vapor é produzido através do calor libertado na combustão de um combustível fóssil enquanto nas CSP a radiação solar é tratada sobre um recetor de modo a obter calor de alta temperatura de forma a gerar vapor [11].

Esta tecnologia apresenta certas desvantagens como precisar de irradiação solar direta, a produção não ser efetiva ao longo do dia e como tal ter um rendimento de conversão baixo. Esta tecnologia só é rentável em países com elevado potencial solar. Para além destes inconvenientes apresentados, o custo está longe de ser competitivo com as restantes tecnologias renováveis. A produção dá-se essencialmente durante o dia, sendo apenas possível ultrapassar esta barreira através da utilização de um sistema de armazenamento térmico que permite utilizar durante a noite a energia térmica conseguida durante o dia.

Solar térmico - Esta tecnologia é uma forma de aproveitamento da radiação solar a partir de coletores solares que permitem o aquecimento de fluidos, principalmente o aquecimento de água.

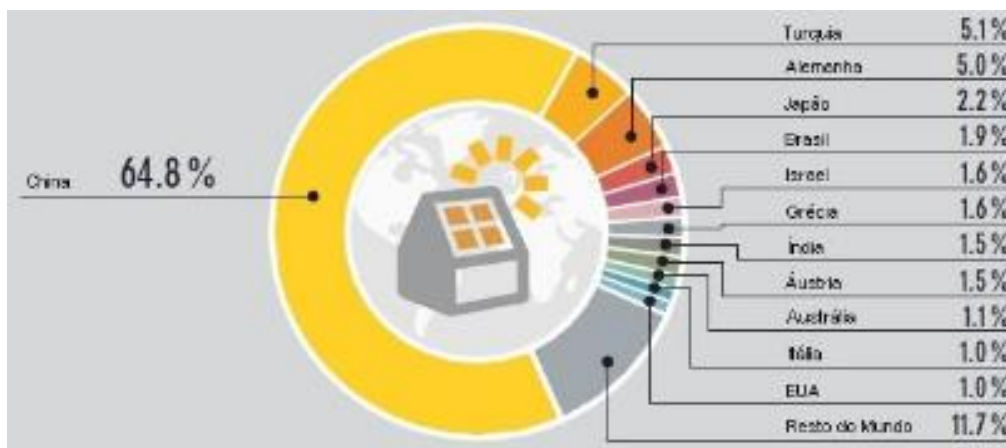


Figura 12 - Os países com mais potência instalada da tecnologia solar térmico para aquecimento no Mundo em 2010 [36].

Estes sistemas de aquecimento a partir da energia solar são constituídos por coletores solares, reservatório térmico, um sistema de circulação de água e um sistema auxiliar de aquecimento, sendo o coletor o componente de maior relevância já que é a partir deste que é possível a captação da energia solar e a sua conversão em calor útil.

Os custos iniciais desta tecnologia, assim como da maioria das tecnologias renováveis, são elevados e dependem da complexidade da tecnologia escolhida [5].

**Energia hídrica** - Como o próprio nome indica esta energia aproveita a energia da água, mais concretamente através da sua passagem através de uma turbina hidráulica “fazendo com que a energia potencial e cinética contida na água se transforme em energia mecânica” [5]. Esta tecnologia é constituída por um gerador elétrico que permite a conversão da energia mecânica em energia elétrica. Constroem-se barragens de forma a ampliar o potencial do curso de água, retendo a maior quantidade de água possível e intensificar o desnível [55]. Uma das desvantagens das grandes centrais hídricas é que a sua construção provoca alterações estruturais que alteram ecossistemas [5].

**Energia eólica** - A energia dos ventos é uma das formas de energia renovável mais abundantes. Está presente em abundância em qualquer lugar do globo e é uma tecnologia que tem tido uma evolução assinalável conseguindo cada vez melhores rendimentos e, como tal, é cada vez mais utilizada.



Figura 13 - Evolução da potência eólica instalada a nível mundial entre 1996 e 2011 [37].

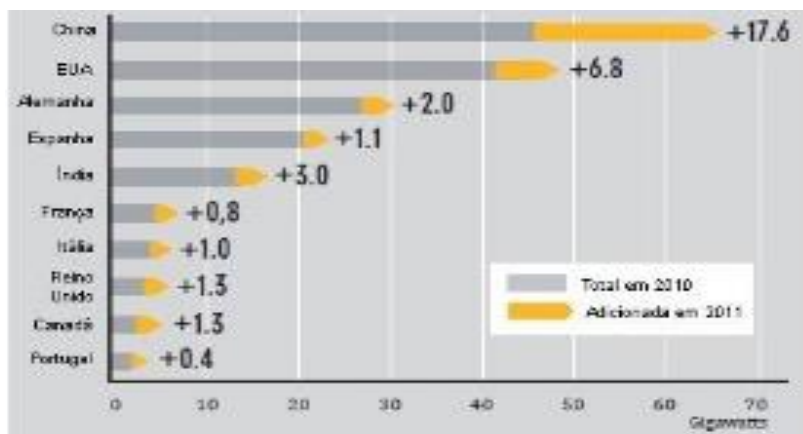


Figura 14 Países do mundo com maior potência instalada a nível mundial em 2011 [38].

Existem dois tipos de turbinas eólicas: os sistemas de eixo horizontal que apresentam uma estrutura sólida elevada com 2 ou 3 pás aerodinâmicas orientadas de acordo com a direção do vento e os sistemas de eixo vertical que conseguem captar vento de qualquer direção. A capacidade *standard* das turbinas atuais está entre os 2 e os 5 MW. A energia eólica não é influenciada pelas flutuações nos preços dos combustíveis ao contrário das tecnologias de combustão fóssil; contudo apresenta um elevado investimento inicial [5].

**Energia Oceânica** - Esta energia também apelidada de energia das marés e das ondas, apresenta duas principais tecnologias: o sistema de coluna de água oscilante e o sistema *Pelamis* [5].

Aproveita-se o movimento das ondas que faz a compressão do ar numa câmara fechada e onde o ar é impulsionado através de uma turbina eólica gerando energia elétrica [8].



Figura 15 - Ilustração do aproveitamento das ondas como fonte renovável [39].

**Energia Geotérmica** - Esta tecnologia aproveita a energia do interior da Terra libertada sob a forma de calor. O funcionamento de uma central deste tipo é semelhante ao que ocorre nas centrais termoelétricas convencionais sendo que o vapor utilizado para acionar a turbina é retirado diretamente do interior da Terra. A grande desvantagem deste tipo de energia é que é um recurso que apenas pode ser aproveitado onde exista atividade vulcânica ou em zonas onde se consegue atingir estratos magmáticos [5].

Como vantagens temos o facto de ser uma fonte de energia não poluente, cujas centrais não possuem tamanhos demasiado elevados fazendo com que o impacte ambiental seja reduzido.

**Energia da Biomassa** - A biomassa é caracterizada como os resíduos naturais e os resíduos resultantes da atividade humana e o seu aproveitamento é similar ao princípio de aproveitamento dos combustíveis fósseis. Como resíduos, neste caso matérias-primas, temos resíduos da agricultura, pecuária, floresta, os resíduos dos animais, da produção alimentar e os resíduos municipais sólidos. Estes “resíduos” são queimados e o calor produzido é utilizado diretamente no aquecimento ou formando vapor que faz ativar uma turbina que permite a geração de eletricidade [5].

Se forem utilizados indiretamente, há vários tipos de processos e tipos de utilização:

Na gaseificação a biomassa é convertida num gás combustível usado para gerar vapor, que vai ligar a uma turbina e seguidamente vai ligar a um gerador de conversão de energia mecânica em eletricidade. Na pirólise dá-se uma reação química que converte a biomassa com energia sob a forma de calor em óleo. Este óleo se queimado de seguida pode gerar, por exemplo, petróleo, para a produção de eletricidade. Esta energia renovável é limpa e permite aproveitar resíduos, fazendo de produtos teoricamente em fim de vida, em matérias-primas para a produção de energia. As principais desvantagens desta tecnologia na atualidade é que em termos de preço/competitividade é menos rentável que fontes de energia não renováveis como os combustíveis fósseis e porque a combustão da biomassa gera 3,5 milhões de toneladas de carbono na forma de CO<sub>2</sub> [5].

**Energias renováveis em Portugal** - Portugal é dos países do Mundo que mais aproveita as energias renováveis. Do total de produção de eletricidade, 74% da produção elétrica deu-se através das energias renováveis. Para a produção de eletricidade a energia hídrica foi a que mais contribui com 42%, seguida da energia eólica com 26% [49].

Apesar da energia eólica ser a 2ª energia renovável com melhor aproveitamento energético no nosso país, só nos últimos 5 anos é que se criaram os devidos requisitos para se desenvolver esta tecnologia. Neste momento, Portugal tem 106 parques eólicos, metade são parques

pequenos com potências entre 1 a 10 MW, 31% têm uma dimensão média com potências entre 10 a 25 MW e um parque tem potência superior a 50 MW [50].

Portugal é um dos países com maior aproveitamento de energia hídrica. Existem atualmente 48 centrais hídricas com potência superior a 10 MW e 138 com potência inferior ou igual a 10 MW, as chamadas mini-hídricas [51]. A estratégia passa por aumentar a produção de energia através desta fonte renovável pela construção de novas barragens. Portugal tem mais de 50% do seu potencial hídrico por aproveitar o que suporta o novo Programa Nacional de Barragens.

No que diz respeito à energia solar, Portugal é um dos países da Europa com maior média anual de horas de sol. Embora bastante utilizada a energia solar térmica ainda é mal aproveitada. Apesar de termos maior tempo de radiação solar que muitos países, como o caso da Alemanha, eles aproveitam-na de melhor forma [52]. As principais aplicações do solar fotovoltaico encontram-se na bombagem de água de irrigação, eletricidade rural, telecomunicações e sinalização, com índices de produção entre os 1000 e os 1500 kWh.

Em 2005, Portugal comprometeu-se a aumentar a importância das energias renováveis de 20,5% para 31% num prazo de 15 anos. Desta forma, em 2020, 60% da eletricidade consumida será produzida a partir da energia hídrica, eólica, solar, ondas e biomassa [53].

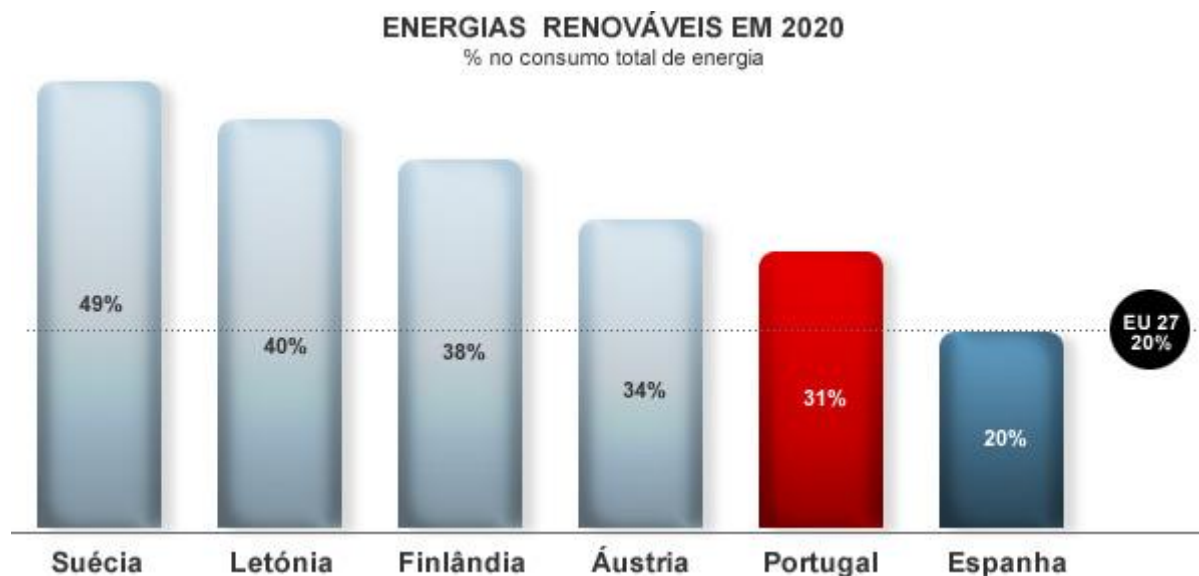


Figura 16 - Percentagem de consumo de energia renováveis em 2020 [56].

## 2.2.2 Microgeração humana

“O conceito da lei da física, o trabalho mecânico é a energia transferida para um sistema pela aplicação de uma força ou momento de força sobre o sistema ao longo de determinado percurso ou movimento de rotação” [12].

Esta lei relacionada com o corpo humano faz-nos chegar a duas conclusões: “O corpo humano é um armazém tremendo de energia” [13] e “As pessoas usam os seus músculos para converter esta energia acumulada em trabalho mecânico” [14].

O corpo humano contém uma quantidade de energia enorme logo a questão que se coloca é: porque não utilizar essa energia para servir de combustível a aparelhos eletrônicos [15]?

Sabendo isto, é possível aproveitar essa energia humana das atividades diárias e naturais criando aparelhos ajustáveis ao nosso corpo, transformando a energia mecânica em energia elétrica durante períodos de tempo com pouco esforço. Existem várias maneiras de aproveitar e recuperar a energia produzida pelo corpo humano. Através da respiração, onde se coloca uma máscara à volta do peito e aproveita-se a oscilação corporal que irá excitar um gerador dielétrico elástico. Através do calor do corpo com a criação de algo que fique junto ao corpo aproveitando energeticamente essa emissão de calor e que alimenta um chip semiconductor, e através da pressão sanguínea para que este consiga conduzir um microgerador piezoelétrico. Esta energia “humana” pode ser aproveitada ativamente através das deslocações e movimentos corporais.

Utilizam-se materiais e energia piezoelétrica proveniente da aplicação direta de uma força em determinados materiais que causam uma descarga de eletrões [16].

Os materiais piezoelétricos já se encontram em vários locais, como por exemplo no chão dos portões dos bilhetes da estação de Tóquio onde se aproveita essa energia; em Toulouse onde existe uma rua com pavimento especial, onde se aproveita a energia, para ligar os candeeiros, gerada pelos passageiros ao andar; o Club4climate onde se aproveita a energia das pessoas a dançar ou a Ecopista da *Ecogreens* que, se cheia, consegue gerar 400 Watts por hora [17] e o ginásio *California Fitness Gym* em Hong Kong que carrega uma bateria através do movimento das máquinas do ginásio, sendo então possível alimentar o sistema luminoso do local [12].

Para além disto tem-se ainda a possibilidade de adaptar aparelhos do nosso quotidiano ou criar aparelhos que aproveitem a nossa “energia” e o nosso movimento e conseguir energia elétrica a partir disso. Existem diferentes técnicas de geração de energia a partir de movimentos humanos, assim como:

- agitar/balançar: agitar um frasco para misturar o conteúdo pode chegar a  $10^{-1}$  W
- torção e rotação: torcer a tampa de um frasco ou girar a maçaneta de uma porta permite uma energia de  $10^{-1}$  W.
- Apertar/comprimir: apertar a bisnaga de um frasco de *spray* mais que uma hora gera entre 4 a 12 W
- Dar à manivela: Dar à manivela um carretel de pesca durante um minuto pode gerar entre 110 a 140 W



Figura 17 - Carretel de pesca [40]

- Pressionar: pressionar numa máquina de costura de pedal gera aproximadamente 20 W.
- Pedalar: pedalar uma bicicleta durante um minuto gera 400-500W.

