

**GREENLIGHT:**

**Rede de Educação Gerando  
Energia Renovável**

**Liderando Iniciativas para um  
Ambiente Verde e  
Harmonioso Amanhã**



**Introdução a Energia e  
Sustentabilidade**

**Dezembro de 2024**

**2023-2-TR01-KA220-SCH-000180691**



Avrupa Birliği tarafından  
finanse edilmektedir



**GREENLIGHT: Rede de Educação Gerando Energia  
Renovável Liderando Iniciativas para um Ambiente  
Verde e Harmonioso Amanhã**

**2023-2-TR01-KA220-SCH-000180691**

## **Introdução a Energia e Sustentabilidade**

**Dezembro de 2024**

Este e-book foi escrito no âmbito do projeto Erasmus+: “GREENLIGHT: Generating Renewable Energy Education Network – Leading Initiatives for Green & Harmonious Tomorrows” (2023-2-TR01-KA220-SCH-000180691)

**Copyright © 2024**

*Este e-book reflete as opiniões dos autores e a Comissão Europeia não pode ser responsabilizada pela informação nele contida.*

## **Parceiros do Projeto**



Universidade do Minho



## ÍNDICE

	Página
<b>1- INTRODUÇÃO</b>	5
<b>2- ENERGIA E AMBIENTE</b>	6
2.1. Definição e Tipos de Energia	6
2.2. Mitos e Ideias Erradas sobre a Energia	6
2.3. A Relação entre Energia e Ambiente	7
2.4. Eficiência Energética e Sustentabilidade	12
2.5. Fontes de Energia Renováveis e Perspetivas Futuras	14
<b>3- RECURSOS ENERGÉTICOS</b>	14
<b>4- RECURSOS ENERGÉTICOS NÃO RENOVÁVEIS E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS</b>	15
4.1. Fontes de Energia Fóssil	15
4.2. Energia Nuclear	16
4.3. Impactos Ambientais	17
4.4. Utilização de Energia Não Renovável à Escala Global e Europeia	17
4.5. Utilização de Energia Não Renovável nos Países Parceiros	20
<b>5- RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVÁVEIS E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS</b>	23
5.1. Utilização de Energia Renovável no Mundo	24
5.2. Utilização de Energia Renovável na Europa	25
<b>6- TIPOS DE ENERGIA RENOVÁVEIS</b>	26
6.1. Energia Solar	26
6.2. Energia Eólica	46
6.3. Energia Hidroelétrica	55
6.4. Energia Geotérmica	64
6.5. Energias Marítima e Oceânica	75
6.6. Energia de Biomassa	85
6.7. Energia de Biocombustíveis	90
6.8. Energia de Hidrogénio	105
<b>7- Referências</b>	115

## 1. INTRODUÇÃO

A energia é um elemento indispensável na vida humana. Tudo o que fazemos no dia a dia, desde carregar os telefones até fabricar produtos nas fábricas, depende de energia<sup>1</sup>. Por isso, a energia é um recurso que precisa estar disponível em todos os momentos da nossa vida. A industrialização, o rápido crescimento populacional, a urbanização generalizada e a melhoria da qualidade de vida aumentaram significativamente a procura de energia.

Quando, atualmente, examinamos a utilização global de energia, torna-se claro que uma grande parte da energia utilizada provém de combustíveis fósseis. Os combustíveis fósseis, como o carvão, o petróleo e o gás natural, são recursos energéticos formados a partir de restos fossilizados de plantas e animais que viveram há milhões de anos. O uso destes recursos tem originado vários problemas graves. O primeiro desses problemas é a dependência energética, especialmente para os países que não dispõem de combustíveis fósseis. Dependendo de outros países para satisfazer as necessidades energéticas pode criar desafios económicos e políticos<sup>2</sup> bastante importantes. O segundo problema é o rápido esgotamento das reservas de combustíveis fósseis. Estes recursos não são renováveis, o que significa que, uma vez consumidos, demoram milhões de anos a serem repostos<sup>1</sup>. O terceiro, e talvez o mais significativo dos três problemas, tem a ver com os danos ambientais causados pelos combustíveis fósseis. A utilização destes combustíveis liberta gases com efeito de estufa para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global e, consequentemente, para as alterações climáticas. O degelo dos glaciares, a subida do nível das águas do mar e as secas estão entre os desastres naturais resultantes destas alterações<sup>3,1</sup>.

Estes problemas levaram a humanidade a procurar fontes alternativas de energia. Nos últimos tempos, as fontes de energia renováveis, que são ecológicas e sustentáveis, têm ganho uma atenção renovada. Olhando para a história, antes da Revolução Industrial, a energia provinha principalmente de recursos renováveis, como a madeira, o vento e a água. Com a Revolução Industrial, os combustíveis fósseis como o carvão, o petróleo e o gás natural passaram a dominar no que concerne às energias utilizadas e assim continuaram durante muitos anos. Embora a Revolução Industrial tenha trazido inúmeras comodidades à humanidade, a utilização intensiva de combustíveis fósseis aumentou significativamente os danos ambientais<sup>4</sup>.

A crise energética de 1973 trouxe as fontes de energia renováveis de volta ao foco. Durante este período, o rápido aumento dos preços do petróleo levou os países a explorar novas alternativas energéticas. No entanto, este interesse durou pouco tempo e acabou por diminuir. À medida que os danos ambientais causados pelos combustíveis fósseis aumentavam e acordos internacionais como o Protocolo de Quioto realçavam a gravidade do problema, as fontes de energia renovável recuperaram a sua importância<sup>5</sup>. Hoje em dia, a energia renovável é, cada vez mais, priorizada devido à sua natureza sustentável e amiga do ambiente.

As fontes de energia renováveis incluem a energia eólica, solar, hidroelétrica, geotérmica e de biomassa, as quais, para além de poderem ser utilizadas sem prejudicar o ambiente, são constantemente reestabelecidas na natureza. Estes tipos de fontes de energia, não só ajudam a proteger o ambiente, como também aumentam a segurança energética. Nos últimos anos, os avanços tecnológicos tornaram as fontes de energia renováveis mais eficientes. As turbinas eólicas geram agora mais eletricidade, os painéis solares duram mais tempo e os sistemas de

armazenamento de energia minimizam as interrupções no fornecimento de energia produzida a partir de fontes renováveis<sup>6</sup>.

Este livro tem como objetivo explicar o que são fontes de energia renováveis, como são geradas as energias renováveis, quais tecnologias são utilizadas e qual é o impacto destes tipos de energia no nosso ambiente. Compreender as fontes de energia do futuro, gerir a nossa utilização de energia de forma responsável para um mundo sustentável e melhorar a nossa qualidade de vida, ao mesmo tempo que protegemos o nosso ambiente, são aspetos vitais para o futuro da humanidade do Planeta. Especialmente para jovens como tu, tomar consciência destes assuntos contribuirá para construir um mundo mais limpo, tanto atualmente como no futuro.

## 2. ENERGIA E AMBIENTE

### 2.1. Definição e Tipos de Energia

A palavra energia deriva das antigas palavras gregas “ativo” (“en”) e “trabalho” (“ergon”), que significam “convertível em trabalho”<sup>7</sup>. Fundamentalmente, a energia refere-se à capacidade de realizar trabalho. Existe sob várias formas, como energia química, luminosa, fóssil e elétrica, sendo que todas elas podem ser convertidas umas nas outras. De acordo com a Lei da Conservação da Energia, a energia não pode ser criada nem destruída, mas apenas transformada, mantendo o equilíbrio num sistema fechado<sup>8</sup>.

### 2.2. Mitos e Ideias Erradas sobre a Energia

Apesar do ser frequentemente utilizada na vida diária, a o conceito de energia é, muitas vezes, mal compreendido. Os equívocos mais comuns incluem:

- A energia pode ser “perdida” ou “destruída”.
- A energia é consumida e altera-se irreversivelmente.
- A energia química pode ser “armazenada indefinidamente”.

#### Energia ...

- não é uma descrição de um processo ou de algo 'concreto'
- não é diretamente observável
- não pode ser medida diretamente



Estes mitos surgem, em parte, de educação energética insuficiente. Como consequência, os alunos podem concetualizar incorretamente a energia como sendo um material tangível ou podem interpretar mal a sua natureza física, abstrata. Por exemplo, a energia é muitas vezes erroneamente equiparada a uma substância semelhante a um combustível e, por isso,

considerada passível de ser “consumida”. Para combater estes equívocos, é essencial fornecer explicações claras dos princípios relacionados com a energia, nas escolas e no domínio público.

Os governos de todo o mundo reconhecem o papel das fontes renováveis de energia na transição para um futuro com baixo carbono. A percepção pública afeta significativamente estes esforços, com desafios que incluem atitudes “NIMBY” (do inglês, Not In My Backyard; em português, Não no meu quintal) e mitos sobre os custos e a fiabilidade das energias renováveis. Promover o abandono destas questões, através da educação e da comunicação transparente, é crucial para promover a cidadania energética<sup>9</sup>.

### 2.3. A Relação entre Energia e Ambiente

As considerações sobre energia e ambiente estão profundamente interligadas. Historicamente, os combustíveis fósseis impulsionaram o crescimento industrial, mas também conduziram a desafios ambientais significativos, incluindo os relacionados com as emissões de gases com efeito de estufa, as alterações climáticas e os desequilíbrios ecológicos. Estes desafios realçam a urgência de adotar práticas energéticas sustentáveis. As fontes de energia renováveis, como o sol e o vento, oferecem alternativas promissoras, reduzindo as emissões nocivas e promovendo o equilíbrio ecológico<sup>10</sup>.

A utilização de energia não é apenas uma questão técnica, mas também uma preocupação social e económica. É influenciado pelo crescimento populacional, pelos avanços tecnológicos, pelas reservas energéticas e pela consciência ambiental<sup>11</sup>.



Figura 1: A energia e os transportes são os principais contribuintes para o impacto ambiental

A dependência global dos combustíveis fósseis para geração de energia trouxe graves desafios ambientais e económicos. O esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, a dependência da importação de energia e os problemas de acessibilidade realçam a necessidade de uma transição energética. Além disso, as emissões de gases resultantes da utilização de combustíveis fósseis impulsionam o aumento da temperatura global e as alterações climáticas, ameaçando a segurança energética e a sustentabilidade<sup>12</sup>.



Figura 2: As atividades industriais provocam poluição que perturba o equilíbrio ecológico



Sustentabilidade, tal como definida no Relatório Brundtland de 1987 das Nações Unidas<sup>13</sup>, refere-se à satisfação das necessidades presentes sem comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades. Para atingir este equilíbrio é necessário priorizar fontes de energia que minimizem os danos ambientais. Para alinhar a geração de energia com os princípios da sustentabilidade, apoiando simultaneamente o crescimento económico e protegendo o ambiente, as principais medidas incluem<sup>14</sup>:

Reduzir a utilização de recursos energéticos.  
Incentivar e implementar a poupança de energia,  
Aumentar a eficiência energética, com  
tecnologias e políticas inovadoras.



Ao abordar estes elementos, será possível alinhar a geração de energia com os princípios da sustentabilidade e garantir tanto o crescimento económico como a proteção ambiental.



Figura 3: As mudanças no uso de energia moldaram tanto a sociedade como a natureza.

A energia é indispensável em todas as facetas da vida moderna, desde as atividades diárias até à produção industrial. À medida que as sociedades crescem e evoluem, a geração de energia, a sustentabilidade e o desenvolvimento económico formam umnexo crítico que molda o progresso global. Embora a energia seja vital para o desenvolvimento, a sua geração e utilização descontrolados perturbaram os equilíbrios ecológicos e criaram desafios globais. A crescente visibilidade dos problemas ambientais, impulsionada pela rápida industrialização e urbanização, enfatiza a necessidade de soluções energéticas sustentáveis<sup>15</sup>.

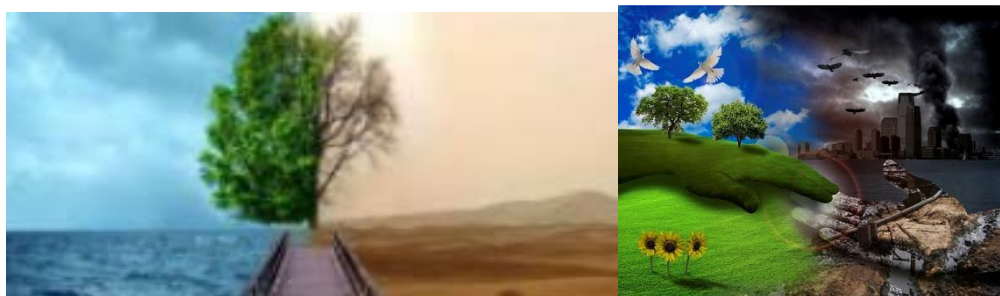


Figura 4: Um futuro sustentável requer harmonia entre a energia e a natureza.

As questões ambientais tornaram-se mais pronunciadas desde meados do século XX, devido ao crescimento populacional, à rápida urbanização e às atividades industriais. Estas alterações intensificaram a poluição do ar, da água e do solo, ameaçando a saúde e a estabilidade ecológica.



Enfrentar estes desafios exige abordagens integradas que equilibrem as necessidades energéticas com a proteção ambiental. As políticas que promovem a adoção de energias renováveis e a melhoria da eficiência energética oferecem soluções viáveis, alinhadas com os objetivos duplos de sustentabilidade e crescimento económico<sup>16</sup>.

### 2.3.1 Alterações Climáticas e Pegada de Carbono

O aquecimento global é resultado do efeito de estufa, onde gases como o dióxido de carbono e o metano retêm calor na atmosfera terrestre. As atividades humanas, particularmente a geração e a utilização de energia, contribuem significativamente para este fenómeno. Os principais gases com efeito de estufa incluem<sup>17</sup>:

- **Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>):** Emitido pela queima de combustíveis fósseis.
- **Metano (CH<sub>4</sub>):** Produzido a partir da agricultura e da gestão de resíduos.
- **Óxidos nitrosos (N<sub>2</sub>O):** Libertados durante processos industriais.
- **Gases fluorados:** Associados a sistemas de refrigeração.

Alterações, ainda que pequenas, nas concentrações de gases com efeito de estufa podem perturbar os sistemas climáticos, levando ao aumento das temperaturas, ao degelo dos glaciares e à subida do nível das águas do mar. A mitigação das alterações climáticas exige a redução das emissões de gases com efeito de estufa através de:

- Adoção de fontes de energia renováveis
- Redução da utilização de energia
- Promoção de práticas de eficiência energética



Figura 5: Reduzir a nossa pegada de carbono, através da utilização dos transportes públicos, da eficiência energética e das energias renováveis é fundamental para combater as alterações climáticas.

Além disso, é fundamental minimizar a pegada de carbono, ou seja, o total de gases com efeito de estufa emitidos por atividades individuais ou coletivas. As estratégias práticas incluem<sup>18</sup>:

- Using public transportation
- Opting for energy-efficient appliances

### 2.3.2. Impacto dos Gases com Efeito de Estufa

O aquecimento global é o aumento da temperatura do ar nas partes da atmosfera próximas da superfície da Terra, devido a processos naturais ou atividades humanas<sup>19</sup>.

Enquanto alguns dos raios provenientes do Sol são refletidos de volta pela atmosfera, uma grande parte deles é absorvida pela Terra e reemitida para a atmosfera como raios de ondas longas. Os gases da atmosfera transmitem os raios solares a taxas diferentes, dependendo das suas propriedades. O aumento da concentração destes gases faz com que as temperaturas

aumentem nas zonas próximas da superfície terrestre. Este aquecimento da atmosfera é designado por "efeito de estufa"<sup>20</sup>. O aumento da quantidade de gases na atmosfera, especialmente a concentração de gases com efeito de estufa, provocado pelas atividades humanas, leva a alterações significativas no equilíbrio ecológico. Esta situação é uma das principais razões para os desequilíbrios ambientais definidos como alterações climáticas.

### **2.3.3. O Papel dos Gases com Efeito de Estufa induzidos pelo Homem e da Utilização de Energia**

Uma das principais razões para o efeito de estufa induzido pelo homem é que os métodos de geração de energia e as quantidades utilizadas excedem a capacidade de autorrenovação da natureza. O aumento da utilização de energia leva a uma utilização mais intensiva de combustíveis fósseis, aumentando a quantidade de gases com efeito de estufa libertados para a atmosfera<sup>21</sup>. Os gases com efeito de estufa não impedem os raios solares de atingir a Terra, mas absorvem alguns dos raios com comprimento de onda longo refletidos pela Terra e refletem-nos de volta para ela. Isto faz com que a atmosfera aqueça. Os principais gases com efeito de estufa são:

- Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ): Resultante da queima de combustíveis fósseis, atividades industriais e desflorestação.
- Metano ( $\text{CH}_4$ ): Proveniente de atividades agrícolas, pecuárias e gestão de resíduos.
- Óxidos de azoto ( $\text{N}_2\text{O}$ ): Associados à utilização de fertilizantes e de diversos processos industriais.
- Gases fluorados: Associados a processos industriais e sistemas de refrigeração.



Figura 6: As emissões industriais são uma importante fonte de gases com efeito de estufa.

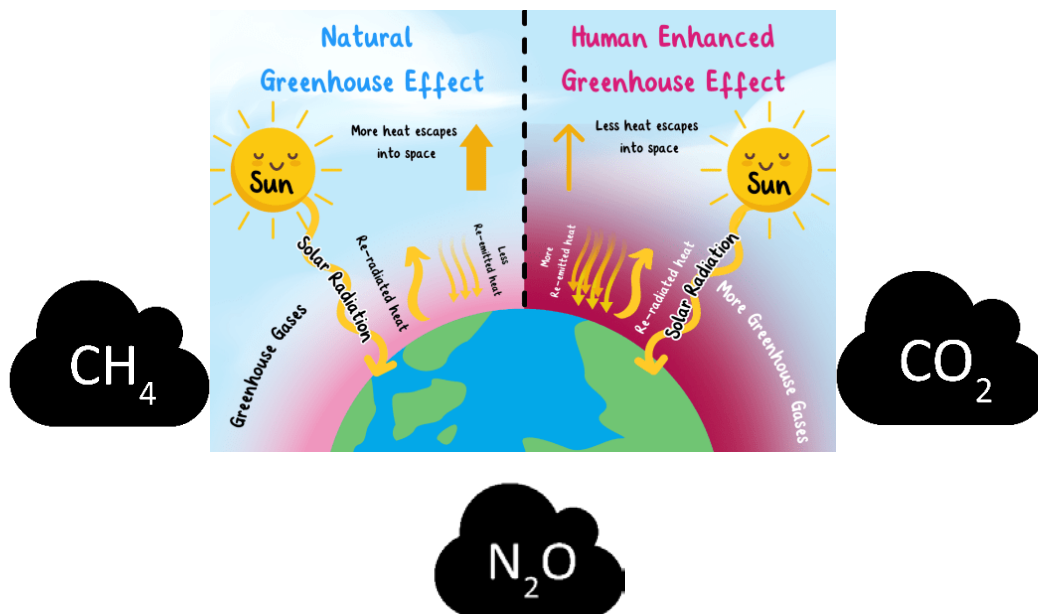


Figura 7: As atividades humanas intensificam o efeito de estufa e retêm mais calor.

O aumento da concentração de gases com efeito de estufa na atmosfera provoca o aumento das temperaturas médias, ou seja, o aquecimento global. Esta situação leva a efeitos em cadeia no sistema climático. Como resultado natural do aquecimento global, os glaciares nas altas montanhas e nos polos estão a derreter rapidamente, o que provoca a subida do nível das águas do mar. Devido ao aumento das temperaturas, muitas espécies vivas estão a perder os seus habitats e o equilíbrio do ecossistema está a ser interrompido. À medida que os mares aquecem, o dióxido de carbono dissolvido na água é libertado e misturado na atmosfera. Isto aumenta ainda mais o efeito de estufa e cria um ciclo vicioso. As alterações climáticas provocadas pelo aquecimento global podem criar condições de vida muito difíceis para a humanidade e para os outros seres vivos. A visão geral dos especialistas em clima é que estas alterações podem levar a grandes desastres ambientais<sup>22</sup>. Problemas que surgirão, especialmente em áreas críticas como a agricultura, os recursos hídricos e a geração de energia, ameaçam a vida sustentável. Controlar o aumento dos gases com efeito de estufa, incentivar a utilização de fontes de energia renováveis e reduzir a utilização de energia são ações importantes para limitar os efeitos do aquecimento global.

A pegada de carbono refere-se à quantidade total de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e outros gases com efeito de estufa libertados para a atmosfera, como resultado das atividades de uma pessoa, comunidade ou organização. Este conceito inclui as emissões provenientes da utilização de energia, dos meios de transporte utilizados, dos produtos consumidos e dos processos de produção. Por exemplo, quando uma pessoa viaja no seu carro, viaja de avião ou utiliza dispositivos elétricos, liberta carbono diretamente para a atmosfera. Além disso, a produção de alimentos e de outros produtos que consumimos também pode aumentar a nossa pegada de carbono, porque os processos de produção requerem frequentemente energia e os gases com efeito de estufa são libertados nestes processos.

Para reduzir a nossa pegada de carbono, minimizar os impactos negativos no ambiente e abrandar o aquecimento global, é de grande importância poupar na utilização de energia, recorrer a fontes de energia renováveis e desenvolver hábitos de consumo mais sustentáveis.

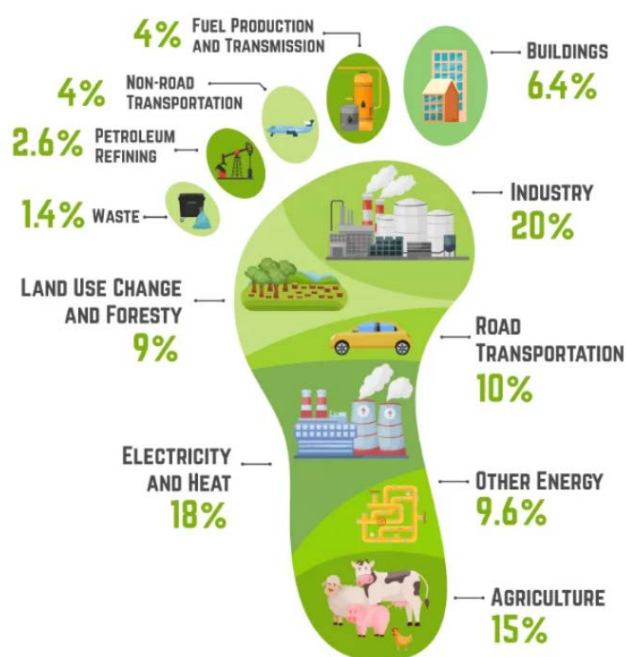


Figura 8: As nossas escolhas diárias moldam o tamanho da nossa pegada de carbono<sup>23</sup>.

As fontes de energia renováveis são uma das soluções mais eficazes para reduzir a nossa pegada de carbono<sup>24</sup>. As energias renováveis obtidas a partir de fontes naturais como o sol, o vento, a água e a geotermia têm emissões de carbono muito mais baixas quando comparadas com os combustíveis fósseis. Quando estas fontes são utilizadas, a produção de eletricidade e outras necessidades energéticas são satisfeitas de uma forma mais ecológica, uma vez que se evita a libertação de gases com efeito de estufa para a atmosfera. As fontes de energia renováveis oferecem uma opção energética mais sustentável a longo prazo porque são inesgotáveis e não prejudicam o ambiente. Além disso, os sistemas de energia renovável permitem a geração de energia à escala local, reduzindo assim as perdas de energia durante o transporte e a transmissão. A mudança para a energia renovável não só reduz a pegada de carbono, como também minimiza os impactos ambientais e garante as necessidades energéticas futuras. Por conseguinte, a utilização de fontes de energia renováveis é um dos passos mais importantes a dar na luta contra o aquecimento global e por um futuro sustentável<sup>25</sup>.

## 2.4. Eficiência Energética e Sustentabilidade

A eficiência energética refere-se à redução da utilização de energia por unidade de geração sem sacrificar o desempenho. Esta abordagem otimiza a utilização de energia, ao mesmo tempo que apoia a sustentabilidade ambiental. Os principais benefícios incluem:

- Redução das emissões de gases com efeito de estufa
- Menores custos de energia para as habitações e as indústrias
- Melhoria da segurança energética nacional.



Figura 9: A escassez de energia e as alterações climáticas ameaçam tanto as pessoas como a natureza

A eficiência energética é uma abordagem para proporcionar uma menor utilização de energia por unidade de produto ou serviço em todos os setores, como a indústria, os transportes, a agricultura e a habitação, sem qualquer redução na quantidade e qualidade da produção. Esta abordagem não só otimiza a utilização de energia, como também apoia a sustentabilidade ambiental e dá contributos significativos para a proteção dos recursos naturais.

As aplicações de eficiência energética reduzem as emissões de gases com efeito de estufa ao diminuírem a utilização de combustíveis fósseis e, assim, tornam-se uma ferramenta eficaz no combate às alterações climáticas. Além disso, ao mesmo tempo que apoia a economia familiar, ao reduzir os custos energéticos dos indivíduos, também aumenta a segurança energética, ao reduzir as importações de energia em todo o país, e contribui para a redução do défice da balança corrente. Por outro lado, a eficiência energética incentiva as inovações tecnológicas e os processos de modernização. Por exemplo, a substituição de equipamentos antigos, que utilizam muita energia, por tecnologias mais eficientes e amigas do ambiente, melhora os processos de produção e facilitam a concretização dos objetivos de desenvolvimento sustentável<sup>26</sup>. Assim sendo, a eficiência energética deve ser considerada como um dos elementos básicos das políticas de desenvolvimento, na medida em que proporciona benefícios ambientais, económicos e sociais.

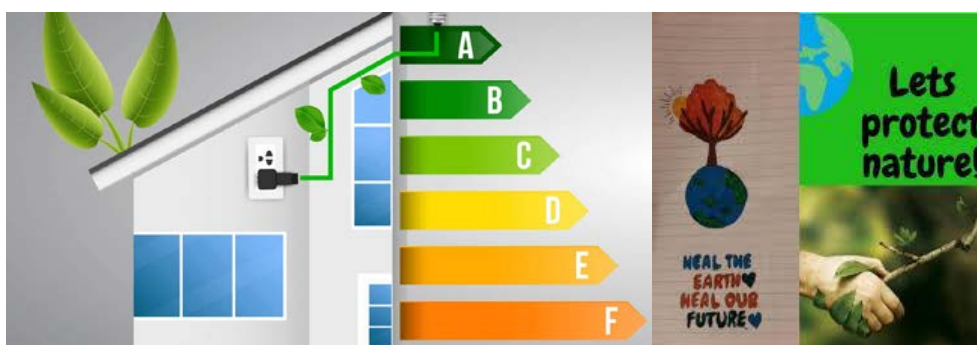


Figura 10: A eficiência energética e a proteção da natureza são fundamentais para um futuro sustentável.

## 2.5. Fontes de Energia Renováveis e Perspetivas Futuras

As fontes de energia renováveis, incluindo a energia solar, eólica, hidroelétrica e geotérmica, representam a base das políticas de energia sustentável. Estas fontes oferecem inúmeros benefícios:

- **Vantagens ambientais:** Emissões mínimas de gases com efeito de estufa.
- **Inesgotabilidade:** Ao contrário dos combustíveis fósseis, as fontes de energias renováveis não se esgotam com a utilização.
- **Geração Local de Energia:** Redução das perdas de energia durante o transporte.

Existem, ainda, desafios, como a geração intermitente de energia a partir das fontes solar e eólica e os elevados custos iniciais de infraestruturas. Apesar disto, os avanços nas tecnologias de armazenamento e as políticas de apoio estão a tornar as energias renováveis cada vez mais viáveis<sup>27</sup>.

O futuro da energia reside na transição da dependência dos combustíveis fósseis para um sistema centrado na utilização dos recursos renováveis. Ao adotarem tecnologias inovadoras, ao incentivarem o envolvimento da comunidade e ao implementarem políticas eficazes, as sociedades podem garantir um futuro energético sustentável para as gerações futuras.

## 3. RECURSOS ENERGÉTICOS

As fontes de energia podem ser classificadas em **não renováveis** e em **renováveis**, com base na sua disponibilidade, utilização e capacidade de regeneração. Compreender as características destes recursos é fundamental para satisfazer as exigências energéticas atuais e futuras de forma sustentável.

**Fontes de energia não renováveis** são aquelas que não podem ser repostas num curto período e são utilizadas mais rapidamente do que se conseguem regenerar. Estas fontes são finitas e acabarão por se esgotar. As fontes de energia não renovável dividem-se principalmente em duas categorias:

1. **Combustíveis fósseis:** Incluem o carvão, o gás natural e o petróleo, que são formados a partir de restos de plantas e animais antigos, ao longo de milhões de anos. Apesar da sua abundância e utilização generalizada, os combustíveis fósseis estão a ser utilizados a um ritmo muito superior ao seu processo natural de reposição.
2. **Energia Nuclear:** É derivada do urânio ou de outros elementos radioativos, que são outras fontes não renováveis. Embora o processo de geração de energia a partir destas fontes não produza gases com efeito de estufa, as matérias-primas utilizadas são limitadas e não renováveis.

A utilização de fontes de energia não renováveis apresenta desafios devido à sua natureza finita, ao impacto ambiental e ao tempo necessário para a sua formação, que abrange milhões de anos.



**Fontes de energia renováveis** são recursos que se regeneram naturalmente em períodos curtos, através de processos naturais contínuos. Estas fontes são consideradas inesgotáveis porque são continuamente renovadas pelos ciclos naturais da Terra.

As principais fontes de energia renovável incluem<sup>28</sup>:

1. **Energia solar:** Energia captada da luz solar, através de painéis solares.
2. **Energia Eólica:** Energia gerada pelo vento, através de turbinas.
3. **Energia hidroelétrica:** Energia gerada a partir da movimentação de água em rios ou barragens.
4. **Biomassa:** Energia gerada a partir de matéria orgânica, como resíduos vegetais e animais.
5. **Energia geotérmica:** Energia térmica gerada a partir do calor proveniente do interior da Terra.
6. **Energia Oceânica:** Energia gerada a partir das marés, ondas e correntes oceânicas.

Ao contrário dos combustíveis fósseis e da energia nuclear, as fontes de energia renováveis são amigas do ambiente e sustentáveis. Não enfrentam os mesmos problemas de esgotamento, pois a sua disponibilidade é continuamente reposta dentro dos ciclos naturais. A utilização de fontes de energia renovável tornou-se fundamental devido ao seu potencial para reduzir os danos ambientais, combater as alterações climáticas e garantir um futuro energético sustentável.



Figura 11: As fontes de energia não renováveis são limitadas e têm impactos ambientais significativos.

## **4. RECURSOS ENERGÉTICOS NÃO RENOVÁVEIS E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS**

As fontes de energia não renováveis são aquelas que não podem ser repostas num curto período e são utilizadas muito mais rapidamente do que se conseguem regenerar. Estas fontes são finitas e acabarão por se esgotar, tornando a sua gestão sustentável um desafio crítico. As fontes de energia não renováveis incluem principalmente combustíveis fósseis, como o carvão, o petróleo e o gás natural, bem como a energia nuclear, derivada de materiais radioativos como o urânio e o tório<sup>29</sup>.

### **4.1. Fontes de Energia Fóssil**

Os combustíveis fósseis são as fontes de energia não renováveis mais utilizadas no mundo. São formados a partir de restos de plantas e animais que viveram há milhões de anos e foram enterrados sob camadas de solo e rocha. O tempo, o calor e a pressão transformaram estes restos



em carvão, petróleo e gás natural<sup>30</sup>. Os combustíveis fósseis e os seus derivados, são utilizados para abastecer veículos, gerar eletricidade e operar fábricas.

**Carvão:** O carvão é um material sólido preto ou acastanhado composto principalmente por carbono. É o combustível fóssil mais antigo e tem sido utilizado há séculos para gerar energia térmica e eletricidade. O carvão ainda é muito utilizado hoje em dia, especialmente em centrais elétricas, para gerar eletricidade. No entanto, a queima de carvão liberta gases nocivos para a atmosfera, contribuindo para a poluição atmosférica e para as alterações climáticas<sup>31</sup>.



Figura 12: O carvão, um combustível fóssil muito utilizado, varia em conteúdo energético e contribui para a poluição do ar.

**Petróleo:** O petróleo é um combustível fóssil líquido que se encontra em reservatórios subterrâneos. É utilizado para fabricar produtos como a gasolina, o gasóleo e o combustível de aviação, utilizados por veículos e aviões. O petróleo também é utilizado para criar produtos como plástico, asfalto e produtos químicos. Embora o petróleo seja muito útil, a sua extração e transporte podem causar problemas ambientais, como derrames de petróleo, que prejudicam a vida selvagem e os ecossistemas<sup>32</sup>.

**Gás Natural:** O gás natural é um combustível fóssil de combustão limpa, constituído principalmente por metano. É utilizado para cozinhar, aquecer as casas e gerar eletricidade. Queima de forma mais limpa do que o carvão e o petróleo, produzindo menos poluição. No entanto, o gás natural pode escapar durante o transporte e, como o metano é um poderoso gás com efeito de estufa, mesmo pequenas fugas podem ter um impacto significativo no ambiente<sup>33</sup>.

#### 4.2. Energia Nuclear

A energia nuclear é gerada a partir de materiais radioativos, como o urânio e o tório, quando os átomos destes elementos são divididos (processo chamado fissão nuclear) ou combinados (processo chamado fusão nuclear) e geram uma grande quantidade de energia. Esta energia é utilizada para gerar eletricidade em centrais nucleares. As centrais nucleares não produzem gases com efeito de estufa, o que as torna mais limpas do que os combustíveis fósseis, em termos de poluição atmosférica<sup>34</sup>.

No entanto, a energia nuclear tem os seus desafios. Os resíduos produzidos pelas centrais nucleares permanecem radioativos durante milhares de anos e precisam de ser armazenados com cuidado para não causarem danos ao ambiente ou à saúde humana. Além disso, se algo correr mal numa central nuclear, isso pode levar a acidentes graves que afetam tanto as pessoas como a natureza<sup>35</sup>.

### 4.3. Impactos Ambientais

Durante muito tempo, as fontes de energia não renováveis foram a principal forma de gerar energia, porque são fiáveis e podem gerar grandes quantidades de energia. No entanto, também apresentam algumas desvantagens importantes:

**Poluição do Ar:** A queima de combustíveis fósseis liberta poluentes nocivos, incluindo partículas, dióxido de carbono, dióxido de enxofre e óxidos de azoto. Estes poluentes contribuem para o aparecimento de doenças respiratórias e cardiovasculares, reduzem a qualidade do ar e provocam fenómenos como a chuva ácida e o *smog*<sup>36</sup>.

**Poluição da Água:** Os derrames de petróleo estão entre os desastres ambientais mais visíveis, causados pelo uso de fontes de energia não renovável. Esses derrames devastam os ecossistemas marinhos, matando animais selvagens e danificando habitats. Além disso, o escoamento resultante das operações de mineração de carvão e de fraturação hidráulica contamina, frequentemente, os rios, os lagos e as águas subterrâneas com substâncias tóxicas<sup>37</sup>.

**Degradação do Solo:** A extração de carvão, petróleo e gás natural envolve frequentemente atividades que requerem um uso intensivo do solo, como a mineração a céu aberto e a perfuração. Estes processos destroem habitats, levam à desflorestação e causam erosão do solo, deixando a terra marcada e menos produtiva para uso futuro<sup>38</sup>.

**Alterações Climáticas:** As emissões de gases com efeito de estufa, provenientes da queima de combustíveis fósseis, são o principal fator responsável pelo aquecimento global. O aumento das temperaturas leva ao degelo das calotes polares, à subida do nível das águas do mar, a eventos climáticos extremos e a alterações nos ecossistemas que ameaçam a biodiversidade e os meios de subsistência humanos<sup>20</sup>.

**Resíduos Radioativos:** energia nuclear gera resíduos radioativos que permanecem perigosos durante milhares de anos. A eliminação segura desses resíduos requer instalações altamente seguras e monitorização a longo prazo, para evitar fugas para o ambiente. A má gestão dos resíduos radioativos pode levar à contaminação do solo e da água, pondo em perigo a saúde humana e a ecologia<sup>39</sup>.

**Por que Precisamos de Encontrar Alternativas:** Os problemas com as fontes de energia não renováveis têm incentivado as pessoas a procurar melhores soluções. As fontes de energia renováveis como a solar, a eólica e a hidroelétrica são mais limpas e não vão acabar. A mudança para estes tipos de energia pode ajudar a proteger o planeta para as gerações futuras<sup>11</sup>.

### 4.4. Utilização de Energia Não Renovável à Escala Global e Europeia

As fontes de energia não renováveis continuam a ser a espinha dorsal dos sistemas energéticos globais, sendo responsáveis por uma parcela significativa da utilização mundial de energia. Apesar da crescente consciencialização sobre os seus impactos ambientais, a dependência dos combustíveis fósseis e da energia nuclear persiste devido à sua densidade energética, fiabilidade e infraestruturas existentes.

#### 4.4.1. Utilização de Energia Não Renovável no Mundo

A nível mundial, os combustíveis fósseis dominam o cabaz energético, contribuindo com, aproximadamente, 86% da utilização total de energia primária<sup>26</sup>. O carvão, o petróleo e o gás natural são amplamente utilizados nos setores industrial, dos transportes e residencial. A utilização de carvão é particularmente elevada em economias emergentes como a China e a

Índia, que, em conjunto, são responsáveis por mais de 65% da utilização global de carvão. O petróleo continua a ser essencial para os transportes, com os Estados Unidos e a Arábia Saudita entre os maiores utilizadores. A utilização de gás natural tem apresentado um aumento constante devido às suas menores emissões em comparação com o carvão, com a Rússia e os Estados Unidos a liderarem na sua geração e na sua utilização.

A energia nuclear, embora represente uma fatia menor da utilização global de energia, desempenha um papel crucial em países como os Estados Unidos, a França e a China. É utilizada, principalmente, para a geração de eletricidade, oferecendo uma alternativa de baixo carbono aos combustíveis fósseis.

As fontes de energia não renováveis continuam a ser as mais utilizadas no mundo inteiro. Em 2024, os combustíveis fósseis representaram mais de 80% da utilização global de energia. No entanto, devido ao seu impacto ambiental e ao risco de esgotamento, existe uma tendência global para a redução da dependência destas fontes.

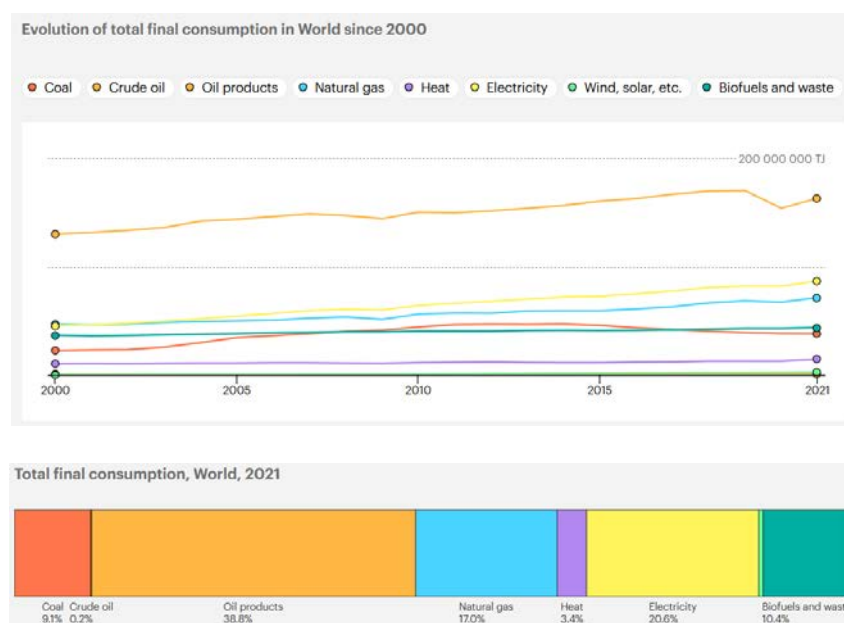


Figura 13: Utilização final de fontes de energia, em todo o mundo<sup>40</sup>.

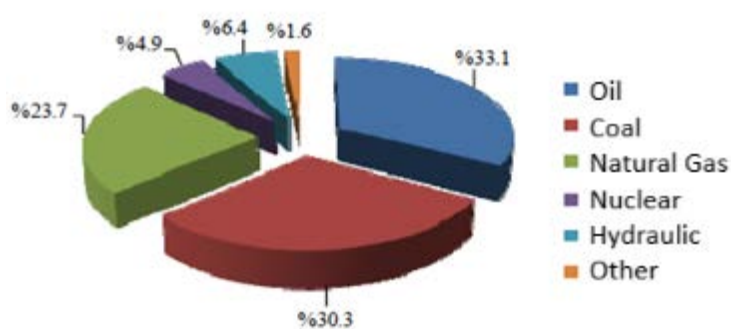


Figura 14: Utilização mundial de energia primária.

#### 4.4.2. Utilização de Energia Não Renovável na Europa

Na Europa, a utilização de energia não renovável tem vindo a diminuir gradualmente, à medida que os países fazem a transição para fontes renováveis de energia e implementam políticas climáticas rigorosas. No entanto, os combustíveis fósseis constituem, ainda, uma parte substancial da matriz energética da União Europeia (UE). Segundo o Eurostat (2021), o petróleo representa aproximadamente 34% da utilização de energia da UE, seguido do gás natural com 25% e do carvão com 13%. Apesar destes números, a UE reduziu significativamente a sua utilização de carvão nas últimas duas décadas, especialmente na Alemanha e na Polónia, onde o carvão foi historicamente uma fonte de energia dominante.

A energia nuclear desempenha um papel fundamental na estratégia energética de baixo carbono da Europa. A França lidera o continente na energia nuclear, com mais de 70% da sua eletricidade gerada por centrais nucleares. Outros países, incluindo a Suécia e a Finlândia, também dependem da energia nuclear, embora várias nações, como a Alemanha, se tenham comprometido a eliminá-la gradualmente.

A União Europeia pretende reduzir a utilização de combustíveis fósseis e fazer a transição para fontes de energia renováveis, em linha com o seu objetivo de se tornar neutra em carbono até 2050. A energia nuclear continua a ser uma fonte de energia significativa em alguns países europeus<sup>41</sup>.

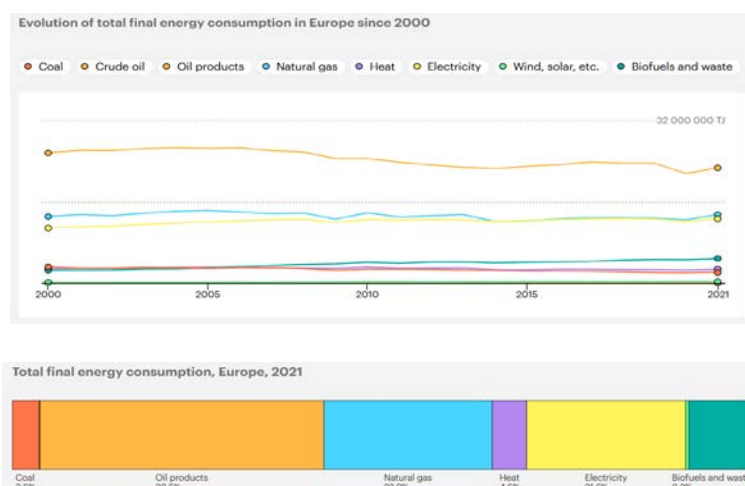


Figura 15: Utilização final de fontes de energia na Europa<sup>42</sup>.

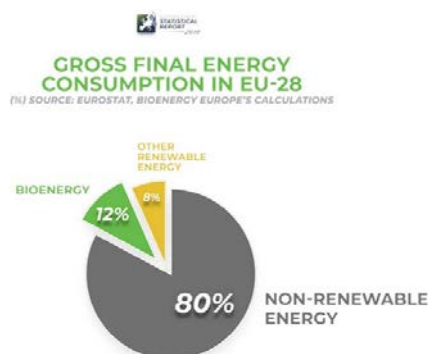


Figura 16: Consumo final bruto de energia na UE-28<sup>43</sup>.

**Disparidades regionais:** A utilização de energia não renovável varia significativamente entre regiões. O norte e o oeste da Europa testemunharam uma mudança mais pronunciada em direção à energia renovável, impulsionada por fortes políticas governamentais e apoio público à energia limpa. No entanto, a Europa do Sul e do Leste continua a depender mais dos combustíveis fósseis, em grande parte devido às restrições económicas e à adoção mais lenta de tecnologias renováveis<sup>44</sup>.