É possível maximizar os ganhos energéticos desta tecnologia se estes forem utilizados por atletas, desde a iniciação até à alta competição. Um atleta num treino gasta uma quantidade muito elevada de energia e o único proveito que tira é para seu próprio benefício a nível de saúde e de maximizar as suas aptidões físicas. A nível energético essa energia é inexistente e totalmente perdida. Conseguindo adaptar os aparelhos que são utilizados pelos atletas, desde sapatilhas a outros mais específicos de cada modalidade pode conseguir-se rentabilizar ao máximo a energia que se despende. Torna-se vital conseguir adequar esses aparelhos para que não provoquem nenhuma dificuldade e que mantenham as propriedades, qualidades e conforto dos aparelhos *standard*. Já existem, por exemplo, adaptadores que se colocam nas sapatilhas ou nas solas que aproveitam a energia do choque ou do “*swing*” da perna gerando oscilações e vibrações que permitem carregar, por exemplo, uma bateria de telemóvel.

O grande problema para já é que normalmente estas modificações provocam algum aumento do peso da sapatilha o que em certos desportos não é concebível e faz toda a diferença.

Num ginásio, é possível aproveitar cada passo dado numa passadeira e cada “*bicep curl*” feito e esse movimento ligado a um gerador produzir energia elétrica. A energia que uma pessoa

produz a nível global pode parecer pouco, mas a energia de todos os usuários num dia já não o é, ajudando de forma significativa nas necessidades energéticas do próprio ginásio.

São inúmeras as atividades que se pode trabalhar para aproveitar a energia despendida. O ser humano “gasta” energia em todas as suas ações como se pode ver na Tabela 1. Desta forma deve-se aproveitar as atividades com maior gasto de energia de forma a se conseguir algo rentável.

*Tabela 1 - Gastos energéticos humanos em diferentes atividades [46].*

<b>Atividade</b>	<b>Watts</b>
Dormir	81
Deitado tranquilamente	93
Sentado	116
Conversa	128
Comer uma refeição	128
Passear	163
Conduzir um carro	163
Tocar violino ou piano	163
Tarefas domésticas	175
Carpintaria	268
Caminhada de 4 mph	407
Nadar	582
Escalada de montanha	698
Corrida de longa distância	1048
Sprinter	1630

## 2.3 Desporto

### 2.3.1 Importância no ser humano

Desde sempre que o ser humano experimentou as capacidades do seu corpo: andar, correr, saltar, lançar. A prática de desporto para além de ser vista como uma atividade é sem dúvida o aproveitar as nossas capacidades como humanos. Como tal, fazer desporto é algo de extrema importância e não o fazer traz problemas. Assim como um ser humano não comer ou não beber prejudica a sua saúde, não fazer exercício físico também acarreta efeitos negativos.

Praticar exercício físico em qualquer idade traz benefícios tanto a nível físico, como a nível psíquico e social. A nível físico, uma vez que reduz o risco de ter problemas de saúde, desde a obesidade a doenças cardiovasculares (estas duas estão relacionadas) e permite melhorar as capacidades do nosso organismo, regular o sono, melhorar a coordenação motora e diminuir o *stress*. Através do desporto ganha-se força, fortalece-se ossos e articulações, melhora-se a capacidade respiratória entre outras. A nível psíquico eleva a auto estima pois permite desenvolver várias habilidades novas e o facto de se ficar melhor fisicamente também permite que a pessoa se sinta melhor. Por fim a nível social, o desporto permite criar grandes laços de amizade, participar em eventos, fazer parte de um grupo, aprender a trabalhar em equipa, etc.

Aprender a gostar de desporto e a aproveitar as vantagens desta atividade deve ser algo feito desde a infância, permitindo “moldar” as crianças para valores importantes para toda a vida: o valor da saúde, pois a prática de desporto desde pequeno permite adotar um estilo de vida saudável; o valor da cooperação pois em desportos coletivos os principais objetivos são para o grupo e para os conseguir realizar é necessário que todos se unam para os conseguir; o valor do respeito reconhecendo os erros e ajudando os outros a conseguirem ultrapassar dificuldades e a conseguirem ser cada vez melhores; o valor da amizade pois como já foi referido anteriormente o desporto permite conhecer e fazer várias amizades; o valor da justiça não querendo vencer de forma não regulamentar por ter vantagens e respeitando o adversário reconhecendo a sua importância; o valor da multiculturalidade já que as crianças vão partilhar os mesmos espaços com outras de classes sociais e culturais diferentes o que permite ganhar respeito pelas diversas culturas; o valor do empenho pois permite que se aprenda que tanto no desporto como em tudo na vida é necessário muito esforço e empenho para se conseguir ter sucesso; o valor da derrota já que ensina as crianças desde muito cedo que a derrota faz parte da vida e que é preciso aprender com esses insucessos que vão surgindo, evoluindo com eles como atleta e pessoa [18].

### 2.3.2 Obesidade, um problema à escala mundial

A tendência nas crianças é que estas sejam fisicamente ativas. Faz parte da nossa natureza. Para além disto se, por exemplo, nas escolas não existirem opções sedentárias no recreio, uma criança automaticamente vai arranjar soluções ativas para fazer. Nas últimas décadas esta tendência natural das crianças tem vindo a decrescer devido a diversos fatores, sendo o principal as novas tecnologias que proporcionam diversas atividades interessantes com o problema de serem todas sedentárias. Este problema na infância provoca uma diminuição da atividade física na idade adulta. Logo deve evitar-se períodos de longa inatividade de forma a estimular um estilo ativo para toda a vida [19]. “Conseguir afastar da televisão uma criança obesa e sedentária de 10 anos e implementar o hábito de nadar durante 15 minutos 2 a 3 vezes por semana deve ser considerado como um objetivo bem sucedido.” O exercício físico desde a infância para além das vantagens supramencionadas ainda permite às crianças apresentar melhores perfis de saúde cardiovascular, mais massa magra e picos de densidade óssea mais elevados, relativamente às menos ativas. Estas bases de actividade física possibilitam um bom estado de saúde quando adultos. Isto porque a obesidade infantil pode gerar diversos problemas na idade adulta. A Tabela 2 apresenta a percentagem de pessoas obesas ou com sobrepeso em vários países a nível mundial com idades entre os 15 e os 100 anos.

*Tabela 2 - Prevalência de sobrepeso e obesidade em vários países [19].*

País	Ano			
	2002	2005	2010	2015
E.U.A	71,0%	74,1%	78,6%	82,4%
Portugal	51,5%	53,8%	56,0%	58,2%
África do Sul	52,3%	53,3%	54,9%	56,5%
Japão	22,0%	22,6%	23,0%	23,6%
Austrália	65,0%	67,4%	71,1%	74,5%

Estes valores demonstram o que se tem passado nas últimas décadas. Os jovens gastam a maioria do seu tempo a jogar jogos virtuais e a ver televisão, mesmo as crianças mais ativas. A taxa de incidência da obesidade infantil aumenta 1,3% por cada hora passada a ver televisão diariamente. Estudos recentes mostram que 37,5% das crianças obesas entre os 6 e os 11 anos vêm entre 2 a 3 horas de televisão por dia [58].

## 2.4 Tecnologias de microgeração humana através do exercício físico

### 2.4.1 Aparelho de colheita de energia nas sapatilhas [47].

Nos dias atuais, procuram-se soluções para conseguir arranjar formas de energia através de aplicações junto ao corpo ou anexadas ao corpo. Desta forma cada pessoa consegue alimentar e carregar os modernos aparelhos de baixa potência, ficando totalmente independente das fontes de energia convencionais. Vários estudos mostram que um ser humano gasta várias dezenas de Watts ao caminhar e essa energia não é devidamente aproveitada. Um dos problemas continua a ser conseguir criar aparelhos que tenham viabilidade prática. Um dos principais problemas deste tipo de aparelhos é o seu tamanho, pois o aparelho precisa de permitir mobilidade e conseguir ser bem integrado como sistema de energia autónoma por exemplo na roupa. Logo é necessário haver uma preocupação quanto ao seu tamanho, peso e também do custo de forma a ser confortável para o usuário e conseguir abranger uma população elevada.

No estudo realizado pelos investigadores *YLLI, K. ; HOFFMANN, D. ; WILLMANN, A. ; BECKER, P. ; FOLKMER, B ; MANOLI, Y* considerou-se que a “marcha” humana apresenta três fontes de energia para este tipo de aparelhos: a aceleração através do impacto do calcanhar, isto é, o impacto entre o sapato/sapatilha e o chão; a aceleração devido ao balanço do pé durante a caminhada; e a força que age sobre o sapato devido ao peso da pessoa como se pode ver na Figura 18.

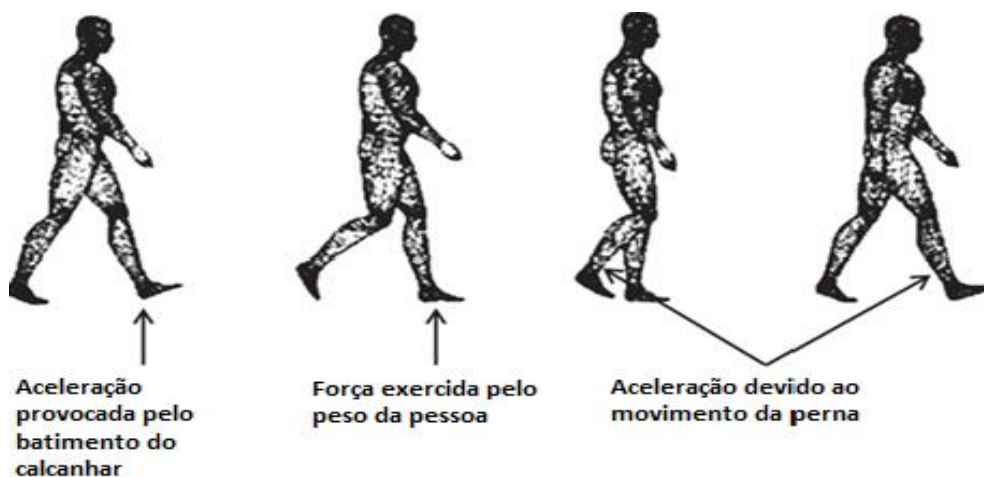


Figura 18 - Esquema das condições de excitação disponíveis na "marcha" humana [47].

Estudou-se o aproveitamento energético, a partir de dois tipos de acelerações mencionados acima, para as seguintes velocidades: 4km/h, 6km/h, 8km/h e a 10km/h, colocando um acelerómetro de 3 eixos na sola do sapato. O eixo dos x's estava em linha com o eixo vertical do sapato que aponta para o chão. O eixo dos z's estava em linha com o eixo horizontal do sapato. Os valores das acelerações foram registados durante um minuto.

Para a realização deste estudo, e de forma a conseguir obter melhores resultados, analisou-se dois tipos de corredores, um mais alto e leve e outro mais pesado mas mais baixo. A frequência dos passos de um só pé varia entre 0,8 a 1,2 Hz, havendo um aumento moderado da frequência dos passos com o aumento da velocidade do movimento.

#### Aproveitamentos da força [47]

O ser humano executa diversas forças durante o dia, enquanto anda, que podem ser aproveitadas, como por exemplo as forças que provêm do choque do calcanhar com o chão. Estas novas possibilidades provocaram um desenvolvimento nos aparelhos de “colheita” de energia através da força.

Neste estudo os investigadores colocaram materiais piezoelétricos atados á sola dos sapatos, conseguindo-se potências médias de 1,8mW (cerâmicas) e 1,1 mW (base de polímero), para frequências de “marcha” de 1Hz. Foi utilizado um gerador que usa uma alavanca e engrenagens mecânicas para passar o movimento descendente do pé para um movimento rotatório acoplado a um gerador clássico.

#### Aproveitamento da aceleração [47]

Coloca-se na sapatilha uma massa cilíndrica pesada que se movimenta quando o pé é levantado de modo a formar um angulo com o chão. Os investigadores ligaram ímanes aos materiais piezoelétricos para que estes vibrassem livremente na sua frequência de ressonância, sendo este aparelho capaz de gerar uma potência máxima de 2,1mW num nível de excitação de 2Hz. Equipou-se uma sapatilha com outro aparelho em que a massa conectada aos piezoelétricos é deslocada quando excitada através dos impulsos de aceleração incitada pelo batimento do calcanhar. Os resultados foram os seguintes: uma potência de 14 $\mu$ W ao caminhar a uma velocidade normal, sendo prevista uma potência de 395 $\mu$ W com os parâmetros otimizados. No que diz respeito ao tipo de balanço linear, utiliza-se um íman que balança livremente num canal PVC colocado no interior da sola junto ao eixo horizontal. Este aparelho conseguiu uma potência aproximada de 10,5mW numa passadeira de corrida a uma velocidade de 10km/h. Um último aparelho baseado num canal magnético através de diferentes configurações de bobinas, canais e ímanes permitiu que se conseguisse uma potência de 14mW a uma velocidade de “marcha” de 2 passos por segundo (1Hz). A

compressão de ar pode ser extremamente limitadora se não for fornecida uma saída. De modo a capturar o máximo possível de fluxo magnético dentro das bobinas, elas estão o mais próximo possível dos ímanes.

A equação do movimento considera a entrada externa de aceleração devido ao movimento do pé ( $F_{ext}$ ), a força devido à compressão do ar ( $F_{air}$ ), forças de fricção ( $F_r$ ) e força de amortecimento elétrica ( $F_e$ ), equação 1:

$$m\ddot{x} = F_{ext} - F_{Air}(x, \dot{x}) - F_R(\dot{x}) - F_e(\dot{x}). \quad (1)$$

Para calcular a energia gerada nas bobinas e a força de amortecimento elétrica é necessário utilizar a equação 2:

$$k = -\frac{d\varphi}{dx}. \quad (2)$$

Onde  $k$  é o coeficiente de acoplamento,  $\varphi$  é o fluxo magnético e o  $x$  é o eixo do movimento.

Para calcular a voltagem induzida nas bobinas usa-se a equação 3:

$$\begin{aligned} U_{ind} &= -\frac{d\varphi}{dt} = -\left(\frac{dA}{dt}B + \frac{dB}{dt}A\right)_{|A=const.} \\ &= -\frac{dB}{dt}A \cdot \frac{dx}{dx} = -\frac{dB}{dx}A \cdot \frac{dx}{dt} = k \cdot \dot{x}. \end{aligned} \quad (3)$$

Onde o  $B$  é a densidade de fluxo magnético, e  $A$  é a área da secção transversal da bobina e  $t$  o tempo.

A força de amortecimento elétrica é calculada usando o coeficiente de acoplamento,  $k$ , e a corrente induzida nas bobinas  $i$ , equação 4:

$$F_e = i \cdot k. \quad (4)$$

Um dos problemas na implementação destes aparelhos é ao colar os ímanes contra as forças repulsivas devido à sua polarização oposta.

### Caracterização [30]

Com o intuito de se conseguir analisar o rendimento do protótipo, realizaram-se algumas corridas na passareira. As medições foram realizadas a 4 diferentes velocidades de movimento com 2 atletas com tipos de corpo diferentes.

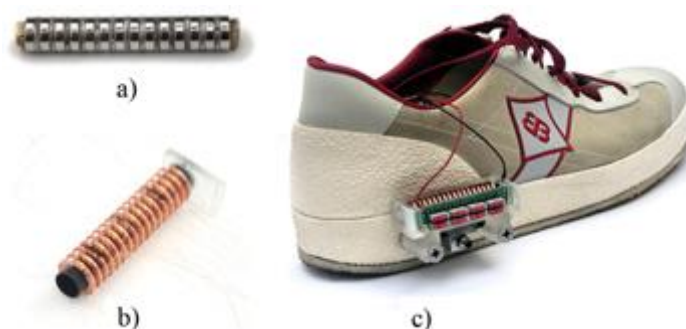


Figura 19 a) pilha de ímãs b) Série de bobinas colocadas no canal de plástico c) Aparelho de “colheita” de energia atado á sapatilha para corridas na passareira. Acelerómetro ligado ao fundo do aparelho para gravar as acelerações [47].

À velocidade mínima na passareira o aparelho gerou 0,34mW e 0,46mW nos dois corredores. No chão conseguiu-se gerar 0,375mW e 0,526mW respetivamente. A máxima energia gerada conseguida através da corrida no chão foi 0,81mW e foi conseguida a uma velocidade de 5km/h. No que diz respeito à passareira, foi à velocidade de 6km/h que se conseguiu gerar mais energia, 0,84mW. Pode-se concluir que a energia gerada no chão é sempre um pouco superior à conseguida na passareira.

Durante a realização deste trabalho conseguiu-se reduzir o tamanho do aparelho e o seu peso, algo de extrema importância para assim se conseguir colocar o aparelho na sapatilha de forma mais confortável, sendo até possível colocar o aparelho no calcanhar.

Aparelho de “colheita” de energia através do choque - existem certos parâmetros que foram necessários para se conseguir integrar o aparelho no calcanhar do sapato como por exemplo este não poder exceder os 20mm de altura, os 40mm de largura e os 60mm de comprimento. Para se converter a energia da aceleração em energia elétrica foi escolhido um mecanismo de conversão eletromagnético. Devido à altura limitada que o aparelho tem de ter, é

incorporado um circuito magnético que inclui 2 aberturas de ar fazendo com que o comprimento máximo da estrutura seja 33mm.

A estrutura de conversão de energia do aparelho excitado através do choque é suspensa usando 2 pares de ímãs com polaridade oposta. O movimento de rotação do braço de balanço é descrito através da equação diferencial, 5:

$$J\ddot{\varphi} = \sum M_i = \sum M_g + \sum M_{ex} + M_{d,e} + M_{d,m} + M_{F_0}, \quad (5)$$

Em que  $J\Psi$  é igual à soma de todos os momentos do torso no sistema. Os momentos induzidos pelo peso são calculados pela equação 6:

$$\sum M_g = g \sum m_i r_i = g \cdot m_{tot} \cdot L_{eff} \cdot \cos \varphi, \quad (6)$$

Em que  $g$  é gravidade,  $mtot$  é a massa total do sistema e  $Leff$  é o comprimento efetivo.

A excitação externa também gera movimento do torso, equação 7:

$$\sum M_{ex} = Ac \sum m_i r_i = Ac \cdot m_{tot} \cdot L_{eff} \cdot \cos \varphi, \quad (7) \quad \text{onde } Ac \text{ é a aceleração da excitação.}$$

O movimento do torso é induzido pela força de amortecimento elétrica  $F_{d,e}$  a força de amortecimento mecânica  $F_{d,m}$ . O momento do “braço” associado é a distância  $L,d$ . O momento geral é dado pela equação 8:

$$M_{d,j} = F_{d,j} \cdot L_{d,j}. \quad (8)$$

O índice  $j$  conta tanto para as forças de amortecimento elétricas como mecânicas.

A força de amortecimento elétrico é calculada pela equação 9:

$$F_{d,e} = C_F(\varphi) \cdot i(\varphi, \dot{\varphi}) = d_c(\varphi) \cdot \dot{\varphi}. \quad (9)$$

Onde  $C_f$  é o fator de acoplamento e a corrente  $i$  na bobina.

A força de amortecimento elétrica pode ser representada pelo elemento de velocidade de amortecimento proporcional com o coeficiente de amortecimento elétrico, equações 10 e 11:

$$d_e = C_f(\varphi) \frac{u_{\text{ind}}}{R_{\text{in}} + R_L} \cdot \frac{1}{\dot{\varphi}} = \frac{C_f(\varphi)^2}{R_{\text{in}} + R_L}. \quad (10)$$

$$F_{d,m} = d_m \cdot \dot{\varphi}. \quad (11)$$

Onde  $F_{d,m}$  é a força de amortecimento mecânica,  $d_m$  é o coeficiente de amortecimento mecânico e  $F_m$  é a força magnética.

A implementação do aparelho que aproveita a energia através do choque é mostrada Figura 20.

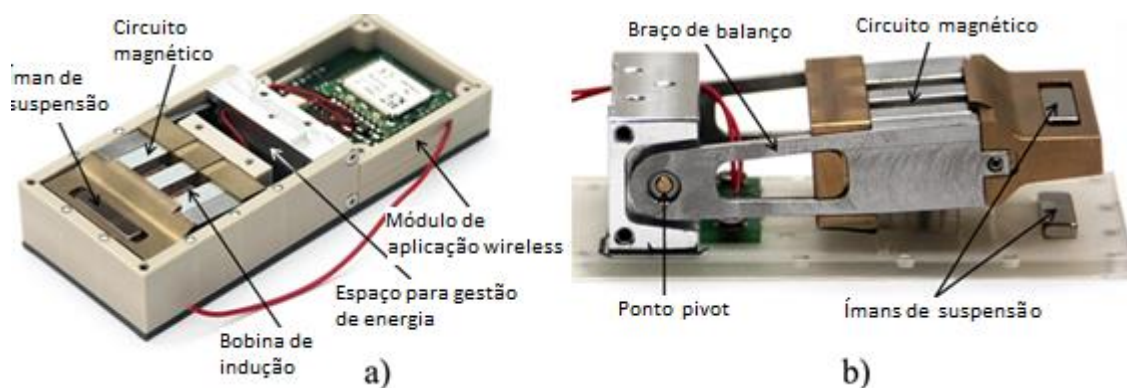


Figura 20a) aparelho completo sem a tampa incluindo gestão de energia e um módulo de aplicação wireless b) vista lateral do aparelho que mostra a oscilação do braço de balanço com circuito magnético e ímãs suspensos [47].

O aparelho que gera energia através do choque (*shock-excited energy harvester*) foi testado em condições realísticas numa passareira. A uma velocidade de 6km/h verificou-se um pico no sinal da aceleração, sendo o pico de voltagem de cerca de 5,8V que corresponde a um pico de rendimento energético de 46mW.

A potência média entre os dois estilos de pessoas/atletas (KY-pessoa baixa e pesada, DH-pessoa alta e leve) está representado na Figura 21.

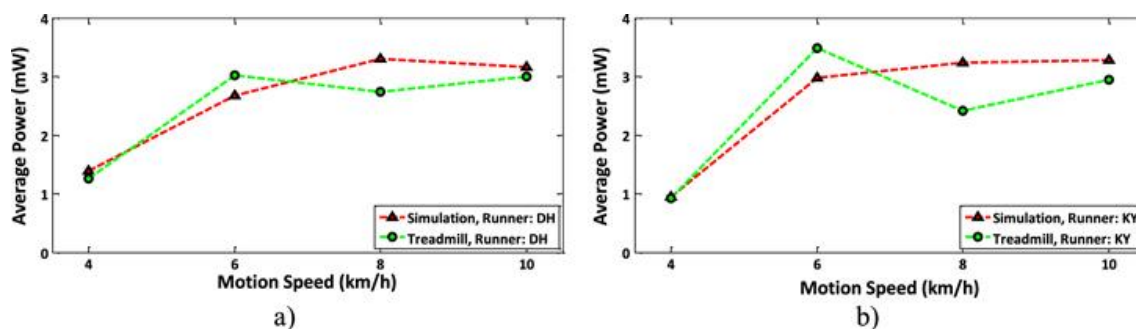


Figura 21 - Potência média para diferentes velocidades de movimento a) corredor DH  
b) corredor KY [47]

A estimativa de energia é relativamente próxima dos resultados experimentais. Apesar disso, há uma queda no rendimento energético na transição de movimentos de velocidade rápida para movimentos de jogging lento, algo que não é aparente nos dados da simulação.

## CONCLUSÃO [47]

Neste trabalho foram apresentados dois aparelhos de “colheita” de energia com diferentes princípios de transdução. O primeiro aparelho explora o movimento do balanço (swing) do pé para acelerar uma pilha de ímanes através de um conjunto de bobinas, enquanto o segundo aparelho usa a conversão da frequência para excitar um circuito magnético em ressonância devido ao batimento do calcanhar. Há uma diminuição no rendimento energético em ambos os aparelhos quando ocorre a transição, de movimentos repentinos de velocidades mais elevadas, para movimentos suaves de corrida lenta. O aparelho também apresenta valores díspares consoante o tipo de corpo da pessoa/atleta. O facto de o aparelho que colhe energia através do choque mostrar que há a mesma geração de energia nos dois corredores relativamente a velocidades mais elevadas pode ser atribuído há amplitude limitada no interior do aparelho dado que o swing do íman atinge o seu limite a velocidades relativamente baixas. Sabendo que o batimento do calcanhar ocorre num determinado angulo, a energia é parcialmente acoplada no aparelho de colheita (*harvester*) se construído na horizontal á sola. O tipo de *swing* do *harvester* é muito limitado pela liberdade do movimento da pilha de ímanes e conseqüentemente do tamanho do aparelho. A altura também limita o acoplamento já que as bobinas que estão à volta da pilha de ímanes são limitadas por estruturas planas que faz reduzir o amortecimento elétrico do movimento dos ímanes e, por conseguinte, da energia convertida. O maior valor de energia convertida foi de 4,13mW que foi medido no solo a uma velocidade de 5km/h para o *harvester* de choque, sendo que o maior valor para o *harvester* que aproveita o swing foi de 0,84mW a uma velocidade de 6km/h numa passadeira. Considerando o volume do aparelho (48cm<sup>3</sup>) para o

“*shock type harvester*” e  $21\text{cm}^3$  para o “*swing type harvester*”, teremos uma densidade de energia de  $86\mu\text{W cm}^{-3}$  e  $40\mu\text{W cm}^{-3}$  respectivamente. A gama de velocidade onde se consegue maior aproveitamento energético é nos  $6\text{km/h}$ , embora sejam precisos mais estudos para atribuir os verdadeiros resultados dependendo do tipo de corpo do atleta.

#### 2.4.2 Bateria Auto carregável que produz e armazena energia

Os investigadores *Xinyu Xue, Sihong Wang, Wenxi Guo, Yan Zhang, and Zhong Lin Wang*, do Georgia Institute of Technology em Atlanta, produziram um aparelho que gera e armazena energia e que a principal revolução é a conversão da energia mecânica diretamente em energia química, sem ser necessário passar pelo processo intermédio de geração de eletricidade, servindo como uma “célula de energia de auto carregamento”. Esta bateria apenas pode ser usada em pequenos aparelhos eletrónicos”.

O filme de PVDF presente faz com que os iões de lítio migrem do cátodo para o ânodo que permite manter o equilíbrio da carga da bateria. A presença deste filme de PVDF (material piezoelétrico) gera carga quando se aplica uma certa tensão e esta migração dos iões é o que faz ser possível carregar a bateria sem necessidade de uma fonte de tensão externa, Figura 22.

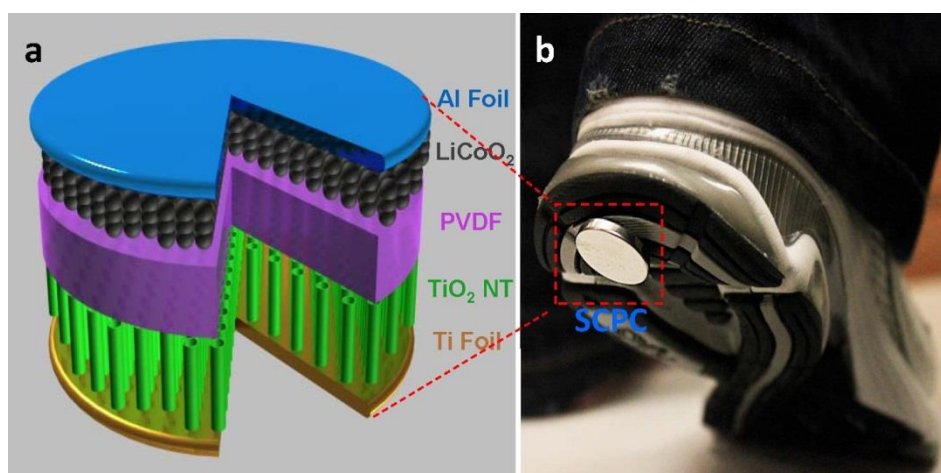


Figura 22 - a) Na bateria Auto carregável o material piezoelétrico PVDF substitui o o material separador convencional atuando como um nanogerador dentro da bateria de lítio b) A bateria colocada por baixo do sapato converte a energia do choque em energia química e armazena-a. [20]

A bateria tem um formato estilo “moeda” e é colocada por baixo do sapato/sapatilha e a compressão que é exercida sobre ela ao andar/correr gera suficiente energia para a carregar.

Depois de terminar a compressão os íões de lítio não fluem de volta imediatamente, já que formam um novo composto, o Lítio, sendo que a carga é preservada como uma bateria convencional [20].

### 2.4.3 AMPY Move

Este aparelho é uma bateria portátil que se carrega com o movimento. Devido ao seu tamanho é possível andar com ele no bolso, amarrá-lo ao braço ou à perna quando se vai correr ou andar de bicicleta ou simplesmente levá-lo numa mochila ou carteira.

Armazena a energia de qualquer movimento que o usuário faça, sendo que quanto mais uma pessoa se mover mais energia vai ser arrecadada e, desta forma, é possível carregar aparelhos em qualquer altura.

Uma hora de exercício com o AMPY, o qual é possível observar na Figura 23, permite mais de uma hora de bateria para um *smartphone* com uso normal, 5 horas de bateria se estiver em modo *stand by* e mais de 24 horas num *smartwatch*.



Figura 23 -Formas de utilização do AMPY [45].

De maneira a se maximizar a produção de energia os movimentos devem ser para cima e para baixo.

Outra das grandes vantagens deste aparelho é que não serve apenas para carregar telemóveis, mas sim todos os aparelhos que sejam alimentados através de USB 2.0 ou USB 3.0, o que inclui *micro-usb*, "*apple lightning*", entre outros, como está ilustrado na Figura 24.