**Implicações ambientais e políticas:** A utilização contínua de fontes de energia não renováveis na Europa e no mundo representa desafios ambientais significativos, incluindo a poluição do ar, a contaminação da água e as emissões de gases com efeito de estufa. O Pacto Ecológico Europeu e outros acordos internacionais, como o Acordo de Paris, visam abordar estas questões, reduzindo a dependência dos combustíveis fósseis e aumentando a quota de energias renováveis no cabaz energético<sup>45</sup>.

## 4.5. Utilização de Energia Não Renovável nos Países Parceiros

### 4.5.1 Utilização de Energia Não Renovável na Turquia

A Turquia é um país altamente dependente dos combustíveis fósseis. As importações de gás natural e de petróleo respondem a uma parte significativa da utilização de energia da Turquia. Entretanto, os crescentes investimentos em energias renováveis começaram a reduzir a quota de combustíveis fósseis. No domínio da energia nuclear, projetos como a Central Nuclear de Akkuyu contribuem para a diversificação das fontes de energia<sup>46</sup>.

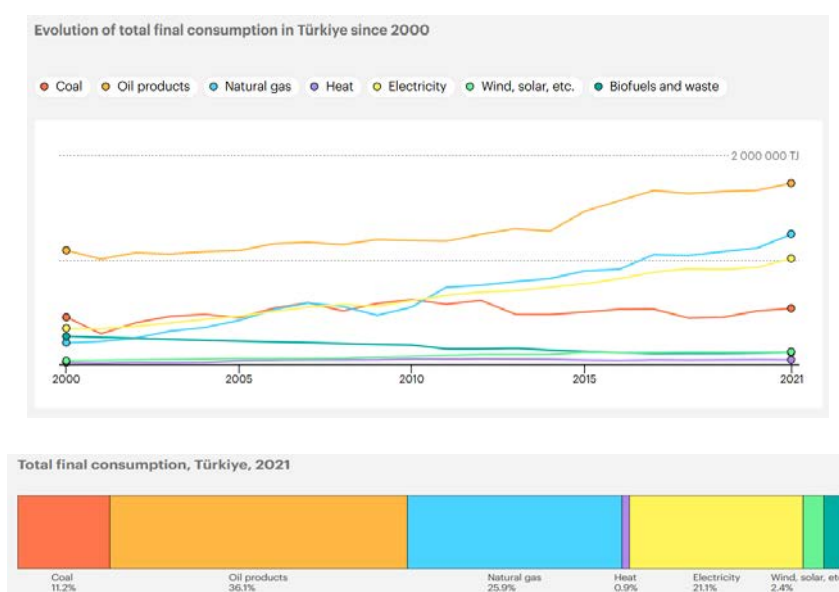


Figura 17. Utilização final de fontes de energia na Turquia<sup>42</sup>.

### 4.5.2 Utilização de Energia Não Renovável na Grécia

Historicamente, a Grécia depende muito dos combustíveis fósseis, principalmente do petróleo e do gás natural, para as suas necessidades energéticas. Em 2023, o petróleo representou 54% do fornecimento total de energia do país. No entanto, o país tem vindo a reduzir ativamente a sua dependência da lignite, um tipo de carvão que contribui significativamente para as emissões

de carbono. De 2005 a 2021, a quota da geração de eletricidade a partir de lignite diminuiu de 60% para 10%, com planos para a sua eliminação total até 2028. Ao mesmo tempo, a Grécia está a investir em infraestruturas de gás natural e a expandir as fontes de energia renováveis para diversificar a sua matriz energética e aumentar a sustentabilidade<sup>47</sup>.

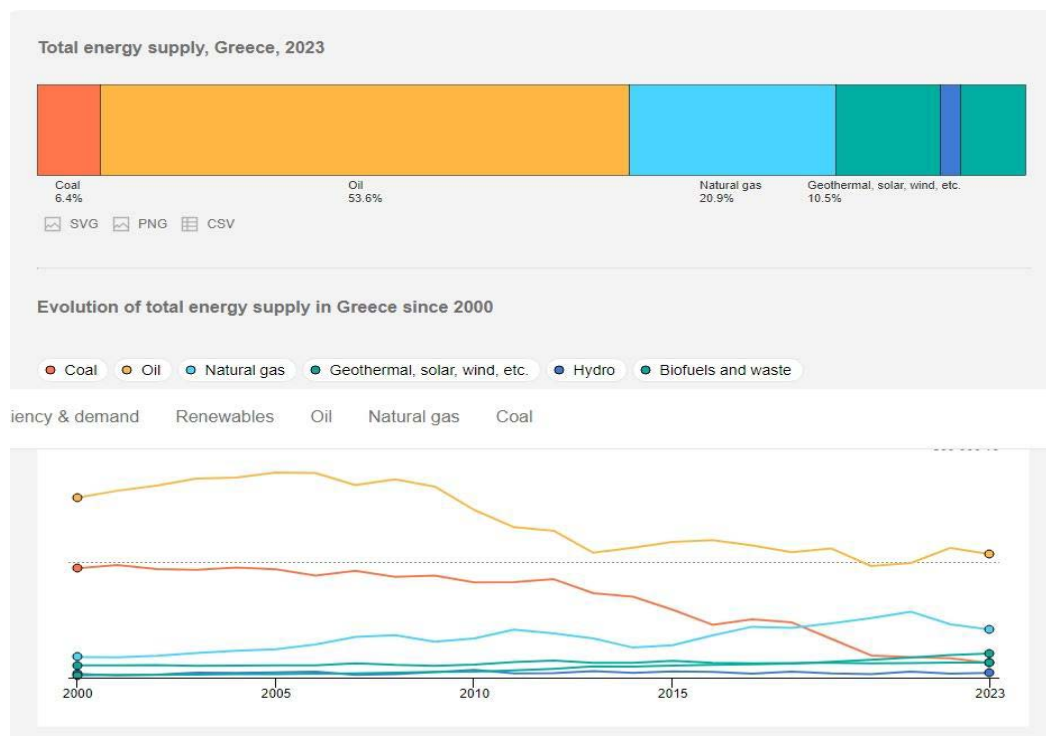


Figura 18. Utilização total de fontes de energia na Grécia<sup>42</sup>

### 4.5.3 Utilização de Energia Não Renovável em Portugal

Em 2000, cerca de 78% da energia utilizada em Portugal era proveniente do carvão e do petróleo, enquanto que em 2023, as fontes não renováveis representavam apenas 64% da utilização global de energia no país<sup>48</sup>. Em 2023, Portugal utilizava 20% de gás, tendo essa utilização aumentado 87% face a 2000, e 44% de petróleo, com uma redução de 43% no mesmo período. O carvão foi proibido, tendo a última central elétrica a carvão encerrado em 2023.

Desde 2000, Portugal tem feito progressos significativos na diversificação da sua matriz energética, com uma forte ênfase nas fontes de energia renováveis, apoiadas por investimentos substanciais em energia eólica, hidroelétrica e solar. Esta diversificação levou a um declínio gradual, mas forte, da dependência dos combustíveis fósseis.

Nos últimos anos, o país tem assistido a uma mudança notável no sentido da adoção de estratégias de geração de energia mais limpas e sustentáveis<sup>48</sup>. Em 2022, Portugal estava no 4.º lugar na União Europeia, com uma quota de 61% de eletricidade proveniente de fontes de energia renováveis<sup>49</sup>.



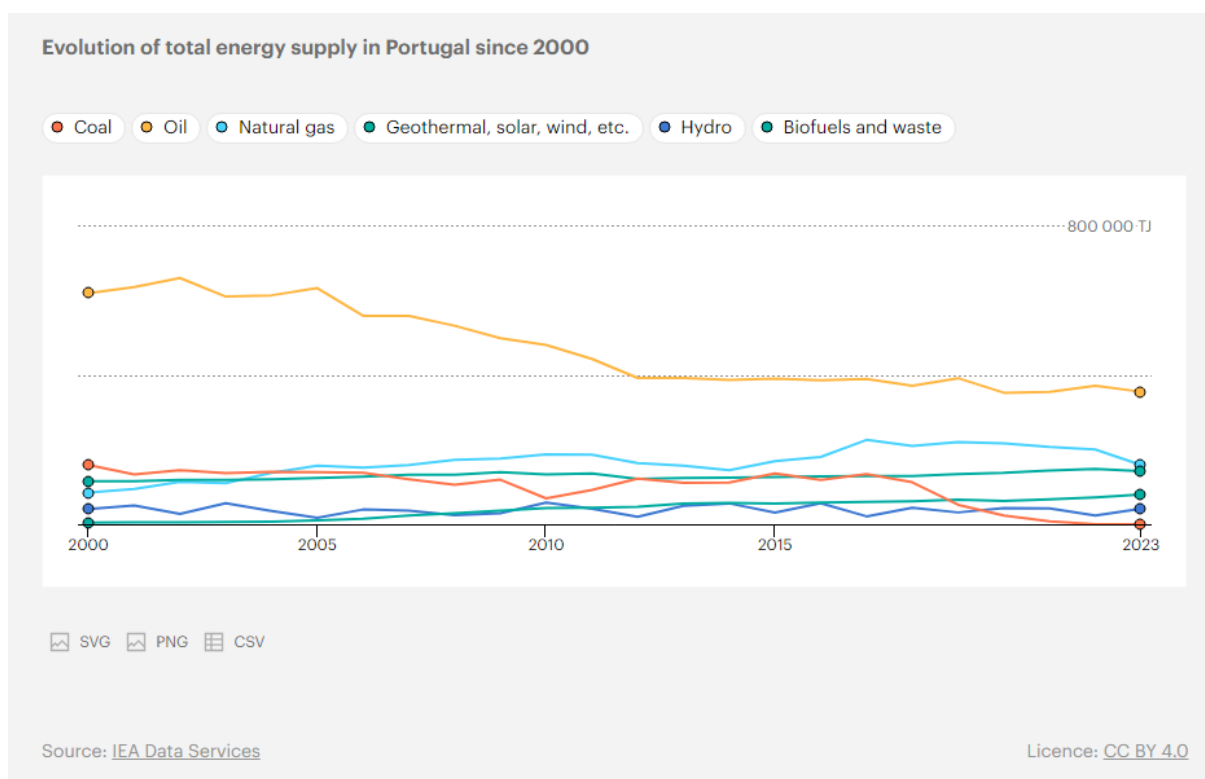


Figura 19: Evolução da oferta total de energia em Portugal desde 2000<sup>42</sup>.

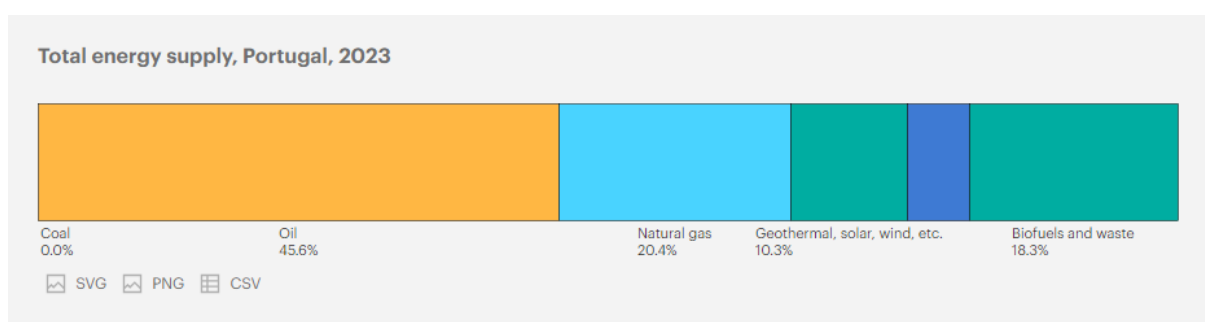


Figura 20: Oferta total de energia em Portugal, em 2023<sup>42</sup>.

#### 4.5.4 Utilização de Energia Não Renovável na Macedónia do Norte

A utilização de energia na Macedónia do Norte é derivada principalmente de combustíveis fósseis, com contribuições significativas do carvão e do petróleo. Em 2022, o carvão representou 32,2% da geração total de energia, enquanto o petróleo contribuiu com 44,6%. O país ainda depende fortemente de centrais termoelétricas a carvão para a geração de eletricidade, com 47% da geração total de eletricidade proveniente do carvão, em 2022. No entanto, a Macedónia do Norte está a passar por uma transição para fontes de energia mais limpas, com as energias renováveis, incluindo energia hidroelétrica, a representarem cerca de 9,4% da matriz energética. Estão em curso esforços para eliminar a utilização do carvão, até 2030, e aumentar a utilização da energia solar e eólica, para diversificar a matriz energética e reduzir as emissões de carbono.



Esta visão geral destaca os esforços contínuos da Macedónia do Norte para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e a transição para fontes de energia renováveis, ao mesmo tempo que equilibra os desafios económicos e de infraestruturas impostos pela sua forte dependência do carvão e do petróleo<sup>50</sup>.



Figura 21: Utilização final das diversas fontes de energia na Macedónia do Norte<sup>42</sup>

## 5. RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVÁVEIS E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

As fontes de energia renováveis são vitais para um futuro sustentável<sup>51</sup>. Essas fontes de energia, que permitem a geração de energia solar, eólica, hidroelétrica, de biomassa e geotérmica, são continuamente repostas na natureza, oferecendo uma alternativa aos recursos finitos. Cada tipo de fonte tira partido de processos naturais, como a luz solar, o vento ou a calor da Terra, para gerar energia e, ao mesmo tempo, minimizar as emissões de carbono e os danos ambientais. Embora a utilização de energia renovável reduza o esgotamento dos recursos e promova a independência energética, ela enfrenta desafios como os elevados custos iniciais, a dependência da localização e do clima, e as dificuldades de armazenamento. Este capítulo aborda as tecnologias associadas às fontes de energia renovável, a geração de energia renovável, os impactos na sustentabilidade e as histórias de sucesso do mundo real<sup>51</sup>.

## 5.1. Utilização de Energia Renovável no Mundo

Os combustíveis fósseis, como o carvão, o petróleo e o gás natural, continuam a ser a maior fonte de energia do mundo, gerando cerca de 80% de toda a energia que utilizamos<sup>52</sup>. As fontes de energia renováveis, incluindo a energia solar, eólica, hidroelétrica e de biomassa, têm crescido rapidamente nos últimos anos e contribuem atualmente com cerca de 20% da utilização global de energia. A energia nuclear desempenha um papel menor, representando cerca de 2,6% das necessidades energéticas mundiais<sup>53</sup>.

Quando se trata de gerar eletricidade, as energias renováveis têm feito progressos significativos. Em 2023, as fontes renováveis geraram mais de 30% da eletricidade mundial, marcando uma mudança constante para uma energia mais limpa<sup>54</sup>. A energia hidroelétrica lidera como a fonte de eletricidade renovável mais utilizada, seguida pela energia eólica e pela energia solar, ambas em rápido crescimento graças, aos avanços tecnológicos. Por exemplo, a geração de energia solar aumentou quase 25% em apenas um ano<sup>55</sup>.

Apesar destes avanços, os combustíveis fósseis ainda geram a maior parte da eletricidade mundial - cerca de 60% em 2023<sup>56</sup>. A mudança para a energia renovável é fundamental para um futuro sustentável. Fontes de energia mais limpas reduzem a poluição, combatem as alterações climáticas e garantem que teremos energia para as próximas gerações. No entanto, esta transição exige investimentos significativos e cooperação global. Embora ainda existam desafios, como a necessidade de um melhor armazenamento de energia e de uma tecnologia mais eficiente, os progressos realizados até agora mostram que a energia renovável pode desempenhar um papel fundamental na construção de um planeta mais saudável.

A utilização de fontes renováveis de energia tem registado um rápido crescimento em todo o mundo nos últimos anos. A quota de energia renovável na utilização global de energia está a aumentar, e os investimentos nestes recursos estão a crescer rapidamente. A geração total de eletricidade renovável atingiu um recorde histórico em 2022, ultrapassando os 8.500TWh, o que é mais de 600TWh (aproximadamente 8%) a mais do que em 2021. Este aumento deveu-se principalmente ao crescimento da geração eólica e solar fotovoltaica (FV) de energia, que, no seu conjunto, cresceram aproximadamente 270TWh. A energia hidroelétrica é a maior fonte de eletricidade renovável do mundo. Embora ela ainda tenha registado um aumento de 70TWh (apesar das condições de seca que afetam a geração de energia hidroelétrica em muitas regiões, incluindo a China, a Europa e os Estados Unidos), a quota global de energia renovável na geração de eletricidade aumentou para cerca de 30%, um aumento de 1,5 pontos percentuais em relação a 2021. Em 2022, as fontes renováveis de energia representam aproximadamente 30% da geração global de energia<sup>54</sup>. De salientar que os investimentos em energia solar e em energia eólica estão na vanguarda deste crescimento.

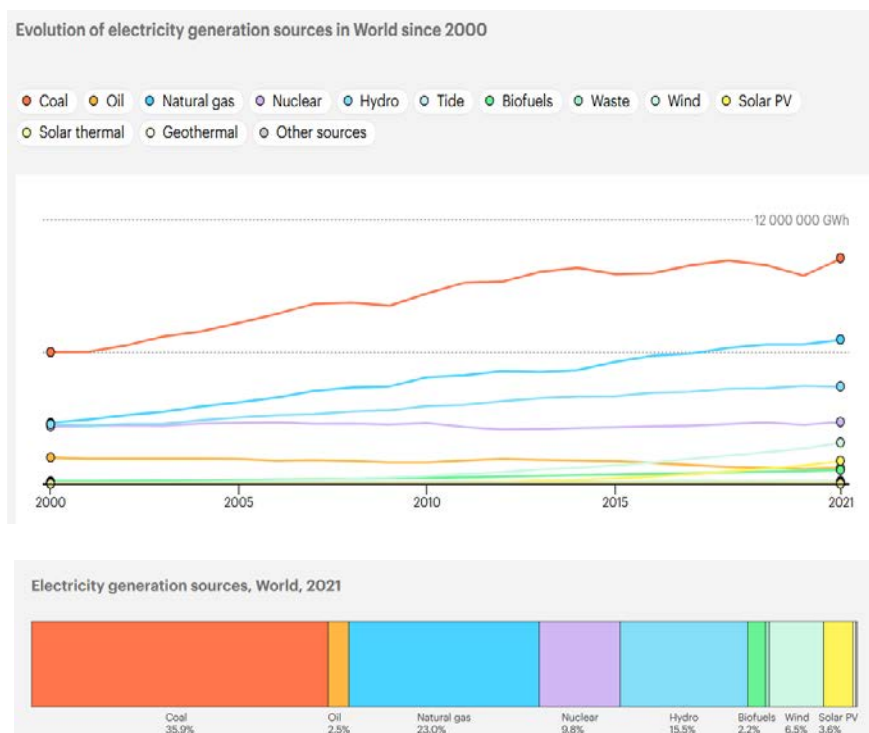


Figura 22: Fontes de geração de eletricidade em todo o mundo<sup>40</sup>.

## 5.2. Utilização de Energia Renovável na Europa

A Europa é líder na utilização de fontes de energia renováveis. A União Europeia pretende obter 32% da sua utilização de energia a partir de recursos renováveis até 2030<sup>57</sup>. Países como a Alemanha, a Dinamarca e a Espanha são líderes globais em investimentos em energia eólica e solar<sup>57</sup>. Os impactos positivos da energia renovável no ambiente, no clima, na economia e na sustentabilidade estão a impulsionar a crescente adoção destas fontes de energia.

Em 2022, as fontes de energia renováveis representaram 41,2% da utilização bruta de eletricidade na UE, um aumento de 3,4 pontos percentuais em relação a 2021 e significativamente à frente de outras fontes de geração de eletricidade, como a nuclear (menos de 22%), o gás (menos de 20%) ou o carvão (menos de 17%). No geral, a quota de fontes de energia renováveis aumentou 5,7% de 2021 a 2022. A energia eólica e a energia hidroelétrica juntas constituíram mais de dois terços do total de eletricidade gerada a partir de fontes renováveis (37,5% e 29,9%, respetivamente). O restante terço veio da energia solar (18,2%), dos biocombustíveis sólidos (6,9%) e de outras fontes renováveis (7,5%).

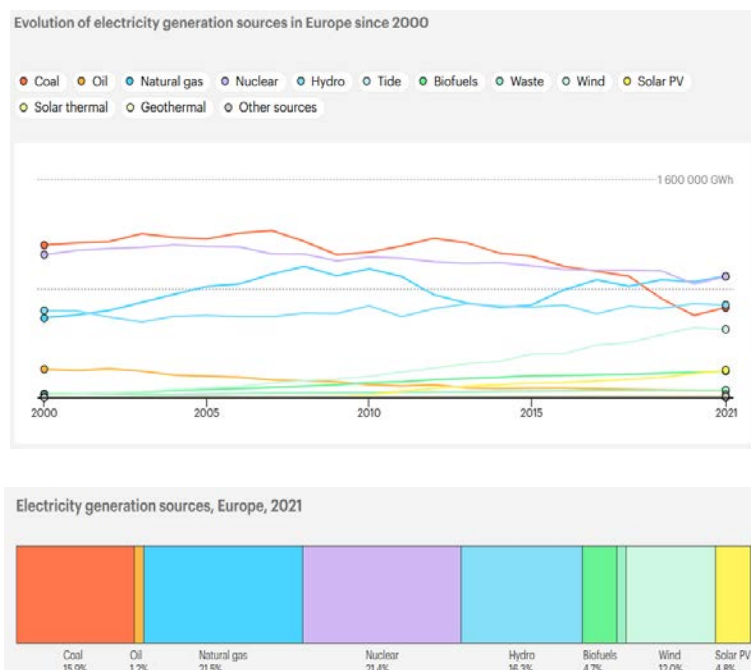


Figura 23: Fontes de geração de eletricidade na Europa <sup>42</sup>

## 6. TIPOS DE ENERGIA RENOVÁVEIS

### 6.1. Energia Solar

O Sol é a principal fonte de vida da Terra e uma das fontes de energia renováveis mais significativas<sup>48</sup>. Na verdade, muitas fontes de energia, incluindo os combustíveis fósseis, dependem direta ou indiretamente do Sol. Localizado a aproximadamente 150 milhões de quilômetros de distância, o Sol é uma enorme esfera de hidrogênio e hélio. Gera uma quantidade imensa de energia, através de reações de fusão nuclear que ocorrem no seu núcleo. Neste processo, os átomos de hidrogênio fundem-se para formarem átomos de hélio, libertando uma enorme quantidade de energia. Embora apenas uma pequena fração da energia emitida pelo Sol chegue à Terra, esta quantidade é mais do que suficiente para satisfazer as exigências energéticas do planeta.



A quantidade de energia solar que chega à Terra varia ao longo do dia e ao longo do ano<sup>58</sup>. Esta variação deve-se, principalmente, à rotação da Terra em torno do seu eixo e à sua órbita em torno do Sol. Além disso, fatores como as condições meteorológicas, a composição atmosférica e a latitude influenciam a quantidade de energia solar que chega à superfície da Terra.

Figura 24: Os painéis solares aproveitam a energia do Sol para gerar energia limpa e renovável.

### 6.1.1. Conversões Energia Solar

Uma parte da energia emitida pelo Sol é absorvida pela atmosfera terrestre, enquanto outra parte é refletida de volta para o espaço<sup>59</sup>. Aproximadamente 71% da energia solar que chega à Terra é absorvida pela superfície terrestre e utilizada em diversos processos<sup>60</sup>. A energia solar pode ser convertida em diferentes formas de energia, seja através de processos naturais ou por métodos desenvolvidos pelo homem.

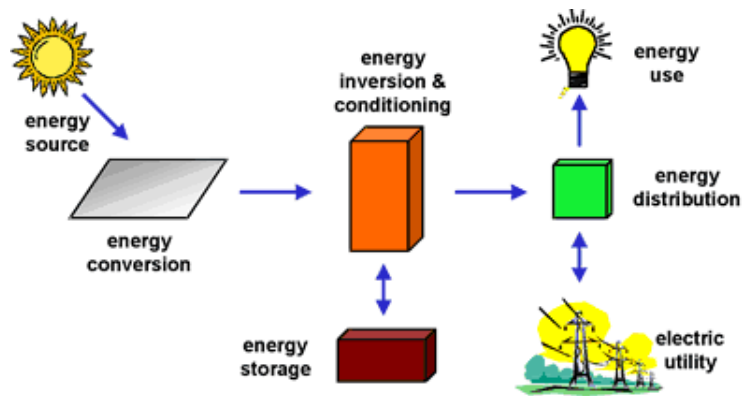


Figura 25: A energia solar sofre conversão, armazenamento e distribuição antes de chegar aos utilizadores finais como eletricidade<sup>59</sup>.

#### a. Conversões Naturais

A energia solar possibilita inúmeros processos naturais, direta ou indiretamente<sup>58</sup>:

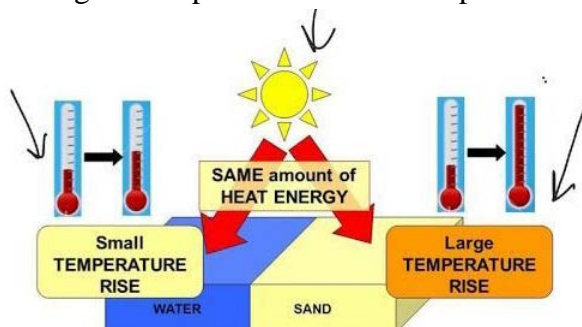


Figure 26: Diferentes materiais absorvem o calor solar de formas diferentes, afetando a temperatura na natureza

- **Aquecimento Do Solo E Da Água:** A radiação solar aquece o solo e a água, influenciando a temperatura do ar e as condições climáticas.
- **Processo De Fotossíntese:** As plantas utilizam a luz solar para produzir alimentos e libertar oxigênio.
- **Ciclo Da Água:** O calor solar provoca a evaporação da água, o que leva à formação de nuvens e à precipitação, sustentando o ciclo da água.
- **Formação Do Vento E Das Ondas** diferenças de temperatura na atmosfera geram ventos, que, por sua vez, contribuem para o movimento das ondas.
- **Incêndios Florestais Naturais:** Durante os períodos de seca, a luz solar intensa pode desencadear incêndios florestais.



Figura 27: As tecnologias avançadas aproveitam a energia solar e eólica para apoiar a sustentabilidade e a inovação.

#### b. Conversões Artificiais

O homem pode utilizar a energia solar direta ou indiretamente, através de várias tecnologias<sup>61</sup>:

- **Coletores Solares:** Estes dispositivos captam a radiação solar e utilizam-na para aquecer água ou outros sistemas de aquecimento.
- **Painéis fotovoltaicos:** Estes painéis convertem a energia solar diretamente em eletricidade.



- **Energia hidroelétrica:** A energia solar impulsiona o ciclo da água, contribuindo para a geração de eletricidade através de barragens.
- **Turbinas eólicas:** A energia eólica, originada pelas diferenças de temperatura provocadas pelo Sol, é aproveitada para gerar eletricidade.
- **Energia Biomassa:** As plantas utilizam energia solar e são utilizadas para a produção de biocombustíveis.
- **Arquitetura Solar:** Envolve projetar edifícios para maximizar o uso eficiente da energia solar.

Estes vários processos de conversão de energia solar não só ajudam a manter o equilíbrio do ecossistema na natureza, como também fornecem fontes de energia sustentáveis para uso humano.

### 6.1.2. Energia Solar Mundial

As regiões onde se consegue fazer um aproveitamento mais eficiente da energia solar localizam-se entre as latitudes de 35° Norte e 35° Sul, conhecidas como “Cinturão Solar” da Terra<sup>62</sup>. Esta região apresenta elevada duração anual de sol e o potencial de energia solar varia entre 3,5 e 7kWh/m<sup>2</sup> <sup>63</sup>. Países como a Espanha, a Itália, a Grécia, a Turquia, o Egipto, o Irão, a China, o Japão, os Estados Unidos e a Austrália estão entre os países que mais podem aproveitar a energia solar.

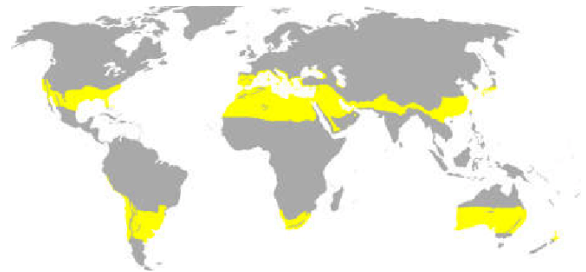


Figura 28: O Cinturão Solar entre os 35°N e os 35°S oferece o maior potencial global de energia solar.

Ao longo da história da humanidade, a energia solar tem sido utilizada de várias formas:

- No século IV a.C., o famoso filósofo Sócrates sugeriu que deviam ser acrescentadas janelas às faces sul das casas para melhor aproveitar o sol.
- No século XVII, Galileu, ao descobrir as lentes, foi pioneiro nos esforços para concentrar a energia solar.
- Em 1860, foram realizadas pesquisas sobre a recolha de raios solares com recurso a espelhos parabólicos e a sua utilização em máquinas a vapor.
- Na década de 1950, os sistemas de energia solar começaram a espalhar-se nos Estados Unidos e no Japão, e os primeiros painéis fotovoltaicos (células solares) foram produzidos pela Bell Telephone Laboratories.
- Em 1984, foi construída a primeira central de energia solar de grande dimensão em Los Angeles, EUA, atingindo uma capacidade de 354 MW.
- Na década de 1990, foram encomendadas torres solares com capacidades de 10 MW na Califórnia e 30 MW na Jordânia.
- Na década de 2000, foram feitos avanços significativos na tecnologia das células solares, e a geração global de energia solar cresceu rapidamente.

Atualmente, a energia solar desempenha um papel crucial na transição energética global. Com o desenvolvimento da tecnologia, a eficiência dos painéis solares aumentou e os custos de instalação diminuíram. Como resultado, muitos países começaram a utilizar a energia solar extensivamente<sup>58</sup>.

### 6.1.3. Energia Solar nos Países Parceiros

#### 6.1.3.1. Energia Solar na Turquia

A Turquia está localizada no Cinturão Solar e tem uma média de 2.640 horas de sol por ano<sup>64</sup>. A radiação solar anual varia entre 2,9 e 4,0 kWh/m<sup>2</sup> nas diferentes regiões. De acordo com o Türkiye Solar Energy Potencial Atlas (GEPA), as regiões com maior potencial solar são a região mediterrânica e a área em redor do Lago

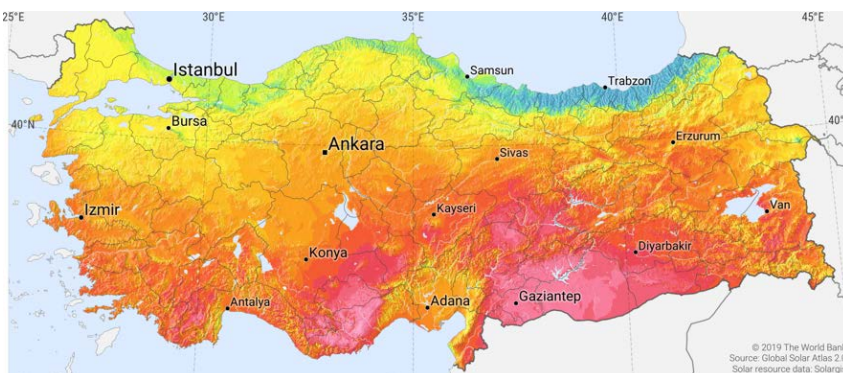


Figura 29: As regiões sul e leste da Turquia têm o maior potencial de energia solar.

Van, enquanto as regiões com menor potencial são as regiões do Mar Negro e de Mármara. Em fevereiro de 2016, a Turquia tinha 313 centrais solares com uma capacidade instalada total de 313 MW. A maior destas centrais era a Central Solar Konya Karatay Kızören, com uma capacidade de 18 MW. Nessa altura, estavam em vigor vários mecanismos de incentivo e apoio para aumentar a utilização de energia solar na Turquia. O Ministério que tutela a energia pretende um aumento anual de 5.000 MW na capacidade de energia renovável até 2035. O potencial de energia solar e a atual capacidade instalada da Turquia contribuem significativamente para que alcance as suas metas de independência energética e sustentabilidade.

#### 6.1.3.2. Energia Solar na Grécia

A Grécia, beneficiando da sua localização no Cinturão do Sol, experimenta uma elevada irradiação solar, com níveis médios globais de irradiação horizontal que excedem os 1.500 kWh/m<sup>2</sup> por ano. Este clima favorável impulsionou um crescimento significativo no setor da energia solar do país. Em 2023, a energia fotovoltaica gerou 19% da eletricidade da Grécia, posicionando o país em segundo lugar a nível mundial na geração de eletricidade a partir da energia solar<sup>65</sup>. No final de 2024, a capacidade fotovoltaica instalada acumulada da Grécia atingiu os 9,6 GW, um aumento substancial face aos 5,3 GW de 2022<sup>66</sup>. Esta rápida expansão é atribuída às políticas de apoio, às condições climáticas favoráveis e a um forte compromisso com as energias renováveis. Olhando para o futuro, a Grécia pretende atingir uma quota de 82% de utilização de energias renováveis na geração de eletricidade até 2030, com a energia solar a desempenhar um papel fundamental nesta transição.



Um exemplo notável do compromisso da Grécia com as energias renováveis é a transformação de Chalki, uma pequena ilha no Mar Egeu. Com a iniciativa nacional "GR-eco Islands", Chalki inaugurou um parque solar de 1 MW em novembro de 2021, que agora fornece energia limpa aos seus cerca de 300 residentes permanentes. O projeto envolveu a construção de um parque solar e o estabelecimento de uma comunidade energética, na qual o município detém uma participação de 50%. Esta iniciativa não só proporciona autonomia energética, como também serve de modelo para o desenvolvimento sustentável noutras ilhas gregas. A iniciativa "GR-eco Islands" reflete a dedicação do governo grego em promover a transformação verde e digital, com o objetivo de descarbonizar as ilhas e aumentar a autossuficiência energética, através de energias renováveis e inovação tecnológica.



Figura 30: A forte irradiação solar da Grécia sustenta a sua liderança na produção de energia solar

### 6.1.3.3. Energia Solar em Portugal

O número médio anual total de horas de sol em Portugal varia entre um mínimo de 2200 no Norte e mais de 3000 horas no Sul, sendo o país adequado para uma utilização generalizada da energia solar<sup>67</sup>. A zona sul do país é predominantemente plana, em contraste com o Norte, o que explica que a maioria das maiores centrais fotovoltaicas se encontrem no Ribatejo, Alentejo e Algarve<sup>68</sup>. Uma das maiores instalações inauguradas em 2023, a “Central da Cerca”, localizada cerca de 50 km a norte de Lisboa, conta com 310 mil painéis de dupla face e irá gerar cerca de 330 GWh por ano. This energy will be enough to supply 100 thousand families and avoid the emission of at least 170 thousand tons of CO<sub>2</sub> each year.



Figure 31: O sul de Portugal recebe a maior quantidade de radiação solar, sendo ideal para projetos de energia solar de grande escala.

Esta energia será suficiente para abastecer 100 mil famílias e evitar a emissão de, pelo menos, 170 mil toneladas de CO<sub>2</sub> em cada ano. Segundo a Agência Portuguesa de Energia (DGEG), dos 20,8 GW de energia renovável utilizados no país, 5,9 GW são provenientes da energia solar fotovoltaica<sup>69</sup>. Este valor é mais do dobro da capacidade instalada até ao final de 2022. Em 2023, foi adicionado 1,1 GW de energia solar à rede. Até 2026, a geração de energia solar ultrapassará a de energia eólica e o sol tornar-se-á a segunda fonte de energia

mais importante em termos de capacidade instalada. Vários novos projetos fotovoltaicos estão a ser desenvolvidos em Portugal. A previsão é que entrem em vigor até ao final de 2030, com a capacidade instalada a aumentar para cerca de 9 GW. Isto significa que, até lá, a energia fotovoltaica passará a ser a principal tecnologia de geração de eletricidade utilizada no país.

#### 6.1.3.4. Energia Solar na Macedónia do Norte

A Macedónia do Norte, localizada na Península Balcânica, tem um clima favorável à utilização da energia solar. O país recebe anualmente entre 1.500 e 1.700 kWh/m<sup>2</sup> de radiação solar, o que o torna ideal para o desenvolvimento da energia solar<sup>67</sup>. O maior potencial de energia solar regista-se nas regiões sul e leste, que se caracterizam por receberem luz solar abundante durante todo o ano.

Em 2023, o setor da energia solar da Macedónia do Norte fez avanços impressionantes. A capacidade solar instalada do país atingiu cerca de 200 MW, com projetos importantes como o Parque Solar de Oslomej, construído no local de uma antiga mina de carvão, a desempenhar um papel fundamental no avanço da transição energética do país<sup>70</sup>. Este projeto, juntamente com outros, está a ajudar a reduzir a dependência do país em relação aos combustíveis fósseis, especialmente ao carvão, e a aumentar a quota de energias renováveis na sua matriz energética.

O governo da Macedónia do Norte estabeleceu metas ambiciosas para as energias renováveis, visando uma quota de 38% de energias renováveis no seu cabaz energético até 2030<sup>71</sup>, tendo a energia solar desempenhado um papel central nesta transição. Para apoiar a transição energética, o governo está a fornecer incentivos e a criar estruturas políticas favoráveis à atração de investimentos em grande escala e ao incentivo de instalações solares residenciais.

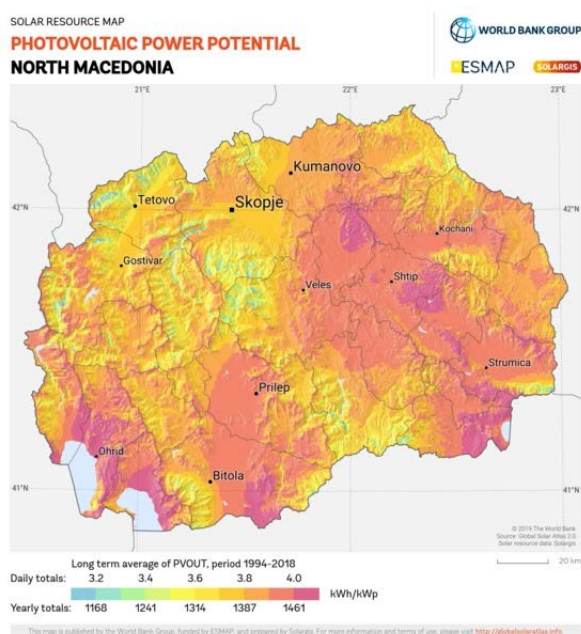


Figura 32: O sul e o leste da Macedónia do Norte oferecem o maior potencial para a geração de energia solar.

Exemplos de desenvolvimento da energia solar na Macedónia do Norte incluem o Parque Solar de Skopje, um dos projetos de energia solar mais significativos do país, e instalações solares de menor escala em zonas rurais<sup>72</sup>. Estas iniciativas não só contribuem para o aumento da autossuficiência energética, como também ajudam a reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, estando em linha com as metas ambientais e climáticas mais amplas da Macedónia do Norte.

Com um investimento contínuo na energia solar, a Macedónia do Norte está a caminho de se tornar líder no sector das energias renováveis nos Balcãs, diversificando ainda mais as suas fontes de energia e promovendo a sustentabilidade.

### 6.1.4. Impactos Positivos e Negativos da Energia Solar

#### Vantagens



- A energia solar é um recurso renovável, o que significa que pode ser utilizado sem esgotar as reservas naturais. É uma opção sustentável para satisfazer as necessidades energéticas a longo prazo.
- A geração de energia solar gera poucas ou nenhuma emissões de gases com efeito de estufa, reduzindo a poluição do ar e mitigando as alterações climáticas.
- Após a instalação dos painéis solares, os custos de manutenção e operação são relativamente baixos, em comparação com outras fontes de energia.
- A energia solar reduz a dependência de combustíveis fósseis importados, contribuindo para a segurança e independência energética.
- A crescente indústria solar oferece oportunidades de emprego na indústria transformadora, instalação e manutenção, beneficiando a economia.
- Os sistemas solares podem ser implantados em diversos ambientes, desde telhados residenciais a grandes centrais solares, permitindo flexibilidade na geração de energia.

#### Desvantagens



- A geração de energia solar depende da luz solar, o que significa que pode ser intermitente e pouco fiável durante dias nublados ou à noite, exigindo soluções de armazenamento ou sistemas de reserva.
- O custo inicial de compra e instalação de painéis solares pode ser elevado, apesar de conduzir a poupança, a longo prazo.
- As explorações solares de grande dimensão requerem áreas de terra significativas, o que pode ter impacto nos ecossistemas ou competir com as terras agrícolas.
- O armazenamento de energia solar para utilização durante períodos sem sol requer baterias com tecnologia avançada, o que pode ser dispendioso e ainda está em desenvolvimento.
- A geração e eliminação de painéis solares envolve materiais que podem representar desafios ambientais, se não forem devidamente geridos, e questões de reciclagem.

Embora a energia solar tenha um grande potencial para um futuro sustentável, espera-se que se torne generalizada com os avanços tecnológicos e as reduções de custos.



### 6.1.5. Tecnologias para Aproveitamento da Energia Solar

As tecnologias de utilização da energia solar podem ser divididas em duas categorias principais<sup>58</sup>:

- Tecnologias que captam a luz solar e a convertem em energia térmica, normalmente para fins de aquecimento.
- Sistemas fotovoltaicos que convertem diretamente a luz solar em energia elétrica.

Além disso, nos últimos anos, foram desenvolvidas aplicações híbridas, como os sistemas fotovoltaicos concentrados (SFC), combinando elementos de geração de calor e eletricidade, para uma geração de energia mais eficiente.

#### 6.1.5.1. Energia Térmica do Sol

Este método consiste em captar a luz solar e convertê-la em energia térmica. As suas áreas de aplicação são as seguintes<sup>73</sup>:

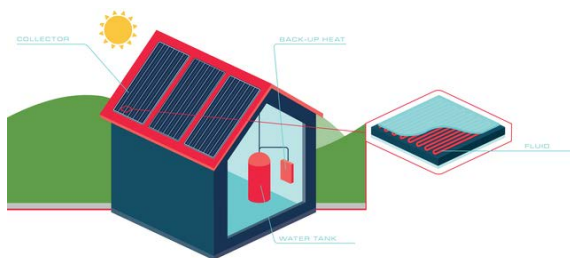


Figura 33: Os coletores solares convertem a luz solar em calor, para o aquecimento de água residencial.

- **Coletores Solares:** Utilizados para aquecimento de água em habitações e indústrias.



Figura 34: As centrais de energia solar térmica utilizam espelhos para gerar eletricidade em grande escala.

- **Centrais De Energia Solar Térmica:** Concentram a luz solar, utilizando espelhos, para a geração de energia em grande escala, acionando turbinas a vapor.



Figura 35: Os fornos solares aproveitam o calor do sol para cozinhar, especialmente em zonas remotas.

- **Fornos e Fogões Solares:** Usados para cozinhar em acampamentos e zonas rurais



### 6.1.5.2. Geração Direta de Eletricidade a partir do Sol

Este método converte a luz solar diretamente em eletricidade. As tecnologias mais utilizadas são:

1. **Painéis Fotovoltaicos:** Painéis que convertem a luz solar diretamente em eletricidade. São utilizados em telhados, áreas agrícolas e indústrias.



Figura 36: Os painéis fotovoltaicos convertem a luz solar diretamente em eletricidade nos telhados e nas áreas abertas.

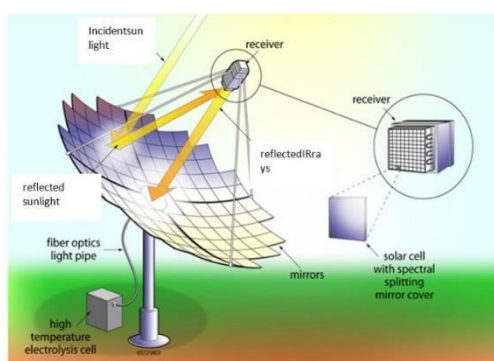


Figura 37: Os sistemas fotovoltaicos concentrados utilizam espelhos ou lentes para aumentar a eficiência da energia solar<sup>74</sup>.

- **Sistemas Fotovoltaicos Concentrados (SFC):** Estes sistemas concentram a luz solar em pequenas áreas através de lentes ou espelhos, proporcionando uma maior eficiência<sup>74</sup>.

As tecnologias de energia solar estão a tornar-se cada vez mais eficientes e económicas graças aos avanços na ciência dos materiais e nas técnicas de fabrico.