Figura 24 - Algumas aplicações do AMPY (comandos USB, relógios USB, tablets, colunas de som, telemóveis e auriculares)

Este aparelho é do tamanho de um “baralho de cartas e do peso de um *smartphone*”, pesando 140 gramas. Carrega tão rápido como uma tomada de parede. O AMPY contém 1600mAh de bateria. É possível, através de uma aplicação no telemóvel, saber quanta energia foi produzida pelo corpo, as calorias gastas e ainda a quantidade de carbono que deixou de ser lançado para a atmosfera [21].



Figura 25 - Componentes do AMPY [45].

A Figura 25 apresenta os diversos componentes do aparelho AMPY, não só do interior do aparelho, mas também do exterior. Para melhor compreensão a legenda dos números é apresentada de seguida:

- 1- O botão esquerdo permite ver o nível da bateria e o botão do lado direito serve para ver o AMPY a gerar energia quando se abana o aparelho
- 2- Indutor - Os dois indutores do AMPY transformam o movimento em energia que pode ser usada nos diferentes aparelhos
- 3- Entradas USB - As entradas USB permitem carregar aparelhos tao rápido como uma tomada de parede.
- 4- O AMPY MOVE foi desenhado de forma a corresponder às formas do corpo. A superfície é acabada com um toque suave, acabamento à prova de suor, sendo perfeito para qualquer tipo de exercício físico
- 5- Bateria 1800 MAH Li-ion capaz de carregar completamente um *i-phone 6*.

#### 2.4.4 Stepper de ginásio que produz energia elétrica

O equipamento produzido por João Antunes, da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra [22], envolve a multiplicação de velocidade angular e transformação de movimento de translação em movimento de rotação. Para se conseguir realizar esta transformação tem-se duas hipóteses: 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” [22].

O aparelho de ginásio escolhido pelo autor foi um *stepper*, um aparelho que simula a subida de escadas como se pode visualizar na Figura 26.



Figura 26 a) Ilustração de um *stepper* de ginásio; b) Ilustração de um mini *stepper* [22].

Neste caso em específico, foi utilizado o sistema biela-manivela, pois só são necessários rolamentos nas rótulas. Como o gerador tem que ter uma elevada velocidade de rotação foi preciso uma caixa multiplicadora. Dado o objetivo do aparelho, este tem que respeitar alguns parâmetros como: o peso (o aparelho deve ser leve), o tamanho (deve apresentar dimensões reduzidas), a estrutura que deve ser compacta e os componentes devem ser de alumínio.

O equipamento tem que estar munido com os seguintes componentes: chumaceira, rótula, bucha, gerador, acoplador de veios, caixa multiplicadora, bateria, polia de correia dentada síncrona e um pedal.

Quanto à parte elétrica, foi preciso escolher um gerador a funcionar a 24 V, com um conversor de tensão e pretende-se ter uma tensão superior a 12V no sistema de armazenamento. Utilizou-se uma bateria de uma scooter elétrica. Aplicou-se um inversor à bateria que forneceu 220V de energia elétrica, 50Hz. O equipamento foi dimensionado para conseguir uma potência de 250W.

Quanto à selecção do gerador, optou-se pelo MY1016 de 250W, a 24 V de corrente contínua, com escovas e de ímanes permanentes, que foi retirado de uma scooter elétrica. Escolheu-se um gerador com tensão superior a 12V para permitir que quando o aparelho esteja a ser utilizado na velocidade máxima, o gerador forneça tensão suficiente ao regulador para que este consiga recarregar as baterias.

Como regulador de tensão, foi utilizado o conversor DC-DC modelo VC 10S, da *Wallen Antennae* com potência de 120E, tensão de entrada entre 15 e 38V e tensão de saída de 13,2V que permite carregar a bateria. Pelos testes efetuados nesta tese verificou-se que para os 15V de tensão de entrada, foi conseguida uma rotação de 1600 r.p.m. sendo que a rotação máxima foi de 2750 r.p.m. a 25,8V.

Como Inversor optou-se por um de categoria *Stand Alone* com 150W, da marca *tronic* (modelo KH3901), o qual é de baixo custo e é compacto. Isto porque não vale a pena, para o estudo em causa, ter um inversor de grande potência dado que uma pessoa não consegue “debitar mais do que algumas centenas de Watts e apenas por algum tempo”.

Considerou-se igualmente que o atleta em estudo, por estar numa posição vertical quando está em cima do *mini-stepper*, consegue facultar-lhe cerca de 80% do seu peso. Tendo em conta que o peso do atleta era de 55kg, foi possível obter os vários valores necessários. Desta forma, calculou-se a força através da equação  $F = mxg$  e sabendo que só 80% do peso é considerada, verificando que o atleta exerce uma força de 431,6N.

A bateria escolhida para o trabalho foi a de uma scooter, modelo 530 400 030 com capacidade de 30 Ah, da marca *Varta* e a sua profundidade de descarga não deveria ser superior a 90% para garantir a sua durabilidade. Determinou-se o tempo que seria necessário pedalar no equipamento para recarregar a bateria para uma profundidade de descarga de 90% e conclui-se

o seguinte:  $\frac{(30 \times 0,9)}{\text{horas}} = 1,2A \quad \text{horas} = 22,5 \text{ horas}$

A grande mais-valia da bateria é permitir que quando nenhum atleta estiver a realizar exercício no equipamento, é possível acumular a energia e compensar a existência de picos de energia.

#### 2.4.5 SOLEPOWER – Power by walking

É um sapato que gera energia elétrica que permite carregar pequenos aparelhos eletrônicos como telemóveis, rádios e GPS's. Captura a energia através do embate da sola no chão e converte-a em energia elétrica que pode ser usada e armazenada na bateria. A bateria pode ser ligada a qualquer aparelho eletrônico portátil, fazendo com que seja possível estar constantemente fora de casa e de locais sem eletricidade e ter energia. Esta tecnologia é de confiança e gera energia pelo movimento (swing) e do impacto. Não depende das condições climáticas como os aparelhos fotovoltaicos. O aparelho é bastante eficaz dado que basta uma pessoa caminhar 2,5 milhas (equivalente a 4 km) para conseguir carregar um *smartphone*.

Existem cerca de 6 mil milhões de aparelhos eletrônicos portáteis em todo o mundo [23].

Este mecanismo atua em cada vez que o calcanhar toca no chão. Em cada passo um pequeno gerador que está na sola gira criando eletricidade. Há um pequeno cabo que transporta a energia da sola até ao “PowerPac” sendo que toda a energia gerada ao caminhar/correr é armazenada nesse aparelho externo, Figura 27.

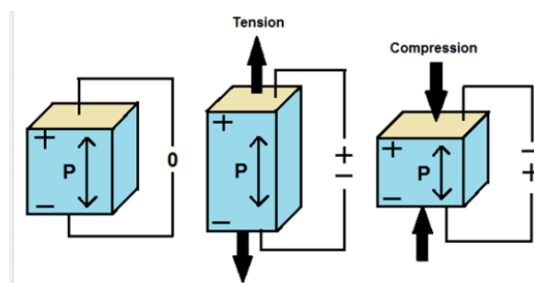


Figura 27 a) Power Pac alojado na sapatilha b) Power Pac alojado na sola

#### 2.4.6 PAVEGEN – A empresa que criou um campo de futebol que produz eletricidade

A empresa Pavegen trabalha com pisos que aproveitam o choque e o abaixamento do mesmo pelo caminhar, pela corrida ou pelos saltos dos usuários através de matérias piezoelétricos. O objetivo é capturar e aproveitar a energia perdida e convertê-la em energia útil. Os materiais piezoelétricos são especialmente utilizados para transformar a energia mecânica de

deformação em energia elétrica e vice-versa. Quando existe uma pressão aplicada numa determinada camada de material piezoelétrico em direção longitudinal é gerada uma voltagem até ao retorno da camada à sua espessura original. Se a pressão for aplicada de forma perpendicular, uma voltagem é gerada até à camada voltar ao seu comprimento e largura original, Figura 28.



*Figura 28 - Esquema do efeito piezoelétrico.*

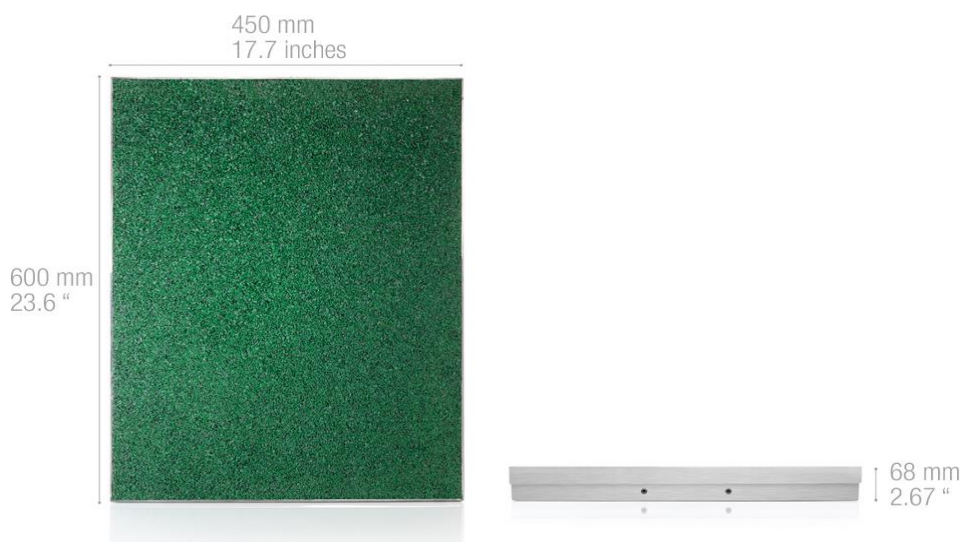
Um disco piezoelétrico quando é deformado gera uma voltagem. Inicialmente estes materiais eram apenas utilizados em aparelhos pequenos como por exemplo os cigarros elétricos onde se carregava num botão e isso provocava que um martelo de mola batesse num cristal piezoelétrico que produzia uma voltagem elétrica suficiente para aquecer e inflamar o gás.

Nos tempos que correm já se aproveita esta tecnologia numa escala muito maior, onde se aproveita vibrações perdidas do dia-a-dia em eletricidade enviando diretamente para uma fonte de energia ou armazenando-a num condensador para ser usado noutra altura [24].

Esta companhia trabalha com produtos da seguinte forma: lajes de borracha (Figura 29) com a tecnologia necessária que se fixa ou em ruas, ou pavimentos, estádios, etc. Esta laje de borracha sofre uma depressão de cerca de 5mm cada vez que é pisada.

Este pequeno movimento gera energia cinética que é depois convertida em energia elétrica, sendo que esta é armazenada na laje através de um condensador.

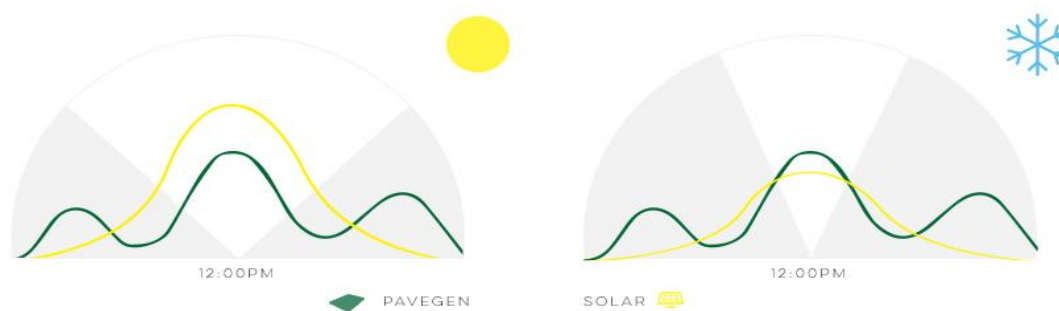
Estas lajes são feitas para que os seus componentes criem o mínimo impacto ambiental possível, sendo que cada laje tem uma vida útil de cerca de 20 milhões de passos, para além que são facilmente substituídos [24]. A Figura 29 apresenta uma laje desta empresa, com as medidas da mesma.



*Figura 29 Lajes da empresa Pavegen que convertem a energia cinética, do choque da passada das pessoas, em energia elétrica e suas dimensões.*

Esta energia tem várias aplicações como expositores de publicidade (que estão presentes nos campos de futebol por exemplo), pode ser utilizada para fontes de energia externas diretamente ou pode ser armazenada numa bateria externa para aplicações futuras, pode ser aproveitada para iluminação, mais concretamente LED's de baixa energia como em ruas ou até em iluminação de sinais de direção em aeroportos, estações de transportes públicos, etc.

Uma vantagem desta tecnologia face a outras fontes de energia renováveis é o facto de não depender de condições meteorológicas. A energia solar e eólica estão limitadas pelo espaço, sombreamento pelos edifícios e pela constante mudança do tempo, enquanto esta tecnologia produz de forma constante energia, Figura 30.



*Figura 30 Comparação do aproveitamento energético entre a tecnologia Pavegen e a energia solar em diferentes condições climáticas durante o dia.*

Esta empresa criou, a partir desta tecnologia, um campo de futebol onde por baixo do “tapete” sintético colocou as várias lajes que possuem esta tecnologia PAVEGEN, permitindo “colher” energia enquanto se pratica a modalidade, como se pode ver na Figura 31.



Figura 31 - Imagens da construção do campo com os materiais piezoelétricos e o produto final.

#### 2.4.7 SOCKET

Estudantes graduados de Harvard tiveram uma ideia para ajudar populações pobres que vivem em locais sem ou com pouco acesso à energia elétrica. Estima-se que sejam cerca de 1,2 milhares de milhão de pessoas nestas condições, sendo que esta população depende de perigosas fontes de energias como por exemplo os geradores a diesel. Surgiu a ideia de criar um produto que permitisse ajudar estas pessoas sem acesso à eletricidade, precisando apenas de praticar um dos desportos mais populares de todo o mundo: o futebol. Um pequeno passo que permite um aumento na educação, melhor qualidade do ar, sustentabilidade ambiental e melhorar a saúde de crianças pela prática de exercício físico. Este produto combate 2 problemas em simultâneo: a falta de eletricidade e a falta de atividade física que provoca cerca de 3.2 milhões de mortes por ano. Para além disso promove a prática de exercício físico dado que dá uma razão plausível para o fazer, produzir energia elétrica. Para além de tudo isso, ainda está estudado que fazer desporto permite ter corpos e cérebros saudáveis, tendo menos risco de ter certas doenças, reduz o stress, melhora o sono e permite o cérebro ficar mais funcional.

A companhia *Uncharted Play* criou uma bola, de nome *Soccket*, que transforma a energia cinética em energia elétrica e que com apenas com meia hora de utilização gera 3 horas de luz numa lâmpada LED. A energia é logo utilizada ou é armazenada na bateria.

A bola utiliza um mecanismo de bobina indutiva para gerar energia. Um pêndulo dentro da bola, gira com o movimento provocado nesta, “capturando” essa energia cinética e transportando-a para um motor carregando assim uma bateria de lítio. O seu funcionamento é similar ao gerador de uma bicicleta ou a um moinho de vento. Para além do pêndulo, a bola também tem no seu interior um motor DC, um pcb e a bateria de lítio como se falou anteriormente. Quando a bola rola, o pêndulo aciona o motor DC, carregando a bateria. Esta energia pode ser logo utilizada ou pode ser armazenada. Se esta bateria tiver totalmente carregada consegue fornecer energia nessa lâmpada LED por 72 horas. Esta bola utiliza os seguintes materiais:

espuma reciclável EVA, plástico reciclável, bateria Li-ion, engrenagens de metal e motor, pêndulo de zinco, Figura 32 [25].



Figura 32 “Soccket”, a bola que gera energia elétrica.

Esta empresa já tem testado protótipos em bolas da *Nike* mas para já o grande problema encontrado tem sido a durabilidade dado que os equipamentos que estão dentro da bola têm que resistir a grandes pancadas: “*We basically needed to create a cell phone that you could kick and smash against the wall, and that was soft enough that you could bounce,*” são as palavras de um dos produtores. Foram criadas várias versões até se chegar à versão que agora está disponível à venda. Esta é apenas 1 ounce, ou 28,35 gramas, mais pesada que uma bola standard. Esta bola possui uma borracha laranja que quando retirada permite ligar a lâmpada LED que vêm juntamente com a bola ou carregar outros aparelhos como telemóveis, máquinas

de filtrar água e adaptadores USB. Por cada bola que se compra, a empresa entrega outra a uma criança necessitada.

#### 2.4.8 PULSE

Os mesmos criadores da *soccket* criaram outro produto que tem o mesmo objetivo, o de gerar energia elétrica através de um produto desportivo em locais onde há falta de eletricidade. O PULSE é uma corda para se “saltar à corda”. O dispositivo de captura de energia está dentro das pegadas da corda, sendo que a energia que é aproveitada é a energia cinética da rotação da corda. A corda tem 2 grandes vantagens face bola de futebol; primeiro tem uma durabilidade superior já que não sofre pancadas e segundo gera mais energia já que 15 minutos a saltar permite ter 2 horas de luz [26]. Tal como a bola, apresenta um motor DC. A corda ao rodar, faz ligar o motor que dá energia à bateria. Os materiais utilizados nesta corda são o plástico reciclável, a bateria de Li-ion, engrenagens de metal e borracha [25].

Como se pode ver na Figura 33 basta colocar o punho de suporte (a laranja na imagem) e de seguida o agregador e a partir desta pode-se ligar qualquer aparelho US ou então ligar a uma espécie de “candeeiros” que possuem luzes LED, fazendo-as acender.



*Figura 33 Corda da companhia Uncharted Play que permite gerar energia elétrica através da energia cinética proveniente da rotação da corda.*

## 3 Descrição Técnica e Discussão dos Resultados

### 3.1 Poupança de energia através dos aparelhos de microgeração humana

#### 3.1.1 Poupança geral

Para além do grande objetivo destas criações, que é fornecer energia elétrica a populações que não a têm ou que têm dificuldade em obtê-la, estes aparelhos são amigos do ambiente dado que a partir deles se pode diminuir o consumo de energia elétrica. Por exemplo, ao se utilizar a bola “Socket” ou a corda “Pulse” consegue-se ter luz sem qualquer gasto de eletricidade. Através da Tabela 3 podem-se verificar os consumos das lâmpadas LED que são as que estão presentes nestes aparelhos.

*Tabela 3 - Consumo de Energia Elétrica (8 horas / Dia a pós 1 ano) duma lâmpada LED [41].*

LED
2W*8h*365 dias = 5,84 kWh
5W*8h*365 dias = 14,60 kWh
7W*8h*365 dias = 20,44 kWh
9W*8h*365 dias = 26,28 kWh
11W*8h*365 = 32,12 kWh
16W*8h*365 dias = 46,72 kWh
20W*8h*365 dias = 58,40 kWh

Embora a lâmpada presente nos aparelhos seja LED, ainda há muitas pessoas a utilizar lâmpadas incandescentes e do tipo fluorescente compacta. Logo será interessante saber o consumo destas lâmpadas para que se pudesse saber quanto se pouparia. O consumo destes 2 tipos de lâmpadas pode ser visto na tabela 4.

Tabela 4 - Consumo de Energia Elétrica (8 horas / Dia após 1 ano) duma lâmpada incandescente e de uma fluorescente compacta [41].

Incandescentes	Fluorescente compacta
25W*8h*365 dias = 73,00kWh	
40W*8h*365 dias = 116,80kWh	11W*8h*365 dias = 32,12 kWh
60W*8h*365 dias = 175,20kWh	15W*8h*365 dias = 43,80 kWh
75W*8h*365 dias = 219,00kWh	18W*8h*365 dias = 52,56 kWh
100W*8h*365 dias = 292,00kWh	24W*8h*365 dias = 70,08 kWh
150W*8h*365 dias = 438,00kWh	30W*8h*365 dias = 87,60 kWh
250W*8h*365 dias = 730,00kWh	42W*8h*365 dias = 122,64 kWh

Quanto ao carregamento do telemóvel a poupança não é tao significativa. Um telemóvel a carregar gasta entre 3 a 7 W, logo, caso esteja a carregar durante 2 horas gastará entre 0,006 e 0,014 kWh [27]. Embora estes valores sejam muito insignificantes, tendo em mente que normalmente se carrega o telemóvel todos os dias, que cada pessoa tem mais do que um “gadget” e que existem cerca de 7,22 milhares de milhão de telemóveis ativos, isto é, existem mais telemóveis do que pessoas no mundo, então pode-se ver a diferença abismal que faria ter estes produtos. Através de contas simples, pode-se fazer uma estimativa da energia que a população mundial gasta apenas com o carregamento do telemóvel. Utilizou-se o valor médio entre 0,006 e 0,014 kWh, isto é 0,010 kWh por carregamento, uma vez por dia, em 7,2 milhares de milhão de telemóveis [52]:

$$\begin{aligned} kWh(\text{telemóveis no mundo por dia}) &= 0,010 * 7,2 * 10^9 = 72000000 kWh \\ &= 7,2 * 10^7 kWh \quad (12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} kWh(\text{telemóveis no mundo por ano}) &= 0,010 * 7,2 * 10^9 * 365 = 26280000000 kWh = \\ &= 2,628 * 10^{10} kWh \quad (13) \end{aligned}$$

$$kWh(\text{um telemóvel por ano}) = 0,010 * 365 = 3,65 kWh \quad (14)$$

Como se pode verificar, e tal como já tinha sido referido anteriormente o valor que se poupa num telemóvel é irrelevante. Pensando de forma individual estes aparelhos ajudam pouco o ambiente e a redução de consumo energético. Pensando de forma global e sabendo que

existem mais telemóveis do que pessoas no mundo e sendo um “gadget” que ainda continua em expansão verifica-se que as reduções seriam colossais.

A tabela 5 permite-nos analisar as emissões de CO<sub>2</sub> produzidas, o seu custo por hora das várias lâmpadas utilizadas e dos aparelhos portáteis e computadores que na sua maioria podem ser carregados pelos aparelhos de microgeração humana em estudo.

Tabela 5 - Custo e emissões de CO<sub>2</sub> dos eletrodomésticos [28].

Por hora			
Aparelhos	Potência (Watt)	Emissões de CO <sub>2</sub> por hora gr emissões produzidas	Custo de funcionamento (cêntimos) <sup>2</sup>
Lâmpadas 60W	60	39	0,6
Lâmpadas económicas equivalentes a lâmpadas normais de 60W	11	7	0,11
Lâmpadas halogéneo	300	195	3
Portáteis e computadores	80-360	52-234	0,8-3,6

### 3.1.2. Tempo de retorno

Tanto os aparelhos da *Uncharted Play* como o *AMPY* custam neste momento pouco menos que 100 dólares, que equivale a 88 euros. Como se sabe todas as tecnologias quando aparecem no mercado apresentam um valor superior, logo pode-se afirmar com toda a certeza que este valor sofrerá um grande decréscimo se começar a ser utilizado por mais pessoas, permitindo assim a sua evolução. Apesar disso, realizei os cálculos com o valor de mercado atual e assim saber o tempo de retorno médio que é necessário para através da sua poupança, conseguir abater o valor de compra.

Através da tabela 4 pode-se visualizar o consumo de energia de lâmpadas incandescentes e de lâmpadas fluorescentes compactas. Um grande número de pessoas ainda usa as fluorescentes compactas, logo fez-se os cálculos para este tipo de lâmpadas. Se o consumidor utilizar os aparelhos de microgeração humana para substituir uma destas lâmpadas da sua residência, com 15W de potência, com um uso diário de 8 horas então irá deixar de consumir 43,80 kWh

por ano. O custo do kWh está neste momento fixado em 0,1568 euros para tarifas de baixa tensão normal (tarifas das residências). Assim, o consumidor, poupa 6,90 euros num ano. Como se tem falado no decurso desta dissertação, estes aparelhos para além de produzirem energia elétrica capazes de acender lâmpadas LED conseguem, também, carregar telemóveis, tablets etc. Pela equação 14 podemos analisar mais uma vez quanto gasta, em kWh, um telemóvel que é carregado todos os dias durante 2 horas, durante um ano (3,65kWh). Assim, por ano, poupa-se 0,57 euros. Pela substituição de uma lâmpada e o carregamento do telemóvel o consumidor poupa 7,47 euros por ano. Sabendo que o aparelho custa 88 euros então seria necessário mais de 11 anos (11,78) para se ter o retorno do custo do aparelho.

Mais uma vez tem que se ter em conta que o preço atual destes aparelhos ainda é muito elevado porque a tecnologia é muito recente. Um exemplo disso é o *AMPY*, que apenas começou a ser vendido em Dezembro de 2015.

### 3.1.3 Poupança com os aparelhos da *Uncharted Play*

Após ter recebido os aparelhos desta empresa, o *Soccket* (bola de futebol) e o *Pulse* (Corda), iniciei os testes para saber a quantidade de energia produzida por estes aparelhos.

Analisamos em primeiro lugar a bola de futebol *Soccket* cujos resultados estão presentes na tabela 6.

*Tabela 6 - Tempo de luz conseguida para as várias amostras de tempo realizadas com o SOCCKET*

Tempo de utilização (horas:minutos:segundos)	Tempo de energia elétrica conseguida (LED) (horas:minutos:segundos)
00:10:00	00:34:57
00:10:00	00:27:12
00:10:00	00:29:58
00:10:00	00:31:28
00:10:00	00:19:14
00:10:00	00:30:05
<b>Média para 10 minutos</b>	<b>00:28:49</b>

Através dos testes realizados conseguiu-se obter um valor médio de luz através da bola Soccer. Para cada 10 minutos de jogo obtivemos 28 minutos e 49 segundos de luz elétrica através das lâmpadas LED, logo, para 1 hora de jogo iríamos obter-se 2 horas e 53 minutos de luz. Sabendo que a lâmpada LED que vem com o aparelho é uma lâmpada 60 LED GU10 que consome 3W. Vamos usar o valor *standard* do preço do kWh 0,1568 euros (preço aplicado pela EDP, para tarifas de baixa tensão normal) e o valor de 0,144 kgCO<sub>2</sub> por kWh (despacho 15793/2013). Por cada hora que se jogue futebol com esta bola estamos a poupar aproximadamente o gasto de 3 horas de luz. No caso de o consumidor apenas substituir uma lâmpada LED de sua casa pela luz conseguida pelo aparelho iria reduzir o gasto dessa lâmpada em 3 horas, logo para sabermos a potência que pouparia multiplica-se os 3W pelas 3 horas obtendo o valor de 0,009kWh. Num ano esse consumidor pouparia 3,3 kWh, 0,52 euros na conta e reduziria as suas emissões em 0,48 kg CO<sub>2</sub>/ano.

Tendo em conta que estes aparelhos serviriam para combater o uso dos combustíveis fósseis, produzindo energia de uma forma o mais natural possível, fiz os cálculos caso metade da população mundial (3,5 mil milhões de pessoas) usasse esta forma de produzir energia para substituir o gasto de uma das lâmpadas LED que tem em casa. 11,6\*10<sup>9</sup>kWh, que equivale a uma redução de 1,6\*10<sup>9</sup> kg CO<sub>2</sub>/ano.

Um aspeto importante é que uma grande parte da população ainda não usa lâmpadas LED em casa mas sim lâmpadas mais baratas como as fluorescentes compactas. Se o mesmo consumidor que se falou anteriormente aproveitar a energia de 1 hora de uso do aparelho e usar essa energia para substituir 3 horas de energia elétrica, proveniente deste tipo de lâmpada que consome 15W, então vamos ter um consumo nessas três horas de 0,045kWh. Num ano o consumidor pouparia 16,42kWh caso usasse 3 horas dessa luz por dia. A nível monetário iria poupar 2,60 euros e iria reduzir as suas emissões em 2,4kgCO<sub>2</sub>/ano. Mais uma vez sabendo que este método seria para ser utilizado por várias pessoas em todo o mundo então fiz a estimativa caso metade da população utilize-se este aparelho. Desta forma seria possível suprimir 5,75\*10<sup>10</sup>kWh e 8,3\*10<sup>9</sup> kgCO<sub>2</sub>.

Cada português emite em média 4900 kgCO<sub>2</sub>/ano, então, se meio mundo usasse este aparelho 1 hora por dia para substituir uma lâmpada LED, seria possível reduzir os kgCO<sub>2</sub> equivalente ao que 326.530 portugueses emitem para a atmosfera. Se metade da população mundial usasse esta luz gerada por si para substituir uma lâmpada fluorescente compacta, isso seria equivalente às emissões de CO<sub>2</sub> de 1.693.877 de portugueses.

A partir dos valores conseguidos por experimentação, verificou-se que o valor dado pela empresa (1 hora de uso gera 3 horas de luz) está correto. Se se somar os minutos de luz obtidos nos 60 minutos de experimentações que se fez, obtém-se o valor de 2,9 horas de luz por uma hora de uso.

A bola totalmente carregada consegue iluminar a lâmpada LED por 72 horas, a partir daí se se continuar a utilizar a bola para jogar não se irá conseguir armazenar mais na bateria que se encontro no seu interior.

Como já foi falado anteriormente a empresa *Uncharted Play* tem feito esforços para conseguir criar uma bola de futebol oficial, que dê para ser utilizada em provas oficiais. O grande problema é a durabilidade da bola e dos materiais que possui no seu interior, dado que com choques violentos não terá grande longevidade. Caso esta empresa conseguisse criar uma bola que possuísse as condições base para ser utilizada em provas oficiais, aumentando a resistência dos seus materiais, poderia ser um mercado interessante. Dado que um jogo de futebol é jogado com bastante intensidade, vamos utilizar o maior valor conseguido nos nossos testes que é aproximadamente 35 minutos de luz para 10 minutos de jogo. Sabendo que cada jogo de futebol tem a duração de 90 minutos teríamos 5 horas e 15 minutos de luz conseguida por jogo. Logo num campeonato qualquer com 20 equipas, numa jornada conseguiríamos 52 horas e 30 minutos. Este tempo de luz equivale a 0,16kWh. Numa época inteira nesse campeonato obter-se-ia 1995 horas de luz nas 38 jornadas. No que diz respeito à corda Pulse, os valores de luz obtidos estão apresentados na tabela 7.