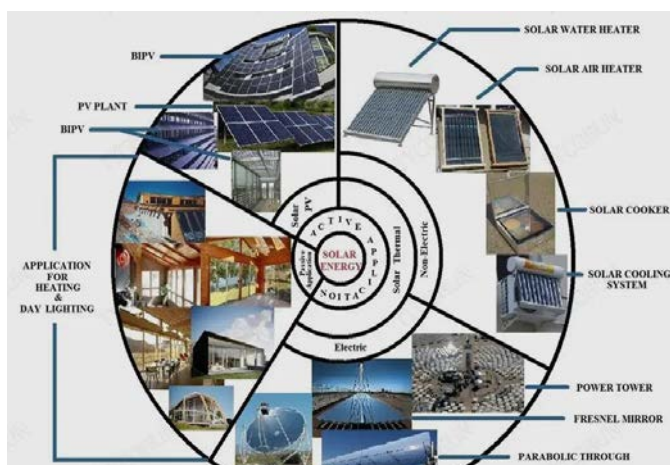


Figura 38: As tecnologias solares térmicas servem diversas aplicações, desde o aquecimento de água à geração de eletricidade<sup>75</sup>.

### 6.1.5.3. Tecnologias e Aplicações da Energia Solar Térmica

As tecnologias de energia solar térmica recolhem a luz solar para produzir água quente, fornecer aquecimento e, até, gerar eletricidade<sup>75</sup>. A aplicação mais comum é a produção de água quente com recurso a coletores solares, muito utilizados em habitações, nas indústrias e na agricultura. Os sistemas de conversão térmica dividem-se em três grupos principais de acordo com a temperatura utilizada<sup>76</sup>:

#### a. Aplicações Térmicas a Baixa Temperatura ( $\leq 100^{\circ}\text{C}$ )

Estas aplicações são utilizadas para processos que requerem baixas temperaturas:

- Produção de água quente, através de coletores solares planos (residências, hotéis, instalações desportivas)
- Geração e armazenamento de calor com piscinas solares
- Sistemas de purificação e dessalinização de água
- Aquecimento e arrefecimento de edifícios
- Secagem de produtos agrícolas (fruta, legumes, grão)
- Sistemas de aquecimento de estufas
- Cozinhar com fornos solares

#### b. Aplicações Térmicas a Média Temperatura ( $100\text{-}350^{\circ}\text{C}$ )

Estas aplicações são utilizadas para processos que exigem temperaturas mais elevadas:

- Aquecimento de água e do ambiente interno, utilizando coletores solares de tubo de vácuo
- Sistemas de aquecimento de processos industriais
- Sistemas de refrigeração alimentados a energia solar (máquinas de refrigeração, aparelhos de ar condicionado)

#### c. Aplicações Térmicas a Alta Temperatura ( $\geq 350^{\circ}\text{C}$ )

Estas aplicações são utilizadas para a geração de eletricidade e processos industriais pesados:

- **Torres Solares:** Concentram a luz solar num único ponto, utilizando grandes espelhos para gerar eletricidade através de turbinas a vapor.
- **Fornos Solares:** Permitem o processamento de materiais como metais e cerâmicas a altas temperaturas.
- **Processos de Fundição de Minério:** Utilizado na produção de metais.

Por meio destas tecnologias a energia solar pode ser utilizada tanto no dia-a-dia como na indústria.

#### 6.1.5.4. Métodos de Geração de Eletricidade a partir da Energia Solar

Um dos métodos normalmente utilizados para gerar eletricidade a partir de energia solar baseia-se nos sistemas de Energia Solar Concentrada (ESC). Estes sistemas incluem sistemas parabólicos, de torre e de prato, que concentram a luz solar. O uso destes coletores solares está particularmente difundido nos países próximos do Equador.

Países como os Estados Unidos, Japão, França, Itália, Grécia e Israel utilizam ativamente estes sistemas. Mesmo em países como a Suécia, onde os dias de sol são limitados, os coletores solares são utilizados para aquecer água<sup>58</sup>.



Figura 39: “Os sistemas de energia solar concentrada (ESC) utilizam espelhos para concentrar a luz solar e gerar eletricidade de forma eficiente.



Figura 40: Os fornos solares utilizam refletores parabólicos para concentrar a luz solar para cozinhar e aquecer.

## Fornos Solares

Os fornos solares são dispositivos que recolhem a luz solar utilizando estruturas em formato parabólico, convertendo-a em calor. Estes sistemas são comumente utilizados para cozinhar e aquecer água. Os fornos solares são especialmente populares em países como o Paquistão, a Índia, a China e o Quênia.

## b. Coletores Solares

Os coletores solares, também conhecidos por "coletores", são sistemas classificados em três grupos, com base nas suas características estruturais:

1. **Coletores solares de placa plana:** Estes são os tipos mais comuns de coletores solares, consistindo numa placa plana que absorve a luz solar e a converte em calor.
2. **Coletores solares de tubo de vácuo (tubulares):** Estes coletores utilizam tubos de vácuo para minimizar a perda de calor, melhorando a eficiência, especialmente em climas mais frios.
3. **Coletores solares sem vidro:** Estes sistemas não utilizam o vidro como material de cobertura, mas sim outros materiais para captarem melhor a energia solar.

Estes coletores são concebidos com base na circulação de água e podem ser produzidos para circulação natural ou circulação assistida por bomba, e ter sistemas de circuito aberto ou fechado.

## a. Coletores Planos

Os coletores planos recolhem a energia solar e transferem-na para um fluido, sob a forma de calor. O fluido pode ser água, ar ou outro fluido diferente. Os coletores de ar perdem mais calor do que os coletores de líquido. Por isso, são utilizados no aquecimento de edifícios residenciais e comerciais e em processos de secagem. Os coletores de líquidos são os preferidos no aquecimento de grandes edifícios, nos processos de aquecimento industrial e no arrefecimento de edifícios.

A estrutura de um coletor de superfície plana é composta por três partes:

1. Uma placa absorvente, com elevada capacidade de absorção



Figura 41: Os coletores de placa plana absorvem a energia solar e transferem-na para um fluido para aquecimento.



2. Uma tampa de vidro ou plástico, colocada na parte da frente da placa absorvente
3. Uma caixa de recolha em metal, madeira impregnada ou plástico



#### **b. Coletores de Tubo de Vácuo**

Os coletores de tubo de vácuo são sistemas que utilizam tubos de vidro a vácuo. Têm duas estruturas de tubos entrelaçados e o ar entre os tubos é removido para criar um ambiente de vácuo. Desta forma, as perdas de calor são minimizadas e a eficiência energética é aumentada. A superfície dos tubos é revestida com um material especial para absorver melhor os raios solares e convertê-los em calor. Graças à sua estrutura redonda, os raios solares incidem sempre na superfície do tubo segundo um ângulo reto, o que proporciona uma maior geração de energia, em comparação com os coletores planos.

Figura 42: Os coletores de tubo de vácuo reduzem a perda de calor, aumentando a eficiência em climas mais frios.

#### **c. Coletores Solares sem Vidro**

Os coletores solares de ar, sem vidro, são sistemas de aquecimento solar de ar com uma superfície absorvente de metal que não possui vidro ou cobertura semelhante. Deste tipo de coletores, o mais utilizado, conhecido como SolarWall, é a aplicação "Coletor Solar com Fuga de Ar". Estes coletores são utilizados em edifícios comerciais, na indústria, na agricultura e na pecuária e, também, em processos industriais, para aquecer o ar exterior necessário.



Figura 43: Os coletores sem vidro, como o SolarWall, aquecem o ar diretamente e são utilizados em aplicações industriais.

São, geralmente, montados nas paredes exteriores dos edifícios para captarem melhor o sol nos meses de inverno, quando este incide num ângulo baixo, e aproveitar os raios solares refletidos na superfície da neve.

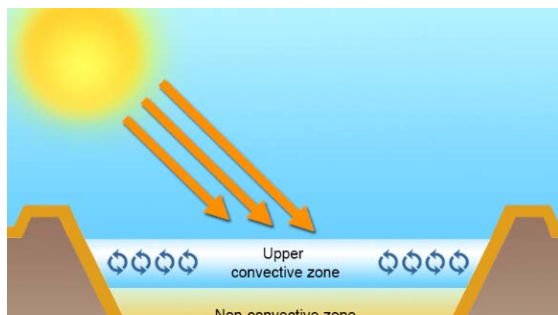


Figura 44: Piscinas solares armazenam calor solar em água salgada, atingindo temperaturas até 90°C<sup>77</sup>.

#### **d. Piscinas Solares**

As piscinas solares são sistemas que recolhem e armazenam energia solar sob a forma de calor<sup>77</sup>. O fundo destas piscinas, que geralmente têm 5 a 6 metros de profundidade, é escurecido para absorver melhor os raios solares. A temperatura da água nas piscinas solares pode atingir os 90°C. Existem camadas com diferentes proporções de sal na piscina. Enquanto a água é mais fria nas partes superiores devido à baixa proporção de sal, a água permanece mais quente nas partes

inferiores devido à maior proporção de sal. A água quente na parte inferior pode ser utilizada para aquecimento direto ou para geração de eletricidade. A eficiência das piscinas solares é de aproximadamente 20%. Estes sistemas são amplamente utilizados, especialmente em países como Israel, EUA e Austrália. Por exemplo, existem piscinas solares com capacidade de 150 kW e 5 MW em Israel, 400 kW nos EUA e 15 kW na Austrália.

#### e. Chaminé Solar

Os sistemas de chaminés solares criam correntes de ar utilizando energia solar e convertem esse movimento em energia elétrica. Uma grande estrutura coberta com superfícies transparentes absorve os raios solares e aquece o ar interior a uma temperatura mais elevada do que a temperatura do exterior. O ar aquecido sobe por um telhado inclinado e é direcionado para a chaminé. O ar quente que chega à chaminé desloca-se a uma velocidade de aproximadamente 15 m/s e faz girar a turbina eólica aí colocada, gerando eletricidade.

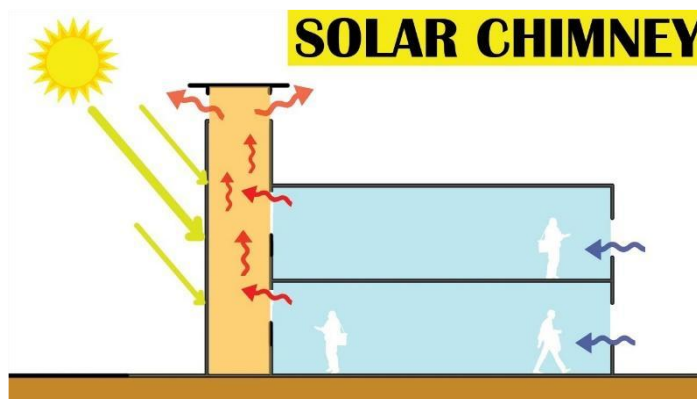


Figura 45: As chaminés solares utilizam ar aquecido para acionar turbinas e gerar eletricidade.

#### f. Sistemas de Destilação Solar de Água

A obtenção de água potável através da energia solar é um processo económico e amigo do ambiente. Especialmente em zonas costeiras, onde a luz solar é intensa, a purificação da água do mar pode ser realizada de forma fácil e eficiente. São utilizados dois métodos básicos para converter a água do mar em água potável. No primeiro método, é aplicada a evaporação, a congelação, a cristalização e a filtração para separar o sal que existe na água do mar. No segundo método, são utilizadas técnicas de eletrodialise, extração, troca iónica e difusão para obter água potável. O sistema mais simples de destilação de água é o sistema de destilação do tipo estufa. Neste sistema, o fundo do destilador é preto, para melhor absorver a luz solar

A parte superior está disposta de forma hermética e inclinada em direção ao canal onde será recolhida a água doce. A luz solar que atravessa a superfície do vidro aquece a água no destilador e faz com que esta evapore. O vapor de água ascendente condensa na superfície do vidro, transforma-se em gotas de água e desliza pela superfície inclinada, acumulando-se no recipiente de recolha. Quanto mais quente estiver a água, maior será a eficiência da destilação. Quando a temperatura exterior desce, o processo de condensação acelera, produzindo mais água doce<sup>78</sup>.

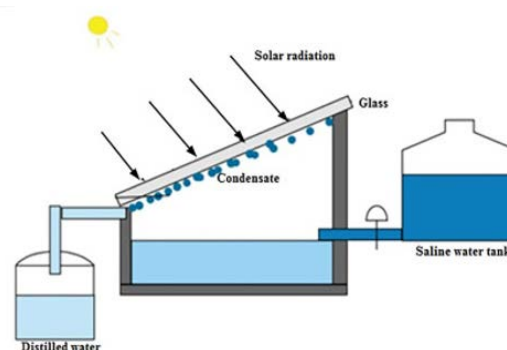


Figura 46: Sistemas de destilação solar purificam água salina utilizando o calor do Sol<sup>78</sup>.

### 6.1.5.5. Aquecimento e Arrefecimento Passivo de Habitações com o Sol

A mudança angular dos raios solares ao longo do ano é um fator importante nos projetos de construção<sup>79</sup>. Como os raios solares incidem mais verticalmente no verão e mais horizontalmente no inverno, foram desenvolvidas soluções arquitetónicas para se adequarem a esta situação. Estruturas que impedem a entrada dos raios solares para o interior do edifício, no verão, e permitem que eles entrem para esse interior, no nível máximo, no inverno, aumentam a eficiência energética<sup>80</sup>.

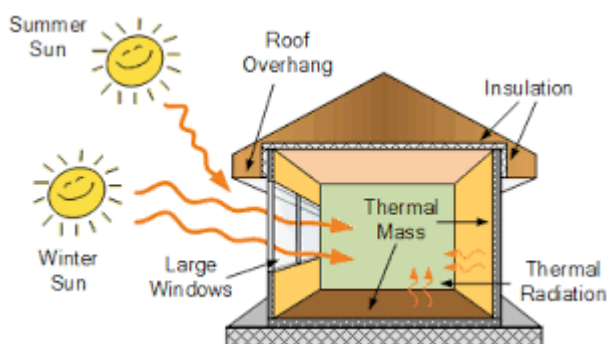


Figura 47: O projeto solar passivo maximiza a luz solar no inverno e proporciona sombra no verão<sup>79</sup>.

Se estiverem no hemisfério norte, as fachadas sul dos edifícios beneficiam mais da luz solar durante os meses de inverno. Assim sendo, o posicionamento das janelas e o projeto dos sistemas de sombra são de grande importância. Além disso, o método de isolamento denominado "isolamento" mantém as casas quentes, reduzindo a perda de calor no inverno, e mantém-nas frescas no verão, reduzindo a necessidade de arrefecimento.

Os métodos de design contribuem tanto para o ambiente como para o orçamento, através da redução da utilização de energia.

#### a. Aquecimento Solar de Estufas

O controlo da temperatura na agricultura em estufa é de grande importância para o crescimento saudável das plantas e para um rendimento elevado. O elevado custo do aquecimento com combustíveis fósseis aumentou a tendência para fontes de energia alternativas. Nos últimos anos, o uso de energia solar no aquecimento de estufas generalizou-se. As coberturas de plástico ou vidro das estufas são concebidas para absorver a quantidade máxima de luz solar. A luz solar incidente é absorvida pelo solo, convertida em calor e mantida no seu interior. Desta forma, a temperatura na estufa é mantida e é proporcionado um ambiente adequado para o desenvolvimento das plantas. As estufas aquecidas com energia solar oferecem uma solução de baixo custo e amiga do ambiente.



Figura 48: Os secadores solares utilizam ar aquecido para secar os produtos agrícolas, de forma natural e eficiente.

#### b. Secagem ao Sol

A energia solar é utilizada para secar vários materiais, de forma natural e económica. O processo de secagem é realizado mantendo o produto exposto à luz solar direta (secagem ao ar livre) ou fazendo passar ar aquecido pelo sol sobre o produto. Os sistemas em que o processo de secagem é realizado pela movimentação do ar aquecido pela energia solar são designados por secadores solares. Estes sistemas podem ser utilizados em muitas áreas diferentes, desde produtos alimentares a materiais agrícolas. Os

métodos de secagem solar são os preferidos porque são de baixo custo e proporcionam secagem ao mesmo tempo que preservam a qualidade do produto.

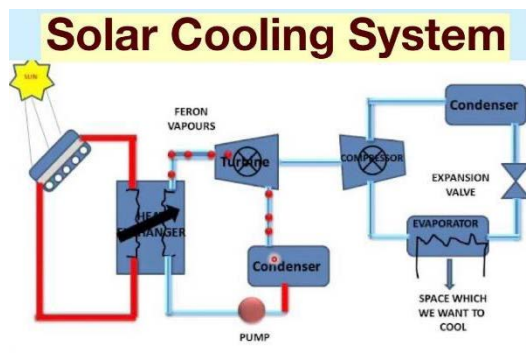


Figura 49: Os sistemas de arrefecimento solar fornecem soluções ecológicas para a refrigeração e ar condicionado.

### c. Arrefecimento Solar

Os sistemas de arrefecimento por energia solar são utilizados em áreas como a preservação de alimentos, a produção de gelo, o arrefecimento de edifícios e o ar condicionado interior. Entre as áreas comuns de utilização destes sistemas estão as câmaras frigoríficas, as instalações turísticas e as casas de férias de verão. O arrefecimento por energia solar pode ser realizado com diferentes métodos. De entre esses métodos, o sistema de arrefecimento por absorção é o mais utilizado. Esse método é o preferido devido à sua elevada eficiência e à simplicidade do seu princípio de

funcionamento. Nesse sistema, a solução aquecida pela energia solar é vaporizada e novamente condensada para causar arrefecimento. Estes sistemas que operam com energia solar oferecem uma alternativa amiga do ambiente ao reduzirem a dependência de combustíveis fósseis.

#### 6.1.5.6. Sistemas de Energia Solar Concentrada (ESC) e Geração de Eletricidade

É possível gerar eletricidade a partir da energia solar por métodos térmicos, graças a sistemas concentradores. Estes sistemas permitem atingir altas temperaturas, concentrando os raios solares num determinado ponto ou linha. Os sistemas térmicos concentradores podem ser lineares ou pontuais e gerar eletricidade utilizando turbinas a vapor, com ciclo Rankine, e turbinas a gás, com ciclo Stirling ou Brayton. O calor obtido a partir do sol é transferido para o sistema de geração de energia, diretamente, pela geração de vapor, ou através de substâncias, como o óleo quente e o sal fundido. Como se podem atingir temperaturas entre os 200°C e os 1500°C com estes sistemas, é possível gerar eletricidade através de ciclos de energia termodinâmicos. Como, as centrais nucleares e térmicas também se baseiam em princípios semelhantes, existe, atualmente, uma vasta experiência na aplicação de sistemas ESC. Além disso, quando a luz solar é insuficiente, os sistemas ESC podem ser suportados por combustíveis fósseis, como o gás natural, ou por combustíveis sólidos. Uma vantagem importante dos sistemas ESC é que podem armazenar energia solar sob a forma de calor. Esta característica, ao contrário dos sistemas fotovoltaicos, oferece a possibilidade de tornar o fornecimento de energia ininterrupto. Por este motivo, os sistemas ESC são também designados por "Centrais Solares Térmicas".

Em termos de geração de eletricidade, pode ser feita a seguinte classificação dos sistemas de concentração:



## 1. Concentradores Lineares

### a. Coletores de Calha Parabólica

Os coletores parabólicos são sistemas que atingem altas temperaturas concentrando os raios solares ao longo de uma linha. A superfície interna dos coletores é revestida com um material refletor e direciona os raios para um tubo localizado no ponto focal. O óleo é geralmente utilizado como fluido de transferência de calor na tubagem. Este fluido aquece até 350-400°C e é utilizado para a geração de eletricidade em centrais elétricas. A eficiência é aumentada graças aos sistemas móveis que acompanham os raios solares.



Figura 50: Os coletores parabólicos concentram a luz solar num tubo central para produzir calor a alta temperatura para a geração de eletricidade.

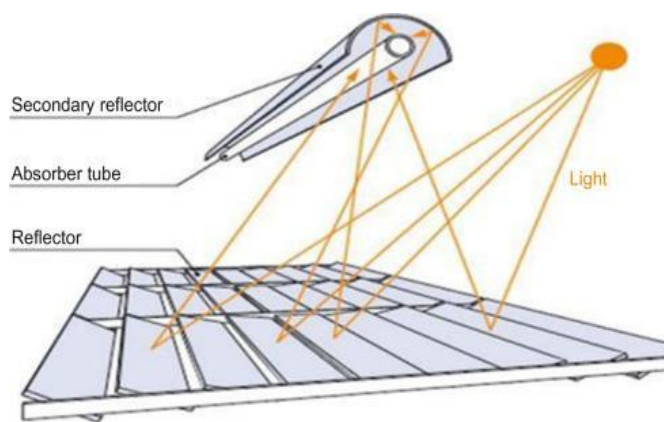


Figura 51: Os concentradores de espelho de Fresnel utilizam espelhos planos e ajustáveis para direcionar a luz solar para um tubo absorvedor para produção de energia térmica<sup>81</sup>.

### b. Condensadores de Espelho de Fresnel

Os concentradores de espelho de Fresnel são sistemas que concentram a radiação solar linear para atingir altas temperaturas<sup>81</sup>. Operam de forma semelhante aos coletores parabólicos, mas utilizam muitos espelhos pequenos e móveis com uma superfície mais plana. Estes espelhos seguem o sol num único eixo e direcionam os raios para o coletor no topo. São vistos como uma alternativa económica, devido aos seus baixos custos de geração. São utilizados na Nevada Solar One, na Califórnia SEGS Plant e em vários parques solares, em Espanha.

## 2. Concentradores de Pontos



Figura 52: Os concentradores de espelho de Fresnel utilizam espelhos planos e ajustáveis para direcionar a luz solar para um tubo absorvedor para geração de energia térmica.

### a. Sistemas de Pratos Parabólicos

Estes sistemas consistem em refletores em forma de prato que acompanham o sol durante todo o dia e concentram os raios no ponto focal. Os raios solares são direcionados para o ponto focal com a ajuda de espelhos controlados por computador, chamados heliostatos. O líquido no tubo absorvedor aquece até 600-700°C. Este calor é convertido em energia elétrica pelas turbinas a vapor.

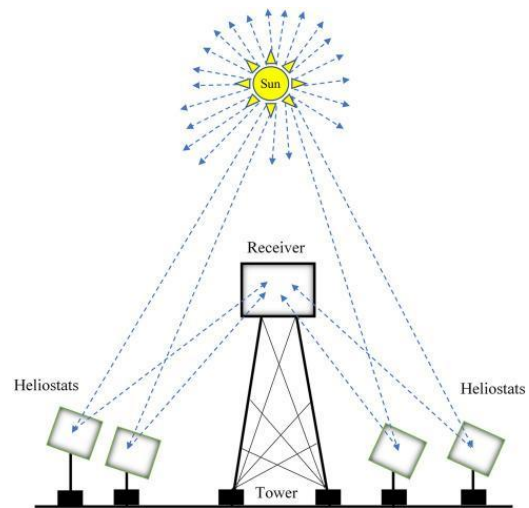


Figura 53: Os sistemas de antenas parabólicas rastreiam o sol e concentram os seus raios para gerar calor a alta temperatura para a geração de energia<sup>82</sup>.

### 6.1.5.7. Sistemas e aplicações que geram eletricidade diretamente a partir dos raios solares

#### a. Células e painéis fotovoltaicos

Os sistemas que geram eletricidade diretamente a partir da energia solar são designados **Sistemas fotovoltaicos**<sup>83</sup>. Os blocos básicos de construção destes sistemas são as células fotovoltaicas. Quando a luz solar atinge a superfície das células fotovoltaicas, é gerada uma corrente elétrica. No entanto, uma única célula pode gerar uma quantidade muito baixa de corrente contínua (CC). Para uma maior geração de

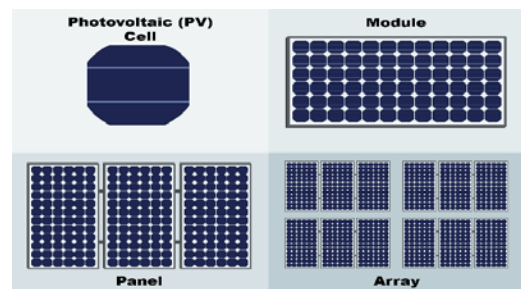


Figura 54: Os sistemas fotovoltaicos são construídos a partir de células fotovoltaicas, combinadas em módulos, painéis e matrizes para gerar eletricidade<sup>83</sup>.

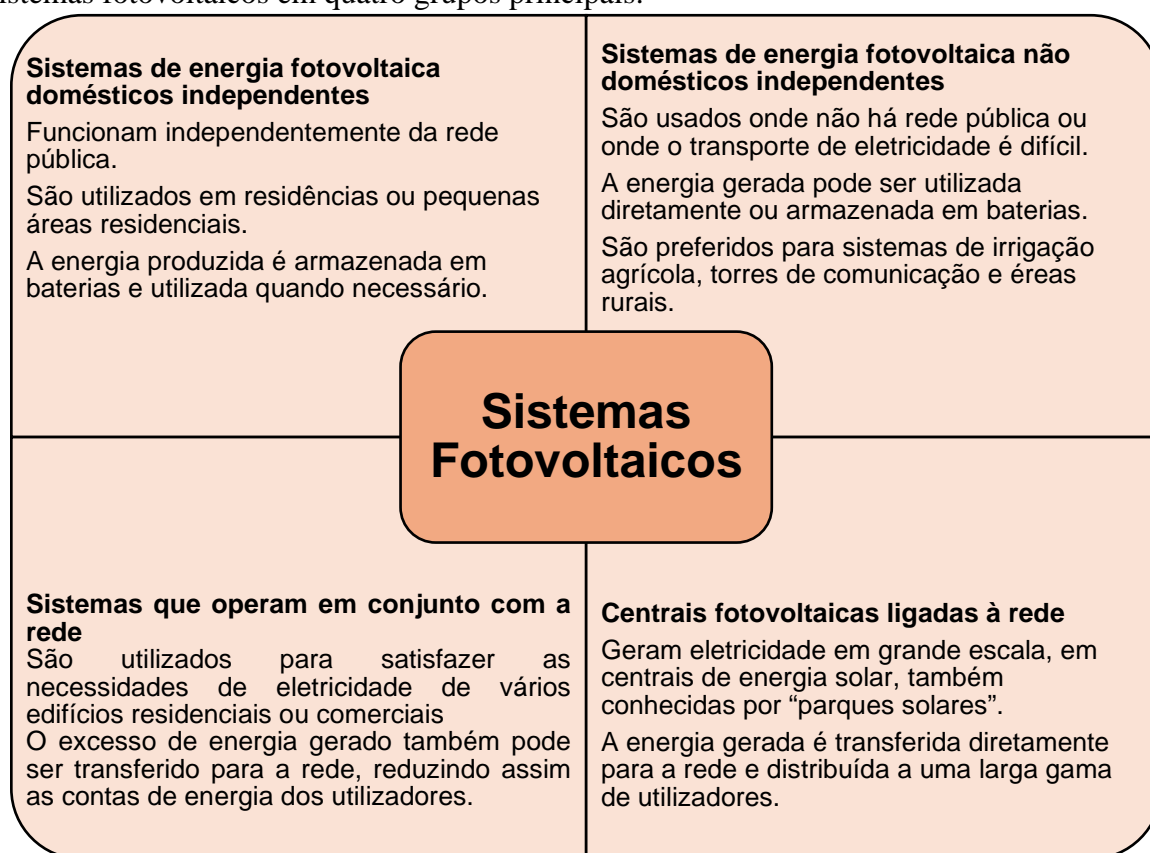


eletricidade, estas células são ligadas em série ou em paralelo para formar painéis fotovoltaicos<sup>84</sup>.

As vantagens mais importantes dos sistemas fotovoltaicos são as seguintes:

- São duráveis e requerem pouca manutenção porque não possuem peças mecânicas móveis.
- Operam silenciosamente e não emitem gases nocivos para o ambiente.
- Têm uma longa vida útil.
- Podem ser concebidos para operar a diferentes potências, desde microwatts até megawatts.

No entanto, é necessária uma grande área para instalar um sistema com eficiência elevada. o Programa de Sistemas de Energia Fotovoltaica da Agência Internacional de Energia divide os sistemas fotovoltaicos em quatro grupos principais:



### **b. Sistemas Fotovoltaicos Domésticos**

Os sistemas fotovoltaicos domésticos são sistemas que satisfazem as necessidades energéticas das habitações, convertendo a luz solar em energia elétrica. O excesso de eletricidade gerado pelos painéis solares pode ser transferido para a rede da cidade e a energia pode ser retirada da rede quando necessário<sup>85</sup>.



Figura 55: Os sistemas fotovoltaicos domésticos convertem a luz solar em eletricidade, abastecendo as casas e transferindo o excesso de energia para a rede.

#### Funcionalidades:

- Não há necessidade de armazenamento de energia, porque o excesso de energia é enviado diretamente para a rede.
- A eletricidade CC gerada pelos painéis é convertida em CA pelos inversores e torna-se utilizável em casa.
- A potência pode variar entre 1 kW e 50 kW.
- São utilizados contadores duplos: um mede a eletricidade retirada da rede e o outro mede a eletricidade fornecida à rede.
- Os dispositivos de controlo eletrónico proporcionam segurança, desligando o sistema em caso de uma possível falha.

#### Componentes dos sistemas fotovoltaicos domésticos:

**Painéis solares:** Geram e fornecem energia de acordo com as necessidades.

**Inversor:** Converte eletricidade CC em eletricidade CA, passível de ser utilizada em casa.

**Dispositivos de controlo eletrónico:** Garantem a segurança do sistema e interrompem o sistema em caso de avaria.

**Medidores:** Monitorizam a geração e a utilização de energia.

Os sistemas fotovoltaicos domésticos oferecem uma fonte de energia económica e amiga do ambiente, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e promovendo o uso sustentável da energia.



#### c. Sistemas fotovoltaicos fora da rede

Os sistemas fotovoltaicos fora da rede são utilizados para satisfazer as necessidades de energia em áreas onde o acesso à rede elétrica é difícil ou impossível. Estes sistemas convertem a energia solar diretamente em energia elétrica e permitem fornecer energia a qualquer hora do dia com soluções de armazenamento. A eletricidade gerada é armazenada em baterias para ser utilizada quando a luz solar é insuficiente<sup>86</sup>.

As áreas de utilização dos sistemas fotovoltaicos independentes são bastante vastas:

- Iluminação interior e exterior
- Sistemas rurais de rádio, telefone e sem fios
- Estações de comunicação
- Proteção de oleodutos
- Medições telemétricas em sistemas de distribuição de energia elétrica e água
- Estações de observação meteorológica
- Sistemas de rega agrícola
- Torres de vigia florestais
- Sistemas de refrigeração de medicamentos e vacinas
- Estações de observação de sismos e clima

- Faróis
- Funcionamento de aparelhos em áreas distantes da rede elétrica
- Sistemas de primeiros socorros, alarme e segurança
- Sistemas de alerta de trânsito
- Sistemas militares
- Veículos elétricos
- Estudos espaciais

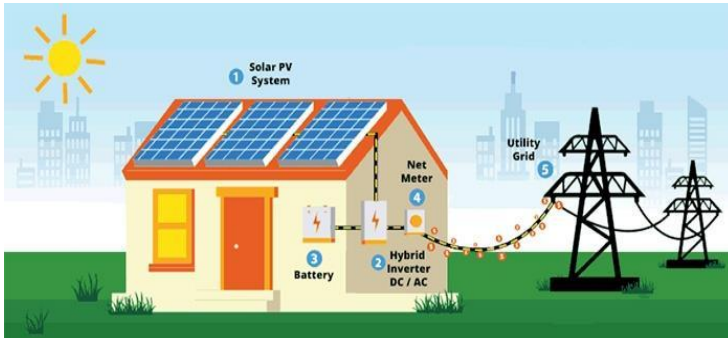


Figura 56: Os sistemas fotovoltaicos híbridos combinam painéis solares com baterias e a rede para garantirem um fornecimento de energia contínuo e fiável.

#### d. Sistemas Híbridos Ligados

Nos sistemas fotovoltaicos híbridos, também designados por sistemas híbridos ligados, existem outros sistemas que geram eletricidade para além dos painéis solares. O principal gerador de eletricidade são os painéis. Além deles, pode haver um sistema que gera energia renovável, como turbinas eólicas, ou geradores a diesel, que também fornece energia ao sistema.

#### e. Células e Painéis Fotovoltaicos

convertem a luz solar diretamente em energia elétrica. Podem ser quadradas, retangulares ou circulares. Quando a luz incide sobre as células solares, é gerada uma voltagem elétrica nas suas extremidades. A eficiência das células pode variar entre os 5% e os 32%, dependendo da sua estrutura. Para obter maior potência, as células são ligadas em série ou em paralelo para formar painéis solares (módulos solares). A energia gerada por estes painéis pode variar entre alguns watts a megawatts. As células solares têm uma vida útil longa porque convertem a energia solar diretamente em energia elétrica e podem operar sem a necessidade de um circuito eletrónico adicional<sup>87</sup>.

#### f. Materiais Utilizados em Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são constituídas por materiais especiais para gerar eletricidade. O material mais utilizado é o silício cristalino<sup>88,89</sup>. As células de silício cristalino dividem-se em dois grupos: silício monocristalino e silício multicristalino. Estes materiais proporcionam uma eficiência entre 14% e 19% na conversão da luz solar em eletricidade. Além disso, materiais como o silício amorfo (a-Si), telureto de cádmio (CdTe) e seleneto de cobre e índio (CIS)

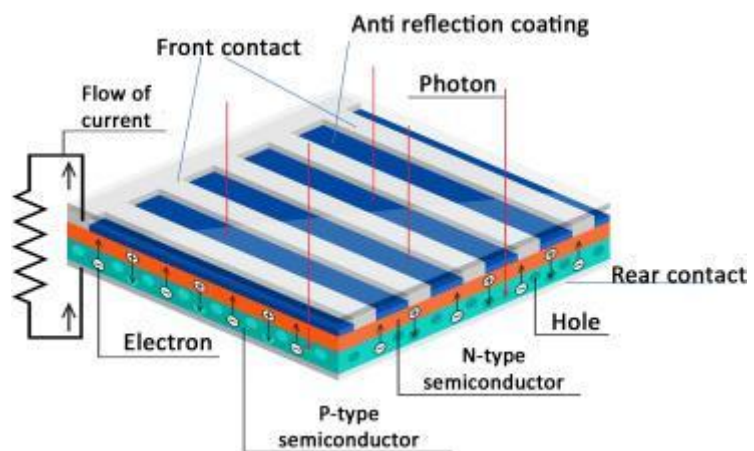


Figura 57: As células fotovoltaicas convertem a luz solar em eletricidade, utilizando camadas de materiais semicondutores, onde os fótons criam pares de buracos de elétrons e geram corrente<sup>89</sup>.

também são utilizados. O silício amorfo é utilizado na tecnologia de filmes finos e a sua eficiência situa-se entre os 4% e os 8%. O telureto de cádmio é mais barato e mais eficiente do que outras células de película fina. O CIS oferece a mais alta eficiência entre as tecnologias de película fina. As células fotovoltaicas de nova geração incluem as células fotovoltaicas concentradoras e as células fotovoltaicas orgânicas. Nas células fotovoltaicas concentradoras, a luz solar é recolhida com lentes ou espelhos e torna-se mais intensa. As células fotovoltaicas orgânicas são produzidas a partir de materiais flexíveis, como o plástico ou outros polímeros. Para o seu funcionamento, as células fotovoltaicas possuem duas camadas diferentes, designadas tipo n e tipo p. Estas camadas permitem que as cargas elétricas se movam. Quando a luz solar incide sobre esta célula, é criada uma corrente elétrica no seu interior e, assim, é gerada energia.

## 6.2. Energia Eólica

O vento é causado pelo Sol e é uma fonte de energia renovável, gerando a energia eólica. Embora os raios solares aqueçam toda a Terra, não conseguem fornecer a mesma quantidade de calor a todas as regiões<sup>90</sup>. Quando o ar aquece, sobe e é substituído por ar mais frio. Este movimento do ar cria diferenças de pressão na atmosfera, originando o vento. O vento é uma corrente de ar que se desloca de massas de ar de alta pressão para massas de ar de baixa pressão. Durante uma hora, uma quantidade muito grande de energia proveniente do sol chega à Terra, e uma pequena parte dela origina o vento. A energia eólica é, na realidade, a energia do sol convertida em energia cinética das partículas do ar. O vento é uma fonte de energia – energia eólica - contínua e inesgotável que ocorre naturalmente. A produção de energia eólica não emite gases nocivos (como fazem os combustíveis fósseis), sendo amiga do ambiente.



Figura 58: As turbinas eólicas convertem a energia cinética do ar em movimento, originária do aquecimento da Terra pelo Sol, em eletricidade limpa e renovável.



### 6.2.1. Energia Eólica no Mundo

A máquina mais antiga que utiliza energia eólica é o moinho de vento. Acredita-se que tenha sido utilizado em Alexandria há aproximadamente 3000 anos. Sabe-se que os turcos construíram moinhos de vento em 640 e que estes se espalharam pela Europa com as Cruzadas. De acordo com documentos escritos, os moinhos de vento foram utilizados entre o Afeganistão e o Irão em 644. Os moinhos de vento foram utilizados na China para irrigar campos de arroz entre 750 e 850. Os moinhos de vento utilizados no Oriente tinham um eixo vertical, mas no Ocidente adotaram eixos horizontais. O primeiro moinho de vento de eixo horizontal foi utilizado no Reino da Normandia em 1180<sup>91</sup>. Foram desenvolvidas máquinas que utilizavam energia eólica na Holanda, no início do século XVIII, e na Alemanha, no final do século XIX. Em 1850, começaram a ser utilizados moinhos de vento americanos com múltiplas asas e guias de vento. O uso do vento para gerar eletricidade desenvolveu-se após a criação da primeira central eólica em Nova Iorque, em 1882.



Figura 59: Os moinhos de vento, as primeiras máquinas movidas a energia eólica, evoluíram a partir de antigos moinhos de eixo vertical, na Ásia, levando provavelmente à energia eólica moderna, utilizada em todo o mundo para gerar de eletricidade.

A energia eólica foi utilizada pela primeira vez para gerar eletricidade na Dinamarca, em 1891. Na década de 1910, o uso de eletricidade espalhou-se nas grandes cidades, mas a energia eólica ficou em segundo plano devido à economia dos combustíveis à base de petróleo. A energia eólica começou a desenvolver-se rapidamente na década de 1990 e espalhou-se pela América e pela Europa. Durante muitos anos, a Alemanha foi o país com a maior capacidade instalada de energia eólica do mundo, mas em 2008, os EUA ultrapassaram a Alemanha. Em 2010, a China teve um grande avanço e ficou em primeiro lugar. A China é seguida pelos EUA, Alemanha, Índia, Espanha, Inglaterra, França, Canadá e Dinamarca.

### 6.2.2. Energia Eólica nos Países Parceiros

#### 6.2.2.1. Energia Eólica na Turquia

Embora a Turquia não esteja entre os principais países do mundo em termos de capacidade de energia eólica, é um dos países líderes em termos de potencial. Está entre os principais países em termos de potencial de energia eólica, especialmente na Europa. O potencial de energia eólica da Turquia foi calculado em 48.000 MW, tendo em conta as regiões onde os ventos excedem os 7,5 m/s a 50 metros acima do solo. Os primeiros estudos sobre a energia eólica na Turquia começaram com pesquisas académicas. A Universidade de Ancara, em 1960, a METU e a Universidade Ege, em 1970, e a TÜBİTAK-MAM, em 1980, realizaram estudos nesta área. A Administração de Investigação de Recursos de Energia Elétrica (EİE), afiliada do Ministério da Energia e Recursos Naturais, iniciou o seu trabalho com energia eólica em 1981, tendo sido estabelecida uma filial nesta área, em 1989. No âmbito do Projeto Atlas Eólico da Turquia, foram estabelecidas estações de observação em várias regiões e foi desenhado o mapa eólico de Turquia.

As regiões com maior potencial de energia eólica na Turquia são as seguintes:

1. Região de Mármara
2. Região de Egeu
3. Região de Mar Negro Ocidental
4. Região de Anatólia Central
5. Região de Sudoeste Anatólia
6. Região da Anatólia Oriental

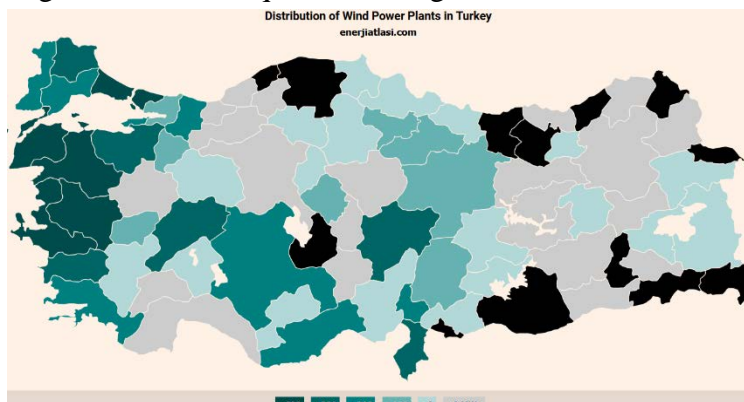


Figura 60: Mapa que mostra a distribuição das centrais eólicas na Turquia por capacidade instalada (MW).

Um passo importante na utilização de energia eólica na Turquia foi a criação do primeiro parque eólico na aldeia de Germiyan, no distrito de Çeşme, em Izmir, em 1998. Esta central, que contém três turbinas com uma capacidade de 500 kW cada uma, tem uma potência total de 1,5 MW. Muitas centrais eólicas foram colocadas em funcionamento desde a década de 2000. Em linha com as metas de 2023 do Ministério da Energia e Recursos Naturais, prevê-se o aumento da potência instalada em energia eólica para 20.000 MW, energia solar para 5.000 MW e energia geotérmica para 1.000 MW. Estas metas mostram que a energia eólica é uma das áreas mais desenvolvidas entre as fontes de energia renovável na Turquia. Entre os estudos realizados para atingir estas metas está o projeto do Centro de Monitorização e Previsão de Energia Eólica, realizado em conjunto pelo Ministério da Energia e Recursos Naturais e pela Direção Geral do Espaço e Meteorologia da TÜBİTAK. Prevê-se que o sistema desenvolvido no âmbito deste projeto seja aplicado numa área mais vasta.



Figura 61: As turbinas eólicas geram eletricidade a partir da energia cinética do vento, oferecendo uma fonte de energia limpa e renovável.

#### **6.2.2.2. Energia Eólica na Grécia**

A Grécia fez avanços significativos no aproveitamento da energia eólica, com a sua capacidade instalada de energia eólica a atingir os 5.226 MW até ao final de 2023, acima dos 1.000 MW em 2010. Este crescimento reflete o empenho do país em expandir as fontes renováveis de energia.

As regiões com maior potencial de energia eólica incluem a Grécia Central, particularmente o município de Eubeia, que tinha uma capacidade instalada de 548 MW no final de 2012, representando 31,3% da energia eólica total do país nessa altura. Além disso, as ilhas do Mar Egeu e partes do norte da Grécia foram identificadas como áreas com recursos eólicos substanciais<sup>92</sup>.



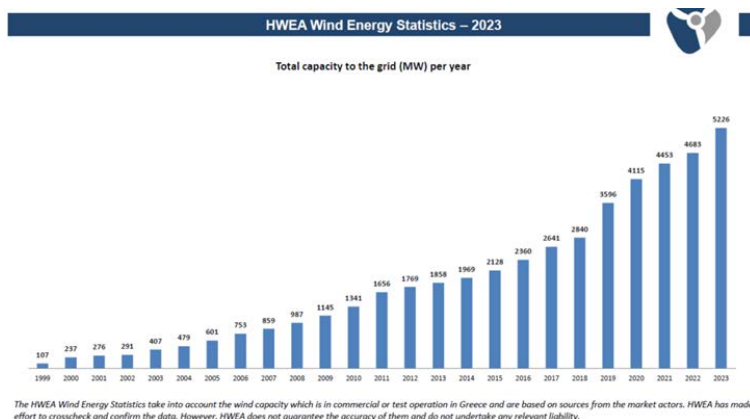


Figura 62: O gráfico mostra o crescimento anual da capacidade eólica da Grécia de 1999 a 2023, atingindo um total de 5.226 MW<sup>92</sup>.

Olhando para o futuro, a Grécia pretende aumentar ainda mais a sua capacidade de energia eólica, com projeções que apontam para uma capacidade *onshore* de, aproximadamente, 400 MW de 2024 a 2030. Esta expansão planeada está alinhada com a estratégia mais ampla do país de aumentar a participação das energias renováveis na sua matriz energética, contribuindo para a segurança energética e a sustentabilidade ambiental<sup>93</sup>.