*Tabela 7 - Tempo de luz conseguida para as várias amostras de tempo realizadas com o PULSE*

Tempo de utilização (horas:minutos:segundos)	Tempo de energia elétrica conseguida (LED) (2 lâmpadas) (horas:minutos:segundos)	Tempo de energia elétrica conseguida (uma lâmpada de cada vez) (horas:minutos:segundos)
00:20:00	00:16:30	00:33:00
00:30:00	01:23:48	02:47:36
00:20:00	00:45:20	01:30:40
00:20:00	00:33:04	01:06:08
00:20:00	00:23:10	00:46:20
00:10:00	00:12:31	00:25:02
00:20:00	00:44:13	01:28:26
00:20:00	00:13:00	00:26:00
00:20:00	00:48:59	01:37:58
<b>Média</b>	00:35:34	01:11:08

Novamente, após a análise dos resultados obtivemos um valor médio de 35 minutos e 34 segundos de luz com as 2 lâmpadas ligadas em simultâneo e de 1 hora 11 minutos e 8 segundos de luz, ligando-se as lâmpadas uma de cada vez, para um tempo de utilização da corda de 20 minutos. Ao contrário dos resultados da bola Soccket, os valores experimentais no Pulse ficaram muito aquém dos valores de fábrica. A empresa diz que 15 minutos a saltar à corda permite gerar 2 horas de luz.

Utilizando os mesmos dados que na análise da bola Soccket, isto é, lâmpada LED que vem com o aparelho é uma lâmpada 60 LED GU10 que consome 3W, preço do kWh 0,1568 euros (preço aplicado pela EDP) e 0,144 kgCO<sub>2</sub> emitidos por kWh. Assim uma pessoa que utilize a corda 1 hora por dia consegue ter até 3 horas e 35 minutos de luz aproximadamente, isto é, mais 35 minutos do que com a bola soccket. Com estes valores sabemos que o consumidor ao substituir uma lâmpada LED de casa pela lâmpada com energia gerada pela corda era possível gerar, num ano, 3,94 kWh, o que equivale a 0,62 euros de poupança, reduzindo as suas emissões em 0,57 kgCO<sub>2</sub>/ano. Mais uma vez, alarguei a escala e vi o que se conseguiria obter se metade da população mundial usasse esta corda e a usasse apenas 1 hora por dia: dado que temos 7 mil milhões de pessoas no Mundo então produzir-se-ia 13,79\*10<sup>9</sup> kWh o que equivale a uma redução de 1,99\*10<sup>9</sup> kgCO<sub>2</sub>/ano. Se substituíssemos não uma lâmpada LED mas sim uma fluorescente compacta cada pessoa iria poupar nessas 3 horas, 0,045 kWh o que num ano perfaz 16,43 kWh. Estes 16,43 kWh significam uma poupança anual de 2,60 euros e uma redução anual de 2,4 kgCO<sub>2</sub>. Se metade da população mundial fizesse esta substituição iríamos conseguir uma redução anual de 8,3\*10<sup>9</sup> kgCO<sub>2</sub>.

Havendo esta atitude por parte de metade dos habitantes do planeta seria possível reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> equivalentes às de 406122 portugueses ou a 1.693.877 caso a substituição fosse feita nas lâmpadas incandescentes.

Para finalizar, dado que os resultados deram muito diferentes do esperado, se se utilizasse os valores de fábrica que dizem que por cada 15 minutos conseguimos obter 2 horas de luz, então numa hora iríamos gerar 8 horas de luz. Substituindo uma lâmpada LED, o consumidor num ano gastaria menos 8,76 kWh e 1,37 euros, reduzindo as suas emissões em 1,26 kgCO<sub>2</sub>/ano.

Substituindo uma lâmpada fluorescente compacta gastaria menos 43,8 kWh, 6,9 euros e emitiria menos 6,31 kgCO<sub>2</sub>/ano.

## 3.2 Poupança de energia em eventos desportivos

### 3.2.1 Corrida de S. Silvestre Porto

A corrida São Silvestre é uma das mais conceituadas e que leva mais gente às ruas para a prática de desporto (figura 34). Na última S. Silvestre do Porto, realizada dia 27 de dezembro de 2015, estiveram presentes cerca de 20 mil pessoas na Avenida dos Aliados para realizarem as provas de 10km e a caminhada de 5km. Terminaram a prova de 10km 10875 pessoas e 8000 a meia corrida/caminhada de 5km.



Figura 34- Imagem da corrida S. Silvestre do Porto [42].

Através dos resultados disponibilizados pela *runporto* conseguiu-se fazer uma média do tempo de corrida dos atletas nos 10km. O valor foi de 65,6 minutos que é aproximadamente 1 hora e 5 minutos [29].

Utilizando os valores representados na tabela 1, podemos verificar que se produz aproximadamente 1048 Watts numa corrida de longa distância e 407 Watts numa caminhada logo podemos fazer uma estimativa de Watts gastos nesta corrida “popular” através das equações 15 e 16:

$$65,6 \text{ min} = \frac{65,6}{60} \text{ horas} = 1,093 \text{ horas} \quad (15)$$

$$1048 \text{ Watts} * 1,093 \text{ horas} = 1145,5 \text{ Wh} = 1,145 \text{ kWh} \quad (16)$$

Como não temos os tempos da caminhada faremos uma estimativa. Uma pessoa que ande em passo rápido atinge uma velocidade aproximada de 6km/h logo, em 5km faz um tempo que rondará as 0,83 horas ( $\approx$  50 minutos). Assim sendo, pela equação 17 teremos os kWh produzidos na caminhada:

$$407 \text{ Watts} * 0,83 \text{ horas} = 337,81 \text{ Wh} = 0,338 \text{ kWh} \quad (17)$$

Como valor médio temos que cada pessoa produziu 1,145 kWh na corrida de 10km e 0,338 kWh na caminhada de 5km. Pelas equações 18 e 19, verificamos quantos kWh foram produzidos em cada prova e na equação 20, na totalidade das pessoas que terminaram a São Silvestre:

$$10875 \text{ atletas} * 1,145 \text{ kWh} = 12451,9 \text{ kWh} \quad (18)$$

$$8000 \text{ atletas} * 0,338 \text{ kWh} = 2704,0 \text{ kWh} \quad (19)$$

$$12451,9 \text{ kWh} + 2704,0 \text{ kWh} = 15155,9 \text{ kWh} \quad (20)$$

Sabendo que por cada kWh gasto se produz 0,47 kgCO<sub>2</sub> então podemos verificar quantos Kg se teriam poupado por pessoa na corrida (eq. 21) e na caminhada (eq. 22) e na totalidade da corrida de S. Silvestre (eq. 23)

$$\textbf{Na corrida por pessoa: } 1,145 * 0,144\text{kgCO}_2 = \textbf{0,167 kgCO}_2 \quad (21)$$

$$\textbf{Na caminhada por pessoa: } 0,338 * 0,144\text{kgCO}_2 = \textbf{0,05 kgCO}_2 \quad (22)$$

$$\textbf{Sao Silvestre total : } 15155,90 * 0,144\text{kgCO}_2 = \textbf{2182,45 kgCO}_2 \quad (23)$$

Através dos valores presentes na COTAP (*Carbon offsets to alleviate poverty*) verifica-se que em Portugal cada pessoa emite uma média de 4,9 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano. Usando os valores da S. Silvestre podemos verificar que se uma pessoa caminhasse 5km todos os dias num ano poderia emitir menos 18,3kgCO<sub>2</sub> por ano que corresponde a 0,4% do seu total anual como se pode verificar nas equações 24 e 25.

$$0,05\text{kgCO}_2 * 365 = 18,3 \text{ kgCO}_2 = \textbf{0,0183 tonCO}_2 \quad (24)$$

$$\frac{0,0183}{4,9} = \textbf{0,4\%} \quad (25)$$

Uma pessoa que corra cerca de 1 hora, num ano, consegue reduzir mais de 1,3% das suas emissões de carbono anuais como se pode verificar nas equações 26 e 27.

$$0,17kgCO_2 * 365 = 62,1kgCO_2 = \mathbf{0,062tonCO_2} \text{ (26)}$$

$$\frac{0,062}{4,9} = \mathbf{1,3\%} \text{ (27)}$$

### 3.2.2 Maratona de Nova Iorque 2014

A maior maratona do mundo teve como epicentro a cidade de Nova Iorque onde 50 530 atletas terminaram a prova (figura 35). O tempo médio foi de 4 horas e 35 minutos.



*Figura 35 - Fotografia da Maratona de Nova Iorque [43].*

Fazendo os cálculos utilizados para a São Silvestre do Porto mas com os resultados desta maratona obtemos os valores presentes nas equações 28 e 29. A partir destas sabemos quantos kWh se poderia aproveitar na totalidade da corrida pela equação 30.

$$\textit{tempo médio da realização da prova: } 4h35 \text{ min} = 4,58h \text{ (28)}$$

$$\textit{kWh por pessoa: } 1048 \text{ Watts} * 4,58\text{horas} = 4799,84 \text{ Wh} = 4,80 \text{ kWh} \text{ (29)}$$

$$\textit{kWh de toda a prova } 50530 \text{ atletas} * 4,80 \text{ kWh} = \mathbf{242544 \text{ kWh}} \text{ (30)}$$

Mais uma vez, tendo por base o valor de 0,47 kgCO<sub>2</sub> por cada kWh gasto então podemos verificar quantos Kg se teriam poupado por pessoa na corrida (equação 31) e na totalidade da Maratona (equação 32):

***Na corrida por pessoa:  $4,80 * 0,144kgCO_2 = 0,70 kgCO_2$  (31)***

***Total da maratona de Nova Iorque :  $242544 * 0,144kgCO_2 = 34926,35 kgCO_2$  (32)***

Pode concluir-se que na Maratona de Nova Iorque seria possível reduzir praticamente 35 toneladas de CO<sub>2</sub>. Sabendo que cada pessoa em Portugal produz 4,9 tonCO<sub>2</sub>, estas 35 toneladas equivalem às emissões de CO<sub>2</sub> de mais de 7 portugueses num ano e de 2687 portugueses num dia.

## 4 Conclusões

Após a realização desta dissertação, foi possível perceber que é realmente praticável acabar com a necessidade exagerada dos combustíveis fósseis, visto termos temos à nossa disposição um grande número de fontes de energia renováveis seja para locais ou aparelhos de grande gasto energético, seja para aplicação em pequenos aparelhos do nosso quotidiano. Nesta tese revelei essencialmente, estes últimos que, embora precisem de muito menos energia, são utensílios prioritários nos dias de hoje para a maioria da população mundial. Na realização deste trabalho descobri uma grande variedade de aparelhos que aproveitam a energia do nosso corpo para gerar energia para telemóveis, *tablets*, comandos, mp3 e para obter luz. Aparelhos que se colocam nas sapatilhas e aproveitam o choque da sola no pavimento ou do movimento da nossa perna ao andar e correr, bolas de futebol que possuem um pêndulo no seu interior que ao girar carrega uma bateria que armazena essa energia, materiais piezoelétricos colocados em placas que se colocam no pavimento e desta forma produz-se energia através do abaixamento das mesmas. Outra grande vantagem que a microgeração humana proporciona é o facto de fazer com que os ginásios consigam ser auto sustentáveis se pelo aproveitamento do movimento das bicicletas, dos *steppers* e até mesmo de certas máquinas de musculação.

A Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto permitiu a compra da bola Soccket e da corda PULSE e foram feitos testes que permitiriam obter resultados para serem analisados.

Após a análise dos resultados conseguidos para a bola Soccket foi possível retirar algumas conclusões. A bola apresenta ainda algumas limitações especialmente a nível da longevidade, dado que tanto a bola em si como os materiais no seu interior não são muito resistentes. Logo na 1ª utilização sentiu-se algum desgaste da bola mesmo tendo-se jogado num relvado artificial que é menos abrasivo do que um campo de terra ou de cimento. Outro aspeto negativo é quando analisamos a potência energética que se poupou. Como a lâmpada é LED, ao compararmos com o gasto normal de uma lâmpada LED, não vamos conseguir grandes resultados porque esta lâmpada só por si já gasta muito pouco. Apesar disso a grande vantagem deste aparelho é o tempo de iluminação que permite conceber apenas com a prática de exercício. Conseguimos produzir mais de meia hora de luz com apenas 10 minutos de jogo, é algo extremamente gratificante. Num local onde a eletricidade não abunde o facto de se conseguir tanto tempo de luz sem qualquer tipo de gasto monetário e sem ter que utilizar outras formas de produzir energia mais perigosas é extremamente importante. Em locais mais desenvolvidos onde a eletricidade chega a todo o lado sem grande dificuldade, o uso deste aparelho ou de aparelhos similares tem o seu destaque quando o vemos em grande escala. Obtivemos um valor de  $11,6 \cdot 10^9 \text{ kWh}$  que equivale a uma redução de  $1,6 \cdot 10^9 \text{ kg}$

CO<sub>2</sub>/ano se metade da população mundial substituísse, durante 3 horas, uma lâmpada LED que usa em casa com energia proveniente de uma rede elétrica, por uma proveniente de jogar 1 hora futebol. Obteve-se um valor ainda mais positivo de poupança, caso a energia fornecida pela bola substituísse uma lâmpada fluorescente compacta. Desta forma cada consumidor que substituísse a lâmpada durante 3h/dia pela conseguida pela bola iria poupar num ano 2,60 euros na conta e reduzir as suas emissões de CO<sub>2</sub> em 2,4kgCO<sub>2</sub>/ano. Novamente num panorama geral, se metade da população fizesse esta substituição em sua casa, consegue-se minimizar 5,75\*10<sup>10</sup>kWh e 8,3\*10<sup>9</sup> kgCO<sub>2</sub>/ano. Esta tecnologia, assim como a maioria das tecnologias de microgeração humana, é importante a nível individual na medida em que permite obter bastante tempo de luz, ou mesmo carregar aparelhos, através da prática de exercício, não sendo necessário estar em casa ou em qualquer lugar com eletricidade. A nível monetário, compensa pouco à pessoa que usa o aparelho, porém, verificou-se que se metade da população mundial a usasse uma hora por dia, poderíamos conseguir reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>/ano equivalentes às de 1693877 portugueses.

O outro aparelho testado foi a corda *Pulse*. Pelos valores dados pela fábrica, este aparelho produz 2 vezes mais energia que a bola *Soccket*. Para além de mais energia é um aparelho mais útil e de mais fácil utilização, enquanto para jogar futebol são precisas várias pessoas, saltar a corda é um ato individual. É algo que podemos fazer em qualquer lugar e que podemos transportar muito facilmente. Todavia, após a realização dos testes, verificaram-se algumas falhas que necessitam de ser trabalhadas por parte da empresa de forma a conseguir que este aparelho seja ainda mais uma solução na produção de energia. Quando se fizeram os testes, notou-se que a corda é bastante mais pesada do que o habitual, o que se vai agravando com o passar dos minutos em que se está a saltar a corda. Se nos primeiros 2 minutos conseguimos saltar de forma cómoda, a partir daí, começa a ser mais difícil aguentar o esforço dos braços a rodar a corda, do que propriamente o ato de saltar. Compreende-se que, estando a bateria no interior das pegas, estas tenham um certo peso, mas será necessário arranjar formas de reduzir a massa total da corda. A outra falha encontrada foi o real tempo de luz conseguida. Após várias medições obtivemos, para 20 minutos a saltar à corda, 35 minutos de luz com as duas lâmpadas ligadas, e 1h11min ligando as lâmpadas á vez. Estes valores estão bem longe dos que se previam. A empresa afirma que com 20 minutos a saltar á corda se consegue obter 2 horas e 40 minutos de luz, porém nos testes realizados teve-se 1 hora e 11 com 20 minutos de atividade. Apesar destes problemas tivemos resultados bastantes favoráveis, tal como tínhamos tido com a bola *Soccket*. Uma pessoa que salta uma hora por dia e utilize a luz gerada para substituir uma lâmpada de sua casa, pode reduzir as suas emissões de 0,57 kgCO<sub>2</sub>/ano até 2,4 kgCO<sub>2</sub>/ano depende se substitui uma lâmpada LED ou uma lâmpada fluorescente compacta. Se metade da população mundial saltasse à corda 1 hora por dia, a redução das emissões de CO<sub>2</sub> poderia chegar aos 8,3\*10<sup>9</sup> kgCO<sub>2</sub>/ano. Tendo em

conta a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> média dos portugueses, esta redução seria equivalente a reduzir a emissão de CO<sub>2</sub> de 1.693.877 portugueses.

Concluindo, os aparelhos que já se encontram no mercado, apesar de terem ainda algumas falhas e limitações, podem ser importantes para a redução do consumo de combustíveis fósseis. Estas tecnologias permitem-nos ter energia em qualquer sítio, sendo apenas necessário o nosso movimento. Fazer desporto é algo que cada vez mais tem relevo no quotidiano das pessoas, sendo que existem milhões de atletas federados em todo o mundo que podem aproveitar estas tecnologias para gerar grandes quantidades de energia. Verificamos que se estas tecnologias forem usadas em grande escala podemos obter valores impressionantes tanto de energia gerada como de redução de emissões de CO<sub>2</sub>. Pequenos passos de cada pessoa podem ser um grande passo no combate às alterações climáticas. Ajudamos o Planeta Terra ao mesmo tempo que nos ajudamos a ser melhores e mais saudáveis.



---

## Referências

- [1] Sachs Ignacy, A revolução Energética do séc XXI, Estudos Avancados 21 (59), 2007
- [2] Costa, Ricardo, “O papel das Fontes Renováveis de Energia no Sector Energético e Barreiras à sua Penetração no Mercado”, Departamento de Gás, Petróleo, Co-Geração e Outras Fontes de Energia, do BNDES, 2005.
- [3] Union of Concerned Scientists, “A Short History of Energy”, disponível em: [http://www.ucsusa.org/clean\\_energy/our-energy-choices/a-short-history-of-energy.html#.Vg54pn0XfCQ](http://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/a-short-history-of-energy.html#.Vg54pn0XfCQ), Fevereiro de 2016
- [4] ExxonMobil, disponível em: [www.exxonmobil.com](http://www.exxonmobil.com), 2010.
- [5] Silva, Micael Alexandre Caetano, Factores de Sustentabilidade em Energias Renováveis, ISEL, 2012.
- [6] Fernandes, Daniela, “Brasil é 10º maior consumidor mundial de energia elétrica”, disponível em: [www.bbc.com](http://www.bbc.com)(2012).
- [7] Soares, Cláudia Alexandra Dias, Direito das Energias Renováveis, Almedina, 2014
- [8] Marques, Sílvia, "Energias Fósseis versus Energias Renováveis: proposta de intervenção de Educação Ambiental no 1º Ciclo do Ensino Básico ", Universidade do Minho- Instituto de Estudos da Criança, 2007
- [9] Enerdata, "Total energy consumption Historical stagnation in energy consumption", yearbook.enerdata.net, website disponibilizado em 19 de Dezembro de 2015
- [10] Silva, Manuel António Pimenta, Central de Produção de Energia Eléctrica a Partir de Energia Solar Térmica , ISEL, 2013.
- [11] Castro , Rui (2011). Uma Introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-hídrica. IST Press. ISBN 978972-8469-01-6.p.8, p.176.
- [12] Dias, Nuno Filipe Reis Martins, Sistema computacional de apoio à microgeração baseada em movimentos naturais, UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA, 2010
- [13] Paradiso, T.S.a.J.A., Human Generated Power for Mobile Electronics, in Low Power Electronics Design. 2004, CRC Press. p. 1-35)
- [14] Donelan, J.M., et al., Biomechanical Energy Harvesting: Generating Electricity During Walking with Minimal User Effort. Science, 2008. 319(5864): p. 807-810.

- [15] Staff, Scilll, Harvesting Energy From Humans, Popular Science, publicado a 29 de Janeiro de 2009
- [16] Page, S. Piezoelectric Energy . 2010; Disponível em: <http://www.biofuelswatch.com/piezoelectric-energy-2/>
- [17] Sanches, Bruno, Energia humana a energia do futuro, Disponível em: [eugestor.com/editoriais/2014/06/energia-humana-a-energia-do-futuro/](http://eugestor.com/editoriais/2014/06/energia-humana-a-energia-do-futuro/)
- [18] V. Pinheiro, A. Costa, M. Joel, “ A importância do desporto na vida dos jovens. Uma explicação para os pais”, Revista Digital Educación, 2008
- [19] Medeiros, Luís Cristóvão Ourique, Associação do Envolvimento Físico com Níveis de Obesidade, Aptidão Física, Actividades Sedentárias e Participação Desportiva, Universidade da Madeira, 2009.
- [20] Zyga, Lisa, “Self-charging battery both generates and stores energy”, disponível em: [phys.org](http://phys.org), Agosto de 2012
- [21] Video: “AMPY: your movement is your power” <https://www.youtube.com/watch?t=140&v=vis3lxkkuPM>
- [22] Antunes, João Manuel Domingues, Microgeração de Energia Elétrica Através de Exercício Físico, Universidade de Coimbra, 2012
- [23] Kosir, Spela, Energy Harvesting Technology Can Be The Wave Of The Future, disponível em: [www.wearable-technologies.com/2015/07/energy-harvesting-technology-can-be-the-wave-of-the-future](http://www.wearable-technologies.com/2015/07/energy-harvesting-technology-can-be-the-wave-of-the-future)
- [24] Hayes, David, A study into the harvesting of Energy from the movement of pedestrians, Dublin Institute, 2011).
- [25] Uncharted Play, Disponível em: <http://unchartedplay.com/collections/the-soccket-original/products/the-soccket-original-blue>
- [27] Standby, disponível em: <http://standby.lbl.gov/summary-table.html>
- [28] Comissão Europeia, “Custo e emissões de CO2 dos electrodomésticos” disponível em: [http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/pdf/table\\_appliances\\_pt.pdf](http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/pdf/table_appliances_pt.pdf)
- [29] Runporto, “Resultados por Tempo Liquidado” Disponível em : [http://www.runporto.com/media/filer\\_private/2015/12/28/ss\\_porto\\_clasificacion\\_general\\_real.pdf](http://www.runporto.com/media/filer_private/2015/12/28/ss_porto_clasificacion_general_real.pdf) Dezembro de 2015
- [46] D.Morton, Human Locomotion and Body Form, Wiliams & Wilkens, Baltimore, MD, 1952.
- [47] K Ylli, D Hoffmann, A Willmann, P Becker, B Folkmer e Y Manoli, " Energy harvesting from human motion: exploiting swing and shock excitations

", IOPscience, disponível em : <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0964-1726/24/2/025029/meta;jsessionid=E2A251CB6850A0753BF4B65D8505A85B.c2.iopscience.cld.iop.org> , 14 Janeiro 2015

- [49] Disponível em : [http://energiasrenovaveis.com/DetalheNoticias.asp?ID\\_conteudo=964&ID\\_area=23](http://energiasrenovaveis.com/DetalheNoticias.asp?ID_conteudo=964&ID_area=23)
- [50] Disponível em : [http://energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID\\_conteudo=13&ID\\_area=3&ID\\_sub\\_area=7](http://energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=13&ID_area=3&ID_sub_area=7)
- [51] Disponível em : [http://energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID\\_conteudo=24&ID\\_area=5&ID\\_sub\\_area=15](http://energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=24&ID_area=5&ID_sub_area=15)
- [52] Disponível em: [http://energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID\\_conteudo=47&ID\\_area=8&ID\\_sub\\_area=27](http://energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=47&ID_area=8&ID_sub_area=27)
- [53] Disponível em : <http://www.dn.pt/ciencia/tecnologia/interior/ha-mais-dispositivos-moveis-ativos-que-pessoas-na-terra-4166852.html>
- [54] Disponível em : [http://www.a-nossa-energia.edp.pt/mais\\_melhor\\_energia/portugal\\_lideranca\\_renovaveis.php](http://www.a-nossa-energia.edp.pt/mais_melhor_energia/portugal_lideranca_renovaveis.php)
- [55] Marques, Sílvia, Energias Fósseis versus Energias Renováveis: proposta de intervenção de Educação Ambiental no 1º Ciclo do Ensino Básico, Universidade do Minho, Instituto de Estudos da Criança, 2007).
- [57] (Allègre, 1993).
- [58] *Gortmaker et al. (1990) cit. Poston II & Foreyt (1999)*

### **Figuras e Tabelas:**

- Figura 1 - Uma opção de fonte renovável numa habitação neste caso o aproveitamento da energia solar disponível em: <http://www.tudoenergiasolar.com.br/wp-content/uploads/2015/06/energia-solar-residencial.jpg> [44]
- Figura 2 - Ampy, um dos aparelhos de microgeração humana que permitem produzir energia elétrica disponível em: <http://www.getampy.com> [45]
- Figura 3 - Máquina a vapor de James Watt disponível em: <https://www.asme.org/engineering-topics/articles/energy/james-watt> [30]

- Figura 5- Gráficos das diferentes fontes de energia (ENERGIA, MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO JOSÉ GOLDEMBERG LUZ DONDERO VILLANUEVA) [31]
- Figuras 6 e 7 - disponível em [www.bbc.com](http://www.bbc.com)(2012) [6]
- *Figura 8- Aumento da produção de energia elétrica de 2006 até 2015 e de 2015 até 2030, a partir de fontes de energia renovável. (Adaptado de WEO 2008) (IEA- International Energy Agency (2011).World Energy Outlook 2011 Sumário.OECD/IEA, Paris,França. p.5) [32]*
- *Figura 9- Evolução da potencia instalada com a tecnologia solar fotovoltaica entre 1995 e 2011 (REN 21 (2012). RENEWABLES 2012 GLOBAL STATUS REPORT. Paris, França. p.48, p.51, p.55 e p.58) (REN 21, 2012) [33]*
- *Figura 10 - Percentagem da potência fotovoltaica instalada no Mundo em 2011. ((REN 21 (2012). RENEWABLES 2012 GLOBAL STATUS REPORT. Paris, França. p.48, p.51, p.55 e p.58) (REN 21, 2012) [34]*
- *Figura 11 - Aumento da potência instalada a partir da tecnologia solar termoelétrica de concentração entre 1984 e 2011 ((REN 21 (2012). RENEWABLES 2012 GLOBAL STATUS REPORT. Paris, França. p.48, p.51, p.55 e p.58) (REN 21, 2012) [35]*
- *Figura 12 - Os países com mais potência instalada da tecnologia solar térmico para aquecimento no Mundo em 2010 (REN 21 (2012). RENEWABLES 2012 GLOBAL STATUS REPORT. Paris, França. p.48, p.51, p.55 e p.58) (REN 21, 2012) [36]*
- *Figura 13 - Evolução da potência eólica instalada a nível mundial entre 1996 e 2011 (((REN 21 (2012). RENEWABLES 2012 GLOBAL STATUS REPORT. Paris, França. p.48, p.51, p.55 e p.58) (REN 21, 2012) [37]*
- *Figura 14 Países do mundo com maior potencia instalada a nível mundial em 2011 (REN 21 (2012). RENEWABLES 2012 GLOBAL STATUS REPORT. Paris, França. p.48, p.51, p.55 e p.58) (REN 21, 2012) [38]*
- *Figura 15 - Ilustração do aproveitamento das ondas como fonte renovável (Alianzatex, disponível em: <http://www.alianzatex.com/imagenes/notas1/maremotriz01.jpg>) [39]*
- *Figura 16 - Percentagem do consumo de energias renováveis em 2020. Disponível em [http://www.a-nossa-energia.edp.pt/mais\\_melhor\\_energia/portugal\\_lideranca\\_renovaveis.php](http://www.a-nossa-energia.edp.pt/mais_melhor_energia/portugal_lideranca_renovaveis.php) [56].*
- *Figura 17 - Carretel de pesca disponível em: <http://coberturadasnoticias.com/wp-content/gallery/carretilha-de-pesca/carretilha-de-pesca-entenda-o-que-e-11.jpg> [40]*

- Figura 18,19,20,21 - K Ylli, D Hoffmann, A Willmann, P Becker, B Folkmer e Y Manoli, "Energy harvesting from human motion: exploiting swing and shock excitations", IOPscience, disponível em : <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0964-1726/24/2/025029/meta;jsessionid=E2A251CB6850A0753BF4B65D8505A85B.c2.iopscience.cld.iop.org> , 14 Janeiro 2015 [47]
- Figura 22 - Zyga, Lisa, "Self-charging battery both generates and stores energy", disponível em: phys.org, Agosto de 2012 [20]
- Figura 23 disponível em <http://www.getampy.com>
- Figura 24 a) disponível em: <https://c.s-microsoft.com/pt-pt/CMSImages/TabletPenHero.jpg?version=836b2cf1-dee6-ec13-a4ab-90f8adec9092>
- Figura 24 b) <http://d2bktxdiepbdhz.cloudfront.net/images/products/full/T62196-5.jpg>
- Figura 24 c) disponível em: [http://static.fnac-static.com/multimedia/PT/images\\_produits/PT/zoom/9/9/3/3362934740399.jpg](http://static.fnac-static.com/multimedia/PT/images_produits/PT/zoom/9/9/3/3362934740399.jpg)
- Figura 24 d) disponível em: [http://drop.ndtv.com/TECH/product\\_database/images/523201435605PM\\_635\\_huawei\\_honor\\_3x\\_pro.jpeg](http://drop.ndtv.com/TECH/product_database/images/523201435605PM_635_huawei_honor_3x_pro.jpeg) )
- Figura 24 e) disponível em: <http://cdn.trendhunterstatic.com/thumbs/music-watch-with-usb.jpeg>
- Figura 25 disponível em <http://www.getampy.com>
- Figura 26 - Antunes, João Manuel Domingues, Microgeração de Energia Elétrica Através de Exercício Físico, Universidade de Coimbra, 2012
- Figura 28 disponível em: <http://www.intechopen.com/books/global-warming-impacts-and-future-perspective/alternative-resources-for-renewable-energy-piezoelectric-and-photovoltaic-smart-structures>
- Figura 29 disponível em: <http://www.smithsonianmag.com/innovation/soccer-balls-and-jump-ropes-can-generate-power-180955853/?no-ist>)
- Figura 34- Imagem da corrida S.Silvestre do Porto disponível em: <http://www.runporto.com/eventos/sao-silvestre-do-porto/sao-silvestre-do-porto-2015/> [42]
- Figura 35 - Fotografia da Maratona de Nova Iorque disponível em: [http://si.wsj.net/public/resources/images/NY-CR131\\_RACE\\_P\\_20131103181153.jpg](http://si.wsj.net/public/resources/images/NY-CR131_RACE_P_20131103181153.jpg) [43]
- Tabela 1 Gastos energéticos humanos em diferentes atividades - Piguet, Christian , "Low-Power Electronics Design", tabela 45-1 p.45-7, 2000