Além disso, a Grécia está a participar ativamente em parcerias regionais para promover as energias renováveis. Em 2023, um total de 153 turbinas eólicas foram instaladas na Grécia. Isto representa mais 85 turbinas do que o número instalado no ano anterior. Em setembro de 2024, a Grécia, juntamente com outros oito países membros do sul da União Europeia, prometeu transformar a região do Mediterrâneo num centro de energia renovável, com foco em projetos de energia eólica *offshore* e solar. Esta iniciativa evidencia a aposta da Grécia em alavancar as suas vantagens geográficas para o desenvolvimento de energia sustentável.

### 6.2.2.3. Energia Eólica em Portugal

A energia eólica teve um crescimento excecional em Portugal entre 2000 e 2015, atingindo uma capacidade instalada superior a 5 GW. A partir de 2015, o investimento em parques eólicos abrandou. Até ao final de 2023, a capacidade total instalada era de 5,9 GW, principalmente em instalações *onshore*. Foi a segunda fonte de produção de eletricidade do país, logo abaixo da energia hidroelétrica, com uma potência instalada de 8,2 GW. Em abril de 2024, estavam em funcionamento 267 parques eólicos e 2.908 aerogeradores.

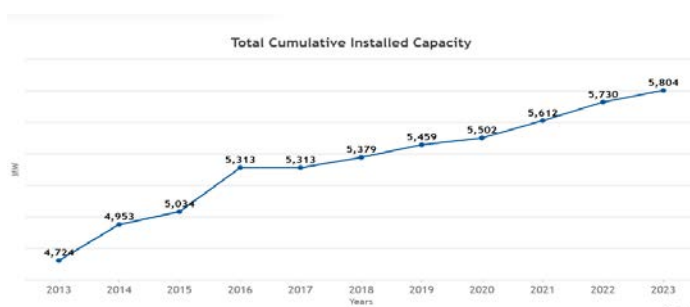


Figura 63: A capacidade de energia eólica de Portugal aumentou de forma constante, atingindo 5,8 GW em 2023, prevendo-se um crescimento adicional até 2030.

De acordo com a última versão do Programa Nacional de Energia e Clima (PNEC), até 2030, deverão existir mais de 4,1 GW de capacidade *onshore* e 2 GW em estruturas *offshore*. A costa Atlântica portuguesa tem um enorme potencial para estruturas *offshore*, prevendo-se, a médio prazo, a instalação de até 10 GW. A título de curiosidade, o projeto O WindFloat Atlantic foi o primeiro

parque eólico *offshore* flutuante semi-submersível do mundo, que começou a operar. Em 2024, a energia eólica representava quase 40% de toda a eletricidade produzida em Portugal<sup>94</sup>.

#### 6.2.2.4. Energia Eólica na Macedónia do Norte

A Macedónia do Norte, um país que procura uma transição energética sustentável, tem desenvolvido ativamente o seu setor da energia eólica como parte do seu compromisso mais vasto para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis. Embora historicamente dependente do carvão, o governo estabeleceu metas ambiciosas para aumentar a quota das energias renováveis para 50%, até 2030, e eliminar o carvão, até 2035. Entre estes esforços, a energia eólica está a emergir como um pilar crucial da estratégia de energia renovável do país<sup>95</sup>.

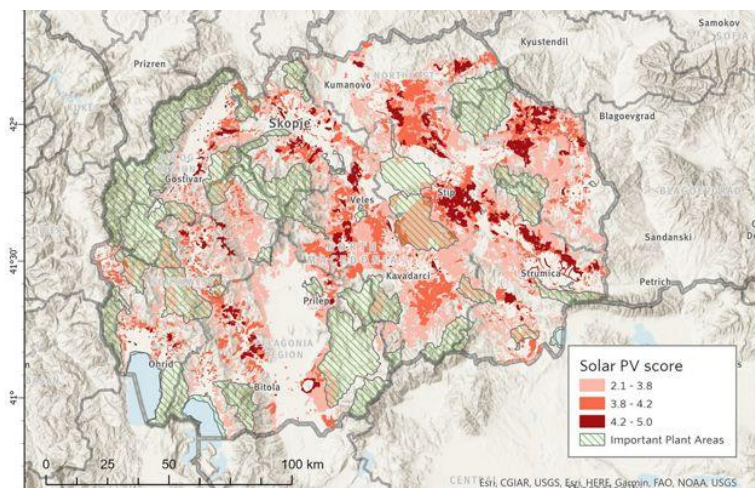


Figura 64: O mapa de pontuação da energia solar fotovoltaica da Macedónia do Norte destaca as regiões com forte potencial de energia solar, apoiando a transição do país para a energia limpa<sup>95</sup>.

O primeiro e mais significativo projeto de energia eólica do país, o Parque Eólico de Bogdanci, marcou o início da utilização de energia eólica em larga escala<sup>96</sup>. Localizado no sudeste da Macedónia do Norte, Bogdanci foi escolhido pelas suas velocidades de vento consistentes, com uma média de 7 metros por segundo a uma altura de 100 metros. O projeto foi iniciado por Elektrani na Severna Makedonija (ESM), a empresa estatal de energia, e

apoiado através de financiamento do Banco Europeu para a Reconstrução e Desenvolvimento (BERD).

#### *Parque Eólico de Bogdanci – Um Projeto-Quadro*

A primeira fase do Parque Eólico de Bogdanci entrou em funcionamento em 2014, sendo constituída por 16 turbinas com uma capacidade instalada total de 36,8 MW. O Parque gera aproximadamente 100 GWh de eletricidade por ano, fornecendo energia a mais de 16.000 casas. Reconhecendo o sucesso do projeto, foi planeada uma segunda fase, que visa adicionar mais 14 MW e elevar a capacidade total para 50 MW.

O sucesso de Bogdanci demonstrou a viabilidade da energia eólica no país e abriu caminho a novos investimentos e novos projetos.

Aproveitando este impulso, a Macedónia do Norte lançou vários novos projetos de energia eólica que aumentarão significativamente a capacidade nos próximos anos. O projeto mais importante que vale a pena destacar é o futuro Parque Eólico de 400 MW da Alcazar Energy – o maior dos Balcãs (planeado, a nível nacional):

Capacidade: 400 MW

Investimento: Mais de 500 milhões de dólares

Promotor: Alcazar Energy, uma grande empresa de energias renováveis

Início previsto: 2025

Impacto: Mais do que duplica a capacidade eólica do país, transformando a Macedónia do Norte num líder regional em energia eólica.

Este enorme projeto eólico de 400 MW será o maior desenvolvimento de energia eólica nos Balcãs Ocidentais, alinhando com o objetivo de longo prazo da Macedónia do Norte de independência energética e neutralidade carbónica.

A topografia diversificada e o posicionamento geográfico da Macedónia do Norte criam condições ideais para a energia eólica em diversas regiões importantes:

- Região Sudeste – Fortes correntes de vento em Bogdanci, Gevgelija, Valandovo
- Região Nordeste – Velocidades de vento promissoras em Kriva Palanka e Kumanovo
- Região de Pelagónia – Elevado potencial de energia eólica perto de Bitola e Prilep

As velocidades do vento nestas zonas variam entre os 5,5 e os 8,5 m/s, proporcionando condições ideais para a geração contínua de energia.

### 6.2.3. Impactos Positivos e Negativos da Energia Eólica

A energia eólica tem efeitos positivos e negativos que são apresentados de seguida. Embora as turbinas eólicas causem alguns danos ambientais, são geralmente aceites pois estão associadas a uma fonte de energia sustentável e benéfica para o ambiente<sup>97</sup>.



#### Vantagens

- É renovável e limpa. O vento é uma fonte de energia natural e contínua. As turbinas não emitem gases durante o funcionamento, não poluem o ambiente e impedem a propagação de gases com efeito de estufa que aumentam o aquecimento global.
- Não necessita de matéria-prima. O vento está disponível livremente na atmosfera e não cria dependência externa.
- Oferece uma vantagem de custo. Embora o custo de instalação de um parque eólico seja elevado, é uma solução económica a longo prazo, uma vez que os custos de operação e manutenção são baixos. Atualmente, a energia eólica tornou-se competitiva face a energia obtida de outras fontes de energia.
- Ocupa pouco espaço. As turbinas eólicas não necessitam de grandes áreas. Além disso, os terrenos onde estão instaladas as turbinas podem ser utilizados para atividades agrícolas e pecuárias.
- O tempo de instalação é curto. As centrais eólicas podem ser colocadas em funcionamento em menos tempo do que as centrais tradicionais.
- Pode ser instalada em diferentes escalas. Podem ser instalados sistemas de diferentes tamanhos, desde pequenas turbinas independentes até grandes parques eólicos.



### Desvantagens

- O custo do investimento inicial é elevado. Exige custos elevados para a produção, transporte e instalação de turbinas.
- A geração de energia é irregular. Como a velocidade do vento não é constante, a quantidade de energia gerada varia. Vento inadequado em períodos de elevada procura ou, inversamente, geração excessiva de energia, podem causar problemas.
- Pode provocar poluição sonora. Os sons produzidos pelas turbinas enquanto estão em funcionamento podem ser perturbadores, especialmente em áreas próximas de áreas residenciais.
- Pode ser perigoso para as aves e outros seres vivos. As pás das turbinas podem representar um risco para as aves migratórias e para alguns animais selvagens.
- Pode criar interferências eletromagnéticas. As turbinas podem interferir com alguns sistemas de radar e afetar os sinais de rádio e televisão.
- Podem ocorrer problemas com as linhas de transmissão elétrica. As centrais eólicas são geralmente instaladas em áreas onde o vento é forte, mas as linhas de transmissão elétrica são fracas. Isto pode dificultar o transporte da energia gerada..

### 6.2.4. Áreas de Utilização da Energia Eólica

A energia eólica tem sido utilizada em muitas áreas ao longo da história, desde as atividades agrícolas à geração de eletricidade<sup>52,98</sup>. Geralmente tem três áreas principais de utilização. Em aplicações mecânicas, a energia eólica tem sido utilizada em processos como o bombeamento de água (especialmente para irrigação agrícola), moagem de grãos e transformação de produtos

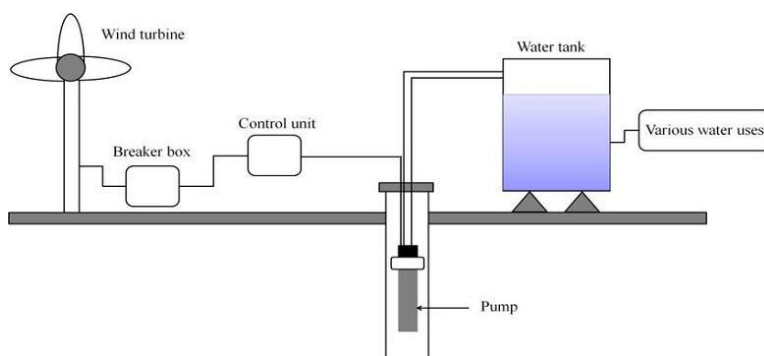


Figura 65: Este esquema ilustra a utilização da energia eólica para bombagem de água, mostrando a sua aplicação na rega agrícola e no abastecimento rural de água<sup>98</sup>.

agrícolas (como o corte, a ceifa, extração de óleo de oleaginosas). Na geração de eletricidade, a energia eólica é avaliada de duas formas distintas: sistemas ligados à rede e sistemas independentes da rede. Embora a eletricidade gerada por centrais eólicas de grande dimensão possa ser transferida para a rede nacional, a eletricidade pode ser fornecida por turbinas eólicas de pequena escala em zonas rurais onde não existe rede elétrica. No que respeita energia térmica, a eletricidade gerada pelas turbinas eólicas pode ser utilizada em sistemas de aquecimento ou sistemas de ventilação. Além disso, a energia eólica é utilizada em diferentes áreas, tanto no interior como no exterior dos edifícios. Embora seja utilizada em sistemas de irrigação agrícola, faróis marítimos, luzes de pista de aeroportos e outros sistemas de sinalização fora de edifícios, a geração individual de eletricidade pode ser fornecida por sistemas de ventilação e arrefecimento dentro de edifícios e turbinas eólicas em telhados.



### 6.2.5. Turbinas Eólicas

As turbinas eólicas são máquinas que convertem a energia cinética do ar em movimento (vento) em energia elétrica. Este processo de conversão inicia-se com o vento a fazer rodar as pás da turbina, produzindo energia mecânica. As pás convertem a energia mecânica em energia de rotação, que é convertida em energia elétrica por um gerador<sup>99</sup>.

As turbinas eólicas são divididas em três grupos, de acordo com a posição dos seus eixos de rotação em relação ao solo.

As **turbinas eólicas de eixo horizontal** são as mais utilizadas e têm o eixo principal paralelo ao solo. São frequentemente preferidas em parques eólicos de grande porte.



Figura 66: As turbinas eólicas de eixo horizontal são o tipo de turbina mais utilizado, sendo ideais para parques eólicos de grande dimensão e de elevada produção de energia.

As **turbinas eólicas de eixo vertical** têm o seu eixo principal perpendicular ao solo e podem utilizar o vento de qualquer direção. São mais comuns em aplicações de pequena escala e áreas urbanas

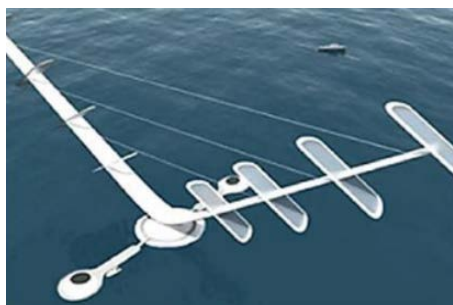


Figura 68: As turbinas eólicas de eixo inclinado são um projeto híbrido que combina as vantagens dos sistemas horizontais e verticais, frequentemente utilizados em instalações experimentais *offshore*.

**Turbinas eólicas de eixo inclinado** combinam as características das turbinas de eixo horizontal e vertical, apresentado um tipo de design raro. Além disso, as turbinas eólicas são classificadas de acordo com a sua velocidade, capacidade de potência, número de pás, efeito do vento, mecanismos de engrenagem e local de instalação. A escolha da turbina a utilizar é determinada pelas características do vento da região e pela finalidade da utilização da energia.



Figura 67: As turbinas eólicas de eixo vertical podem captar vento de qualquer direção e são adequadas para aplicações urbanas ou de pequena escala.

### 6.2.5.1. Turbinas Eólicas Offshore

A utilização eficiente da energia eólica offshore é de grande importância para o mercado da energia eólica. Apesar de em áreas próximas da costa, as turbinas eólicas montadas no fundo do mar serem, geralmente, preferidas, elas podem causar problemas como ruído, poluição visual e afetar o tráfego de navios. Por esta razão, os estudos sobre aerogeradores de plataforma flutuante estão a aumentar<sup>100</sup>.



Figura 69: As turbinas eólicas offshore são instaladas em ambientes marinhos para aproveitar ventos mais fortes e consistentes, aumentando significativamente a capacidade de geração de eletricidade.

Os ventos offshore têm menos turbulência do que os ventos terrestres, o que faz com que tenham velocidades mais elevadas, possibilitando a produção de mais eletricidade. Dado que a potência gerada aumenta com o cubo da velocidade do vento, a capacidade de geração aumenta significativamente, mesmo a poucos quilómetros de distância da terra. Por exemplo, numa zona onde a velocidade média do vento é de 28km/h, é possível gerar mais 60% de eletricidade do que numa zona onde a velocidade é de 22km/h. Isto mostra a importância crítica do fator velocidade na geração de eletricidade, a partir da energia eólica.

Atualmente, as turbinas eólicas offshore são adaptadas de turbinas terrestres e são resistentes às condições da água do mar. Neste processo, a robustez das turbinas é aumentada através de torres com estruturas resistentes às cargas das ondas. Além disso, o sistema de engrenagens e os componentes elétricos são reforçados com métodos especiais de proteção contra os efeitos corrosivos da água do mar. São adicionados sistemas de acesso especiais para garantir um fácil acesso à plataforma para o pessoal de manutenção, enquanto as medidas de segurança são aumentadas com interruptores de emergência. As superfícies exteriores das turbinas são revestidas com tintas especiais resistentes à água do mar, para as tornar mais duradouras, e são utilizadas luzes de aviso e cores chamativas nas aeronaves. Além disso, são tomadas medidas de segurança adicionais para garantir que os veículos marítimos podem avistar as turbinas em dias de nevoeiro.

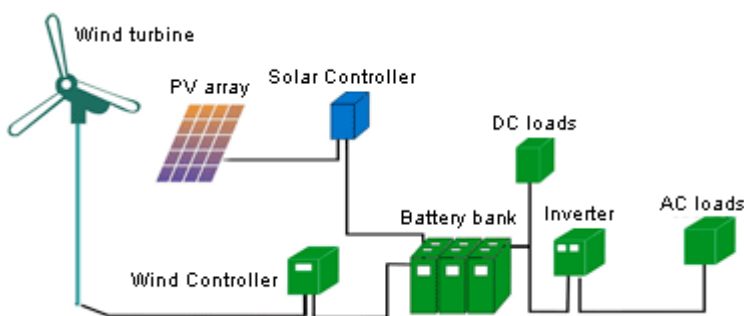


Figura 70: Os sistemas híbridos combinam a energia solar e a energia eólica, para fornecerem energia mais estável e contínua, especialmente em áreas sem rede e com condições climáticas variáveis.

### 6.2.5.2. Sistemas Híbridos Solares e Eólicos

Atualmente, os sistemas de energia solar fotovoltaica e eólica que operam independentemente da rede elétrica estão a ser cada vez mais utilizados em larga escala. Especialmente nas regiões onde o acesso à rede é difícil ou antieconómico, os sistemas independentes de energia solar e eólica oferecem uma solução

importante<sup>101</sup>. No entanto, as fontes que dão origem a energia eólica e a energia solar variam diariamente, mensalmente e anualmente. Devido à sua baixa densidade energética, podem ser



insuficientes para fornecer energia contínua e ininterrupta. Por exemplo, os sistemas de energia solar podem não ser capazes de produzir eletricidade suficiente em dias nublados, enquanto os sistemas de energia eólica não podem fornecer energia contínua devido às alterações na velocidade do vento ao longo do ano. Esta situação torna necessários sistemas de armazenamento de energia para garantir a continuidade de geração de energia. A energia eólica opera com maior eficiência nos meses de inverno, enquanto a energia solar opera com maior eficiência nos meses de verão. O risco de ficar sem energia elétrica aumenta no verão, quando se utiliza apenas energia eólica, e no inverno, quando se utiliza apenas energia solar. Por esta razão, os sistemas híbridos onde a energia solar e a energia eólica são utilizadas em conjunto proporcionam uma disponibilização de energia mais estável do que quando são utilizadas isoladamente. Além disso, a utilização complementar destas duas fontes de energia reduz a necessidade de armazenamento de energia e ajuda o sistema a tornar-se mais eficiente.

### 6.3. Energia Hidroelétrica

Entre as energias provenientes de fontes renováveis, a energia hidroelétrica é um dos tipos de energia mais antigos e das mais utilizados<sup>62</sup>. A energia hidroelétrica, está associada ao Sol, pois resulta do ciclo natural da água. A água dos rios, lagos e mares evapora com o calor do sol, move-se devido ao efeito do vento, condensa-se na atmosfera e regressa à terra como chuva ou neve. Estas precipitações alimentam os rios, fazendo com que a água em movimento seja uma fonte de energia contínua. A energia hidroelétrica é obtida pela conversão da energia cinética e potencial da água, que flui de uma certa altura, em energia mecânica, por meio de turbinas e, depois, em energia elétrica, por meio de geradores<sup>28</sup>. As centrais hidroelétricas não só geram eletricidade, como também desempenham um papel importante em muitas áreas, como o fornecimento de água potável, a irrigação agrícola, a redução do risco de inundações e a aquacultura.



Figura 71: A energia da água corrente transforma-se em energia elétrica por meio de turbinas e geradores, contribuindo para a geração de eletricidade e para a gestão da água.

#### 6.3.1. Classificação de Centrais Hidroelétricas

As centrais hidroelétricas são classificadas de acordo com a sua capacidade de potência instalada, altura de queda, características da geração de energia, métodos de construção e características da fonte hídrica onde estão instaladas<sup>102</sup>. Algumas classificações variam de país para país, especialmente para as mini e as micro centrais hidroelétricas. Em geral, as centrais que geram até 10 MW de energia são consideradas centrais hidroelétricas de pequena escala.

Tabela 1: Tipos de centrais de acordo com a capacidade instalada

Tipo de Central Elétrica	Potência Instalada (kW)
Micro	0,1 – 100
Mini	101 – 1000
Pequena	1001 – 10000
Grande	Superior a 10000 kW

Enquanto as grandes centrais hidroelétricas estão entre as fontes clássicas de energia renovável, as pequenas centrais hidroelétricas são consideradas no grupo das novas e renováveis fontes de energia. O limite de dimensão das pequenas centrais hidroelétricas pode variar de país para país. Por exemplo, enquanto o limite superior das pequenas centrais hidroelétricas no Canadá e nos EUA é de 50 MW, na Europa é de 10 MW.

### **Outras Classificações das Centrais Hidroelétricas:**

#### **1. Centrais Hidroelétricas de acordo com a altura da queda**

- Centrais de baixa queda: São centrais com uma altura de queda inferior a 15 metros. São geralmente instaladas em terrenos planos ou com pouca inclinação, em rios com grande caudal. São utilizadas turbinas Kaplan.
- Centrais de média queda: A altura da queda varia entre os 15 e os 50 metros. São utilizadas turbinas Kaplan ou Francis.
- Centrais de alta queda: São centrais com uma altura de queda superior a 50 metros. Estão localizados principalmente em terrenos montanhosos e acidentados. São utilizadas turbinas Francis ou Pelton.

#### **2. Centrais hidroelétricas de acordo com a energia que geram**

- Centrais de geração contínua de energia (Centrais de base): Geram energia ininterruptamente.
- Centrais que operam nas horas em que a energia é mais necessária (Centrais de ponta): São acionadas quando a procura é elevada.

#### **3. Centrais hidroelétricas segundo os seus métodos construção**

- Centrais subterrâneas
- Centrais elétricas semienterradas
- Centrais elétricas acima do solo

#### **4. Centrais hidroelétricas de acordo com a fonte de água em que são instaladas**

- Centrais fluviais
- Centrais de canais
- Centrais de barragens
- Centrais de reservatório bombeado

### **6.3.2. Energia Hidroelétrica no Mundo**

A energia hidroelétrica é considerada uma das mais importantes energias renováveis do mundo <sup>103</sup>. A precipitação anual é de aproximadamente 119 mil km<sup>3</sup>, dos quais 60% evaporam e 40%

chegam aos lagos e mares, através dos riachos. No total, aproximadamente 19% (9 mil km<sup>3</sup>) dos 47 mil km<sup>3</sup> de água são económica e tecnicamente utilizáveis.

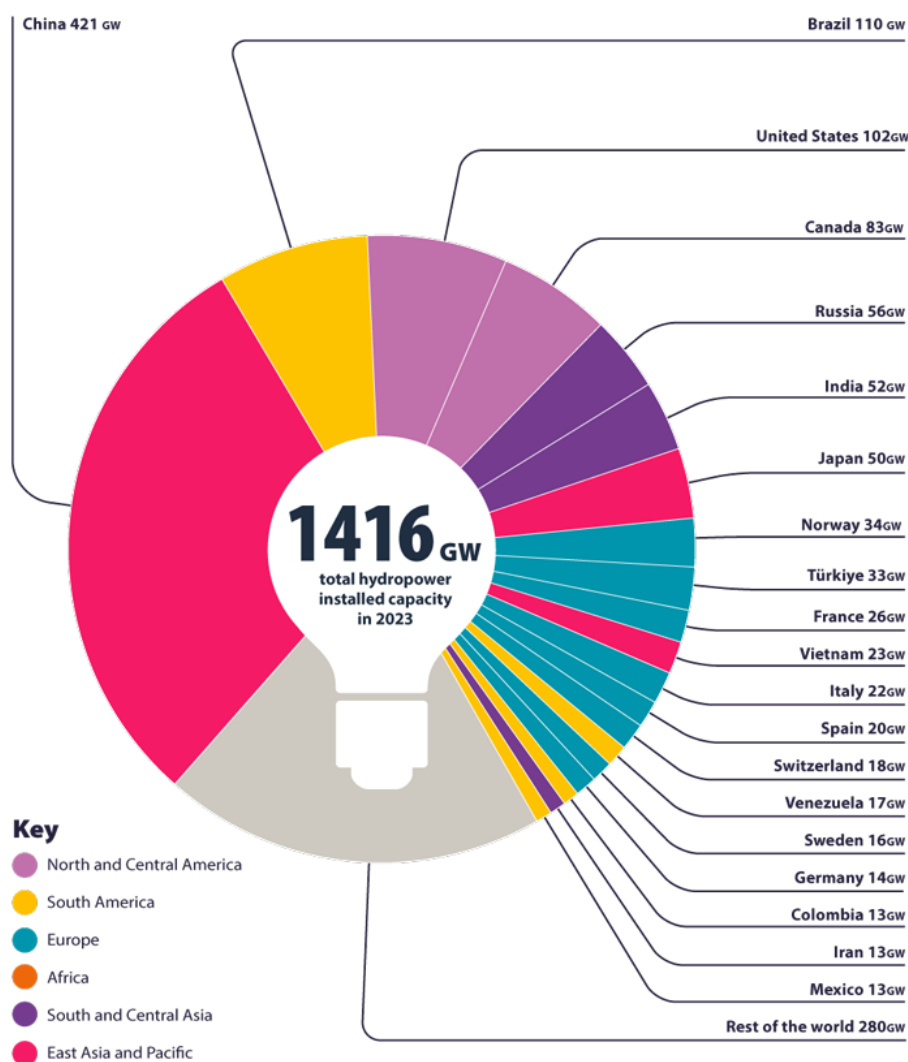


Figura 72: A capacidade hidroelétrica instalada total atingiu 1416 GW em 2023, liderada pela China (421 GW), Brasil (110 GW) e Estados Unidos (102 GW), evidenciando a mudança global para energia sustentável<sup>103</sup>.

No entanto, apenas uma pequena parcela da energia hidroelétrica é efetivamente utilizada no mundo inteiro. A maior parte do potencial não utilizado está na América Latina, Ásia e África. Especialmente nos países em desenvolvimento, procura-se avaliar este potencial de forma mais eficiente, através da instalação de novas centrais hidroelétricas.

### 6.3.3. Energia Hidroelétrica nos Países Parceiros

#### 6.3.3.1. Energia Hidroelétrica na Turquia

Na Turquia, a energia gerada em pequenas centrais hidroelétricas varia consoante o padrão de precipitação. A quantidade de precipitação no país varia consoante as regiões e as estações do ano. Embora a Turquia não seja rica em termos de potencial hidroelétrico, está entre os países que podem ser autossuficientes, ao utilizar os seus recursos hídricos de forma eficaz. A construção de barragens em Turquia remonta aos tempos pré-históricos. As primeiras barragens

foram construídas pelos Hititas em 1300 a.C. e pelos urartianos em 1000 a.C. No período republicano, a primeira barragem foi a Barragem de Çubuk, construída em 1930 para satisfazer as necessidades de água potável de Ancara<sup>104</sup>. A Administração de Investigação de Recursos Elétricos foi criada em 1932 para determinar e pesquisar fontes de energia adequadas para a geração de eletricidade. Em 1950, a potência elétrica instalada da Turquia era de 408 MW e a sua capacidade hidroelétrica era de apenas 18 MW. Entretanto, registou-se um aumento significativo do número de centrais hidroelétricas até à década de 1970. O desenvolvimento da energia hidroelétrica na Turquia ganhou impulso com a criação da Autoridade Turca de Eletricidade (TEK), em 1970. Com a TEK, a construção de centrais hidroelétricas por instituições oficiais e municípios foi interrompida, sendo privilegiada a transição para um sistema interligado em todo o país. No mesmo período, o setor privado esteve envolvido na construção de centrais hidroelétricas. Com a lei promulgada em 1984, a participação do setor privado na geração de energia elétrica foi incentivada, através do modelo Construir-Operar-Transferir-Modelo.



Figura 73: Energia hidroelétrica na Turquia (2024).

Para regular o mercado da energia hidroelétrica, foi criada, em 2001, a Autoridade Reguladora do Mercado de Energia e as competências de geração, transmissão e distribuição de eletricidade foram transferidas para esta instituição. Após 2003, foi publicado o "Regulamento do Uso da Água" para incentivar os investimentos do setor privado, e a Lei das Energias Renováveis foi promulgada em 2005. Com a regulamentação publicada em 2011, a instalação de micro e mini centrais hidroelétricas de pequena escala foi facilitada. A Turquia tem capacidade para construir todos os tipos de centrais hidroelétricas em termos de tecnologia. Um dos melhores exemplos disto é a Barragem e Central Hidroelétrica de Atatürk, que foram construídas em grande parte por empresas nacionais.

A Turquia tem a tecnologia e o potencial de investidores necessários para a instalação de centrais hidroelétricas de pequena e média dimensão. Em comparação com as centrais hidroelétricas de grande dimensão, as pequenas centrais hidroelétricas, que podem ser construídos mais rapidamente e têm menos exigências legais e financeiras, estão a atrair mais atenção do sector privado. Atualmente, o número de centrais hidroelétricas construídas pela

iniciativa privada, no âmbito da Lei do Mercado Elétrico nº 4628, é de aproximadamente 1595. No entanto, o aumento dos investimentos do setor privado também trouxe alguns problemas. A transferência descontrolada de muitos ribeiros para o sector privado através de "Acordos de Direitos de Utilização de Água" criou riscos que podem levar à deterioração da qualidade da água e ao aumento dos preços da água. Assim, é importante desenvolver políticas mais equilibradas na utilização da energia hidroelétrica, considerando a sustentabilidade e o interesse público.

No final de 2024, a capacidade instalada total da Turquia atingiu 115.975 MW, dos quais 32.203 MW provêm de centrais hidroelétricas. Este valor corresponde a aproximadamente 27,8% da capacidade total instalada. O número de centrais hidroelétricas também chama a atenção. No final de dezembro de 2024, existiam um total de 784 centrais hidroelétricas na Turquia, sendo 617 delas do tipo fluvial e 147 do tipo barragem

6.3.3.2. Energia Hidroelétrica na Grécia

O terreno montanhoso e os numerosos rios da Grécia criam condições ideais para a exploração de energia hidroelétrica. Com um potencial anual estimado de 80 TWh, o país utiliza recursos hídricos há muito tempo, tendo iniciado o desenvolvimento da energia hidroelétrica moderna no princípio do século XX. Em 2023, a energia hidroelétrica representava 13% da capacidade instalada da Grécia e 10% da geração total de energia, atingindo os 3.427 MW. Apesar do seu potencial, a geração de energia varia devido às flutuações sazonais e climáticas, incluindo secas e chuvas irregulares. A Grécia tem feito grandes progressos no desenvolvimento da energia hidroelétrica ao longo dos anos. A criação da Public Power Corporation (PPC), na década de 1950, desempenhou um papel fundamental na expansão do sector energético do país, com a energia hidroelétrica no centro deste crescimento. Nas décadas seguintes, a Grécia continuou a investir nas energias renováveis, sendo a energia hidroelétrica um importante contribuinte para o cabaz energético<sup>105</sup>. No entanto, à medida que a procura de energia cresceu, as fontes de energia do país diversificaram-se, aumentando a sua dependência do gás natural e expandindo-se para a energia eólica e solar.

Country	Electricity Generation			Main Energy Source
	Hydro [GWh]	Total [GWh]	Hydro/Total %	
European Union (28)	38,018	3,253,125	12%	Nuclear, Coal, Gas
Albania	7782	7782	100%	Hydro
Norway	144,005	149,333	96%	Hydro
Iceland	13,471	1855	73%	Hydro
Austria	42,919	68,336	63%	Hydro
Switzerland	36,689	63,172	58%	Hydro, Nuclear
Sweden	62,137	156,01	40%	Nuclear, Hydro
North Macedonia	1897	5629	34%	Coal, Hydro
Bosnia and Herzegovina	5641	17,767	32%	Coal, Hydro
Serbia	11,521	39,342	29%	Coal, Hydro
Portugal	16,909	60,28	28%	Hydro, Coal, Gas, Wind
Romania	18,536	65,103	28%	Hydro, Coal, Nuclear, Gas
Turkey	67,231	273,695	25%	Coal, Gas, Hydro
Slovak Republic	4606	26,934	17%	Nuclear, Hydro, Coal
Russia	18,664	1,090,973	17%	Gas, Nuclear, Coal, Hydro
Spain	39,865	274,671	15%	Nuclear, Gas, Wind
Italy	44,257	289,032	15%	Gas, Hydro, Coal
France	64,889	555,621	12%	Nuclear
Greece	5565	54,438	10%	Coal, Gas
Bulgaria	4568	45,243	10%	Coal, Nuclear
Ukraine	9304	164,494	6%	Nuclear, Coal
Germany	26,135	647,231	4%	Coal, Gas, Nuclear, Wind
United Kingdom	8354	339,399	2%	Gas, Nuclear
Poland	2322	166,568	2%	Coal
Hungary	259	37,781	1%	Nuclear

Figura 74: Energia hidroelétrica na Grécia<sup>105</sup>.

Nos últimos anos, a Grécia tem promovido a energia hidroelétrica de pequena e média escala para aumentar a segurança energética. A liberalização do mercado e a regulação interna impulsionou o investimento privado, especialmente em regiões montanhosas remotas. No entanto, ainda existem preocupações sobre o impacto ambiental, nos ecossistemas fluviais, na biodiversidade e nas comunidades locais. Em 2024, a

capacidade instalada da Grécia era de 18.000 MW, com a energia hidroelétrica a contribuir com 3.427 MW, gerados em cerca de 250 centrais. Embora a energia hidroelétrica continue a ser



importante, o governo pretende equilibrar o crescimento energético com a sustentabilidade ambiental, gerindo os recursos de modo a satisfazer as exigências futuras e, ao mesmo tempo, proteger os sistemas hídricos

### 6.3.3.3. Energia Hidroelétrica em Portugal

Em Portugal, como na maioria dos países, são utilizadas, desde há milhares de anos, pequenas estruturas hidroelétricas para transformar o movimento da água ou a sua energia potencial em energia útil.

A construção de grandes barragens para controlar os fluxos de água e/ou para a geração hidroelétrica de eletricidade começou no final do século XIX, mas tornou-se significativa em meados do século XX. Em 2007, Portugal lançou o Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroelétrico (PNBEPH), que levou a um aumento substancial da capacidade instalada do país.

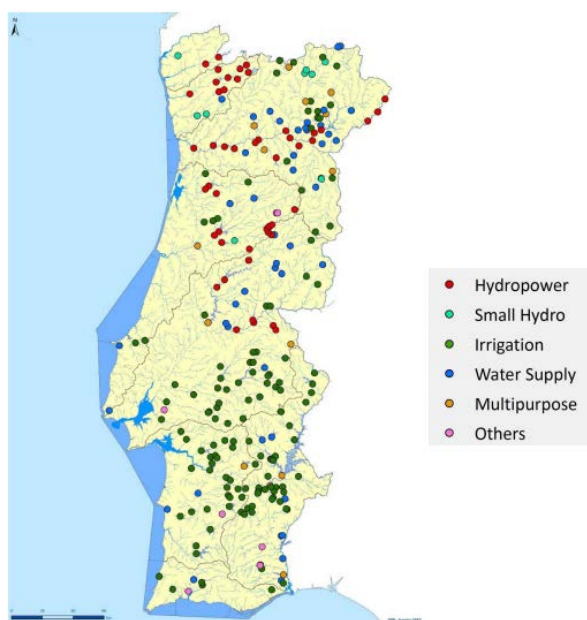


Figura 75: Energia Hidroelétrica em Portugal (2024).

Embora o país tenha 260 grandes barragens (com mais de 15 m de altura ou com 10-15 m de altura e 1 hm<sup>3</sup> de capacidade), a maioria delas é destinada à agricultura, à regulação da água e a outras atividades. Atualmente, Portugal possui 42 centrais hidroelétricas (> 10 MW) e cerca de 8,2 GW de capacidade instalada total, dos quais cerca de um terço se devem a sistemas de bombagem.

Devido às fortes assimetrias na orografia e nos padrões de precipitação entre o Norte e o Sul de Portugal, as barragens para aproveitamento hidroelétrico localizam-se sobretudo no norte do país. Com o crescimento explosivo de outras formas de energias renováveis, em Portugal, nas últimas duas décadas, as centrais hidroelétricas ganharam ainda mais importância, uma vez que contribuem para a estabilização da rede elétrica, em particular após o encerramento de todas as centrais elétricas a carvão no país.

Embora a contribuição total da energia hidroelétrica para o fornecimento de eletricidade ao país dependa, em cada ano, das condições meteorológicas, representa cerca de 30% de toda a eletricidade utilizada em Portugal.

Uma das maiores barragens de Portugal é a barragem do Alqueva (figura), construída no rio Guadiana e inaugurada em 2004. Deu origem ao maior lago artificial da Europa e permite a irrigação de imensas áreas agrícolas no sul de Portugal. Possui uma potência hidroelétrica instalada de 240 MW.

A maior central hidroelétrica de Portugal é a barragem de Gouvães, no rio Torno, na bacia do rio Douro, com 880 MW de capacidade instalada.



Figura 76: Barragem de Alqueva, Portugal. É uma das maiores barragens da Europa, gerando energia hidroelétrica e apoiando a irrigação

#### **6.3.3.4. Energia Hidroelétrica na Macedónia do Norte**

O terreno montanhoso e os rios da Macedónia do Norte apresentam um forte potencial para exploração da energia hidroelétrica, estimando-se a disponibilidade de um potencial teórico de 8.863 TWh anuais. No entanto, a geração atual é de cerca de 1,2 TWh, destacando uma capacidade significativa não explorada. O desenvolvimento da energia hidroelétrica na Macedónia do Norte inclui o Sistema Hidroelétrico de Mavrovo, um dos maiores do país. É composto por três centrais — Vrutok, Vrben e Raven — com uma capacidade combinada de 200 MW e uma geração anual de cerca de 445 GWh. Outra instalação importante é a Central Hidroelétrica de Tikveš, no Rio Crna. Em funcionamento desde 1968, tem uma capacidade de 113 MW e desempenha um papel significativo na geração de energia hidroelétrica no país.



Figura 77: Principais centrais hidroelétricas na Macedônia do Norte, nomeadamente Tikveš, Vrutok e Globočica<sup>106</sup>.

A Macedônia do Norte está a modernizar a sua infraestrutura hidroelétrica, com recurso a 36,2 milhões de euros resultantes de acordos de financiamento, assinados em fevereiro de 2023, para a reabilitação de seis grandes centrais elétricas: Vrutok, Vrben, Raven, Tikveš, Globočica e Špilje<sup>106</sup>. Estas centrais representam cerca de 85% da capacidade hidroelétrica do país e contribuem com 20% da geração total de eletricidade. O governo atribuiu também uma concessão para a Central Hidroelétrica de Čebren, uma instalação de armazenamento bombeado de 333 MW no rio Crna. Este projeto visa aumentar a capacidade de energia renovável e melhorar a flexibilidade de armazenamento e distribuição de energia. Desde 2010, mais de 100 pequenas centrais hidroelétricas entraram em funcionamento na Macedônia do Norte, realçando o empenho do país em diversificar as suas fontes de energia renovável.

O governo está a incentivar investimentos no sector energético, particularmente na projeção, construção e exploração de novas centrais hidroelétricas. Esta estratégia suporta a estratégia da Macedônia do Norte de melhorar a segurança energética, reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e atingir as metas de energias renováveis. Concluindo, a energia hidroelétrica é um elemento-chave da estratégia energética da Macedônia do Norte. Ao modernizar as instalações existentes e ao desenvolver novos projetos, o país procura explorar plenamente o seu potencial hidroelétrico, garantindo um futuro energético sustentável e resiliente.

#### 6.3.4. Impactos Positivos e Negativos do Uso de Energia Hidroelétrica

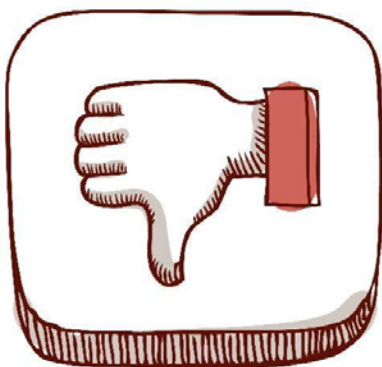
Uma das maiores vantagens das centrais hidroelétricas é que, contrariamente ao que acontece nas centrais termoelétricas alimentadas a combustíveis fósseis, não produzem nem emitem gases poluentes para a atmosfera. As centrais hidroelétricas estão entre as fontes de energia limpa porque não libertam resíduos ou gases nocivos durante o seu funcionamento<sup>107</sup>. As centrais hidroelétricas apresentam algumas vantagens:



### Vantagens

- A água necessária para a agricultura pode ser disponibilizada,
- As inundações podem ser evitadas,
- Os recursos hídricos podem ser geridos de forma mais eficiente,
- A qualidade da água na região pode ser melhorada,
- Podem ser criados lagos e reservatórios de água agradáveis.

No entanto, as centrais hidroelétricas também têm alguns efeitos ambientais negativos. A construção de barragens pode provocar alterações nos ecossistemas, através da inundação de grandes áreas. Isto pode afetar a vegetação e a vida animal na área. Além disso, podem ter outras desvantagens:



### Desvantagens

- As barragens de grande escala podem alterar o clima da região e provocar microclimas,
- A alteração da direção dos cursos de água pode reduzir a produtividade das terras agrícolas,
- Pode provocar problemas como a erosão costeira e o esgotamento dos recursos hídricos.

Por estas razões, as pequenas centrais hidroelétricas são mais amigas do ambiente e tornaram-se mais preferidas do que as grandes centrais hidroelétricas. As pequenas centrais hidroelétricas têm diversas vantagens:



- Tem custos de investimento mais baixos,
- Podem ser construídas em pouco tempo,
- Têm menores custos de manutenção e operação,
- Têm um impacto ambiental limitado em comparação com as grandes centrais hidroelétricas,
- Contribuem para a economia local ao satisfazer as necessidades de eletricidade nas zonas rurais.

Apesar das suas importantes vantagens, as centrais hidroelétricas também podem ter efeitos negativos no ecossistema. Assim, é de grande importância que os projetos sejam concebidos e implementados de forma a não



## 6.4. Energia Geotérmica

A designação “energia geotérmica” deriva das palavras gregas geo (solo) e therme (calor) que significa "calor do solo"<sup>108</sup>. A fonte da energia geotérmica é a água quente, o vapor ou os fluidos minerais, formados pelo efeito das altas temperaturas, nas camadas internas da Terra, a diferentes profundidades da crosta terrestre<sup>73</sup>. Existem temperaturas muito elevadas no interior da Terra, especialmente na camada magmática.

Graças à condução de calor, a temperatura aumenta à medida que nos aproximamos das camadas mais profundas da crosta terrestre. Esta fonte natural de calor faz com que a água subterrânea aqueça e se formem várias áreas geotérmicas. A energia geotérmica é gerada, direta ou indiretamente, através da utilização de água quente ou vapor, proveniente do interior da Terra, originando fontes geotérmicas. As rochas quentes e secas que se encontram a temperatura elevadas têm também sido avaliadas quanto à possibilidade de gerarem energia. Para garantir a sustentabilidade dos sistemas geotérmicos a longo prazo, utiliza-se um processo denominado reinjeção. Neste processo, a água ou o vapor extraído do subsolo a elevadas temperaturas são bombeados de volta para o subsolo, depois de terem arrefecido, e, assim, o ciclo natural é mantido. A energia geotérmica é amplamente utilizada em sistemas de aquecimento direto, processos industriais e geração de eletricidade<sup>24,109</sup>.

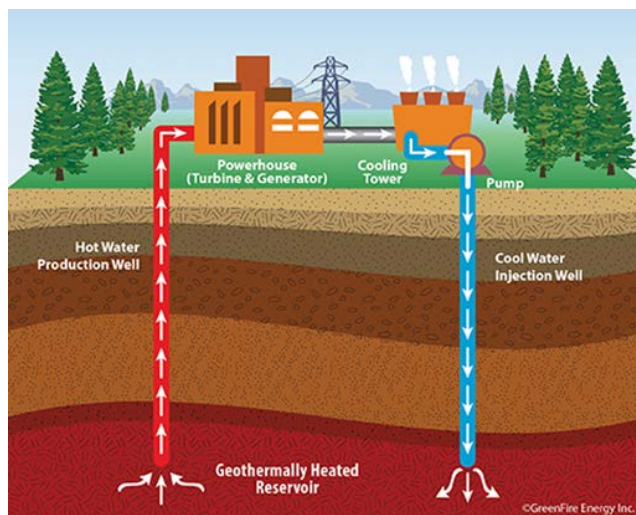


Figura 78: As centrais geotérmicas extraem calor de reservatórios subterrâneos, utilizando água quente ou vapor que sobe até à superfície da Terra, para gerar eletricidade e reinjetando a água arrefecida para sustentar o ciclo geotérmico<sup>108</sup>.



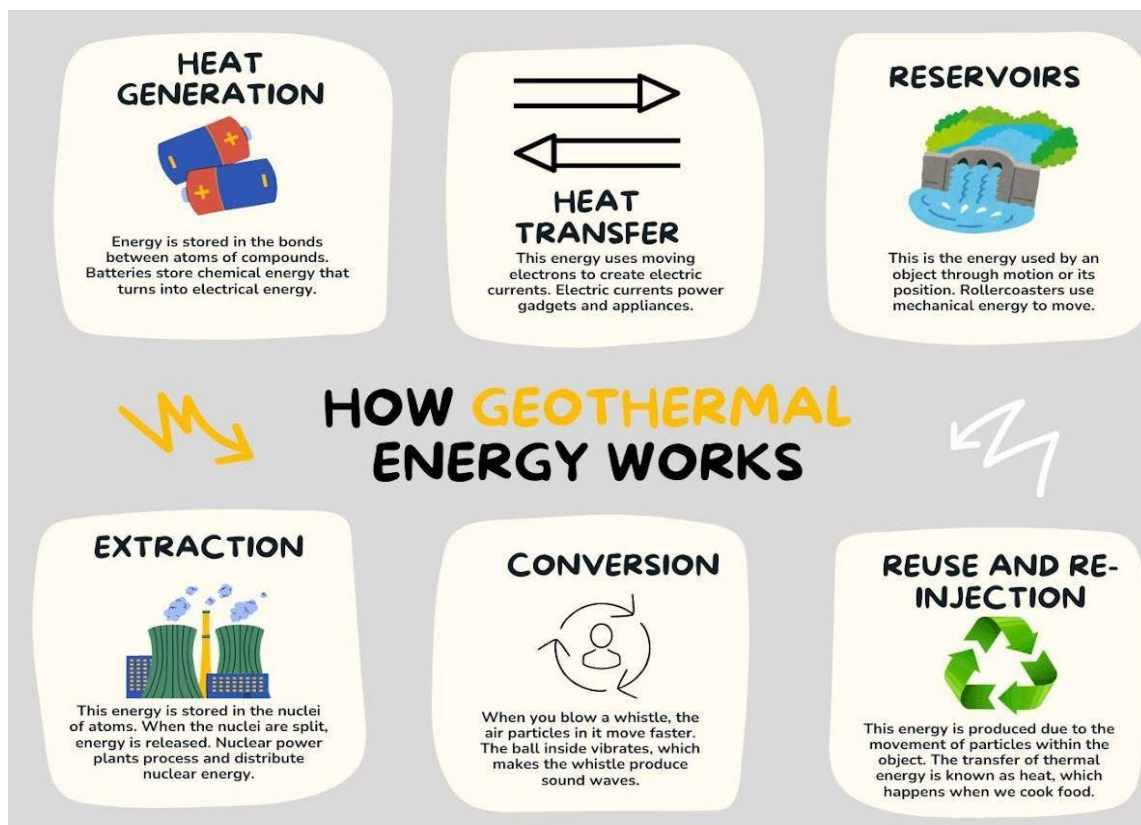


Figura 79: Esta infografia explica o funcionamento da energia geotérmica, desde a extração de calor até à conversão, reutilização e reinjeção, destacando a sua natureza sustentável e renovável<sup>109</sup>.

#### 6.4.1. A Energia Geotérmica no Mundo

Existem muitas áreas geotérmicas em todo o mundo e estas áreas são chamadas de zonas geotérmicas. As zonas geotérmicas estão geralmente localizadas em áreas onde os movimentos tectónicos são intensos e a atividade vulcânica ocorre com frequência<sup>110</sup>. As zonas geotérmicas mais importantes são:



Figura 80: A energia geotérmica é gerada em zonas vulcânicas e tectónicas em todo o mundo, existindo grandes centrais nos EUA, Indonésia e Filipinas.

- **Cintura Vulcânica dos Andes:** Argentina, Chile, Bolívia, Peru, Equador, Colômbia e Venezuela
- **Cintura Alpino-Himalaia:** Tailândia, Birmânia, China, Tibete, Índia, Paquistão, Irão, Turquia, Grécia, Iugoslávia e Itália
- **Sistema de Rift da África Oriental:** Djibouti, Etiópia, Quênia, Uganda, Tanzânia, Malawi e Zâmbia
- **Cintura da América Central:** Panamá, Costa Rica, Nicarágua, El Salvador e Guatemala

A energia geotérmica tem sido utilizada desde os primórdios da história da humanidade. Durante o período romano antigo, os recursos geotérmicos eram utilizados em balneários e sistemas de aquecimento<sup>110</sup>. A primeira utilização de energia geotérmica na geração de eletricidade ocorreu em Itália, em 1904. A primeira central geotérmica comercial do mundo foi estabelecida também em Itália em 1911. Passado bastante tempo, em 1958, a segunda central geotérmica industrial foi colocada em funcionamento na Nova Zelândia.

Desde a década de 1950 até à década de 2000, a geração de eletricidade a partir de energia geotérmica aumentou 17% e a utilização térmica (aquecimento) 87%. Atualmente, a avaliação dos recursos de energia geotérmica está a tornar-se cada vez mais generalizada e muitos países estão a tentar utilizar esta fonte de energia limpa e renovável, de forma mais eficaz.

Em 2024, a capacidade global de geração de energia geotérmica atingiu um total de 16.873 MW. Esta capacidade foi conseguida com a contribuição de 35 países. Com a entrada em funcionamento de 14 novas instalações e a expansão das capacidades existentes durante esse ano, foi alcançado um aumento total de 389 MW. Os 10 maiores países em termos de capacidade instalada de energia geotérmica são os Estados Unidos (3.937 MW), a Indonésia (2.653 MW), as Filipinas (1.984 MW), a Turquia (1.734 MW), a Nova Zelândia (1.207 MW), o Quênia (985 MW), o México (976 MW), a Itália (944 MW), a Islândia (755 MW) e o Japão (740 MW).

## **6.4.2. Energia Geotérmica nos Países Parceiros**

### **6.4.2.1. Energia Geotérmica na Turquia**

A Turquia é um país rico em recursos geotérmicos, pois está localizado na cintura alpino-himalaica. O potencial geotérmico total do país está estimado em aproximadamente 62.000 MW. Deste potencial, 31.500 MW são adequados para utilização direta e 1.734 MW para a geração de eletricidade. Com este potencial, a Turquia ocupa o primeiro lugar na Europa e o quarto no mundo.

A primeira utilização de energia térmica proveniente de recursos geotérmicos, na Turquia, começou em 1964 com o aquecimento do Park Hotel, em Balıkesir-Gönen<sup>111</sup>. Atualmente, quase 15 mil casas em Izmir são aquecidas com energia geotérmica. Após o ano 2000, os estudos sobre a energia geotérmica, na Turquia, aumentaram e as áreas de utilização direta, como o turismo termal, a agricultura em estufas e o aquecimento central das casas, espalharam-se pelo país.

Existem cerca de 1.000 recursos geotérmicos na Turquia, e 11 regiões que se destacam por serem consideradas eficientes em termos de geração de eletricidade:

- **Aydın-Germencik** (232 °C)
- **Manisa-Salihli Göbekli** (182 °C)
- **Çanakkale-Tuzla** (174 °C)
- **Aydın-Salavatlı** (171 °C)
- **Kütahya-Simav** (162 °C)
- **İzmir-Seferihisar** (153 °C)
- **Manisa-Salihli Caferbey** (150 °C)
- **Aydın-Yılmazköy** (142 °C)
- **İzmir-Balçova** (136 °C)

- İzmir-Dikili (130 °C)



Figura 81: A Turquia ocupa o 4.º lugar a nível global na eletricidade geotérmica, com uma capacidade de 1.734 MW, concentrada principalmente na região do Mar Egeu.

A Turquia tem um potencial significativo em energia geotérmica, estando em 4.º lugar, a nível mundial, com uma capacidade instalada de 1.734 MW, em 2024. Existem aproximadamente 1.000 recursos geotérmicos no país sob a forma de saídas naturais a diferentes temperaturas, e o potencial geotérmico total conhecido está calculado em 62.000 MW. A Turquia pretende aumentar a quota da energia geotérmica, na sua capacidade total de energia elétrica instalada, para 8%, até 2053, e responder a toda a utilização de aquecimento residencial com energia geotérmica.

#### 6.4.2.2. Energia Geotérmica na Grécia

A Grécia, localizada na Cintura Vulcânica do Mediterrâneo, é rica em recursos geotérmicos, tendo um potencial geotérmico total estimado de cerca de 5.000 MW. Estes recursos estão concentrados em áreas com atividade vulcânica e movimento tectónico, como as Ilhas do Mar Egeu e partes do continente. Apesar deste potencial considerável, a Grécia não explorou totalmente os seus recursos geotérmicos em comparação com outros países com condições geológicas semelhantes<sup>112</sup>. A utilização de energia geotérmica na Grécia começou na década de 1980, com o estabelecimento de sistemas de aquecimento urbano, em áreas como a Ilha de Lesbos e Agios Nikolaos em Creta<sup>113</sup>. Ao longo dos anos, as aplicações geotérmicas expandiram-se para incluir o aquecimento residencial, os processos agrícolas (como o cultivo em estufa) e o turismo termal. Atualmente, a Grécia tem cerca de 50 campos geotérmicos conhecidos, com recursos significativos em ilhas como Milos, Nisyros e Santorini, bem como nas partes norte e central do continente. É de destacar que o campo da Ilha de Milos pode atingir temperaturas até 300 °C, enquanto o campo de Nisyros é um recurso importante tanto para aplicações de utilização direta como para a potencial geração de eletricidade. Em 2023, a capacidade geotérmica instalada da Grécia era de aproximadamente 160 MW, sendo a maior parte utilizada para aplicações diretas, como o aquecimento. Embora a Grécia seja líder na utilização direta de energia geotérmica na Europa, a sua capacidade de geração de eletricidade

a partir da energia geotérmica continua a ser limitada. No entanto, o país está a explorar ativamente o potencial para geração de eletricidade geotérmica, especialmente em campos geotérmicos de alta temperatura. O governo grego identificou a energia geotérmica como uma componente essencial da sua estratégia de energia renovável e pretende aumentar significativamente a sua contribuição para a matriz energética nacional. Esta iniciativa inclui planos para novas centrais geotérmicas e a expansão da infraestrutura de aquecimento geotérmico.

Até 2030, a Grécia pretende aumentar a quota de energia geotérmica na sua capacidade energética global, contribuindo para a descarbonização do seu sector energético e reforçando a segurança energética. Apesar do potencial geotérmico substancial, ainda existe um espaço considerável para o crescimento no aproveitamento da energia geotérmica para geração de eletricidade, e o país está a trabalhar para utilizar melhor este recurso, como forma de contribuir para o seu futuro energético sustentável.



Figura 82: A Grécia tem cerca de 5.000 MW de potencial geotérmico, com 160 MW instalados, principalmente para aquecimento, enquanto explora projetos de geração de eletricidade.

#### **6.4.2.3. Energia Geotérmica em Portugal**

Em Portugal continental, a energia geotérmica encontra-se amplamente distribuída, sendo utilizada principalmente em aplicações de baixa entalpia ( $<150^{\circ}\text{C}$ ), incluindo balneoterapia, aquecimento de espaços e estufas, secagem de madeira, frutas, legumes e aquacultura. No entanto, o arquipélago dos Açores, um conjunto de nove ilhas vulcânicas, é a área onde a energia geotérmica está mais desenvolvida, devido à sua origem vulcânica e localização num limite de placas tectónicas, que proporcionam um grande potencial geotérmico.



A Ilha de São Miguel é particularmente famosa pela utilização de energia geotérmica em atividades locais, como a confeção de um prato tradicional, o "Cozido das Furnas", em buracos aquecidos geotermicamente. Para além das atividades de lazer, a energia geotérmica é também empregue para fins comerciais. As centrais geotérmicas das ilhas de São Miguel e Terceira são responsáveis por cerca de 25% da eletricidade utilizada no arquipélago.



Figura 83: Em Portugal, a energia geotérmica é utilizada principalmente para aquecimento, no continente, enquanto nos Açores fornece 25% da eletricidade utilizada nas ilhas.

A primeira central geotérmica experimental foi construída em 1980 no Pico Vermelho, na Ilha de S. Miguel. As maiores centrais geotérmicas são as do Pico Vermelho (13 MW), Ribeira Grande (16,6 MW) e Pico Alto (4,7 MW), na Ilha Terceira. Existe um projeto de expansão, em curso no Pico Vermelho, para duplicar a sua capacidade para 24 MW, explorando novas fontes geotérmicas.

O governo português introduziu um "Plano Estratégico para a Energia Geotérmica", com o objetivo de aumentar dez vezes o número de sistemas geotérmicos no continente, até 2033, e quintuplicar a quantidade de energia geotérmica extraída até então.

#### **6.4.2.4. Energia Geotérmica na Macedónia do Norte**

A Macedónia do Norte, localizada ao longo da zona geotérmica que se estende desde a Hungria, passando por Itália, até à Grécia, tem um potencial geotérmico significativo, especialmente com os seus sistemas de baixa temperatura. Os recursos de média e alta temperatura permanecem em grande parte inexplorados. Historicamente, o país utiliza energia geotérmica para aquecimento urbano, agricultura em estufas e turismo termal. Por exemplo, o Vale de Kočani, conhecido pelas suas fontes termais com temperaturas da água que variam entre os 70 e os 80 °C, sustenta a agricultura e o aquecimento locais. No entanto, o desenvolvimento da energia geotérmica estagnou nas últimas três décadas devido à falta de investimento e às disputas sobre os direitos de propriedade dos recursos geotérmicos. A energia geotérmica na Macedónia do Norte tem o potencial de contribuir com aproximadamente 10 MW para o cabaz energético nacional, mas este potencial está em grande parte inexplorado, com a maioria das utilizações atuais focadas em aplicações diretas em vez da geração de electricidade<sup>114,115</sup>.





Figura 84: A Macedónia do Norte possui ricos recursos geotérmicos de baixa temperatura, utilizados principalmente para aquecimento, agricultura e turismo termal, mas a produção de eletricidade continua por explorar<sup>115</sup>.

A subutilização da energia geotérmica na Macedónia do Norte representa uma oportunidade valiosa para diversificar as fontes de energia do país e melhorar a segurança energética. Com investimentos na exploração e desenvolvimento dos recursos geotérmicos, a Macedónia do Norte poderia reduzir a sua dependência dos combustíveis fósseis e adotar práticas energéticas mais sustentáveis. Além disso, revitalizar o setor do turismo termal, que enfrentou um declínio devido à falta de investimento, poderá impulsionar o crescimento económico e atrair visitantes internacionais.

Concluindo, embora a Macedónia do Norte tenha um potencial geotérmico considerável, o aproveitamento desse potencial requer investimentos estratégicos, apoio político e avanços tecnológicos. Ao enfrentar estes desafios, o país pode utilizar eficazmente a energia geotérmica para aquecimento, agricultura e, possivelmente, geração de eletricidade, abrindo caminho para um futuro energético mais sustentável e diversificado.

### 6.4.3. Impactos Positivos e Negativos da Energia Geotérmica

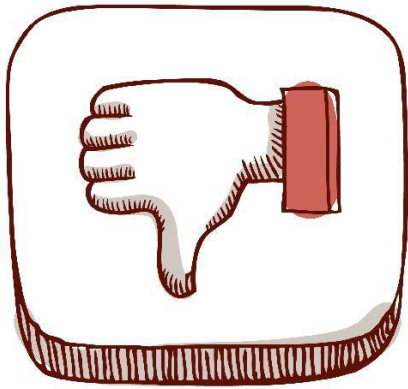
A energia geotérmica é considerada uma fonte de energia sustentável e renovável, através do método de reinjeção. No entanto, tem vantagens e desvantagens significativas<sup>116</sup>.

#### Vantagens



- Proporciona condições adequadas para exploração termal e é uma fonte de energia limpa.
- É uma fonte que reduz a dependência externa de energia.
- Tem menor custo do que as fontes de energia convencionais e está pronta a usar.
- É fácil criar instalações de geração de energia na região onde a fonte se encontra e estas necessitam de pouco espaço.

- É possível dispor de geração contínua de energia, independentemente das condições climáticas.
- Não existe risco de explosão ou incêndio.
- As emissões de gases com efeito de estufa provenientes das centrais geotérmicas são bastante baixas.



#### **Desvantagens**

- Os minerais contidos no fluido geotérmico podem causar poluição da água e do solo.
- Se não forem tomadas as devidas precauções, podem ocorrer problemas ambientais, como alterações de temperatura e ruído.
- Se os componentes químicos contidos no fluido geotérmico não forem geridos adequadamente, podem prejudicar o ambiente.
- A energia geotérmica é difícil de transportar a longas distâncias e, geralmente, só pode ser transmitida até um máximo de 100 km.

#### **6.4.4. Áreas de Utilização da Energia Geotérmica**

Os recursos geotérmicos dividem-se em três grupos, de acordo com a sua temperatura:

- Campos de baixa temperatura (20-70 °C)
- Campos de temperatura média (70-150 °C)
- Campos de alta temperatura (150 °C e acima)

Embora os recursos geotérmicos de baixa e média temperatura sejam geralmente utilizados para aplicações térmicas, os recursos de alta temperatura são utilizados de forma integrada para geração de eletricidade e para explorações termais. A geração de eletricidade também é possível a partir de fluidos de temperatura média.

### 6.4.5. Tipos de Utilização de Energia Geotérmica

As áreas de utilização de energia geotérmica são examinadas em dois grupos principais<sup>117</sup>:



Figura 85: A energia geotérmica é utilizada diretamente para aquecimento, agricultura e turismo, e indiretamente para geração de eletricidade, dependendo da temperatura da fonte<sup>117</sup>.

#### Uso Direto

- Sistemas de aquecimento central (aquecimento urbano, aquecimento de estufas, aquecimento residencial)
- Turismo termal (termas, centros termais, centros de cura sanitária)
- Secagem de produtos agrícolas
- Piscicultura em água quente
- Derretimento de neve e gelo (em estradas e aeroportos)
- Minérios e produção mineral

#### Uso Indireto

- Geração de energia elétrica

As áreas de utilização da energia geotérmica variam consoante a temperatura da fonte. Atualmente, os recursos geotérmicos são utilizados em

todo o mundo para fins de turismo termal. Fontes termais, centros de SPA, instalações de banho e natação estão entre as aplicações mais comuns<sup>118</sup>. Além disso, a energia geotérmica é utilizada para limpar a neve e o gelo das estradas e aeroportos de países como os EUA, Suíça, Japão, Islândia e Argentina. Os recursos geotérmicos são, também, utilizados na produção agrícola e em áreas industriais.

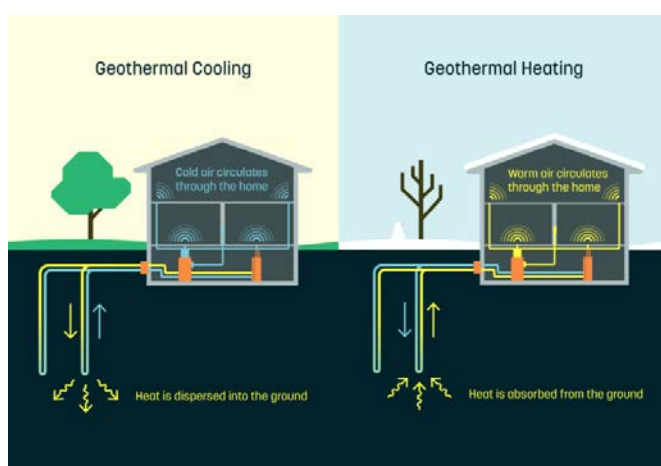


Figura 86: O aquecimento central geotérmico utiliza o calor subterrâneo para aquecer as casas de forma eficiente, com uma perda mínima de calor e sistemas de reinjeção sustentáveis.

### 6.4.6. Aplicações da Energia Geotérmica

#### 6.4.6.1 Aquecimento Residencial (Sistema de Aquecimento Central)

A energia geotérmica é muito utilizada para o aquecimento de habitações<sup>119</sup>. Dependendo das condições económicas, o fluido geotérmico é transportado para os edifícios, através de sistemas de aquecimento central. Quando transportado utilizando tubos especialmente isolados, a perda de temperatura é bastante baixa (aproximadamente 0,1-0,3°C/km). Nos sistemas de aquecimento central onde é

utilizado fluido geotérmico, a água quente ou o vapor extraído dos poços são transmitidos para o centro de aquecimento, através da linha principal. Aqui, o calor do fluido geotérmico é transferido para a água de circulação nos edifícios através de permutadores de calor. O fluido

geotérmico, cujo calor é retirado, é reinjetado no subsolo, garantindo uma utilização sustentável.

#### 6.4.6.2. Bomba de Calor da Terra e da Água

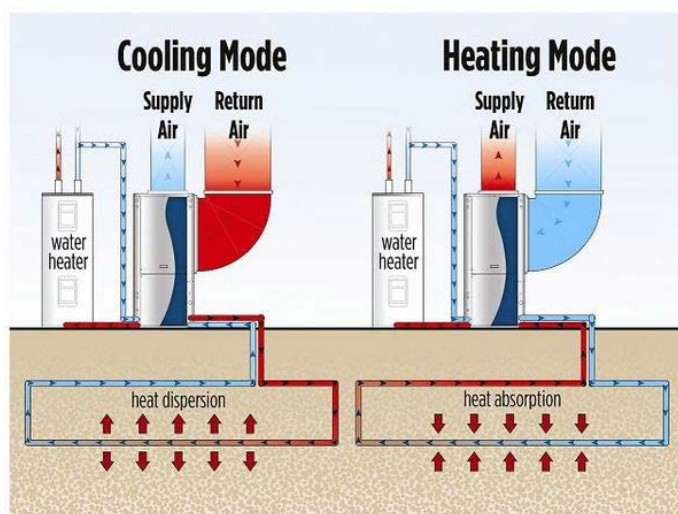


Figura 87: As bombas de calor tiram partido das temperaturas subterrâneas, estáveis, para um aquecimento e arrefecimento eficientes durante todo o ano<sup>120</sup>.

As bombas de calor geotérmicas baseiam-se no princípio de que a temperatura nas camadas inferiores da crosta terrestre é relativamente constante ao longo do ano<sup>120</sup>. Nessas bombas, um fluido geotérmico de baixa temperatura é utilizado como transportador de calor ou, em zonas com pouca água subterrânea, é utilizado o calor das rochas<sup>121</sup>. Para utilizar bombas de calor de fontes subterrâneas e hídricas, os poços são geralmente perfurados a uma profundidade de 100-200 metros. Estes sistemas são utilizados para vários fins, como o fornecimento de água quente e aquecimento e arrefecimento de ambientes. São especialmente preferidos para a poupança de energia em residências, edifícios comerciais e instalações industriais.

#### 6.4.6.3. Aquecimento de Estufas

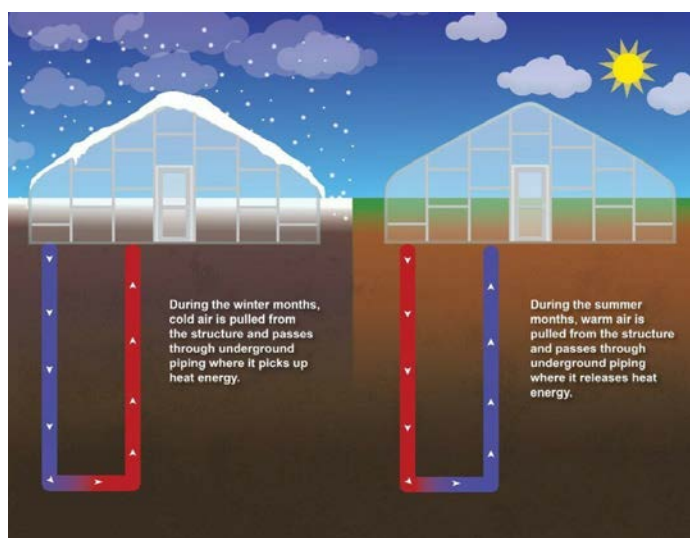


Figura 88: A energia geotérmica proporciona um aquecimento eficiente e ecológico às estufas, aumentando a produtividade das culturas durante todo o ano.

A energia geotérmica é um método muito utilizado para o aquecimento de estufas. Estes sistemas variam consoante a técnica de aquecimento utilizada<sup>122</sup>. As fontes mais adequadas para o aquecimento de estufas com energia geotérmica são as fontes geotérmicas superficiais e pouco profundas, com uma temperatura de 25-60°C. Estas fontes oferecem uma opção mais económica porque os seus custos de escavação, operação, bombagem e manutenção são mais baixos. O aquecimento geotérmico melhora o controlo da temperatura em estufas, aumenta a produtividade das plantas e proporciona benefícios ambientais ao reduzir a utilização de combustíveis fósseis.



#### 6.4.6.4. Geração de Eletricidade a partir de Energia Geotérmica

As centrais geotérmicas geram eletricidade utilizando turbinas a vapor, como nas centrais termoeletricas. Dependendo da temperatura e da composição do fluido geotérmico, a eletricidade é gerada através de três sistemas diferentes<sup>123</sup>:

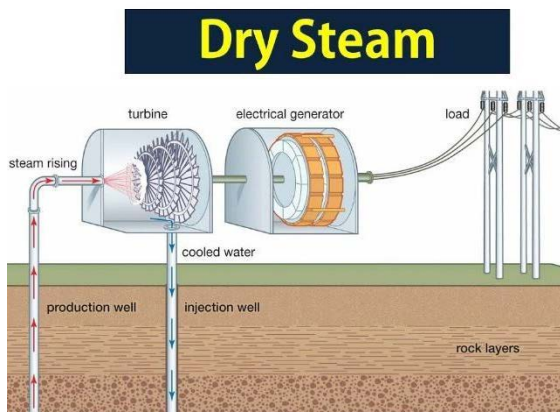


Figura 89: As centrais de energia a vapor seco utilizam vapor subterrâneo para acionar turbinas e gerar eletricidade.

**2. Centrais de energia a vapor instantâneo:** A pressão do fluido quente retirado da fonte é reduzida por separadores e a água e o vapor são separados. O vapor obtido é utilizado nas turbinas para gerar eletricidade, enquanto parte da água é enviada de volta para o subsolo<sup>123</sup>.

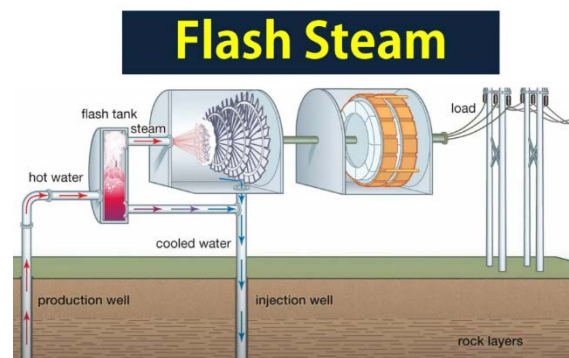


Figure 90: In flash steam systems, high-pressure hot water is depressurized to produce steam that drives the turbine.

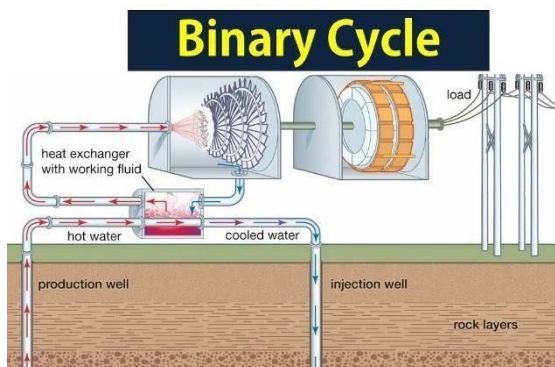


Figura 91: As centrais de ciclo binário transferem calor do fluido geotérmico para um fluido secundário com um ponto de ebulição mais baixo, que vaporiza e aciona uma turbina.

**3. Centrais de Ciclo Binário:** É um método utilizado para aproveitar recursos geotérmicos de baixa temperatura. Neste tipo de sistemas, o fluido geotérmico, quente, aquece um segundo fluido levando-o a vaporizar-se, após entrada em ebulição, sendo que o fluido vaporizado é utilizado nas turbinas<sup>123</sup>.



Nas centrais de energia a vapor seco, o fluido extraído do subsolo é uma mistura de vapor saturado e líquido. Se proporção de vapor for elevada, o vapor é separado e dirigido diretamente para as turbinas. Se a proporção de vapor for baixa, a pressão é reduzida (pelo método de pulverização) e parte do fluido é vaporizado, gerando eletricidade.



## 6.5. Energias Marítima e Oceânica



Figura 92: Os sistemas de energia oceânica aproveitam a energia das ondas, marés e correntes para gerar eletricidade, utilizando cabos subaquáticos para a entregar à costa<sup>125</sup>.

Existem vários métodos de geração de energia dos mares e oceanos<sup>124,125</sup>. Esses métodos são:

- Energia de evaporação superficial
- Energia atual
- Energia do Gradiente de Salinidade
- Energia do Gradiente de temperatura
- Energia das marés
- Energia das Ondas

No entanto, considerando a tecnologia e as condições económicas atuais, não é possível gerar energia de forma eficiente a partir de energias marinhas, para além da energia das ondas e das marés<sup>126</sup>. Assim sendo, entre as energias mar-oceânicas, as fontes de energia mais utilizadas são as ondas e as marés.



Figura 93: A Central Maremotriz de Rance, em França, com uma capacidade de 240 MW, é um dos primeiros e maiores projetos de energia maremotriz do mundo, operando com uma barragem de 750 metros.

### 6.5.1. Energias Marítima e Oceânica no Mundo

O uso das energias do mar e do oceano remonta aos tempos antigos. O primeiro moinho de marés que é conhecido foi utilizado pelos romanos em 537 d.C. As atuais centrais de energia das marés baseiam-se nos princípios da lei da gravitação, propostas por Newton no século XVII.

Para gerar eletricidade a partir do movimento das marés, são construídas estruturas de barragem em zonas onde a amplitude das marés é elevada. Um dos exemplos mais importantes deste sistema é a Central Maremotriz de Rance, em França. Esta central tem uma potência de 240 MW e uma barragem com 750 metros de comprimento.

Outra central elétrica de grande dimensão é a Central Elétrica do Lago Sihwa, na Coreia do Sul, de 254 MW, que foi concluída em 2011<sup>127</sup>. A ideia de utilizar a energia das ondas para gerar eletricidade tem vindo a ser discutida desde 1700. Entretanto, no século XX, a energia das ondas foi utilizada pela primeira vez na geração de eletricidade em São Francisco e na Califórnia, EUA.

A primeira central elétrica de grande capacidade do mundo construída com recurso a modernas tecnologias de energia das ondas fica na Ilha de Islay, na costa oeste da Escócia, com uma capacidade de 500 kW. Em 2023, a capacidade total instalada dos projetos globais de energia oceânica será de 527 MW. Aproximadamente 50% destes projetos estão na Ásia e 45% na Europa.



Figura 94: Localizada na Coreia do Sul, a Central Maremotriz do Lago Sihwa, concluída em 2011, é a maior instalação de energia maremotriz do mundo, com uma capacidade de 254 MW.

## 6.5.2. Energias Marítima e Oceânica nos Países Parceiros

### 6.5.2.1. Energias Marítima e Oceânica na Turquia

A Turquia tem um grande potencial em termos de energia marítima e oceânica. A energia das ondas, em particular, destaca-se como um recurso significativo no aumento da diversidade energética do país. De acordo com as medições efetuadas nos mares da Turquia, existe um potencial técnico anual de energia das ondas de aproximadamente 50 TWh. As regiões com maior potencial concentram-se especialmente no litoral entre Izmir e Antália. Por isso, as regiões entre Antália e Izmir (Finike-Dalaman) são consideradas os locais mais adequados para a geração de eletricidade a partir da energia das ondas. No entanto, também têm aumentado os estudos para a concretização de projetos de energia eólica offshore na Turquia.

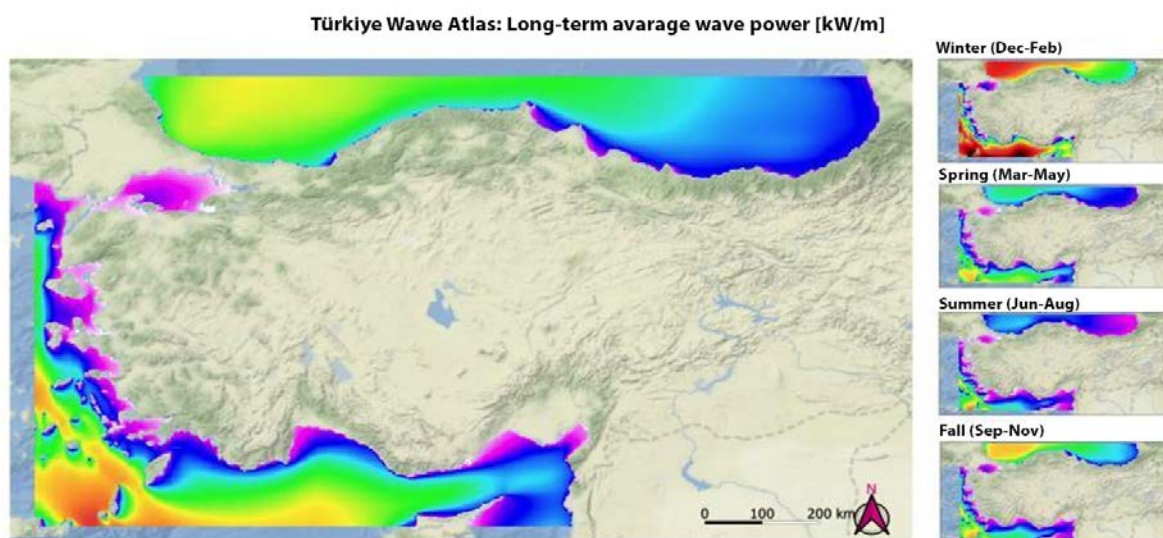


Figura 95: O potencial energético das ondas é maior entre Izmir e Antália.

De acordo com o relatório "Roteiro de Energia Eólica Offshore da Turquia", elaborado pelo Banco Mundial, existe um potencial técnico total de energia eólica offshore de 75 GW nas

águas territoriais da Turquia. O relatório prevê que 7 GW de capacidade de energia eólica offshore possam ser alcançados até 2040<sup>128</sup>. Embora os projetos comerciais relacionados com a energia marítima ainda sejam limitados na Turquia, vários projetos de investigação e experimentais estão a ser conduzidos a nível académico. Em particular, num projeto realizado pelo Ministério da Energia e Recursos Naturais, em 2007, sobre a energia das ondas, foram utilizadas barcaças onde o movimento vertical das ondas era convertido em energia elétrica por geradores, o que permitiu gerar 5 kWh de eletricidade com este sistema, suficiente para atender às necessidades energéticas de duas casas. Como resultado, vários estudos estão a ser conduzidos por instituições públicas e pelo setor privado para avaliar o potencial energético marítimo e oceânico da Turquia. O início dos estudos técnicos sobre projetos de energia eólica offshore, em particular em 2024, será um passo importante para diversificar os recursos de energia renovável do país e aumentar a segurança do fornecimento de energia.

#### **6.5.2.2. Energias Marítima e Oceânica na Grécia**

A Grécia tem um potencial significativo para desenvolver energia marítima e oceânica, especialmente no que respeita a energia das ondas e eólica offshore. A longa linha de costa do país e as condições geográficas favoráveis fazem dele um local ideal para projetos de energia renovável marítima. O potencial energético das ondas da Grécia é particularmente notável, com estudos a estimar um potencial técnico anual de cerca de 35 TWh. O Mar Egeu, especialmente em torno das Ilhas Cíclades e do sul do Peloponeso, oferece o maior potencial de energia das ondas, tornando estas áreas ideais para o desenvolvimento de energia das ondas, com vista a apoiar a geração de eletricidade e as metas de energia renovável da Grécia. A energia eólica offshore também está a captar cada vez mais atenção, com a Zona Económica Exclusiva (ZEE) da Grécia, nos mares Egeu e Jónico, a proporcionar excelentes condições para os parques eólicos. O Plano Nacional de Ação para a Energia Renovável estima o potencial eólico offshore do país em até 22 GW. Nos últimos anos, foram propostos vários projetos eólicos offshore, tendo o governo alocado áreas no Mar Egeu para o seu desenvolvimento. Estes projetos são essenciais para atingir as metas de energias renováveis da Grécia e melhorar a segurança energética. O governo introduziu também reformas regulamentares para agilizar a obtenção de licenças e atrair investimento privado em energia marítima.



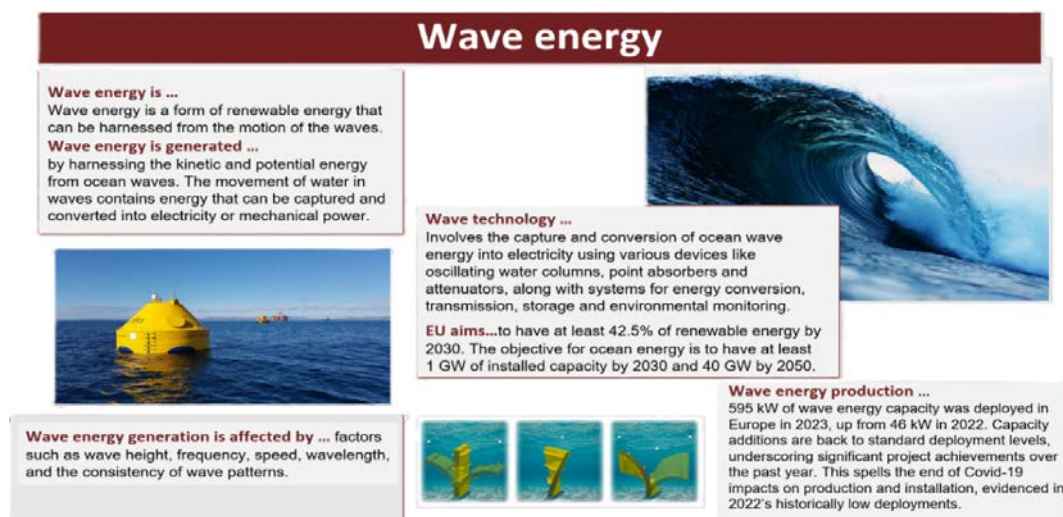


Figura 96: A Grécia tem um elevado potencial de energia das ondas, especialmente no Mar Egeu, e pretende expandir as energias renováveis marítimas, como a energia das ondas e a energia eólica offshore.

A Grécia ainda se encontra na fase inicial de desenvolvimento de projetos comerciais de energia marítima e oceânica, embora estejam em curso diversas pesquisas e iniciativas piloto. A participação do país em consórcios internacionais e projetos financiados pela UE está a promover a viabilidade tecnológica e económica da energia marítima. O Ministério do Ambiente e Energia está a apoiar estudos sobre os impactos ambientais e as inovações tecnológicas necessárias para o aproveitamento eficiente da energia eólica das ondas e do mar<sup>129</sup>. A Grécia planeia expandir significativamente a sua capacidade energética marítima nas próximas duas décadas, tornando-a uma parte crucial da transição do país para um sistema energético mais sustentável.

Concluindo, a Grécia está bem posicionada para alavancar o seu potencial energético marinho e oceânico, especialmente através da energia eólica marítima e das ondas. Com investigação contínua, apoio regulamentar e investimentos em tecnologia, espera-se que a Grécia se torne um ator fundamental no avanço da energia renovável marítima no Mediterrâneo, contribuindo para a sustentabilidade energética nacional e regional.

### 6.5.2.3. Energias Marítima e Oceânica em Portugal

Portugal explora a energia das ondas há mais de 50 anos, tendo sido iniciados trabalhos académicos pioneiros nessa área na década de 1970. Atualmente, os projetos estão limitados à energia das ondas para a geração de eletricidade, excluindo os parques eólicos offshore. O país beneficia da sua extensa costa ocidental de 800 km, que oferece condições favoráveis para o aproveitamento da energia das ondas. O projeto “Central do Pico”, em Porto Cachorro, Ilha do Pico, Açores, foi a primeira central de energia das ondas de investigação e demonstração do mundo que foi ligada à rede elétrica. Os estudos começaram em 1986 e entrou em funcionamento em 1999, utilizando a tecnologia de coluna de água oscilante e turbina, desenvolvida em Portugal. A central fechou em 2018, mas tem havido tentativas de a reativar desde então.

Portugal implementou também projetos de energia das ondas nas zonas norte (Aguçadoura) e centro (Peniche). Apesar do seu imenso potencial, o desenvolvimento da energia das ondas

enfrentou desafios tecnológicos e de manutenção, resultando numa capacidade limitada de energia instalada. Entre 2017 e 2019, foi instalado um sistema experimental de aproveitamento de correntes das marés, na costa sul, utilizando energia das correntes fluviais de um estuário, mas o potencial deste recurso é considerado baixo. O desenvolvimento da energia das ondas em Portugal faz parte de vários planos nacionais, entre os quais o Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC 2030), prevendo-se um crescimento significativo nos próximos anos<sup>130</sup>.



Figura 97: Portugal desenvolveu vários projetos de energia das ondas ao longo da sua costa, incluindo Aguçadoura, Peniche e Açores, contribuindo para a inovação em energias renováveis marinhas.

#### 6.5.2.4. Energias Marítima e Oceânica na Macedónia do Norte

Como a Macedónia do Norte é um país sem litoral, não tem acesso direto a fontes de energia marítima ou oceânica, como a energia das ondas, das marés ou a energia eólica offshore<sup>131</sup>. Como resultado, não existem atualmente projetos de energia marinha, iniciativas de investigação ou desenvolvimento de infraestruturas relacionadas com a energia marítima e oceânica no país. Os esforços de energia renovável do país estão focados em recursos hidroelétricos, solares, eólicos e geotérmicos.

Embora a Macedónia do Norte não possua características geográficas para explorar fontes de energia marítimas, está a desenvolver ativamente o seu sector de energias renováveis através de investimentos substanciais em energia eólica e solar. Estes esforços visam diversificar a matriz energética do país, aumentar a segurança energética e contribuir para a sustentabilidade ambiental.



### 6.5.3. Impactos Positivos e Negativos da Energia Marítima e do Oceânica

As energias do mar e dos oceanos destacam-se como fontes de energia sustentável e amiga do ambiente<sup>132</sup>. Estes tipos de energia são considerados recursos inesgotáveis graças à continuidade das ondas, enquanto o vento soprar, e dos movimentos das marés, enquanto existir a força gravitacional entre a Terra e a Lua. No entanto, estes sistemas apresentam algumas vantagens, bem como várias dificuldades e desvantagens.



#### Vantagens

- As ondas e as marés são fontes ilimitadas de energia fornecida pela natureza.
  - Como nestas energias não há utilização de combustíveis fósseis, as emissões de gases com efeito de estufa são próximas de zero.
  - As centrais elétricas marítimas contribuem positivamente para o aquecimento global, ao reduzirem as emissões de carbono.
  - Os sistemas de energia marítimos são geralmente estruturas duráveis, podendo ser utilizados durante muitos anos.
- As barragens de marés podem prevenir inundações, atuando como quebra-mares nas regiões onde se localizam.
  - Como são construídas no mar, as barragens de marés não têm impacto direto no ecossistema terrestre e protegem os terrenos agrícolas.
  - A energia marítima pode aumentar a segurança do fornecimento de energia, reduzindo a dependência externa.
  - Em redor de centrais elétricas marítimas podem ser construídas instalações turísticas.
  - Essas centrais podem atuar como uma lagoa e criar um ambiente adequado para a reprodução de determinadas espécies.
  - Devido às ondas intensas que se verificam nos meses de inverno, é possível gerar mais energia a partir de ondas durante os períodos em que a procura de energia aumenta.



#### Desvantagens

- Como os movimentos das ondas e das marés não são constantes, a geração de energia pode ser irregular.
  - As centrais de energia marítima têm custos de instalação mais elevados do que outras centrais de fontes de energia renovável.
  - As turbinas podem alterar as rotas de migração dos organismos marinhos e afetar negativamente os ecossistemas costeiros.
  - As instalações construídas perto da costa podem criar problemas estéticos e poluição sonora.
- As centrais elétricas construídas longe da costa podem afetar negativamente o tráfego de navios e a pesca.
  - Essas centrais podem bloquear o fluxo dos riachos para o mar e provocar a acumulação de água.