- Tabela 2 - Prevalência de sobrepeso e obesidade em vários países - Medeiros, Luís Cristóvão Ourique, Associação do Envolvimento Físico com Níveis de Obesidade, Aptidão Física, Actividades Sedentárias e Participação Desportiva, Universidade da Madeira, 2009 [19]
- Tabela 4 - Consumo de Energia Elétrica (8 horas / Dia a pós 1 ano) duma lâmpada LED Aodbrazil, disponível em: [http://www.aodbrazil.com/aod/portugues/impresa/catalogos/LED\\_CFL\\_Lampadas-Incandescentes.pdf](http://www.aodbrazil.com/aod/portugues/impresa/catalogos/LED_CFL_Lampadas-Incandescentes.pdf) [41]

Anexo 1 - disponível em Disponível em [https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=40XtqVMRxOUC&oi=fnd&pg=PA1&dq=renewable+energy&ots=j-FuBVWmSu&sig=r52CmgA1jT3QwVyBnvJM12CyQQk&redir\\_esc=y#v=onepage&q=renewable%20energy&f=false](https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=40XtqVMRxOUC&oi=fnd&pg=PA1&dq=renewable+energy&ots=j-FuBVWmSu&sig=r52CmgA1jT3QwVyBnvJM12CyQQk&redir_esc=y#v=onepage&q=renewable%20energy&f=false) [48]

# Anexo 1 Conteúdo em Anexos

## Consumo de energia [48]

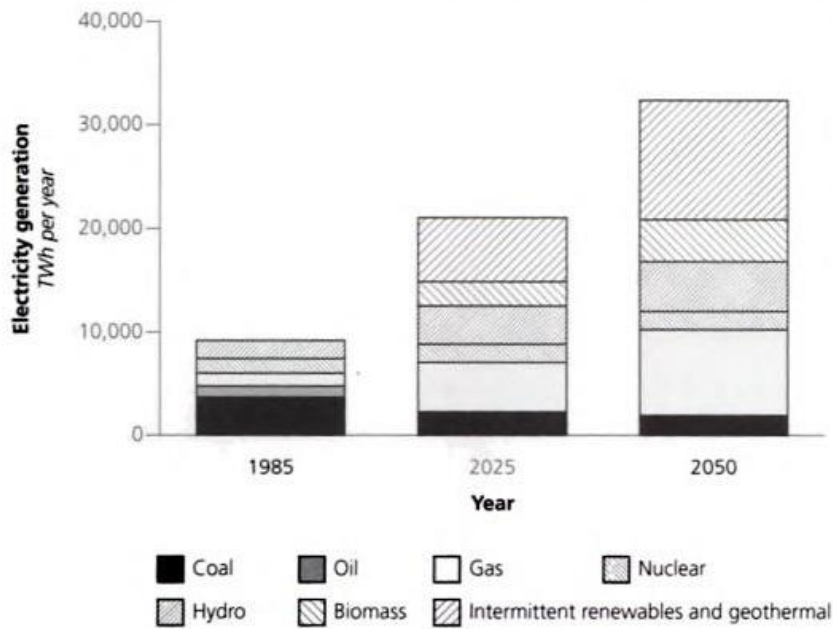


FIGURE 1: ELECTRICITY GENERATION FOR THE RENEWABLES-INTENSIVE GLOBAL ENERGY SCENARIO

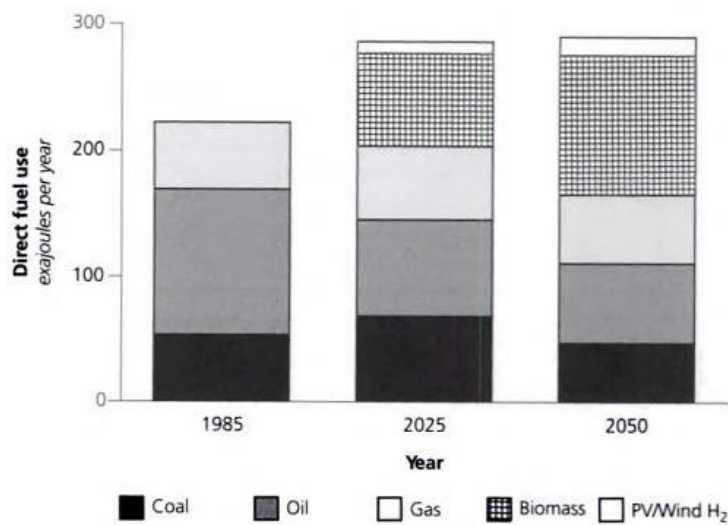


FIGURE 2: DIRECT FUEL-USE FOR THE RENEWABLES-INTENSIVE GLOBAL ENERGY SCENARIO

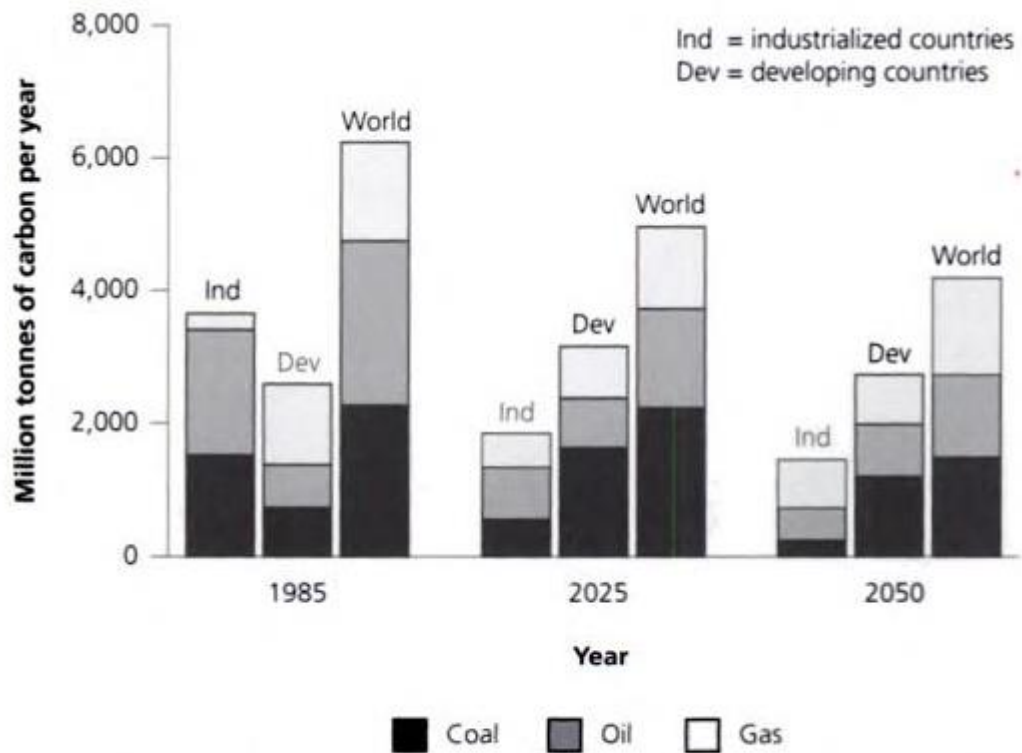


FIGURE 3a: EMISSIONS OF CO<sub>2</sub> FOR THE RENEWABLES-INTENSIVE GLOBAL ENERGY SCENARIO, BY WORLD REGION

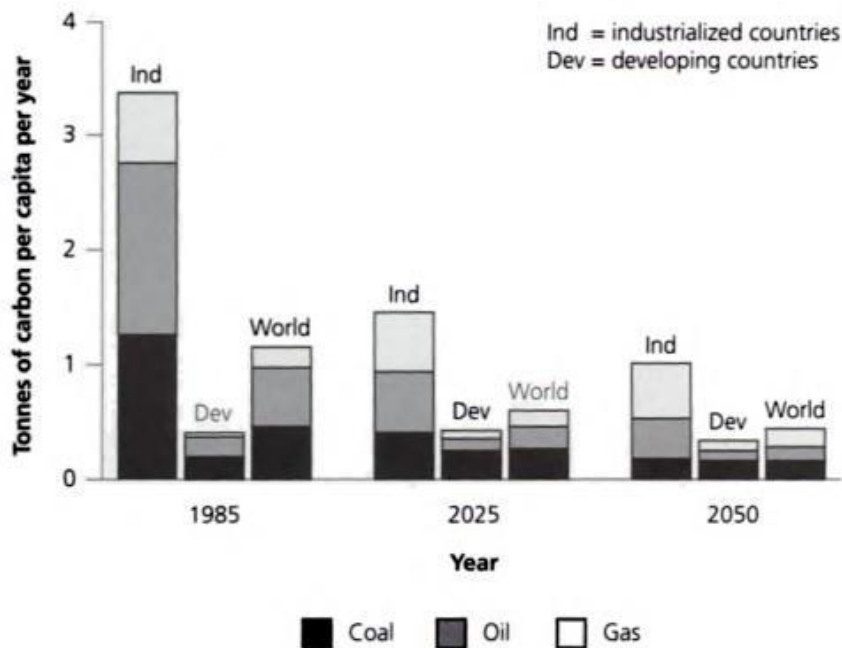
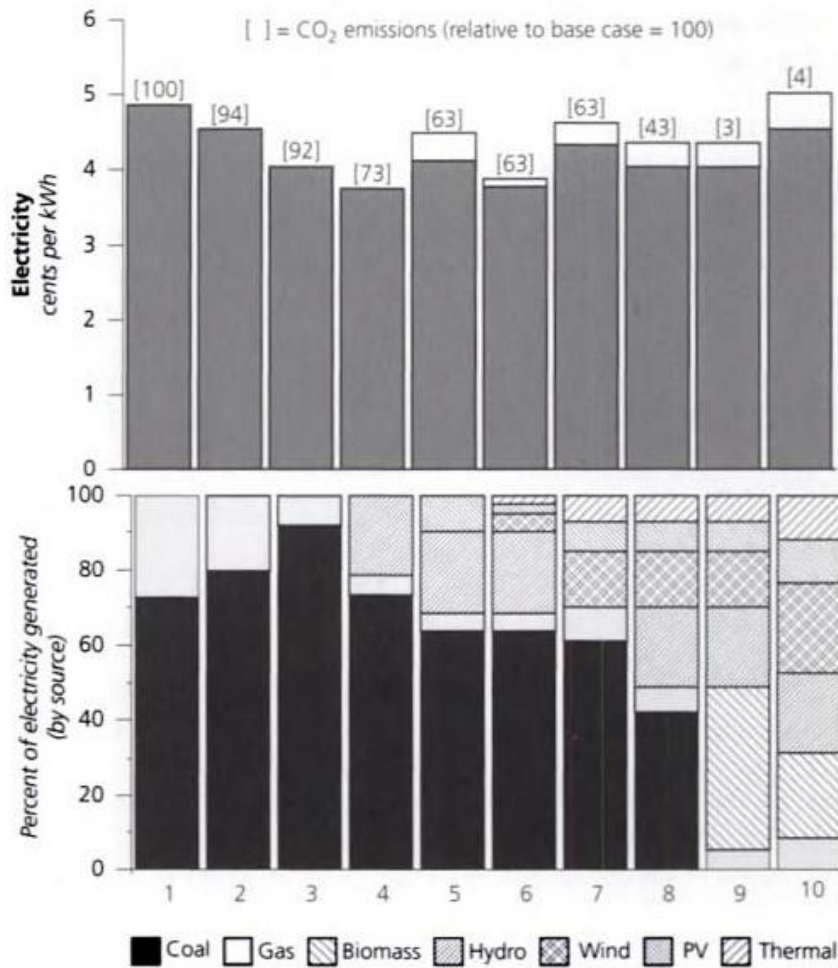
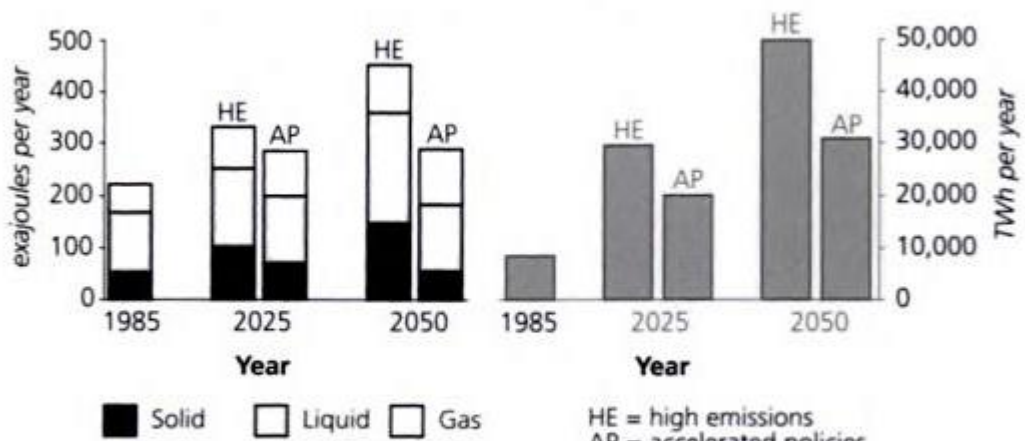


FIGURE 3b: PER CAPITA EMISSIONS OF CO<sub>2</sub> FOR THE RENEWABLES-INTENSIVE GLOBAL ENERGY SCENARIO, BY WORLD REGION



**Direct fuel use**

**Electricity consumption**



- 1 = conventional fossil
- 2 = best new fossil
- 3 = advanced fossil
- 4 = advanced fossil with 21 percent hydro
- 5 = advanced fossil with 10 percent PV and 21 percent hydro
- 6 = advanced fossil with 10 percent intermittents and 21 percent hydro
- 7 = advanced fossil with 30 percent mixed intermittents (three wind sites)
- 8 = advanced fossil with 30 percent mixed intermittents (three wind sites) and 21 percent hydro
- 9 = advanced biomass and gas with 30 percent mixed intermittents (three wind sites) and 21 percent hydro
- 10 = advanced biomass and gas with 50 percent mixed intermittents (three wind sites) and 21 percent hydro