- As turbinas que giram na água podem representar um risco físico para os organismos marinhos.

#### 6.5.4. Energia das Ondas

A energia das ondas é renovável e resulta do movimento da água provocado pelo vento na superfície do mar e do oceano. As centrais de energia das ondas operam com sistemas colocados à superfície ou no fundo do mar. As turbinas que giram com o movimento das ondas geram eletricidade através de um gerador. Para além da geração de eletricidade, a energia das ondas também pode ser utilizada em diferentes áreas, como a produção de hidrogénio<sup>133</sup>.

Embora a utilização da energia das ondas seja limitada em todo o mundo, é considerada relevante principalmente pelos EUA, Portugal e alguns países europeus.

O movimento das ondas ocorre como resultado do atrito do vento com a superfície do mar. Foram desenvolvidos diferentes sistemas para gerar energia a partir deste movimento:

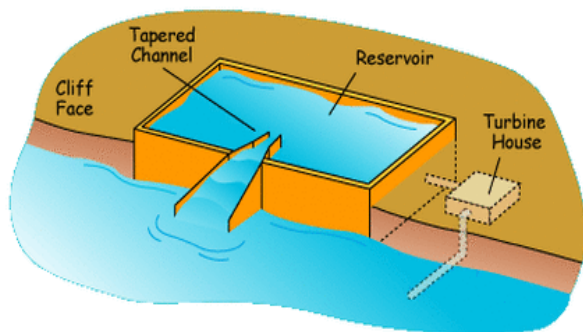


Figura 98: Sistemas de canais<sup>134</sup>.

- **Sistemas de Bombas Hidráulicas:** Sistemas flutuantes que funcionam com movimento ondulatório.

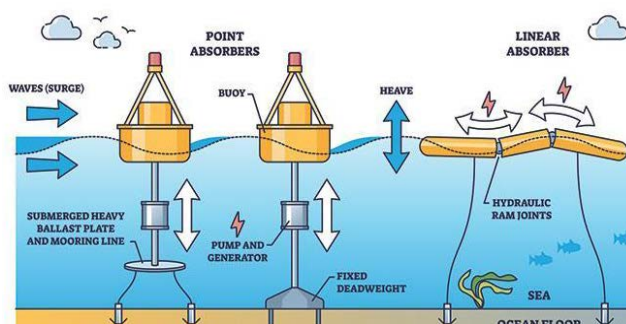


Figura 99: Sistema de bomba hidráulica.

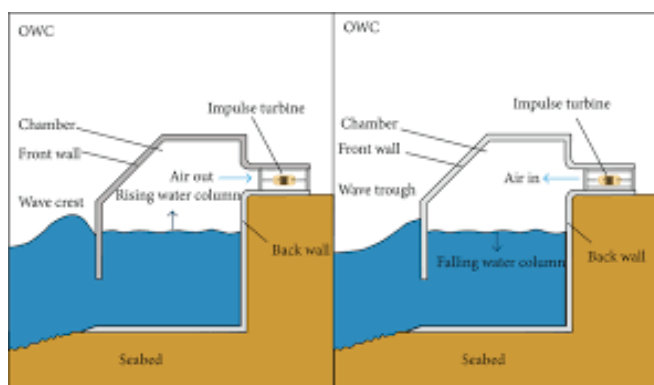


Figura 100: Sistemas de coluna de água oscilante (OWC)<sup>135</sup>.

- **Sistemas de Coluna de Água Oscilante (OWC):** São mecanismos que geram eletricidade através da compressão do hese are mechanisms that produce electricity by compressing ar<sup>135</sup>.

Estes sistemas convertem a energia das ondas em energia mecânica e, depois, em energia elétrica para utilização. Os sistemas de conversão de energia das ondas dividem-se em dois grupos principais:

1. **Sistemas ativos:** Geram energia mecânica diretamente, a partir do movimento das ondas. Exemplos: sistemas Duck e The Raft.
2. **Sistemas passivos:** Geram eletricidade convertendo a energia das ondas em elevação hidráulica e, depois, em energia potencial. Exemplos: Coluna de Água Oscilante (CAO) e TAPCHAN (sistema de canais encolhidos).

Os sistemas de energia das ondas devem ser concebidos considerando as condições da força das ondas nas áreas de instalação. Um sistema ideal deve ser resistente à direção das ondas, ter capacidade de armazenamento de energia a curto prazo e ser capaz de suportar alterações na geração de energia.



#### 6.5.4.1. Sistemas de Conversão de Energia das Ondas

Os sistemas de conversão de energia das ondas dividem-se em três grupos, de acordo com as suas áreas de instalação<sup>136</sup>:

##### 1. Sistemas instalados na orla:

São construídos fixos ou enterrados na costa.

Como a potência das ondas é menor na costa, a eficiência energética é baixa.

##### 2. Aplicações do tipo perto da orla:

Estão posicionados a profundidades de 15 a 25 metros.

Os sistemas de coluna de água oscilante (OWC) são amplamente utilizados.

##### 3. Aplicações do tipo offshore:

São instalados a profundidades de 40 metros ou mais.

São adequados para regimes de ondas altas.

Exigem longos cabos elétricos para transferir energia para a costa.

##### 4. Sistema Pelamis:

É um sistema que opera um gerador e gera eletricidade com o movimento do óleo hidráulico em cilindros hidráulicos

### 6.5.5. Energia das Marés

A subida e a descida periódica da água à superfície do mar e do oceano devido à atração gravitacional do Sol e da Lua é designada por maré. Quando este movimento periódico é utilizado para gerar eletricidade, obtém-se energia das marés<sup>137</sup>.



Figura 101: Os movimentos das marés são convertidos em energia elétrica através de turbinas, constituindo-se como fonte de energia renovável.

A eletricidade pode ser gerada utilizando a energia das marés de duas formas principais:



**1. Moinhos e corrente de maré:** Têm sido utilizados desde há séculos, na América do Norte e na Europa, para gerar energia mecânica. São sistemas geram energia diretamente do movimento da corrente<sup>137</sup>.

Figura 102: Os moinhos de corrente de maré convertem a energia cinética dos fluxos de maré em energia mecânica, historicamente utilizada para moer grãos.

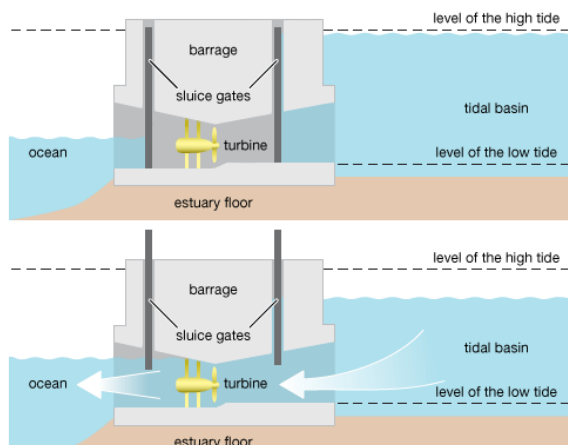


Figura 103: Uma barragem de marés utiliza comportas e turbinas para gerar eletricidade a partir da diferença dos níveis do mar durante as marés altas e baixas<sup>138</sup>.

**2. Barragens de maré:** São semelhantes às barragens nas centrais hidroelétricas. Quando o nível do mar sobe durante a maré, as comportas são abertas e a barragem é enchida com água<sup>138</sup>. Quando a maré baixa, o refluxo da água faz girar as turbinas e gera eletricidade.<sup>137</sup>

Com o desenvolvimento da tecnologia, começaram, também, a ser utilizadas turbinas de maré. Estas turbinas são colocadas entre a terra e uma ilha ou entre duas ilhas, em zonas onde as correntes de maré são fortes, e geram energia através do movimento da água. Estas turbinas colocadas debaixo do mar funcionam de forma semelhante às turbinas eólicas e convertem a energia cinética da água em energia mecânica e, depois, em energia elétrica<sup>137</sup>.



Figura 104: As turbinas de maré modernas operam como turbinas eólicas subaquáticas, convertendo as correntes de maré em energia elétrica<sup>138</sup>.

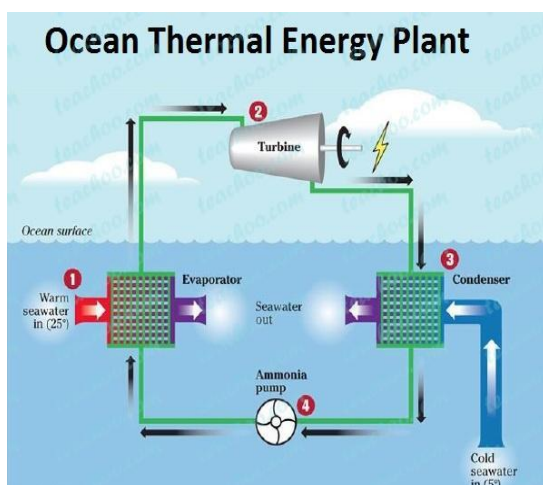


Figura 105: Os sistemas SCET geram eletricidade utilizando a diferença de temperatura entre a água quente da superfície e a água fria do mar profundo<sup>139</sup>.

### 6.5.6. Energia Térmica Oceânica

A maior parte da radiação do sol é absorvida pelos mares e oceanos e armazenada como calor<sup>139</sup>. Este facto provoca uma diferença de temperatura entre a superfície do oceano e as águas profundas. As águas superficiais do oceano são geralmente mais quentes, enquanto as águas profundas são mais frias. Esta diferença de temperatura pode ser utilizada para gerar energia<sup>140</sup>.

O sistema de conversão de energia térmica oceânica (SCET) é um método que visa gerar eletricidade a partir da diferença de temperatura entre a superfície do oceano e as suas profundezas<sup>140</sup>. Este conceito foi descrito pelo biofísico francês Jacques Arsène d'Arsonval, em 1881.

#### Como funciona o sistema SCET?

- A água quente da superfície do oceano é utilizada para vaporizar um líquido com um baixo ponto de ebulição (como o amoníaco).
- O vapor faz girar uma turbina para gerar eletricidade.
- Este vapor é, depois, condensado, utilizando as águas frias e profundas do oceano, e o sistema é novamente ligado.

#### Os sistemas SCET podem ser implementados de três formas distintas:

##### 1. SCET de circuito fechado:

É utilizado um líquido com um ponto de ebulição baixo (por exemplo, amoníaco).

A água quente vaporiza este líquido, fazendo girar as turbinas e gerando energia. O líquido é, depois, recondensado com água fria e profunda, dando continuidade ao sistema.

##### 2. SCET de malha aberta:

A água quente à superfície do oceano é levada diretamente para uma área de baixa pressão e vaporizada.



O vapor faz girar uma turbina, gerando eletricidade. É, depois, condensado pela água fria e volta ao estado líquido.

### 3. SCET híbrido:

É uma combinação de sistemas de circuito fechado e aberto.

As vantagens de ambos os métodos são utilizadas para aumentar a eficiência.

O SCET é uma fonte de energia sustentável e amiga do ambiente. No entanto, o sistema tem uma instalação dispendiosa e só pode ser aplicado em regiões oceânicas tropicais, onde a diferença de temperatura é significativa<sup>140</sup>.

## 6.6. Energia de Biomassa

A biomassa é uma fonte de energia composta por matéria orgânica biológica e não fóssil. As plantas convertem a energia solar em energia química, através da fotossíntese, sendo que esta energia pode ser convertida em energia de biomassa, através de resíduos vegetais e animais<sup>48</sup>.



Figura 106: A energia de biomassa é derivada de materiais orgânicos renováveis, transformando os resíduos biológicos em energia sustentável.

As fontes de biomassa são de dois tipos: tradicionais e modernas:

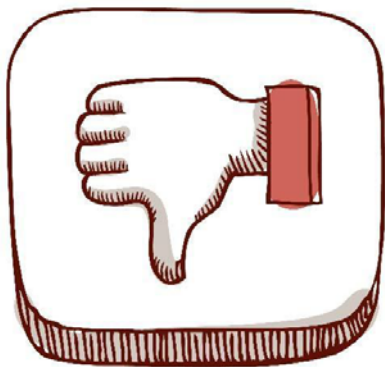
- A biomassa tradicional inclui fontes de biomassa utilizadas para fins domésticos, como a madeira, o estrume e os resíduos agrícolas.
- A biomassa moderna é um tipo de biomassa baseada em tecnologias avançadas, como plantas especialmente cultivadas, resíduos urbanos e industriais e produção de biogás.

A energia da biomassa pode ser gerada a partir de muitas fontes diferentes, tais como resíduos da indústria alimentar, resíduos florestais, plantas aquáticas e terrestres, resíduos animais e resíduos urbanos. Estes materiais são renováveis e podem ser regenerados em pouco tempo<sup>48</sup>. Apresenta vantagens e desvantagens.



### Vantagens

- Tem potencial para ser uma importante fonte de energia.
- Proporciona benefícios ambientais ao reduzir as emissões de gases com efeito de estufa.
- Aumenta a segurança energética, reduzindo as importações de combustíveis fósseis.
- Apoia o desenvolvimento económico nas zonas rurais e cria emprego.
- Reduz os problemas de gestão de resíduos e garante uma utilização mais eficiente de recursos.



### Desvantagens

- A energia da biomassa tem uma densidade energética inferior à dos combustíveis fósseis, o que significa que é necessário utilizar mais material.
- A utilização de árvores e plantas como combustível pode levar à desflorestação e à degradação do ecossistema, se não for controlada.
- A queima de biomassa pode libertar poluentes como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>) e partículas finas.
- As plantas cultivadas para produção de biomassa requerem grandes quantidades de água. Isto pode colocar pressão sobre os recursos hídricos.
- As terras agrícolas utilizadas para a geração de energia podem competir com a produção de alimentos e provocar um aumento dos preços dos alimentos.
- Armazenar e transportar matérias-primas de biomassa pode ser mais trabalhoso do que a utilização de combustíveis fósseis.
- Podem ocorrer perdas durante a conversão de biomassa em energia, estando algumas tecnologias ainda em desenvolvimento.

A energia da biomassa ocupa um lugar importante nos sistemas de energia renovável como fonte de energia sustentável e amiga do ambiente.



#### 6.6.1. Recursos de Biomassa

Os recursos de biomassa que podem ser utilizados na geração de energia podem ser divididos em quatro grupos principais<sup>141</sup>:

##### 1. Produtos Florestais:

Espécies de árvores de crescimento rápido (salgueiro, choupo, eucalipto, etc.)

Resíduos florestais (cavacos de madeira, serradura, resíduos de poda, etc.)

##### 2. Produtos Agrícolas:

Plantas cultivadas para gerar energia (miscanto, junco, sorgo, etc.)

Plantas que contêm óleo, amido e açúcar (milho, cana-de-açúcar, etc.)

Fezes de animais e resíduos de abate

##### 3. Resíduos Industriais:

Resíduos agroindustriais

Produtos florestais e resíduos da indústria do papel

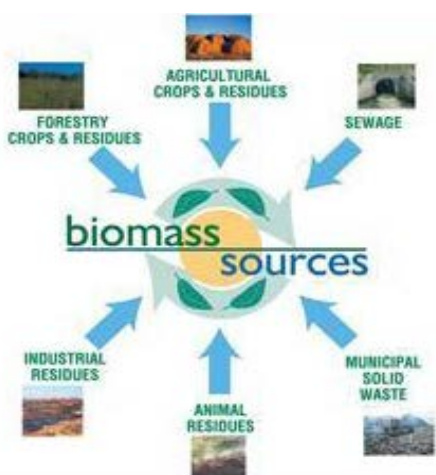


Figura 107: A energia da biomassa pode ser gerada a partir de uma vasta gama de fontes, incluindo resíduos orgânicos agrícolas, florestais, industriais e urbanos<sup>141</sup>.

#### 4. Resíduos Urbanos:

Relva, folhas, resíduos de parques e jardins  
Lodo de esgoto  
Resíduos orgânicos domésticos

##### 6.6.1.1. Plantas Energéticas

Com a crescente importância das fontes de energia renováveis, plantas especiais, que podem crescer em todos os tipos de condições de solo, começaram a ser cultivadas para a geração de energia. Sorgo, milho, tabaco, cânhamo industrial, miscanto, giesta-doce, cana-de-açúcar e diversas gramíneas selvagens estão entre as plantas que podem ser utilizadas para gerar energia.

Principais características das plantas utilizadas para gerar energia:

- São conhecidas como plantas C4 e são resistentes à seca.
- Têm a capacidade de converter eficientemente a luz solar em energia.
- Têm uma elevada capacidade de absorver dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) do ar, desempenhando assim um papel importante no combate ao aquecimento global.
- São utilizadas na geração de biocombustível e energia e proporcionam uma elevada eficiência.

##### 6.6.2. Processos e Tecnologias de Conversão de Biomassa

São aplicados diferentes métodos para converter biomassa em energia. Estes processos podem ser agrupados em três grupos principais<sup>141</sup>:

#### 1. Operações Físicas:

1. **Desidratação e secagem:** O teor de humidade da biomassa é reduzido, permitindo que esta seja queimada de forma mais eficiente.
2. **Redução de tamanho:** Pelo processo de moagem ou trituração, a biomassa é quebrada em pequenos pedaços.
3. **Aumento da densidade:** Ao prensar ou peletizar, o volume de biomassa é reduzido, facilitando o seu transporte e armazenamento.
4. **Separação:** É realizado o processo de separação dos diferentes componentes presentes na biomassa.

#### 2. Processos Termoquímicos:

1. **Combustão direta:** A biomassa é queimada diretamente, gerando calor ou eletricidade.
2. **Gaseificação:** Gases como o hidrogénio (H<sub>2</sub>), o monóxido de carbono (CO) e o metano (CH<sub>4</sub>) são obtidos a partir de biomassa de alta temperatura.
3. **Pirólise:** Num ambiente de alta temperatura e livre de oxigénio, a biomassa é decomposta para se obter produtos como o biogás, o biogás e o biocarvão.
4. **Liquefação:** A biomassa é convertida em combustíveis líquidos por processos especiais (biodiesel, bioetanol, etc.).

#### 3. Processos Bioquímicos:

1. **Fermentação:** A biomassa que contém açúcar é decomposta por microrganismos para gerar biocombustíveis, como o bioetanol.
2. **Fermentação anaeróbia:** O biogás (metano, CO<sub>2</sub>) é gerado pela decomposição de resíduos orgânicos, por microrganismos, num ambiente isento de oxigénio.

3. **Extração mecânica:** A compressão ou prensagem física é aplicada para produzir biocombustíveis a partir de óleos vegetais.



Figura 108: A gestão adequada dos resíduos permite a valorização de materiais e reduz o impacto ambiental, através da reciclagem e da conversão de energia.

### 6.6.3. Gestão de Resíduos

Os resíduos são substâncias formadas como resultado de atividades humanas e não podem ser utilizados diretamente. Estas substâncias, têm o potencial de prejudicar o ambiente, podem provocar a deterioração do equilíbrio ecológico e pôr em perigo a saúde humana quando não são geridas com métodos adequados.

Os resíduos sólidos dividem-se em dois grupos principais: nocivos e inofensivos:

1. **Resíduos perigosos:** São resíduos que podem prejudicar a saúde humana e o ambiente e devem ser eliminados com processos especiais. Podem ser tóxicos, inflamáveis ou ter propriedades corrosivas. Por exemplo, os resíduos químicos, as baterias e os resíduos médicos enquadram-se neste grupo.
2. **Resíduos não perigosos:** São compostos por substâncias orgânicas e inorgânicas que não agredem diretamente o ambiente nem a saúde humana. Os resíduos domésticos e naturais estão nesta categoria.

Além disso, existem diferentes tipos de resíduos sólidos, de acordo com a sua origem:

1. **Resíduos Domésticos:** Lixo orgânico e inorgânico, cinzas, móveis velhos, etc.
2. **Resíduos Industriais:** Resíduos metálicos, plásticos, químicos e de produção de instalações industriais.
3. **Resíduos Comerciais e Institucionais:** Resíduos de escritórios, escolas, restaurantes e lojas.
4. **Resíduos Municipais:** Resíduos recolhidos na limpeza de ruas, parques e jardins.
5. **Resíduos Especiais:** Resíduos que contêm componentes perigosos e requerem eliminação especial (por exemplo, tinta, baterias, resíduos médicos).
6. **Resíduos Agrícolas:** Resíduos, orgânicos, fertilizantes e dejetos de animais, provenientes das atividades agrícolas.

#### 6.6.3.1. Sistemas de Gestão de Resíduos

A gestão de resíduos pode variar de acordo com os hábitos de vida da sociedade e as características geográficas da região. No entanto, o principal objetivo é eliminar os resíduos sem prejudicar o ambiente e reutilizá-los o mais possível. Para isso, são aplicados vários procedimentos<sup>142</sup>:

1. **Redução de resíduos:** Os impactos e os custos ambientais são reduzidos quando são tomadas medidas para prevenir a geração de resíduos o mais cedo possível.

2. **Reciclagem:** É garantido que materiais como o plástico, o vidro, o metal e o papel são separados e reciclados.
3. **Reciclagem de Resíduos:** Conversão de resíduos numa fonte de energia diferente, por métodos biológicos, químicos ou físicos (por exemplo, geração de biogás).
4. **Reciclagem:** Tornar os resíduos reutilizáveis, através de alguns processos.
5. **Aterro:** Enterramento controlado de resíduos não recicláveis em áreas privadas.

### 6.6.3.2. Compostagem

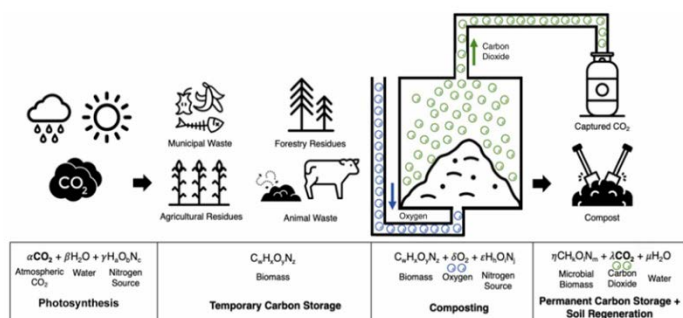


Figura 109: A compostagem transforma os resíduos orgânicos em húmus, rico em nutrientes, contribuindo para o ciclo do carbono e para o enriquecimento do solo<sup>143</sup>.

A compostagem é um método de reciclagem ecológico que decompõe os resíduos biológicos através de processos naturais e os torna benéficos para o solo<sup>143</sup>. Neste processo, os resíduos orgânicos são decompostos pelos microrganismos em condições aeróbias e transformam-se numa substância chamada húmus, rica em nutrientes vegetais.

Reduz a quantidade de resíduos e alivia a carga dos aterros sanitários.  
Aumenta a fertilidade do solo e satisfaz a necessidade de fertilizantes naturais.  
Oferece uma alternativa que não prejudica o ambiente, reduzindo o uso de Fertilizantes químicos.

O processo de compostagem ocorre geralmente em quatro etapas:

1. **Fase Inicial (1-3 dias):**  
Os microrganismos começam a decompor os resíduos orgânicos.  
A temperatura sobe rapidamente.
2. **Fase de elevada decomposição (10-100 dias):**  
Componentes complexos como as gorduras, a celulose e a lignina são decompostos.  
A temperatura excede os 40°C e os microrganismos nocivos são destruídos no processo.
3. **Fase de estabilização (10-100 dias):**  
A decomposição diminui e a temperatura começa a descer.  
Os compostos orgânicos são transformados em formas mais simples.
4. **Fase de Maturação (1-6 meses):**  
O composto torna-se completamente estável e pronto a utilizar.  
Pode ser utilizado na agricultura e na horticultura como nutriente.



A compostagem adequada torna-se mais eficiente ao manter o equilíbrio entre o oxigênio e o carbono-azoto. A produção de fertilizantes naturais pode ser feita facilmente através da utilização de materiais biológicos, como resíduos orgânicos domésticos, resíduos de parques, etc.



Figure 110: Os biocombustíveis são fontes de energia renováveis produzidas a partir de materiais biológicos, oferecendo uma alternativa sustentável aos combustíveis fósseis<sup>144</sup>.

## 6.7. Energia de Biocombustíveis

Os biocombustíveis são combustíveis renováveis derivados de fontes biológicas<sup>144</sup>. Ao contrário dos combustíveis fósseis, como o petróleo, o carvão e o gás natural, os biocombustíveis são fontes de energia sustentáveis e menos prejudiciais para o ciclo do carbono<sup>145</sup>.

Os biocombustíveis dividem-se em três grupos, de acordo com o seu estado físico: sólidos, gasosos e líquidos:

- **Biocombustíveis sólidos:** Briquetes, pellets, biocarvão, carvão vegetal.
- **Biocombustíveis gasosos:** Gás de síntese, biogás, biohidrogênio.
- **Biocombustíveis líquidos:** Biodiesel, bioetanol, biometanol, biodimetiléter, bioóleo.

Os biocombustíveis dividem-se em quatro gerações, de acordo com os seus processos de geração e fontes de matérias-primas<sup>146</sup>:

### 1. 1. Biocombustíveis de Primeira Geração (2000-2010)

- São produzidos a partir de produtos agrícolas de origem alimentar (milho, cana-de-açúcar, soja, etc.).
- Incluem combustíveis como o biodiesel e o bioetanol.
- Podem ser utilizados em motores existentes, mas têm sido criticados pelo seu impacto na diminuição do fornecimento de alimentos.

### 2. 2. Biocombustíveis de Segunda Geração (2010-2030)

- São produzidos a partir de fontes não alimentares de biomassa (resíduos agrícolas e florestais, plantas lenhosas).
- Combustíveis como o biodiesel e o bioetanol são obtidos a partir de biomassa lenho-celulósica.
- São mais vantajosos em termos de sustentabilidade, mas os custos de geração são elevados.

### 3. 3. Biocombustíveis de Terceira Geração (2030 and beyond)

- São produzidos a partir de algas e plantas geneticamente melhoradas.
- Oferecem maiores rendimentos e têm menor impacto na produção de alimentos.
- São necessários métodos biotecnológicos avançados para a sua geração.

#### 4. 4. Biocombustíveis de Quarta Geração (2030 and beyond)

- São conhecidos como biocombustíveis de carbono negativo.
- São produzidos utilizando microrganismos geneticamente modificados.
- Os impactos ambientais são minimizados com tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CAC).

Os biocombustíveis têm menores emissões de carbono em comparação com os combustíveis fósseis e oferecem uma solução energética sustentável, uma vez que são gerados a partir de fontes renováveis. Além disso, reduzem a dependência de combustíveis importados, aumentando a independência energética e contribuindo positivamente para a agricultura e para o desenvolvimento rural. No entanto, os efeitos dos biocombustíveis na produção de alimentos são controversos, e a utilização generalizada destes combustíveis depende do desenvolvimento de modelos de geração sustentáveis. Os principais desafios para a utilização generalizada de biocombustíveis são os custos de geração mais elevados do que os dos combustíveis fósseis, a necessidade de considerar impactos ambientais, como a biodiversidade e o uso da terra, e os elevados requisitos de investimento tecnológico e de infraestruturas. Por esta razão, é de grande importância moldar as políticas energéticas com foco na sustentabilidade, para que os biocombustíveis sejam uma fonte de energia alternativa eficaz a longo prazo.

##### 6.7.1. Tecnologia de Biorrefinaria

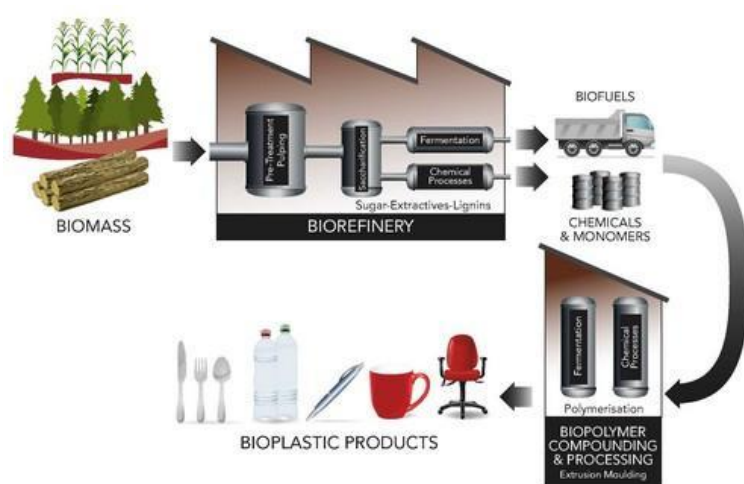


Figura 111: As biorrefinarias convertem a biomassa em biocombustíveis, bioplásticos e produtos químicos valiosos, através de processos químicos e biológicos integrados<sup>148</sup>.

As tecnologias de biorrefinaria incluem métodos que garantem a sustentabilidade e a utilização eficiente das fontes de energia renováveis no processo de geração de biocombustíveis<sup>147</sup>. As biorrefinarias, que são semelhantes às refinarias de petróleo em termos de estrutura básica, diferem das refinarias tradicionais porque utilizam a biomassa como matéria-prima e operam em condições mais amenas. Desta forma, consegue-se uma geração de energia com menor utilização energética, evita-se a formação de resíduos

sólidos e reduz-se significativamente a quantidade de águas residuais<sup>147</sup>.

As biorrefinarias baseiam-se num modelo que apoia a geração de biocombustíveis, bioenergia e biomateriais, trabalhando em integração com as empresas agrícolas<sup>148</sup>. Os principais componentes deste modelo são<sup>147</sup>:

- **Produção Agrícola:** Produção de plantas energéticas e fornecimento de recursos de biomassa.
- **Logística:** Criação de sistemas logísticos adequados para a recolha, transporte e processamento de matérias-primas.

- **Recolha e Gestão de Resíduos:** Recolha e avaliação de resíduos vegetais.
- **Densificação e Armazenamento:** Pré-tratamento da matéria-prima para a tornar adequada ao processamento.
- **Processos de processamento de biorrefinarias:** Conversão de biomassa em combustível e outros biomateriais, através de processos de conversão química e bioquímica.
- **Armazenamento e distribuição de produtos:** Distribuição do biocombustível, energia e outros subprodutos resultantes.
- **Avaliação de subprodutos:** Armazenamento e distribuição de alimentos para animais e estrume gerados no processo de biorrefinaria.

Para que as biorrefinarias sejam economicamente viáveis, é necessário otimizar os processos logísticos e reduzir os custos de transporte e armazenamento da matéria-prima.



As biorrefinarias transformam a biomassa em diferentes produtos, como biocombustíveis, materiais bioquímicos e biomateriais, submetendo-os a vários processos de transformação física, química e bioquímica. Nestes processos, é de grande importância que as biorrefinarias sejam flexíveis e tenham capacidade para processar diferentes matérias-primas. Tal como acontece com as refinarias de petróleo, o facto de as biorrefinarias possuírem uma variedade de matérias-primas aumenta a resistência às flutuações económicas, garantindo a continuidade da refinação.

O facto de as biorrefinarias não se limitarem apenas à geração de biocombustíveis, mas também incluírem aplicações de cogeração, como a geração de eletricidade e de calor, é um fator importante que aumenta a sua eficiência. Esta abordagem integrada apoia o desenvolvimento do setor dos biocombustíveis e permite que a geração de energia se torne mais sustentável.

### 6.7.2. Tecnologias de Biocombustíveis no Mundo

Entre os biocombustíveis mais utilizados no mundo estão o bioetanol, o biodiesel e o biogás. Um dos exemplos mais bem-sucedidos de geração e utilização de biocombustíveis é o Brasil<sup>149</sup>. Desde a crise petrolífera da década de 1970 que o Brasil utiliza o etanol como biocombustível líquido para os transportes. A geração de biogás está amplamente difundida em todo o mundo, existindo centrais de pequena escala na Índia e na China, e centrais de média e grande escala na Europa. Os EUA, por outro lado, convertem a biomassa em energia e utilizam-na na geração de eletricidade.

#### Aplicações dos Biocombustíveis

- **Dinamarca:** Os biocombustíveis sólidos, especialmente os briquetes e os pellets de madeira, são produzidos a partir de madeira importada.
- **Finlândia:** Aumentando a utilização de biomassa, foi atingida a meta dos 25% de utilização de energia a partir de biomassa.
- **França:** A madeira e os resíduos industriais são utilizados como fontes de biomassa e são utilizados na geração de energia.

- **Holanda:** Existe uma grande quantidade de resíduos de madeira, que são transformados em pellets e exportados para a Suécia, Alemanha e Bélgica.
- **Espanha:** Os resíduos da produção agrícola são utilizados na geração de biocombustíveis.
- **Suécia:** Os subprodutos da indústria florestal, as plantações energéticas e a palha são utilizadas na geração de biocombustíveis. O país satisfaz 16% das suas necessidades energéticas a partir de biocombustíveis.
- **Canadá:** Pretende que 50% da energia utilizada seja proveniente da silvicultura energética, até 2050. Os EUA e o Canadá estão a planear projetos de silvicultura energética com espécies de árvores de crescimento rápido, sem interferirem com a produção de alimentos.
- **Irlanda:** A silvicultura energética é considerada nas turfeiras.

Uma taxa de crescimento anual composta (TCAC) de 9,55% está projetada para o período de 2024-2031. Em 2023, a indústria dos biocombustíveis empregava 16.599 pessoas. Durante o período de 2023-2024, as exportações de etanol dos EUA atingiram um recorde de 6,6 mil milhões de litros (1,75 mil milhões de galões). Durante este período, o Canadá foi o maior importador, representando 37% das exportações de etanol dos EUA. A Europa está a prestar mais atenção à geração de biodiesel. Isto está diretamente relacionado com a estrutura geográfica do continente e com as características dos produtos agrícolas cultivados. Embora a geração de etanol esteja mais disseminada a nível global, a geração de biodiesel tem aumentado a um ritmo mais rápido nos últimos anos.

### 6.7.3 Tecnologia de Biocombustíveis nos Países Parceiros

#### 6.7.3.1. Tecnologia de Biocombustíveis em Turquia

A Turquia tem um potencial significativo no que respeita à geração de energia renovável utilizando os seus grandes recursos de biomassa. A biomassa obtida a partir da agricultura, silvicultura e resíduos animais é utilizada para a geração de energia. Em 2024, a capacidade elétrica total instalada da Turquia atingiu os 115.353 megawatts, 59% dos quais fornecidos por fontes de energia renováveis. A capacidade instalada das centrais de biomassa atingiu os 2.125 megawatts, o que representa 1,8% do total<sup>150</sup>. A geração de bioetanol tem estado na agenda da Turquia, em vários momentos, desde a década de 1930. Existem regulamentos legais na Turquia que incentivam a utilização de bioetanol e biodiesel.

#### 6.7.3.2. Tecnologia de Biocombustíveis na Grécia

A Grécia tem um potencial significativo para a geração de biocombustíveis, apoiado pelos seus ricos recursos agrícolas e florestais<sup>151</sup>. A biomassa, proveniente de resíduos de culturas, subprodutos florestais e resíduos orgânicos, desempenha um papel central na geração de biocombustíveis, colocando a Grécia numa boa posição para aumentar a sua capacidade de energia renovável. De acordo com os relatórios do Ministério do Ambiente e Energia, os recursos de biomassa da Grécia, incluindo os resíduos de azeite e os resíduos agrícolas, são consideravelmente promissores para a geração de biocombustíveis. Em 2023, a capacidade instalada de bioenergia da Grécia, que inclui os biocombustíveis, ultrapassou os 800 megawatts, contribuindo significativamente para a geração de energia renovável do país. Os principais biocombustíveis produzidos na Grécia são o bioetanol e o biodiesel, ambos derivados de produtos agrícolas nacionais, como o trigo, o milho e a colza. A geração de bioetanol tem sido

um setor chave na Grécia, desde o início dos anos 2000. Várias centrais de bioetanol estão localizadas em regiões agrícolas, onde o bioetanol é gerado a partir de cereais e outras culturas. Estas centrais desempenham um papel crucial no atendimento das necessidades energéticas da Grécia e na redução das emissões de gases com efeito de estufa. A Grécia também registou um crescimento no sector do biodiesel, gerando biodiesel a partir de resíduos agrícolas, especialmente resíduos de moinhos de azeite. Estão em funcionamento várias unidades de geração de biodiesel, gerando combustível para consumo interno e exportação. Estes biocombustíveis são frequentemente utilizados como aditivos em combustíveis para transportes, ajudando a reduzir a pegada de carbono do setor dos transportes. O governo grego implementou várias políticas de apoio à geração de biocombustíveis, incluindo subsídios e isenções fiscais para os biocombustíveis derivados de produtos agrícolas nacionais. As misturas de bioetanol e biodiesel são obrigatórias para utilização no setor dos transportes, com percentagens específicas definidas para inclusão na gasolina e gasóleo. No entanto, o sector dos biocombustíveis enfrenta desafios, especialmente os elevados custos de geração e a dependência de subsídios governamentais. Além disso, a concorrência com outras fontes de energia renováveis, como a energia solar e eólica, abrandou por vezes o crescimento da geração de biocombustíveis.

Olhando para o futuro, a Grécia pretende expandir a sua capacidade de geração de biocombustíveis para cumprir as metas de energias renováveis da União Europeia. O país pretende desenvolver ainda mais o seu sector de biocombustíveis, utilizando a sua plantação agrícola para produzir combustíveis mais limpos e sustentáveis, reduzindo a dependência dos combustíveis fósseis. Espera-se que os biocombustíveis continuem a ser uma parte fundamental da estratégia de energias renováveis da Grécia, contribuindo para a segurança energética e para as metas ambientais do país.

### **6.7.3.3. Tecnologia dos Biocombustíveis em Portugal**

Portugal tem demonstrado um forte compromisso com a transição energética, tendo os biocombustíveis um papel fundamental neste processo. Em linha com os objetivos da Comissão Europeia, o país investiu na geração e utilização de biocombustíveis para reduzir as emissões de gases com efeito de estufa e diversificar as fontes de energia. O biodiesel continua a ser o biocombustível mais utilizado, produzido principalmente a partir de óleos vegetais, como a colza e a soja, para além de uma quantidade crescente de óleo alimentar usado (OAU). O incentivo à utilização de OAU apoia a economia circular e reduz a dependência de matérias-primas importadas, enquanto a mistura de biodiesel no diesel é essencial para atingir as metas de energia renovável nos transportes. O bioetanol, produzido a partir de biomassa rica em açúcar, como a beterraba e o milho, desempenha um papel menor, mas tem potencial de crescimento, através de investigação e novas tecnologias. Além disso, a geração de biogás a partir de resíduos orgânicos - como resíduos agrícolas, resíduos urbanos e lamas de estações de tratamento de águas residuais - ganhou importância, contribuindo para a geração de eletricidade e calor e tendo potencial para injeção na rede de gás natural. Portugal participa, também, em iniciativas europeias para o desenvolvimento de biocombustível para a aviação, uma alternativa promissora para a aviação sustentável.

As políticas de biocombustíveis de Portugal estão alinhadas com as diretivas da UE, particularmente o Plano Nacional de Energia e Clima 2030 (PNEC 2030), que estabelece metas ambiciosas para a incorporação de biocombustíveis nos transportes. O governo promoveu



ativamente a recolha e o processamento de OAU e aprovou recentemente o Plano de Ação para o Biometano 2024-2040 (PAB). Este plano estratégico centra-se na criação e consolidação de um mercado de biometano para reduzir as emissões de GEE e apoiar a descarbonização económica, aproveitando os recursos locais e diminuindo a dependência do gás natural importado. A geração de biodiesel (FAME) continua a ser o principal foco da indústria de biocombustíveis em Portugal, com um aumento significativo da utilização de OAU. Os dados da DGEG indicam um aumento contínuo da geração nacional de biocombustíveis, enquanto as importações de biocombustíveis também cresceram, refletindo a crescente procura e necessidade de complementar a produção nacional.

A figura seguinte mostra a evolução da geração total de biocombustíveis (FAME e HVO) entre 2016 e 2023:

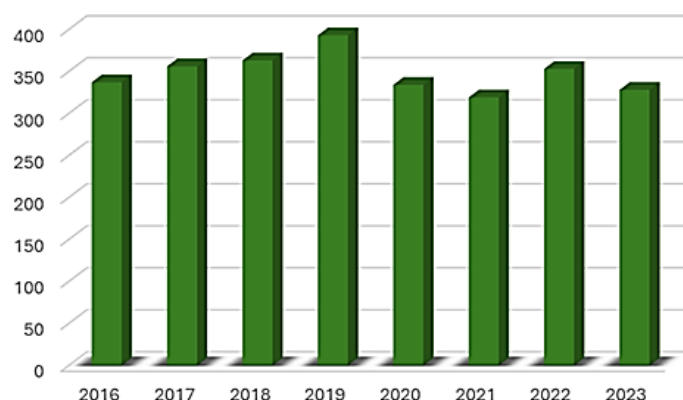


Figura 112: Evolução da geração nacional de biocombustíveis entre 2016-2023 (in kt)

A partir de 2021, registou-se um aumento significativo das importações de biocombustíveis, em comparação com os anos anteriores. Os dados de 2016 a 2023 mostram essa tendência crescente, embora os valores de 2023 sejam ainda provisórios.

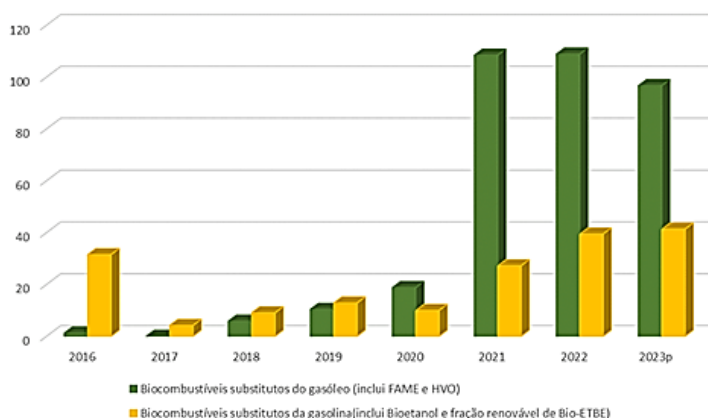


Figura 113: Evolução das importações de biocombustíveis entre 2016-2023 (in kt).

O sector dos biocombustíveis, em Portugal, enfrenta vários desafios, incluindo a redução da dependência das matérias-primas importadas, a minimização do impacto ambiental da produção de culturas energéticas e o desenvolvimento de infraestruturas para o biogás e biocombustível de aviação. No entanto, também existem oportunidades significativas, como a expansão da utilização de biocombustíveis avançados, derivados de resíduos e biomassa não alimentar, o investimento em biogás e hidrogénio verde e a promoção da colaboração entre universidades,

centros de investigação e indústria. O Plano de Ação para o Biometano 2024-2040 (PAB), recentemente aprovado, cria ainda novas oportunidades ao promover a infraestrutura do biometano, incentivar modelos de negócio inovadores e fortalecer a economia circular.

A Estratégia Nacional de Biocombustíveis (ENB) fornece importantes orientações para o setor, enfatizando a sustentabilidade e a inovação. Ações de investigação e desenvolvimento têm explorado matérias-primas alternativas, como algas e resíduos florestais, para aumentar a geração de biocombustíveis. Além disso, a crescente consciencialização ambiental entre os consumidores levou a uma maior procura de biocombustíveis, impulsionando ainda mais o crescimento do setor.

#### **6.7.3.4. Tecnologia de Biocombustíveis na Macedónia do Norte**

A Macedónia do Norte começou a explorar fontes de energia renováveis, incluindo os biocombustíveis, para diversificar o seu cabaz energético e melhorar a sustentabilidade<sup>152</sup>. Entretanto, em 2020, o país não reportou qualquer geração de biocombustíveis e biolíquidos, indicando que este setor ainda se encontra nos seus estágios iniciais. Apesar do subdesenvolvimento dos biocombustíveis, a Macedónia do Norte registou progressos significativos na bioenergia, particularmente através de projetos de biogás. Um exemplo importante é a central de biogás de 2 MW em Lozovo, que iniciou as suas operações em dezembro de 2022. Esta instalação, equipada com dois motores a gás MWM TCG 2020 V12, fornece eletricidade a aproximadamente 4.000 habitações, representando um avanço significativo nos esforços do país para adotar a geração de energia sustentável.

O fornecimento de energia da Macedónia do Norte continua fortemente dependente dos combustíveis fósseis, sendo que o petróleo e o carvão representam 45% e 32% do fornecimento total de energia, respetivamente, em 2022. Esta dependência realça a necessidade urgente de diversificação através de fontes de energia renováveis. Embora a produção de biocombustíveis ainda esteja pouco desenvolvida, o país possui abundantes recursos de biomassa, como a madeira de árvores de fruto e outros resíduos agrícolas, que oferecem um potencial significativo para a futura geração de bioenergia. Em 2023, a geração primária de biomassa destas fontes foi de 1,924 mil toneladas equivalentes de petróleo (TEP). Com investimentos e apoios certos, a Macedónia do Norte pode desenvolver ainda mais os seus setores de biocombustíveis e biomassa, criando um sistema energético mais diversificado, sustentável e resiliente.

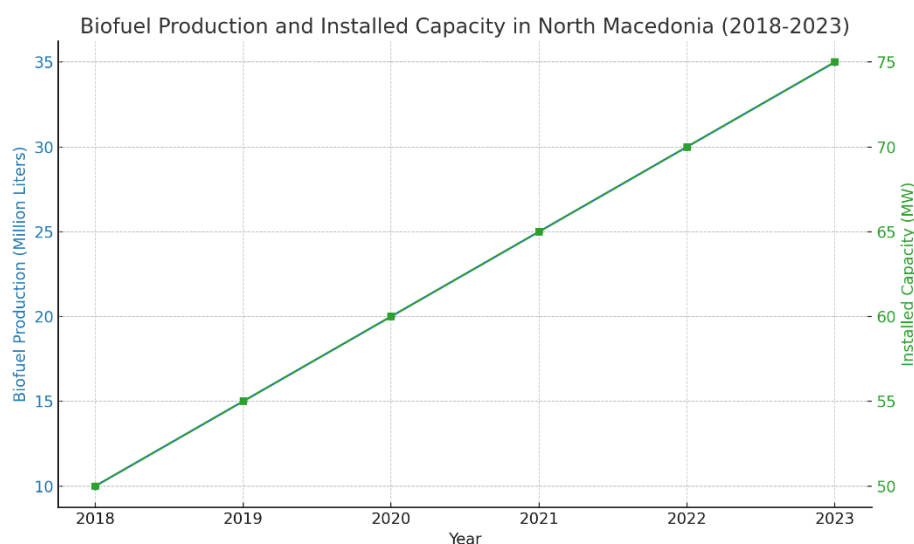


Figura 114: A geração de biocombustíveis e a capacidade instalada na Macedónia do Norte têm apresentado um crescimento constante, refletindo a mudança gradual do país em direção à energia renovável.

Para promover ainda mais a bioenergia, empresas como a SERVODAY estão a introduzir soluções inovadoras de biomassa na Macedónia do Norte. Isto inclui unidades portáteis de produção de *pellets* e sistemas avançados de alimentação de caldeiras de biomassa, visando aumentar a eficiência e a flexibilidade de combustível nos setores da energia e da indústria transformadora.

Embora a tecnologia dos biocombustíveis ainda esteja a emergir na Macedónia do Norte, o desenvolvimento de centrais de biogás e a utilização de recursos de biomassa indicam um crescente compromisso com as energias renováveis. Os investimentos contínuos e a inovação tecnológica são essenciais para aproveitar plenamente o potencial dos biocombustíveis e da bioenergia no panorama energético do país.

#### 6.7.4. Tecnologia de Biogás

O biogás é um tipo de biocombustível gasoso muito utilizado em todo o mundo<sup>153</sup>. A sua principal vantagem decorre do facto de todos os tipos de resíduos orgânicos poderem ser convertidos em energia. Os resíduos que podem ser prejudiciais para a saúde humana e para o ambiente são convertidos em biogás por fermentação, em ambiente isento de oxigénio<sup>154</sup>.

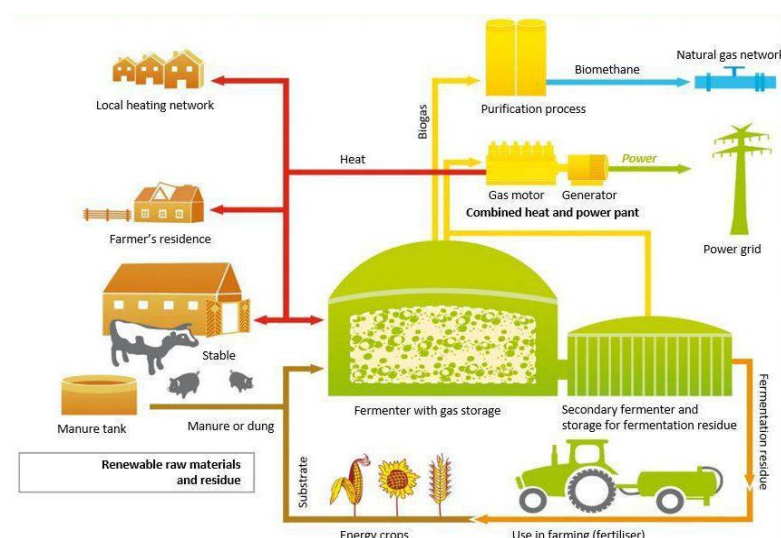


Figura 115: As centrais de biogás convertem resíduos orgânicos em calor, eletricidade e biometano, ao mesmo tempo que produzem fertilizantes como subproduto para uso agrícola<sup>153</sup>.

### Usos do Biogás:

- Geração de calor (por exemplo, em fogões e sistemas de aquecimento)
- Geração de eletricidade (em motores ou sistemas de cogeração)
- Utilização como combustível (integrado em motores de biogás ou sistemas de gás natural)

Além disso, o lodo gerado durante a produção de biogás pode ser utilizado como fertilizante na produção agrícola.

### Centrais de Biogás:

- As centrais de pequena escala são comuns na Ásia, e a produção de fertilizantes fermentados a partir de resíduos animais e vegetais está frequentemente na vanguarda.
- As centrais de média e grande dimensão são preferidas na Europa e têm como objetivo eliminar os resíduos domésticos, industriais e agrícolas e convertê-los em energia.

#### 6.7.4.1. Produção de Biogás

Os resíduos orgânicos são utilizados na produção de biogás. Estes são<sup>154</sup>:

- Estrume animal (de gado, ovelhas, aves)
- Resíduos da produção vegetal
- Resíduos florestais e resíduos da indústria do papel
- Resíduos da indústria têxtil
- Resíduos da indústria alimentar (de leite, levedura, chocolate, produção de bebidas, etc.)
- Resíduos industriais agrícolas (de petróleo, fábricas de açúcar, etc.)
- Resíduos sólidos urbanos
- Resíduos de esgotos

Culturas energéticas e algas podem ser aproveitadas para produção de biogás.



O biogás é uma mistura de gases inflamáveis, obtida pela decomposição de resíduos orgânicos realizada por microrganismos, num ambiente isento de oxigénio. Nesse processo intervêm<sup>154</sup>:

**Metano (CH<sub>4</sub>):** É o componente mais importante do biogás e constitui a sua fonte de energia.

**Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** É um subproduto natural do processo.

**Sulfureto de hidrogénio (H<sub>2</sub>S) e azoto (N<sub>2</sub>):** Podem estar presentes em pequenas quantidades, dependendo do tipo de resíduo.



Figura 116: Metano (CH<sub>4</sub>) é o principal componente, rico em energia, do biogás; é produzido pela fermentação anaeróbia de resíduos orgânicos.

O teor de metano determina o valor energético do biogás. No entanto, o metano não pode ser liquefeito a baixas pressões como o GPL; É necessária uma pressão de 280-350 bar para o liquefazer.

O teor de metano determina o valor energético do biogás. No entanto, o metano não pode ser liquefeito a baixas pressões como o GPL; É necessária uma pressão de 280-350 bar para o liquefazer.

A produção de biogás depende das propriedades químicas e físicas dos resíduos utilizados. Fatores importantes incluem:

- Quantidade de matéria estranha (solo, pedra, metal, etc.)

- Tamanho das partículas (pedaços mais pequenos fermentam mais rapidamente)
- Teor de humidade e teor de matéria orgânica
- Estrutura do gerador ou reator (volume, isolamento, sistemas de mistura e aquecimento)
- Temperatura de fermentação e equilíbrio do pH

### 6.7.5. Tecnologia do Bioetanol

O bioetanol é um combustível de origem biológica que foi desenvolvido devido ao esgotamento dos combustíveis fósseis e à necessidade de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa. É o biocombustível mais utilizado no mundo e é utilizado como combustível alternativo para motores, especialmente misturado com a gasolina<sup>155</sup>.

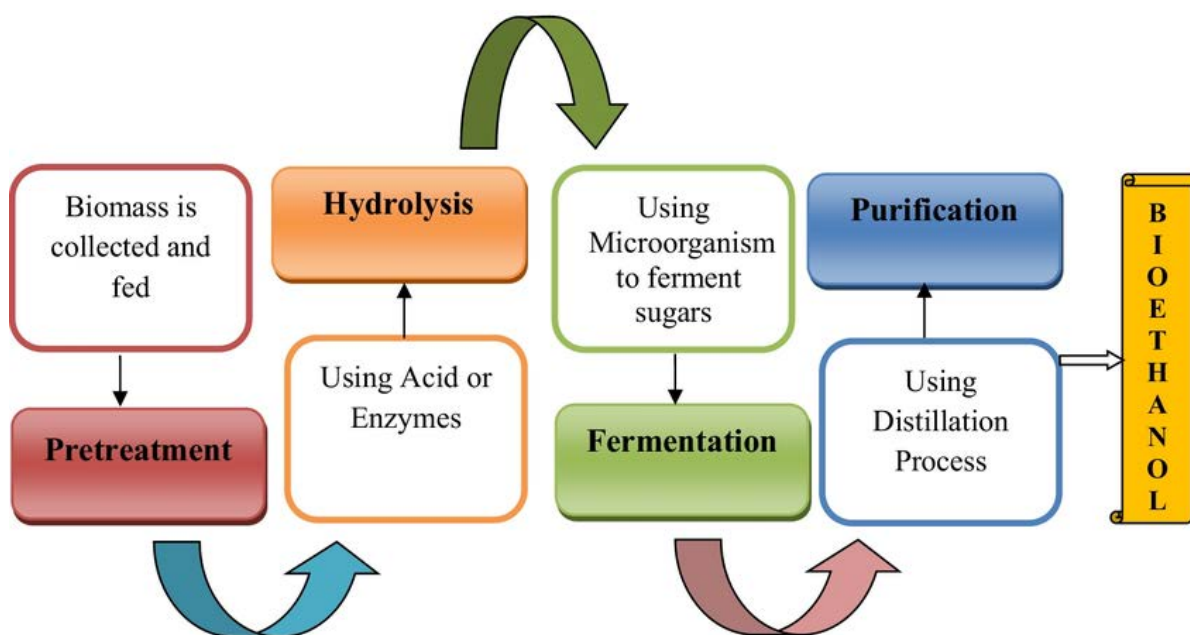


Figura 117: O bioetanol é produzido por conversão de biomassa em açúcares fermentáveis, seguida de fermentação microbiana e destilação<sup>155</sup>.

O etanol é um composto que resulta da fermentação de açúcares por ação de leveduras. Os cereais, a cana-de-açúcar e as plantas que contêm amido são as fontes mais comumente utilizadas para produção de bioetanol. Além disso, os materiais celulósicos, como árvores, gramíneas e resíduos domésticos, também podem ser utilizados para obter bioetanol. No entanto, a produção de bioetanol a partir de materiais celulósicos é mais complexa e dispendiosa, quando comparada com a produção a partir de produtos agrícolas que contêm açúcares e amidos. Por isso, são necessários avanços tecnológicos que conduzam a métodos de produção mais eficientes.

Produtos como o milho, a beterraba e a cana-de-açúcar, que são utilizados para a produção de bioetanol, são também fontes alimentares básicas. Por exemplo, nos EUA, grande parte da produção de milho é utilizada para bioetanol. Isto leva a um aumento do custo do milho em todo o mundo e à competição entre a produção de alimentos e a geração de energia



Para evitar este problema, em vez de produtos agrícolas com valor alimentar, devem ser utilizadas fontes alternativas para produção de bioetanol. Essas alternativas incluem plantas lignocelulósicas, sem valor alimentar, e resíduos agrícolas (partes não utilizadas, como caules e raízes). Desta forma, as necessidades energéticas podem ser satisfeitas e a segurança alimentar é protegida.

#### 6.7.6. Usos do Bioetanol

O bioetanol pode ser avaliado de diferentes formas em vários sistemas energéticos<sup>156</sup>:

- Pode ser utilizado diretamente como combustível alternativo para motores.
- Pode atuar como aditivo de combustível, misturando-se com gasolina em determinadas proporções.
- Pode ser utilizado como fonte de energia em células de combustível.
- Pode ser utilizado como matéria-prima na produção de biodiesel.

##### Misturas de gasolina com bioetanol

São utilizados no mundo tipos de combustível contendo bioetanol em diferentes proporções:

Gasolina com álcool adicionado (contém até 5% de álcool).

Gasool ou E10 (mistura de 10% etanol e 90% gasolina).

E85 (uma mistura que contém 85% de etanol e 15% de gasolina).



##### Vantagens

Entre as vantagens importantes do bioetanol estão as seguintes:

- É um combustível sustentável porque é gerado a partir de recursos renováveis.
  - Contribui para a segurança energética, reduzindo a dependência do consumo de petróleo.
  - Oferece uma opção amiga do ambiente, reduzindo as emissões de gases com efeito de estufa.
  - Ao aumentar o número de octanas, ajuda o combustível a queimar de forma mais eficiente e limpa.
- Melhora o desempenho do motor e não prejudica a natureza, graças à sua biodegradabilidade.

#### 6.7.6.1 Produção de bioetanol

A produção de bioetanol é realizada através da passagem da biomassa lenho-celulósica por quatro etapas básicas. A primeira etapa consiste na separação da lignina, hemicelulose e celulose através do pré-tratamento da biomassa. Esta etapa envolve a quebra da biomassa para tornar o processo de hidrólise mais eficiente. Na segunda etapa, a celulose e a hemicelulose são decompostas em açúcares monoméricos, por enzimas ou métodos químicos. Na terceira etapa, os açúcares obtidos são fermentados com a ajuda de microrganismos, como as leveduras, e convertidos em etanol. Na última etapa, o etanol é condensado por processos de destilação e purificação<sup>157</sup>.

Na biomassa utilizada na produção de etanol, a etapa de pré-tratamento é muito importante. Esta etapa envolve a limpeza da biomassa, separando-a de acordo com o seu tamanho e tornando-a mais acessível aos processos bioquímicos que ocorrem. Os processos mecânicos e físicos aplicados durante o pré-tratamento rompem a estrutura interna da biomassa e aumentam o rendimento em açúcar. Cada tipo de matéria-prima (por exemplo, madeira macia, sabugo de milho ou bagaço) necessita de diferentes métodos de pré-tratamento para atingir rendimentos ótimos.

Nas instalações onde o bioetanol é produzido a partir de melaço e xarope escuro, o xarope escuro e o melaço são introduzidos no tanque de fermentação juntamente com a levedura. Após a conclusão do processo de fermentação, o bioetanol é obtido através de processos de destilação, retificação (desidratação) e separação, respetivamente.

### 6.7.7. Tecnologia de Biodiesel

O biodiesel é uma fonte de energia limpa e renovável, desenvolvida como alternativa aos combustíveis diesel derivados do petróleo<sup>158</sup>. Pode ser utilizado diretamente ou como aditivo em motores a diesel. A comercialização do biodiesel, em muitos países, é apoiada por melhorias na qualidade do produto e pelo aumento da satisfação do cliente<sup>159</sup>. A produção e utilização de biodiesel são reguladas por normas internacionais como a ASTM D6751 (American Society for Testing and Materials) e a norma europeia EN 14214.

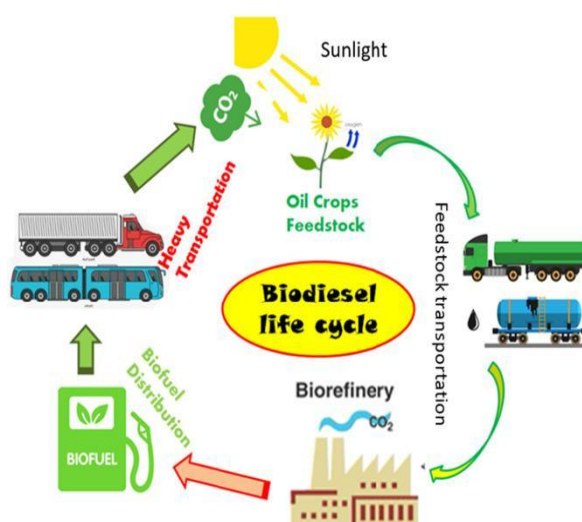


Figura 118: Ciclo de vida do biodiesel: do crescimento da matéria-prima à distribuição do biocombustível<sup>159</sup>.

#### 6.7.7.1. Fontes de Óleo Utilizadas na Produção de Biodiesel

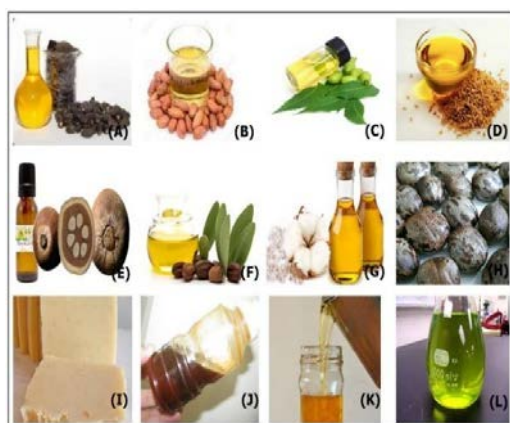


Figura 119: O biodiesel pode ser produzido a partir de várias fontes de óleo, incluindo óleos vegetais, óleos residuais, gorduras animais e algas à base de lípidos<sup>160</sup>.

Podem ser utilizados diferentes tipos de óleo para a produção de biodiesel<sup>160</sup>:

- **Óleos vegetais:** Fontes agrícola de óleo, como a palma, o cártamo, a colza, a soja.
- **Óleos de recuperação:** Subprodutos da indústria de óleos vegetais (como sabão em pó, óleo residual).
- **Óleos residuais urbanos e industriais:** Óleos residuais, como a massa lubrificante castanha e a massa lubrificante preta.
- **Gorduras animais:** Gorduras de origem animal, como o sebo, o óleo de peixe e o óleo de aves.
- **Óleos vegetais residuais:** Óleos alimentares usados (como gordura amarela).

- **Algas:** É também possível produzir biodiesel a partir de microalgas com um elevado teor de óleo.

A utilização destes recursos aumenta a sustentabilidade do biodiesel e contribui para o aproveitamento dos resíduos.

O biodiesel pode ser utilizado em motores na forma pura (B100) ou misturado com gasóleo em determinadas proporções:

**B5:** Uma mistura de 5% de biodiesel e 95% de gasóleo.

**B20:** Uma mistura de 20% de biodiesel e 80% de gasóleo.

**B50:** Uma mistura de 50% de biodiesel e 50% de gasóleo.

**B100:** 100% biodiesel é o tipo mais puro de biodiesel, sem aditivos.

As misturas com baixa proporção de biodiesel (B5, B20) podem ser utilizadas em veículos a diesel, sem exigirem a modificação do motor, enquanto o biodiesel com alta proporção de biodiesel (B50, B100) pode exigir a adaptação de alguns sistemas do motor.



### Vantagens

Existem muitos benefícios na utilização do biodiesel:

- É um combustível sustentável porque é produzido a partir de recursos renováveis.
- Reduz a dependência de produtos petrolíferos
- Oferece uma opção ambientalmente consciente, ao reduzir drasticamente as emissões de carbono.
- Por não conter enxofre, reduz a libertação de gases nocivos.
- Possui uma elevada capacidade de lubrificar o motor e de melhorar o seu desempenho.
- Graças ao seu elevado ponto de inflamação, proporciona um transporte e armazenamento seguros.
- É biodegradável e não tóxico, não prejudicando a natureza.
- O seu poder calorífico é muito próximo do poder do diesel e não há perda significativa no desempenho do motor.
- Por ter um elevado índice de cetano, proporciona uma combustão mais eficiente.

### 6.7.7.2. Produção de Biodiesel

Um dos principais problemas na produção de biodiesel é a elevada viscosidade dos óleos utilizados<sup>161</sup>. A viscosidade do biodiesel precisa de ser reduzida antes de poder ser utilizado como combustível para motores. Para o conseguir, são aplicados tratamentos térmicos e químicos aos óleos. No tratamento térmico, que é o método mais simples, os óleos são aquecidos antes de serem introduzidos no sistema de combustível para reduzir a sua viscosidade. No entanto, este método pode levar a vários problemas, especialmente quando utilizado em dispositivos móveis.

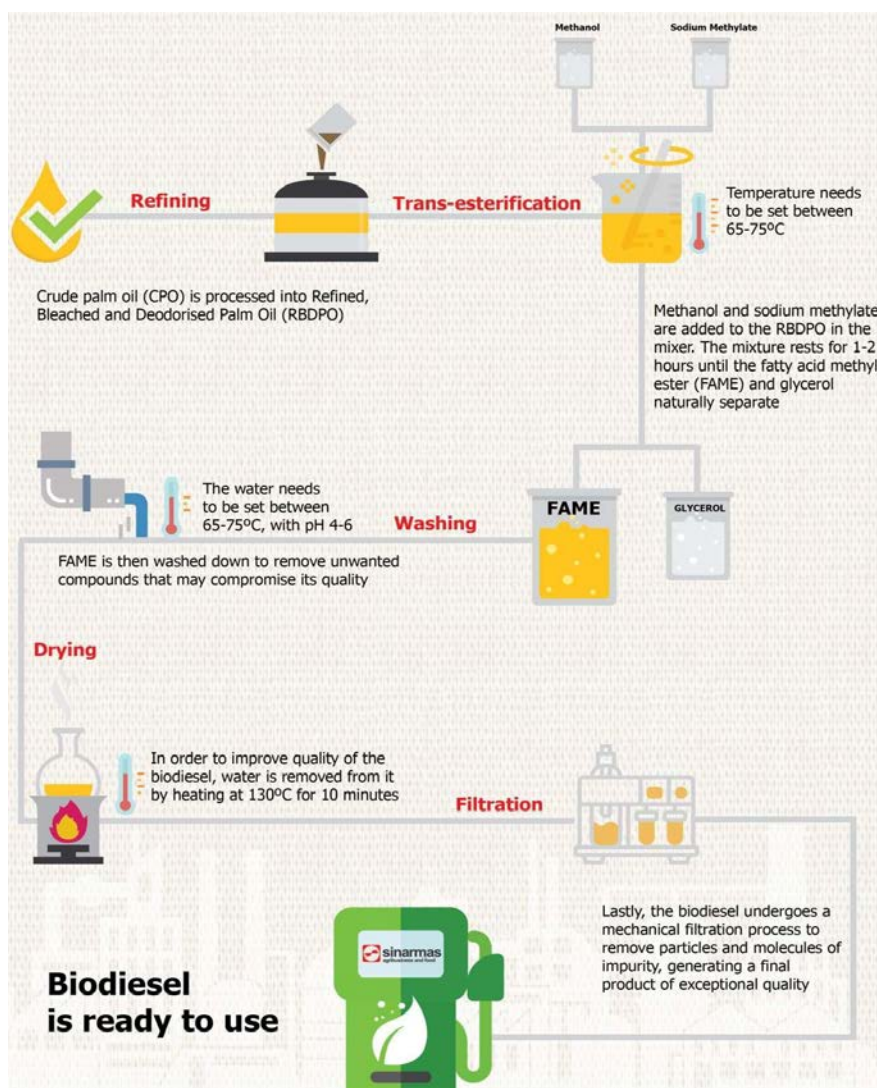


Figura 120: O biodiesel é produzido por transesterificação, onde os óleos reagem com o álcool na presença de um catalisador, seguindo-se a refinação, lavagem, secagem e filtração para obter biodiesel de grau combustível<sup>62</sup>.

Os tratamentos químicos são os mais usados para reduzir a viscosidade.

Entre estes, o método mais eficaz e comum é a **Transesterificação**<sup>161</sup>.

Durante este processo, as gorduras vegetais ou animais reagem com um álcool para obter biodiesel e glicerina como subproduto. Em termos mais simples, os óleos moleculares grandes reagem com álcoois de moléculas pequenas, para se transformarem num líquido mais fluido que pode ser utilizado como combustível para motores<sup>162</sup>.

Existem diferentes álcoois e opções de catalisação na reação de transesterificação. O metanol e o etanol são os álcoois mais utilizados. Os catalisadores ácidos, básicos ou enzimáticos podem ser preferidos. No entanto, catalisadores básicos têm mais vantagens, porque<sup>161</sup>:

- Proporciona rendimentos mais elevados.
- É menos corrosivo.
- O tempo de reação é menor.
- Os catalisadores ácidos aumentam o custo de produção porque requerem tanques especiais, resistentes aos ácidos.



## **Etapas Básicas da Produção de Biodiesel com Catalisador:**

### **1. Mistura de catalisador e álcool**

Normalmente, utiliza-se hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido de potássio (KOH) como catalisador. O catalisador é dissolvido em álcool com a ajuda de um misturador e preparado para a reação.

### **2. Reação**

A mistura de catalisador e álcool é levada para o reator com óleo, que é a matéria-prima do biodiesel. O reator é mantido fechado para evitar a perda de álcool. A temperatura da reação é mantida ligeiramente acima do ponto de ebulição do álcool (cerca de 70°C) e o tempo de processamento pode variar entre 1 e 8 horas.

### **3. Separação**

Como resultado da reação, formam-se dois produtos principais: o biodiesel e a glicerina. Como a glicerina é mais densa do que o biodiesel, pode ser separada por ação da gravidade. Podem ser utilizadas centrifugadoras para conseguir uma separação mais rápida.

### **4. Remoção de álcool**

Após a separação da glicerina e do biodiesel, o álcool remanescente é removido por evaporação (evaporação instantânea) ou destilação. Em alguns sistemas, após esta etapa, a mistura é neutralizada e os produtos finais são tratados antes da separação.

### **5. Neutralização da Glicerina**

A mistura contém glicerina, que é um subproduto, catalisador não utilizado e sabão. Estes componentes são neutralizados com um ácido e armazenados como glicerina bruta. Os sais formados durante a neutralização podem ser deixados na glicerina ou recuperados. Com o processo de purificação, é possível obter glicerina com uma pureza de 80-88% e disponibilizá-lo à indústria. A glicerina com uma pureza de 99% pode ser produzida através da aplicação de processos especiais, utilizados nas indústrias farmacêutica e cosmética.

### **6. Lavagem e Armazenamento de Biodiesel**

O biodiesel, separado da glicerina, é lavado com água morna e seco para remover o catalisador e os restantes sabões. O produto final é um líquido de cor de âmbar brilhante e viscosidade próxima da do gasóleo. Em alguns sistemas, o biodiesel incolor pode ser produzido aplicando a destilação na fase final<sup>163</sup>.



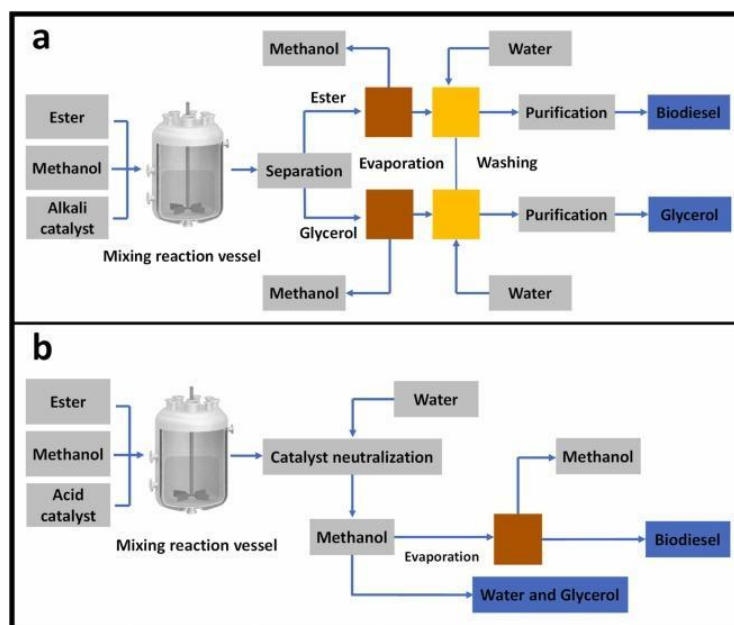


Figura 121: O processo de produção de biodiesel varia de acordo com o catalisador utilizado: os catalisadores alcalinos oferecem maiores rendimentos e reações mais rápidas, enquanto os catalisadores ácidos requerem um processamento mais longo, mas podem funcionar em situações em que há um elevado teor de ácidos gordos livres<sup>163</sup>.

## 6.8. Energia de Hidrogénio

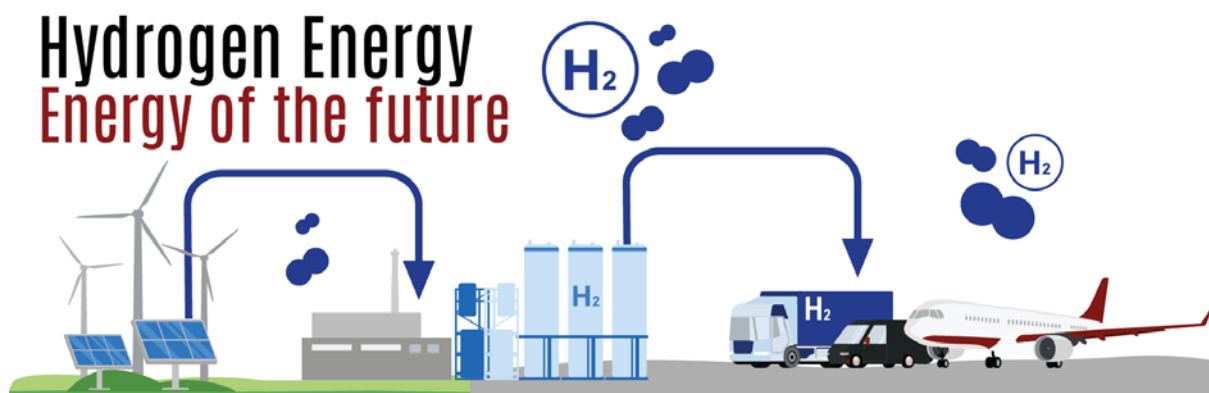


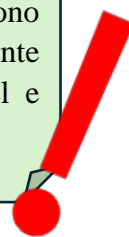
Figura 122: O hidrogénio é um transportador de energia limpa e renovável, produzido a partir da água, utilizando energia solar e eólica, permitindo soluções sustentáveis nos transportes e na indústria <sup>164</sup>.

A palavra hidrogénio é derivada das palavras gregas hidro, que significa "água", e genes, que significa "formação". O hidrogénio é o elemento mais leve e abundante do universo<sup>164</sup>. O hidrogénio encontra-se na água, nas plantas, nos animais e em muitos compostos químicos na Terra. No entanto, não é encontrado em forma pura na natureza. Embora se encontre na atmosfera numa quantidade muito pequena na forma gasosa, encontra-se geralmente combinado com outros elementos. Na natureza, alguns microrganismos podem produzir hidrogénio. Além disso, as plantas produzem oxigénio e hidratos de carbono a partir da luz, água e dióxido de carbono, através da fotossíntese. Tecnicamente, o hidrogénio pode ser produzido a partir de fontes como a água, a biomassa e os combustíveis fósseis. O método mais

ecológico consiste em obter hidrogénio quebrando a molécula de água. Se este processo for feito utilizando fontes de energia renováveis como a solar ou a eólica, o hidrogénio torna-se um combustível completamente limpo. O hidrogénio é um gás incolor e inodoro, 14 vezes mais leve do que o ar. Torna-se líquido a temperaturas muito baixas<sup>165</sup>. É utilizado como combustível de foguetões, na exploração espacial, porque é leve e tem uma elevada capacidade de transporte de energia. O hidrogénio é quimicamente altamente ativo e combina-se facilmente com outros elementos. Quando reage com o oxigénio, forma-se vapor de água e é libertada uma grande quantidade de energia nesse processo. É por isso que o hidrogénio é utilizado como uma fonte de energia limpa e poderosa.

O hidrogénio pode ser utilizado para gerar energia em motores de combustão interna ou células de combustível. Não polui o ambiente, pois apenas se forma vapor de água como resultado da combustão. O hidrogénio também pode ser convertido diretamente em energia elétrica. As células de combustível permitem que o hidrogénio e o oxigénio reajam quimicamente para produzir eletricidade. Este sistema é utilizado em motores de automóveis, sistemas de energia residenciais e naves espaciais. O hidrogénio é considerado um combustível amigo do ambiente porque não emite carbono como resultado da combustão. Atualmente, quando são utilizados combustíveis fósseis, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e gases nocivos são libertados para a atmosfera, provocando alterações climáticas e poluição do ar. Enquanto isso, o hidrogénio é chamado de energia verde porque produz apenas água. Se a energia solar, eólica ou hidroelétrica for utilizada, em vez dos combustíveis fósseis, na produção de hidrogénio, este poderá tornar-se uma fonte de energia sustentável e limpa para o mundo. Atualmente, as nossas necessidades energéticas são amplamente supridas por combustíveis fósseis, como o carvão, o petróleo e o gás natural. No entanto, estes recursos são limitados e prejudicam o meio ambiente. É por isso que os cientistas acreditam que o hidrogénio poderá ser a principal fonte de energia no futuro. O hidrogénio tem uma grande vantagem porque pode ser produzido a partir da água presente em todo o lado. O ciclo do hidrogénio funciona dividindo a água em hidrogénio e oxigénio, para gerar energia, e, em seguida, transformando esse hidrogénio, de novo, em água. Esta é uma das formas mais limpas e capaz de gerar energia sem prejudicar a natureza.

No futuro, uma transição para um sistema de energia livre de carbono poderá ser alcançada com a utilização mais ampla da energia proveniente do hidrogénio. Isto significará ar mais limpo, energia sustentável e menos dependência de combustíveis fósseis.



### 6.8.1. Produção de Hidrogénio

O hidrogénio não se encontra na forma pura na natureza, pelo que é necessário usar energia para o obter. As fontes de energia utilizadas na produção de hidrogénio podem ser os combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás natural), a energia nuclear e as fontes de energia renováveis (solar, eólica, biomassa, hidroelétrica, geotérmica, das ondas e das marés). Recorrendo a estas fontes, a produção de hidrogénio é realizada por diferentes métodos<sup>166</sup>.

São utilizados métodos químicos, termoquímicos e eletroquímicos para produzir hidrogénio. Os métodos mais utilizados são os que permitem obter hidrogénio a partir de combustíveis fósseis. No entanto, os métodos apoiados por energia renovável, que não prejudicam o ambiente, estão a merecer cada vez mais atenção.

## PARTIAL OXIDATION

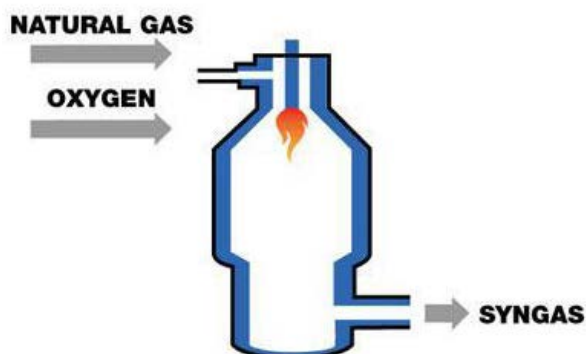


Figura 123: No método POX, o gás natural reage com pequenas quantidades de oxigénio, a altas temperaturas, para produzir gás de síntese, uma mistura de gás rica em hidrogénio<sup>166</sup>.

## 2. Reforma Autotérmica (ATR)

Este método produz hidrogénio combinando reações que requerem calor (endotérmicas) e reações que libertam calor (exotérmicas)<sup>167</sup>. Cria um processo de produção mais eficiente, ao permitir que o ambiente aqueça espontaneamente. O ATR é um dos métodos que proporciona elevados rendimentos na produção de hidrogénio.

## 1. Óxido de Oxidação (POX – Oxidação Parcial)

Neste método, os hidrocarbonetos (por exemplo, gás natural) reagem com pequenas quantidades de oxigénio para formar hidrogénio, monóxido de carbono e outros gases. O processo ocorre a temperaturas muito elevadas e geralmente não requer um catalisador. Parte dos gases produzidos são queimados durante o processo, garantindo a continuidade do sistema<sup>166</sup>.

## AUTOTHERMAL REFORMING

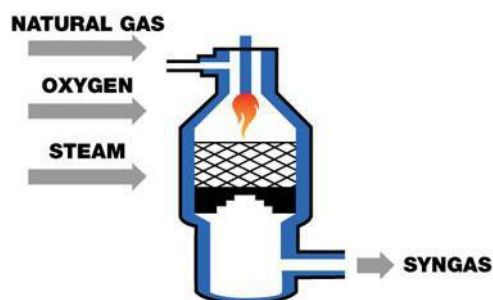


Figura 124: A reforma autotérmica combina a reforma a vapor e a oxidação parcial para produzir gás de síntese, rico em hidrogénio de forma eficiente<sup>167</sup>.

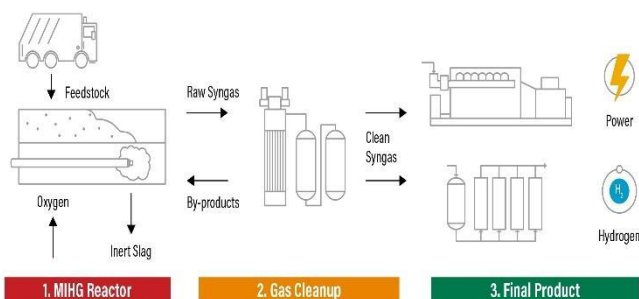


Figura 125: A gaseificação converte a matéria-prima em gás de síntese, rico em hidrogénio, através de processamento a alta temperatura, seguido de limpeza do gás para produção de energia e hidrogénio<sup>168</sup>.

## 3. Gaseificação

A gaseificação produz hidrogénio, através do processamento de substâncias como o carvão ou a biomassa sob alta temperatura e pressão<sup>168</sup>. Durante este processo, são libertados gases como o hidrogénio, o monóxido de carbono e o metano. Se for utilizada biomassa, é importante remover a humidade, para aumentar a produtividade.

## 4. Pirólise

A pirólise permite que o hidrogénio seja obtido pela decomposição de substâncias orgânicas, expondo-as a altas temperaturas, num ambiente sem oxigénio e sem água. É geralmente utilizada para fins de avaliação de resíduos orgânicos e ocorre a altas temperaturas<sup>169</sup>.

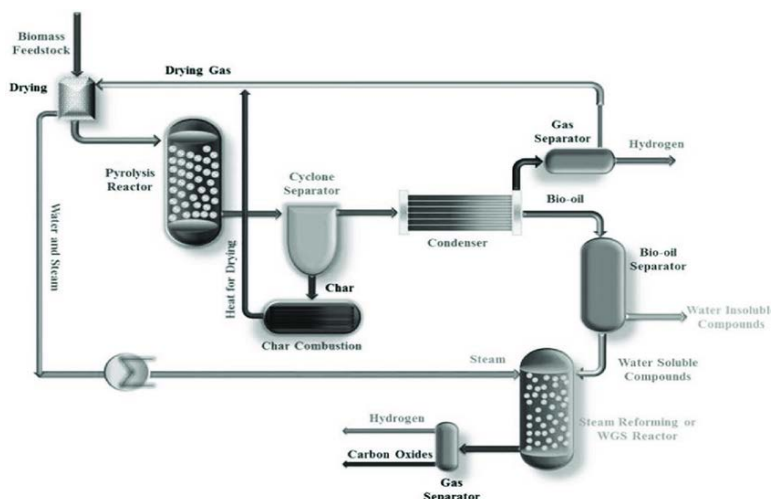


Figura 126: A pirólise converte a biomassa em hidrogénio através da decomposição térmica num ambiente livre de oxigénio, seguida pela separação de gases e reforma a vapor<sup>169</sup>.

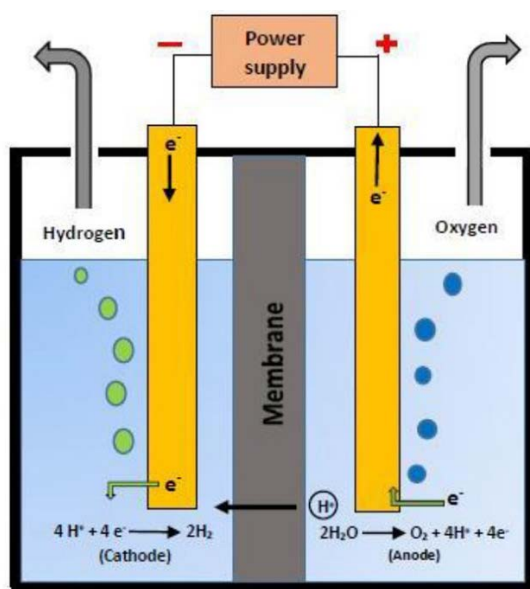


Figura 127: A eletrólise divide a água em hidrogénio e oxigénio, utilizando energia elétrica, produzindo hidrogénio limpo sem emissões de carbono<sup>170</sup>.

## 5. Electrólise

A eletrólise é o processo de divisão das moléculas de água em hidrogénio e oxigénio, utilizando corrente elétrica<sup>170</sup>. Este método torna-se um método ambientalmente adequado e sustentável de produção de hidrogénio, especialmente quando combinado com fontes de energia renováveis, como a solar e a eólica. O hidrogénio, produzido pela eletrólise, é uma fonte de energia limpa e isenta de carbono.

### 6.8.2. Hidrogénio Verde

O hidrogénio verde é um tipo de hidrogénio produzido com recurso a fontes de energia renováveis, sem prejudicar o ambiente. É um processo muito mais ecológico do que os processos baseados em combustíveis fósseis, uma vez que não há emissões de carbono durante a sua produção. As energias renováveis, como a energia solar, a energia eólica e a biomassa, são utilizadas para a produção de hidrogénio verde<sup>171</sup>.





	Gray Hydrogen	Blue Hydrogen	Turquoise Hydrogen	Green Hydrogen
<b>Process</b>	Steam methane reforming or gasification	Steam methane reforming or gasification with carbon capture (85-95%)	Pyrolysis	Electrolysis
<b>Source</b>	Natural gas or coal 	Natural gas or coal 	Natural Gas 	Renewable electricity 
<b>Product</b>	H <sub>2</sub> & CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> & CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> & C (solid)	H <sub>2</sub> & O <sub>2</sub>

Figura 128: O hidrogénio é classificado pelo método de produção; o hidrogénio verde é a forma mais limpa, pois é gerado por eletrólise, utilizando energia renovável, sem emissões de carbono<sup>171</sup>.

Quatro principais fontes de energia desempenham um papel importante na produção de hidrogénio verde:

1. **Energia térmica:** Pode ser obtida a partir de combustíveis fósseis ou de fontes de energia renováveis.
2. **Energia elétrica:** É utilizada no processo de eletrólise, sendo fornecida por fontes como painéis solares e turbinas eólicas.
3. **Energia do fóton:** É utilizada na produção de hidrogénio diretamente da luz solar.
4. **Energia bioquímica:** As substâncias orgânicas são capazes de produzir hidrogénio através de processos naturais.

#### 6.8.2.1. Produção de Hidrogénio a partir da Energia Solar

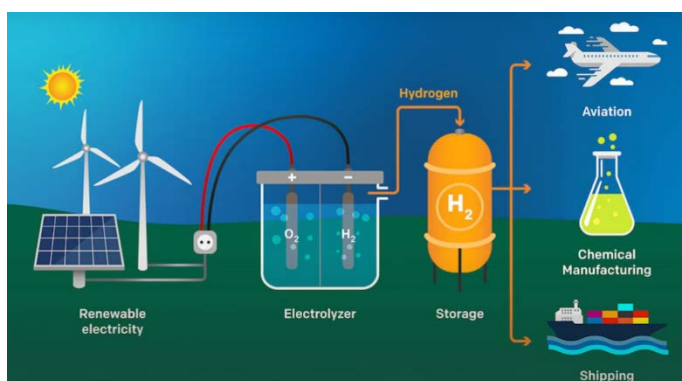


Figura 129: A eletrólise alimentada a energia solar permite a produção de hidrogénio verde para utilização nas indústrias da aviação, do transporte marítimo e da química.

Existem quatro métodos para produzir hidrogénio utilizando energia solar: fotovoltaica, energia térmica, fotoeletrólise e biofotólise. A energia solar pode ser utilizada na produção de hidrogénio, convertendo-o em eletricidade ou calor, através de vários sistemas<sup>172</sup>. Os sistemas fotovoltaicos produzem hidrogénio através da eletrólise da água, convertendo a luz solar diretamente em eletricidade. Os coletores solares e os sistemas de energia solar concentrada (ESC), por

outro lado, ajudam a obter hidrogénio, através de processos termoquímicos, produzindo altas temperaturas. O método de fotoeletrólise permite que a água se decomponha em hidrogénio e



oxigénio, utilizando a luz solar, enquanto que, no processo de biofotólise, alguns microrganismos produzem hidrogénio naturalmente, utilizando a luz solar.

### 6.8.3. Purificação do Hidrogénio

São utilizados vários métodos de purificação para obter apenas hidrogénio puro nas misturas de gases que emergem durante a produção de hidrogénio. Estes métodos aumentam a pureza do hidrogénio, permitindo que este seja utilizado de forma mais eficiente e segura<sup>173</sup>.

- **Adsorção por oscilação de pressão (PSA):** O hidrogénio, na mistura de gases, é purificado, passando por filtros especiais. Este método é um dos mais utilizados para obter hidrogénio de elevada pureza.
- **Filtração de gases (tecnologia de membrana):** A separação é feita pela filtragem das moléculas de hidrogénio, através de membranas especiais. Este método é rápido e energeticamente eficiente.
- **Adsorção:** As superfícies sólidas atraem certos gases, permitindo que o hidrogénio seja separado de outros gases.
- **Absorção:** As soluções químicas ajudam a purificar o hidrogénio, retendo certos gases.
- **Destilação:** O hidrogénio é separado, aproveitando os pontos de ebulição dos diferentes gases.

Graças a estes métodos, o hidrogénio de elevada pureza pode ser obtido e utilizado, de forma mais eficiente, em células de combustível, processos industriais e sistemas de energia.

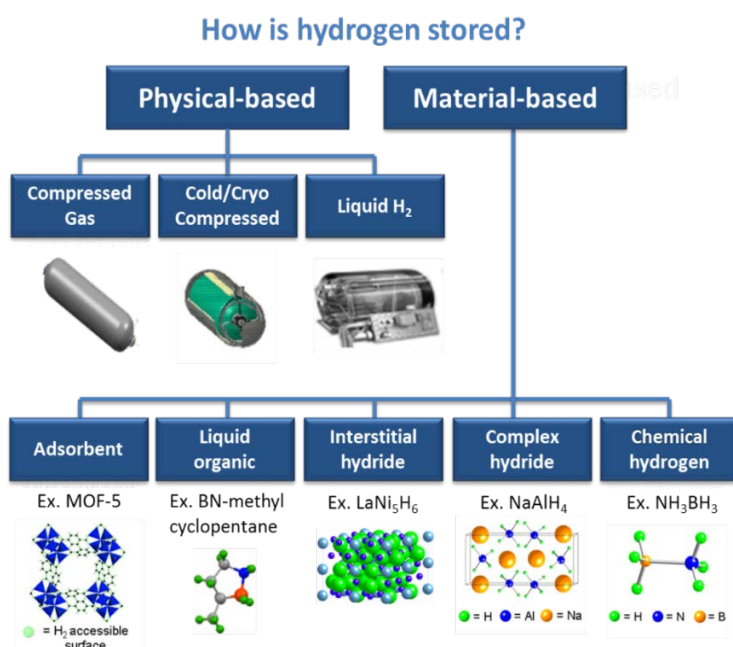


Figura 130: O hidrogénio pode ser armazenado fisicamente como gás ou líquido e materialmente através de ligações químicas ou hidretos no estado sólido para uma utilização eficiente e segura de energia<sup>174</sup>.

transporte seguro de hidrogénio.

### 6.8.4. Armazenamento de Hidrogénio

O armazenamento eficiente de hidrogénio é de grande importância para os sistemas energéticos sustentáveis. Como o gás hidrogénio é muito leve e de baixa densidade, foram desenvolvidas técnicas especiais para o armazenar. O hidrogénio é geralmente armazenado de três formas diferentes<sup>174</sup>:

1. **Armazenamento como gás:** O hidrogénio pode ser armazenado em cilindros de alta pressão. Tanques de metal ou tanques duráveis embrulhados em fibra de vidro garantem o

2. **Armazenamento como líquido:** O hidrogénio é arrefecido a  $-253^{\circ}\text{C}$  para se tornar líquido. Este método permite que mais hidrogénio seja armazenado em menos volume, mas requer energia extra para manter as baixas temperaturas.
3. **Armazenamento de produtos químicos:** Pode ser armazenado pela ligação com compostos químicos como o amoníaco ou o hidreto de boro. Quando necessário, o gás hidrogénio é novamente obtido pela separação destes compostos.

### 6.8.5. Transmissão e Distribuição de Hidrogénio

Depois de o hidrogénio ser produzido, precisa de ser entregue com segurança e eficiência no ponto de utilização. Para tal, são utilizados oleodutos, navios-tanque e sistemas especiais de transporte<sup>175</sup>.

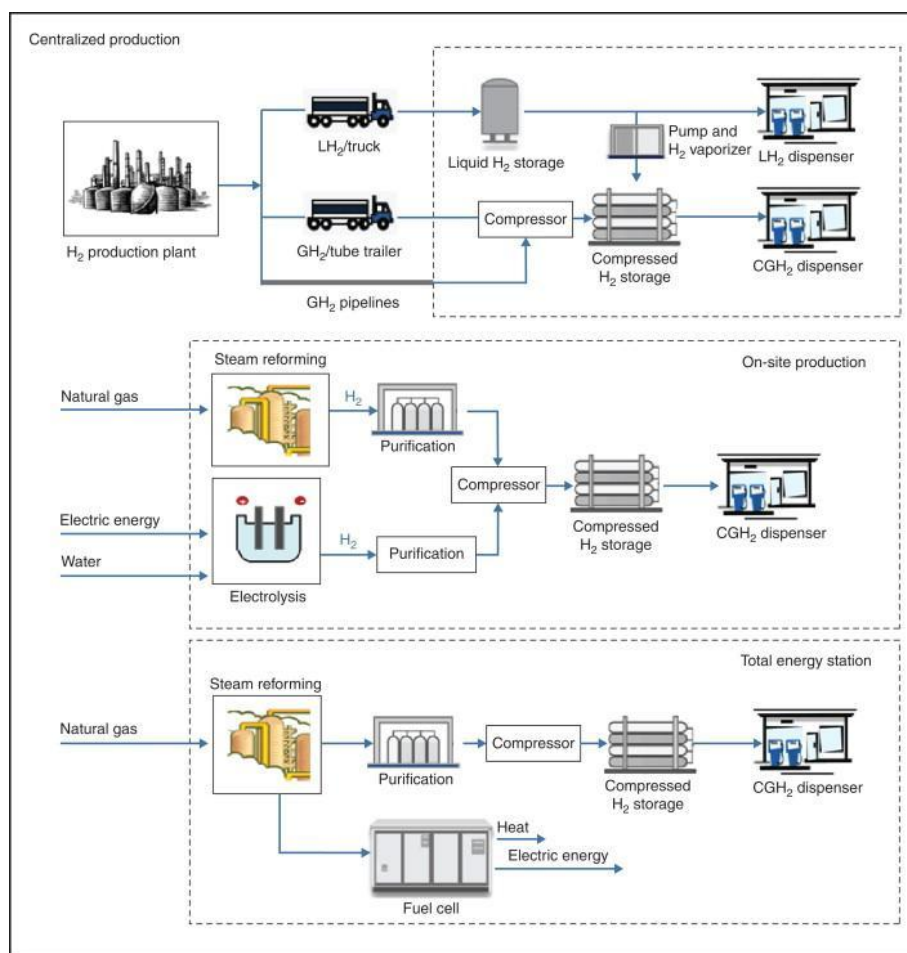


Figura 131: O hidrogénio pode ser produzido centralmente ou no local e depois distribuído através de oleodutos, tanques ou distribuidores, após compressão e armazenamento<sup>175</sup>.

- **Transporte por Oleodutos:** O hidrogénio pode ser transportado por condutas, diretamente do local de produção até aos pontos de consumo. Os gasodutos de gás natural existentes podem ser adaptados para transportar hidrogénio.
- **Transporte por Tanques:** O hidrogénio líquido pode ser transportado por navios-tanque especialmente isolados. Este método facilita o transporte de hidrogénio a longas distâncias.

- **Transporte por Compostos Químicos:** O hidrogénio pode ser transportado de forma mais segura e eficiente ao ser armazenado em compostos como o amoníaco ou o metanol. O hidrogénio pode, depois, ser novamente separado destes compostos.

Para garantir a utilização generalizada do hidrogénio, é importante aumentar os postos de abastecimento e melhorar os padrões de segurança. Os pontos de abastecimento, especialmente para os veículos movidos a hidrogénio, contribuirão para a economia do hidrogénio.

#### 6.8.6. Células de Combustível

As células de combustível geram eletricidade como resultado da reação eletroquímica do hidrogénio e do oxigénio. Este sistema é o oposto da eletrólise da água, usada para produzir hidrogénio e oxigénio. Nas células de combustível, o hidrogénio é utilizado como combustível, e apenas água é libertada como resultado da reação. Por conseguinte, as células de combustível são uma tecnologia de produção de energia amiga do ambiente e altamente eficiente<sup>176</sup>. Uma célula de combustível é composta basicamente por três componentes principais:

- **Ânodo (elétrodo negativo):** O hidrogénio é aqui oxidado e decomposto em protões e eletrões.
- **Cátodo (elétrodo positivo):** O oxigénio combina-se com os eletrões para formar água.
- **Eletrólito:** Permite que os protões se movam entre o ânodo e o cátodo.

Os eletrões resultantes deste processo movem-se no circuito externo e produzem energia elétrica. As células de combustível podem funcionar sem parar quando o hidrogénio é fornecido continuamente.

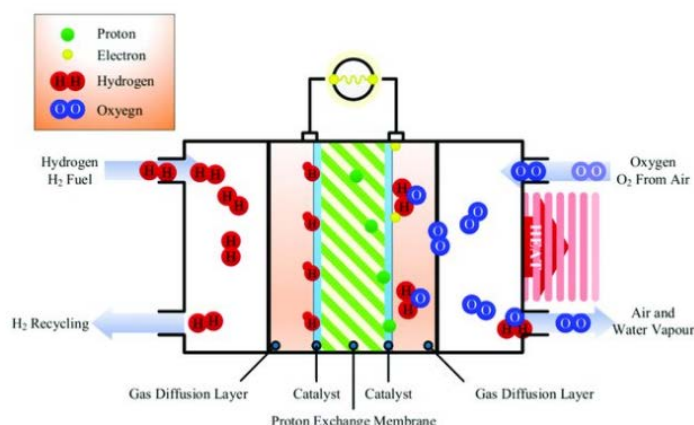


Figura 132: As células de combustível geram eletricidade através da reação eletroquímica do hidrogénio e do oxigénio, produzindo apenas água como subproduto<sup>176</sup>.

As células de combustível dividem-se em diferentes categorias, com base no material eletrolítico utilizado e na temperatura de funcionamento:

**Célula de combustível de membrana de eletrólito de polímero (PEMFC):** Opera a baixa temperatura, adequada para dispositivos portáteis e veículos.

**Célula de Combustível Alcalina (AFC):** Utilizada em naves espaciais, é altamente eficiente.

**Célula de combustível de ácido fosfórico (PAFC):** Opera a temperatura média, adequada para a geração de energia em larga escala.

**Célula de combustível de óxido sólido (SOFC):** Funciona a altas temperaturas, sendo preferida em aplicações industriais.

**Célula de combustível de carbonato fundido (MCFC):** É utilizada em centrais elétricas que exigem altas temperaturas.

**Célula de combustível de metanol direto (DMFC):** Utiliza metanol líquido, adequada para dispositivo eletrônicos portáteis.

**Célula de combustível de zinco-ar (ZAFC):** É utilizado em soluções de energia leves e portáteis.

**Célula de combustível cerâmica de prótons (PCFC):** Funciona eficientemente a altas temperaturas.

As células de combustível têm uma vasta gama de utilizações, desde veículos elétricos a sistemas de energia portáteis.

### 6.8.7. Trigeração (Eletricidade-Calor-Hidrogénio)

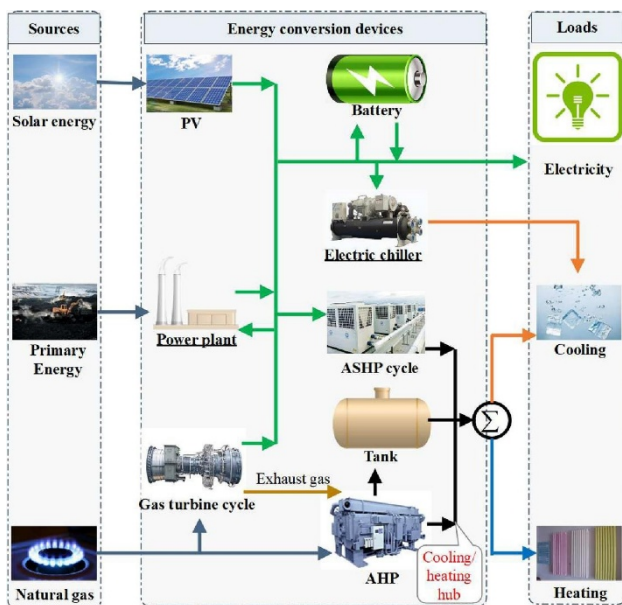


Figura 133: Os sistemas de trigeração integram a produção de eletricidade, calor e hidrogénio, melhorando a eficiência energética através de fontes renováveis e gestão inteligente de energia<sup>177</sup>.

A trigeração é uma tecnologia que permite a geração de eletricidade, calor e arrefecimento dentro do mesmo sistema.

Enquanto os sistemas convencionais de cogeração apenas geram eletricidade e calor, os sistemas de trigeração podem, também, produzir refrigeração ou hidrogénio<sup>177</sup>.

Os sistemas de trigeração baseados em fontes de energia renováveis oferecem grandes vantagens em termos de produção de energia sustentável. Por exemplo:

- **Geração de eletricidade:** O sistema pode gerar eletricidade através de geradores que utilizam hidrogénio ou gás natural como combustível.
- **Recuperação de calor:** O calor residual gerado durante a geração pode ser utilizado para aquecer edifícios ou instalações industriais.
- **Produção de hidrogénio:** O excesso de

energia pode ser utilizado para produzir hidrogénio por eletrólise da água. Este hidrogénio pode ser armazenado e utilizado como combustível

Estes sistemas ajudam a reduzir as emissões de carbono e, ao mesmo tempo, aumentam a eficiência energética. A tecnologia de trigeriação, amplamente utilizada, especialmente, em grandes instalações, hospitais e empresas industriais, desempenha um papel importante na criação de uma infraestrutura energética mais sustentável para o futuro.



## 7- Referências

1. Schobert HH. *Energy and society: An introduction*. Crc Press, 2002.
2. Strojny J, Krakowiak-Bal A, Knaga J, et al. Energy Security: A Conceptual Overview. *Energies*; 16. Epub ahead of print 2023. DOI: 10.3390/en16135042.
3. Zecca A, Chiari L. Fossil-fuel constraints on global warming. *Energy Policy* 2010; 38: 1–3.
4. Dogaru L. The main goals of the fourth industrial revolution. Renewable energy perspectives. *Procedia Manuf* 2020; 46: 397–401.
5. Böhringer C. The Kyoto Protocol: A review and perspectives. *Oxford Rev Econ Policy* 2003; 19: 451–466.
6. Bhattarai H. Renewable energy and energy storage systems. *Energy Convers Methods, Technol Futur Dir* 2022; 269–289.
7. Tsegaw GT. , A CRITICAL REVIEW Abhinav National Monthly Refereed Journal of Research Science & Technology ENERGY , ENTROPY AND EXERGY CONCEPTS : THERMODYNAMIC APPROACH , A CRITICAL REVIEW. 2018; 3: 3–17.
8. Pitts JB. Conservation of Energy: Missing Features in Its Nature and Justification and Why They Matter. *Found Sci* 2021; 26: 559–584.
9. Wahlund M, Palm J. The role of energy democracy and energy citizenship for participatory energy transitions: A comprehensive review. *Energy Res Soc Sci* 2022; 87: 102482.
10. Renewable energy sources. *Sustain* 2019; 11: 1–14.
11. Omer AM. Energy, environment and sustainable development. *Renew Sustain Energy Rev* 2008; 12: 2265–2300.
12. Wuebbles DJ, Jain AK. Concerns about climate change and the role of fossil fuel use. *Fuel Process Technol* 2001; 71: 99–119.
13. Brookfield H. ‘Sustainable Development’ and the Environment. *J Dev Stud* 1988; 25: 126–135.
14. Brown M. Innovative energy-efficiency policies: An international review. *Wiley Interdiscip Rev Energy Environ* 2015; 4: 1–25.
15. Zhang X, Han L, Wei H, et al. Linking urbanization and air quality together: A review and a perspective on the future sustainable urban development. *J Clean Prod* 2022; 346: 130988.
16. Adetomi Adewnm, Kehinde Andrew Olu-lawal, Chinelo Emilia Okoli, et al. Sustainable energy solutions and climate change: A policy review of emerging trends and global responses. *World J Adv Res Rev* 2023; 21: 408–420.
17. Johnson JMF, Franzluebbbers AJ, Weyers SL, et al. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environ Pollut* 2007; 150: 107–124.
18. Schwenkenbecher A. Is there an obligation to reduce one’s individual carbon footprint. *Crit Rev Int Soc Polit Philos* 2014; 17: 168–188.

19. Al-Ghussain L. c. *Environ Prog Sustain Energy* 2019; 38: 13–21.
20. Taylor FW. The greenhouse effect and climate change revisited. *Reports Prog Phys* 2002; 65: 1–25.
21. Azhar Khan M, Zahir Khan M, Zaman K, et al. Global estimates of energy consumption and greenhouse gas emissions. *Renew Sustain Energy Rev* 2014; 29: 336–344.
22. Akin SM, Martens P, Huynen MMTE. Climate change and infectious disease risk in western Europe: A survey of dutch expert opinion on adaptation responses and actors. *Int J Environ Res Public Health* 2015; 12: 9726–9749.
23. Uydur CC. *Impact of Indoor Lighting Installations on Carbon Footprint : Textile Factory Case Study*. 2024. Epub ahead of print 2024. DOI: 10.5281/zenodo.14011080.
24. Allegretti G, Montoya MA, Bertussi LAS, et al. When being renewable may not be enough: Typologies of trends in energy and carbon footprint towards sustainable development. *Renew Sustain Energy Rev* 2022; 168: 112860.
25. Abbasi T, Premalatha M, Abbasi SA. The return to renewables: Will it help in global warming control? *Renew Sustain Energy Rev* 2011; 15: 891–894.
26. Abas N, Kalair A, Khan N. Review of fossil fuels and future energy technologies. *Futures* 2015; 69: 31–49.
27. Khan MK, Raza M, Shahbaz M, et al. Recent advancement in energy storage technologies and their applications. *J Energy Storage* 2024; 92: 112112.
28. Neha, Rambeer J. Renewable Energy Sources: A Review. *J Phys Conf Ser*; 1979. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/1979/1/012023.
29. Jyothi RK, De Melo LGTC, Santos RM, et al. An overview of thorium as a prospective natural resource for future energy. *Front Energy Res* 2023; 11: 1–13.
30. Smith P, Adams J, Beerling DJ, et al. Land-Management Options for Greenhouse Gas Removal and Their Impacts on Ecosystem Services and the Sustainable Development Goals. *Annu Rev Environ Resour* 2019; 44: 255–286.
31. Geophysics OF, Physics S. Pollutant Emission Estimates To Assume That It Will Continue To Change in the. 14.
32. Singh H, Bhardwaj N, Arya SK, et al. Environmental impacts of oil spills and their remediation by magnetic nanomaterials. *Environ Nanotechnology, Monit Manag* 2020; 14: 100305.
33. Moore CW, Zielinska B, Pétron G, et al. Air impacts of increased natural gas acquisition, processing, and use: A critical review. *Environ Sci Technol* 2014; 48: 8349–8359.
34. Rabilloud X. Prevented mortality and greenhouse gas emissions from historical and projected nuclear power. *Environ Sci Technol* 2013; 47: 13896–13899.
35. Rashad SM, Hammad FH. Nuclear power and the environment: Comparative assessment of environmental and health impacts of electricity-generating systems. *Appl Energy* 2000; 65: 211–229.

36. Sharma SB, Jain S, Khirwadkar P, et al. The Effects of Air Pollution on the Environment and Human Health. *Indian J Res Pharm Biotechnol* 2013; 1: 391–396.
37. Masood N, Hudson Edwards K, Farooqi A. True cost of coal: Coal mining industry and its associated environmental impacts on water resource development. *J Sustain Min* 2020; 19: 135–149.
38. Ivanova S, Vesnina A, Fotina N, et al. An Overview of Carbon Footprint of Coal Mining to Curtail Greenhouse Gas Emissions. *Sustain* 2022; 14: 1–22.
39. Deng D, Zhang L, Dong M, et al. Radioactive waste: A review. *Water Environ Res* 2020; 92: 1818–1825.
40. World - IEA, <https://www.iea.org/world> (2025).
41. Potrč S, Čuček L, Martin M, et al. Sustainable renewable energy supply networks optimization – The gradual transition to a renewable energy system within the European Union by 2050. *Renew Sustain Energy Rev*; 146. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111186.
42. Europe – Countries & Regions - IEA, <https://www.iea.org/regions> (2025).
43. Biomass can heat, cool, power, and transport the EU-28 for 45 days, <https://bioenergyinternational.com/biomass-can-heat-cool-power-and-transport-the-eu-28-for-45-days/> (2019).
44. Costantini V, Gracceva F, Markandya A, et al. Security of energy supply: Comparing scenarios from a European perspective. *Energy Policy* 2007; 35: 210–226.
45. Adewuyi AO, Awodumi OB. Renewable and non-renewable energy-growth-emissions linkages: Review of emerging trends with policy implications. *Renew Sustain Energy Rev* 2017; 69: 275–291.
46. FURUNCU Y. Türkiye'nin Enerji Bağımlılığı ve Akkuyu Nükleer Enerji Santrali. *Cumhur Sci J* 2016; 37: 198.
47. Panagopoulou F. Renewable energy sources in Greece : potential, opportunities and challenges.
48. Seminario-Córdova R, Rojas-Ortega R. Renewable Energy Sources and Energy Production: A Bibliometric Analysis of the Last Five Years. *Sustain*; 15. Epub ahead of print 2023. DOI: 10.3390/su151310499.
49. Ramos PN. *Ficha Técnica*. 2024. Epub ahead of print 2024. DOI: 10.59072/rper.vi28.329.
50. Mijakovski V, Mijakovski N. Review of current position and perspectives of renewable energy in the Republic of Macedonia with focus on electricity production. *Renew Sustain Energy Rev* 2011; 15: 5068–5080.
51. Dincer I. Renewable energy and sustainable development: A crucial review. *Renew Sustain energy Rev* 2000; 4: 157–175.
52. Deshmukh MKG, Sameeroddin M, Abdul D, et al. Renewable energy in the 21st century: A review. *Mater Today Proc* 2023; 80: 1756–1759.
53. Krūmiņš J, Kļaviņš M. Investigating the Potential of Nuclear Energy in Achieving a

- Carbon-Free Energy Future. *Energies*; 16. Epub ahead of print 2023. DOI: 10.3390/en16093612.
54. 30% of the world's electricity came from renewable sources in 2023. *Our World in Data.*, <https://ourworldindata.org/data-insights/renewable-electricity-2023>.
  55. Solar - IEA. (n.d.). IEA., <https://www.iea.org/energy-system/renewables/solar-pv>.
  56. Fossil fuels still dominate global power systems, <https://www.reuters.com/markets/commodities/fossil-fuels-still-dominate-global-power-systems-2023-11-30/> (2023).
  57. Hongler P. Justice in International Tax Law. 2019; 2019.
  58. Maka AOM, Alabid JM. Solar energy technology and its roles in sustainable development. *Clean Energy* 2022; 6: 476–483.
  59. Klise GT, Stein JS. Models used to assess the performance of photovoltaic systems. *Sandia Natl Lab* 2009; 1–67.
  60. *Absorption / reflection of sunlight - Understanding Global Change*, <https://ugc.berkeley.edu/background-content/reflection-absorption-sunlight/> (2025).
  61. Kataray T, Nitesh B, Yarram B, et al. Integration of smart grid with renewable energy sources: Opportunities and challenges – A comprehensive review. *Sustain Energy Technol Assessments* 2023; 58: 103363.
  62. Stocks M, Stocks R, Lu B, et al. Global Atlas of Closed-Loop Pumped Hydro Energy Storage. *Joule* 2021; 5: 270–284.
  63. Wermager S, Baur S. Energy analysis of a student-designed solar house. *Energies* 2013; 6: 6373–6390.
  64. SOLAR ENERGY. *İLBANK*, <https://www.ilbank.gov.tr/sayfa/solar-energy> (2025).
  65. Wiatros-Motyka M, Fulghum N, Jones D, et al. Global Electricity Review 2024 - Ember Climate. 2024; 20–35.
  66. Greece installs 2.6 GW of PV capacity in 2024. *pv magazine International*, <https://www.pv-magazine.com/2025/02/05/greece-installs-2-6-gw-of-pv-capacity-in-2024/> (2025).
  67. JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission, [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/) (2025).
  68. APREN - Home, <https://www.apren.pt/en/renewable-energys/> (2025).
  69. DGEG, <https://www.dgeg.gov.pt/> (2025).
  70. North Macedonia puts its biggest solar power plant into operation. *Balkan Green Energy News*, <https://balkangreenenergynews.com/north-macedonia-puts-its-biggest-solar-power-plant-into-operation/> (2025).
  71. A Renewable Energy Future in North Macedonia: A Blueprint for Accelerating a Just Transition. *The Nature Conservancy*, <https://www.nature.org/en-us/about-us/where-we-work/europe/stories-in-europe/siting-renewable-energy-north-macedonia/> (2025).
  72. Miškić J, Pukšec T, Duić N. A view of recent advances in the field of sustainability:

- overview dedicated to 2022 SDEWES conferences. *Clean Technol Environ Policy* 2024; 26: 1–9.
73. Majeed Y, Khan MU, Waseem M, et al. Renewable energy as an alternative source for energy management in agriculture. *Energy Reports* 2023; 10: 344–359.
  74. Soroush M, Hajimolana Y. Sunlight harvesting. *Comput Chem Eng* 2023; 170: 108103.
  75. Sadhu M, Chakraborty S, Das N, et al. Role of Solar Power in Sustainable Development of India. *Int J Appl Power Eng* 2016; 5: 103.
  76. Ravi Kumar K, Krishna Chaitanya NVV, Sendhil Kumar N. Solar thermal energy technologies and its applications for process heating and power generation – A review. *J Clean Prod* 2021; 282: 125296.
  77. Elsarrag E, Igobo ON, Alhorr Y, et al. Solar pond powered liquid desiccant evaporative cooling. *Renew Sustain Energy Rev* 2016; 58: 124–140.
  78. Ahmed MH. Design and Testing of Heating and Cooling System Working by Solar Energy and Heat Exchanger. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.13140/RG.2.2.17729.84323.
  79. Solar Energy - Types, Working Principles and Block Diagram - GeeksforGeeks, <https://www.geeksforgeeks.org/solar-energy/> (2024).
  80. Toroxel JL, Silva SM. A Review of Passive Solar Heating and Cooling Technologies Based on Bioclimatic and Vernacular Architecture. *Energies* 2024; 17: 1–28.
  81. Dabiri S, Rahimi MF. Introduction of solar collectors and energy and exergy analysis of a heliostat plant The 3<sup>rd</sup> International Conference and Exhibition on Solar Energy Basic introduction of solar collectors and energy and exergy analysis of a heliostat plant, <https://www.researchgate.net/publication/318360867> (2016).
  82. Omeiza LA, Abid M, Subramanian Y, et al. Challenges, limitations, and applications of nanofluids in solar thermal collectors—a comprehensive review. *Environ Sci Pollut Res*. Epub ahead of print 2023. DOI: 10.1007/s11356-023-30656-9.
  83. Muliadi M, Sara ID, Suriadi S. The effect of bypass diode installation on partially covered solar panel output power. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* 2021; 1087: 012077.
  84. Hao D, Qi L, Tairab AM, et al. Solar energy harvesting technologies for PV self-powered applications: A comprehensive review. *Renew Energy* 2022; 188: 678–697.
  85. Sabry AH, Ker PJ. Improvement on energy consumption of a refrigerator within PV system including battery storage. *Energy Reports* 2021; 7: 430–438.
  86. Dorel S, Gmal Osman M, Strejoiu CV, et al. Exploring Optimal Charging Strategies for Off-Grid Solar Photovoltaic Systems: A Comparative Study on Battery Storage Techniques. *Batteries*; 9. Epub ahead of print 2023. DOI: 10.3390/batteries9090470.
  87. Gulzar MM, Iqbal A, Sibtain D, et al. An Innovative Converterless Solar PV Control Strategy for a Grid Connected Hybrid PV/Wind/Fuel-Cell System Coupled With Battery Energy Storage. *IEEE Access* 2023; 11: 23245–23259.
  88. Solak EK, Irmak E. Advances in organic photovoltaic cells: a comprehensive review of materials, technologies, and performance. *RSC Adv* 2023; 13: 12244–12269.



89. Satpathy R, Pamuru V. Making of crystalline silicon solar cells. *Sol PV Power* 2021; 71–134.
90. Cevasco D, Koukoura S, Kolios AJ. Reliability, availability, maintainability data review for the identification of trends in offshore wind energy applications. *Renew Sustain Energy Rev* 2021; 136: 110414.
91. Arivukkodi G. NATIONAL INSTITUTE OF WIND ENERGY ( An Autonomous R & D institution under the Ministry of New & Renewable Energy , Government of India ). An internship report On Submitted By.
92. For the first time, wind power in Greece exceeded 5 GW! - WattCrop, <https://wattcrop.com/for-the-first-time-wind-power-in-greece/> (2025).
93. Christodoulou T, Thomaidis NS, Kartsios S, et al. Managing the Intermittency of Wind Energy Generation in Greece. *Energies* 2024; 17: 1–32.
94. October I, Pedro F, Jorge A. October : Wind power accounts for almost 40 % of the energy produced in Portugal. 2024; 2023–2024.
95. A Renewable Energy Future in North Macedonia: A Blueprint for Accelerating a Just Transition.
96. Stojcheska AM, Cyril S, Chukaliev O, et al. CLIMATE CHANGE ADAPTATION IN AGRICULTURE – STATUS AND PROSPECTS IN WESTERN BALKAN ECONOMIES , VOLUME II : ECONOMIES ' CLIMATE CHANGE ADAPTATION IN AGRICULTURE – STATUS AND PROSPECTS IN WESTERN BALKAN ECONOMIES VOLUME II : ECONOMIES ' REPORTS. II. Epub ahead of print 2024. DOI: 10.13140/RG.2.2.29111.64165.
97. Justice G, Nyantakyi G, Isaac SH. The effect of renewable energy on carbon emissions through globalization. *Heliyon* 2024; 10: e26894.
98. Semassou GC, Prodjinonto V, Chegnimonhan V, et al. Dimensioning of a Water Pumping System by the Systematic Scanning Method. *Curr J Appl Sci Technol* 2018; 29: 1–15.
99. Bošnjakovi M. Wind Turbine Technology Trends Mladen. *Early Writings on India* 2018; 124–134.
100. Asim T, Islam SZ, Hemmati A, et al. A Review of Recent Advancements in Offshore Wind Turbine Technology. *Energies*; 15. Epub ahead of print 2022. DOI: 10.3390/en15020579.
101. Kumar GBA, Shivashankar. Optimal power point tracking of solar and wind energy in a hybrid wind solar energy system. *Int J Energy Environ Eng* 2022; 13: 77–103.
102. Parvez I, Shen J, Hassan I, et al. Generation of hydro energy by using data mining algorithm for cascaded hydropower plant. *Energies* 2021; 14: 1–28.
103. Radovic A. What ' s Happening in the World of CVN ? 1–28.
104. Atat MK, Ar C, Kelimeler A. CUMHURİYETİN İLK BARAJI : ÇUBUK BARAJI THE FIRST DAM OF TURKISH REPUBLIC : ÇUBUK DAM Ankara ' nın Su İhtiyacı. 2016; 87–110.
105. Farmaki P, Tranoulidis A, Kouletsos T, et al. Mining transition and hydropower energy

- in greece—sustainable governance of water resources management in a post-lignite era: The case of western Macedonia, Greece. *Water (Switzerland)*; 13. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.3390/w13141878.
106. Producers, distributors and operators | Macedonia Small Hydro Power Project, <https://shpp.moepp.gov.mk/370/producers-distributors-and-operators> (2025).
  107. Bilgili F, Lorente DB, Kuşkaya S, et al. The role of hydropower energy in the level of CO<sub>2</sub> emissions: An application of continuous wavelet transform. *Renew Energy* 2021; 178: 283–294.
  108. Barriers to Next-Gen Geothermal | IFP, <https://ifp.org/hot-rocks-part-three-barriers-to-next-gen-geothermal/> (2025).
  109. Geothermal Energy: What it is, Types & More | AGIC ENERGY, <https://agicenergy.com/geothermal-energy-what-it-is-types-more/> (2025).
  110. Igwe CI. Geothermal Energy: A Review. *Int J Eng Res Technol* 2021; 10: 655–661.
  111. Koçak Ali. TÜRKİYE’DE JEOTERMAL ENERJİ ARAMALARI ve POTANSİYELİ. 2003; 217–233.
  112. Varvitsioti E, Tsifoutidis G. A Regulatory Roadmap to the Past, Present and Future of Geothermal Energy in Greece. 2021; 10.
  113. Zafeiropoulos GN. FACULTY OF GEOLOGY AND GEOENVIRONMENT The importance of Geoenvironmental Education in understanding Geological Heritage and promoting Geoethical Awareness : Development and Implementation of an innovative assessment method , with a case study of the South.
  114. Pitzer MR, Plasil MR, Schrey DS. Potential of Renewable Energy in the Countries : Bosnia and Herzegovina , FYR Macedonia , Kosovo and Serbia A Master ’ s Thesis submitted for the degree of supervised by.
  115. Chingoski V, Petrevska B. GEOTHERMAL RESOURCES: NEW INSIGHTS FOR SPA TOURISM IN NORTH MACEDONIA. 2021; 127–135.
  116. Idroes GM, Hardi I, Hilal IS, et al. Economic growth and environmental impact: Assessing the role of geothermal energy in developing and developed countries. *Innov Green Dev* 2024; 3: 100144.
  117. Jeotermal Rising, jeotermal ısı pompalarına genel bakış, <https://www.jeotermalhaberler.com/jeotermal-rising-jeotermal-isi-pompalarina-genel-bakis/> (2025).
  118. Sharmin T, Khan NR, Akram MS, et al. A State-of-the-Art Review on Geothermal Energy Extraction, Utilization, and Improvement Strategies: Conventional, Hybridized, and Enhanced Geothermal Systems. *Int J Thermofluids* 2023; 18: 100323.
  119. Zhang S, Ocloń P, Klemeš JJ, et al. Renewable energy systems for building heating, cooling and electricity production with thermal energy storage. *Renew Sustain Energy Rev*; 165. Epub ahead of print 2022. DOI: 10.1016/j.rser.2022.112560.
  120. What is Geothermal? | Geothermal | Energy | Environment and Climate Change | Province of Manitoba, [https://www.gov.mb.ca/sd/environment\\_and\\_biodiversity/energy/geothermal/geo.html](https://www.gov.mb.ca/sd/environment_and_biodiversity/energy/geothermal/geo.html) (2025).

121. Gao B, Zhu X, Yang X, et al. Operation performance test and energy efficiency analysis of ground-source heat pump systems. *J Build Eng* 2021; 41: 1–11.
122. Chiriboga G, Capelo S, Bunces P, et al. Harnessing of geothermal energy for a greenhouse in Ecuador employing a heat pump: design, construction, and feasibility assessment. *Heliyon*; 7. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e08608.
123. Hafner M, Raimondi PP. *Energy and the Economy in Europe*. 2022. Epub ahead of print 2022. DOI: 10.1007/978-3-030-86884-0\_36.
124. Tsamenyi M, Herriman M. Ocean energy and the law of the sea: The need for a protocol. *Ocean Dev Int Law* 1998; 29: 3–19.
125. Innovation Archives, [https://www.offshore-energy.biz/markets/marine-energy/page/20/?fwp\\_topic=infrastructure&topic=innovation](https://www.offshore-energy.biz/markets/marine-energy/page/20/?fwp_topic=infrastructure&topic=innovation) (2025).
126. Foteinis S. Wave energy converters in low energy seas: Current state and opportunities. *Renew Sustain Energy Rev* 2022; 162: 112448.
127. Sihwa Lake Tidal Power Station - Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Sihwa\\_Lake\\_Tidal\\_Power\\_Station#:~:text=Sihwa Lake Tidal Power Station is the world's largest tidal,the Korea Water Resources Corporation. \(2009\).](https://en.wikipedia.org/wiki/Sihwa_Lake_Tidal_Power_Station#:~:text=Sihwa Lake Tidal Power Station is the world's largest tidal,the Korea Water Resources Corporation. (2009).)
128. Türkiye Denizüstü Rüzgar Enerjisi Yol Haritası: Yeşil Enerji Geleceğine Giden Yolda Seyretmek, <https://www.worldbank.org/tr/news/press-release/2024/11/07/offshore-wind-roadmap-for-turkiye-navigating-pathways-to-a-green-power-future> (2024).
129. Charles Rajesh Kumar J, Vinod Kumar D, Baskar D, et al. Offshore wind energy status, challenges, opportunities, environmental impacts, occupational health, and safety management in India. *Energy Environ* 2021; 32: 565–603.
130. Vezzani G. Effects of climate change on power supply Long-term analysis for the Portuguese study case Gabriele Vezzani Thesis to obtain the Master of Science Degree in : Energy engineering and management Patricia Fortes Chairperson : Supervisor : Members of the comm.
131. Mezilis E. The impact of Marine and Offshore Renewable Energy on the European Energy System Evolution The impact of Marine Renewable Energy on the European Energy System Evolution.
132. Banerjee S. Theoretical design for ascertaining sustainability of energy systems with special reference to the competing renewable energy schemes. *Resour Environ Sustain* 2022; 7: 100048.
133. Guo B, Ringwood J V. A review of wave energy technology from a research and commercial perspective. *IET Renew Power Gener* 2021; 15: 3065–3090.
134. Kaygusuz E, Ali S. WAVE ENERGY : A GLOBAL OVERVIEW OF THE CURRENT STATE OF CISET - 2 nd Cilicia International Symposium on Engineering and Technology 10-12 October , 2019 , Mersin / TÜRKİYE WAVE ENERGY : A GLOBAL OVERVIEW OF THE CURRENT STATE OF.
135. Cui Y, Liu Z, Zhang X, et al. Review of CFD studies on axial-flow self-rectifying turbines for OWC wave energy conversion. *Ocean Eng* 2019; 175: 80–102.

136. Yakout AH, Attia MA, Kotb H. Marine Predator Algorithm based Cascaded PIDA Load Frequency Controller for Electric Power Systems with Wave Energy Conversion Systems. *Alexandria Eng J* 2021; 60: 4213–4222.
137. Chowdhury MS, Rahman KS, Selvanathan V, et al. Current trends and prospects of tidal energy technology. *Environ Dev Sustain* 2021; 23: 8179–8194.
138. Gelgit Enerjisi, <https://www.baretdergisi.com/yazarlar/semih-calapkulu/gelgit-enerjisi/96/>.
139. Ocean, Wave and Tidal Energy | Electricalvoice, <https://electricalvoice.com/ocean-energy-wave-tidal-energy-otec/> (2025).
140. Herrera J, Sierra S, Ibeas A. Ocean thermal energy conversion and other uses of deep sea water: A review. *J Mar Sci Eng*; 9. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.3390/jmse9040356.
141. Mwangi JW. Broad Spectrum Biogas System As a Potential Catalyst for Environmental Biomass Waste Mop Out and Climate Change Mitigation Strategy in Narok County.
142. Hameed Z, Aslam M, Khan Z, et al. Gasification of municipal solid waste blends with biomass for energy production and resources recovery: Current status, hybrid technologies and innovative prospects. *Renew Sustain Energy Rev* 2021; 136: 110375.
143. Woods E, Berrio VR, Qiu Y, et al. Biomass composting with gaseous carbon dioxide capture. *RSC Sustain* 2024; 2: 621–625.
144. BIS Releases Biofuel Production, Distribution and Usage Standards, <https://mysuruinfrahub.com/bis-releases-biofuel-production-distribution-and-usage-standards/> (2025).
145. Khan MAH, Bonifacio S, Clowes J, et al. Investigation of biofuel as a potential renewable energy source. *Atmosphere (Basel)*; 12. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.3390/atmos12101289.
146. Mofijur M, Siddiki SYA, Shuvho MBA, et al. Effect of nanocatalysts on the transesterification reaction of first, second and third generation biodiesel sources- A mini-review. *Chemosphere*; 270. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128642.
147. Khoshnevisan B, Duan N, Tsapekos P, et al. A critical review on livestock manure biorefinery technologies: Sustainability, challenges, and future perspectives. *Renew Sustain Energy Rev* 2021; 135: 110033.
148. Scion - Biorefinery technology, <https://www.scionresearch.com/about-us/about-scion/corporate-publications/scion-connections/past-issues-list/issue-6/biorefinery-technology> (2025).
149. Ambaye TG, Vaccari M, Bonilla-Petriciolet A, et al. Emerging technologies for biofuel production: A critical review on recent progress, challenges and perspectives. *J Environ Manage*; 290. Epub ahead of print 2021. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112627.
150. Türkiye elektrik kurulu gücü 115 bin 353 MW’a ulaştı, <https://www.enerjigunlugu.net/2024te-turkiyenin-kurulu-gucu-yuzde-4-artti->

61712h.htm (2025).

151. Tatoulis P. Feasibility study of a novel system for the production of advanced biofuels in Greece: Thermodynamic and technoeconomic assessment.
152. Markov SI. The Use of Liquefied Petroleum Gas (LPG) in the Republic of North Macedonia as a Sustainable Alternative Fuel: Regulation, Condition and Market Participants. *Conf Proc (part ITEMA Conf Collect* 2021; 203–213.
153. Moreira PJP. Shipping and sustainability liquefied natural gas as an alternative fuel: evidence from Portugal. Epub ahead of print 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.35650.22724.
154. Ali S, Yan Q, Razzaq A, et al. Modeling factors of biogas technology adoption: a roadmap towards environmental sustainability and green revolution. *Environ Sci Pollut Res* 2023; 30: 11838–11860.
155. Devi A, Bajar S, Kour H, et al. Lignocellulosic Biomass Valorization for Bioethanol Production: a Circular Bioeconomy Approach. *Bioenergy Res* 2022; 15: 1820–1841.
156. Alhassan AG, Mshelia RB, Yusuf R. Review of the use of bioethanol as alternative fuel for internal combustion engines. *Acta Tech Corviniensis - Bull Eng* 2021; 14: 139–144.
157. Sarkar N, Ghosh SK, Bannerjee S, et al. Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. *Renew Energy* 2012; 37: 19–27.
158. Mittal V, Lim E. Aligning Advances in Biodiesel Technology with the Needs of the Defense Community. *Eng* 2024; 5: 2709–2727.
159. Bashir MA, Wu S, Zhu J, et al. Recent development of advanced processing technologies for biodiesel production: A critical review. *Fuel Process Technol* 2022; 227: 107120.
160. Vilas Bôas RN, Mendes MF. A review of biodiesel production from non-edible raw materials using the transesterification process with a focus on influence of feedstock composition and free fatty acids. *J Chil Chem Soc* 2022; 67: 5433-5444.
161. Suzihaque MUH, Alwi H, Kalthum Ibrahim U, et al. Biodiesel production from waste cooking oil: A brief review. *Mater Today Proc* 2022; 63: S490–S495.
162. How it works: Biodiesel production - PT Sinar Mas Agro Resources and Technology Tbk (PT SMART Tbk), <https://www.smart-tbk.com/en/cara-kerja-produksi-biodiesel/> (2025).
163. Abdelrahman AA, Abo El-Khair MA. Advanced Biodiesel Production: Feedstocks, Technologies, Catalysts, Challenges, and Environmental Impacts. *J Environ Chem Eng* 2025; 13: 114966.
164. Hydrogen Energy- Energy Of The Future?, <https://www.storm-procurement.com/news-old/hydrogen-energy> (2025).
165. Najjar YSH. Hydrogen safety: The road toward green technology. *Int J Hydrogen Energy* 2013; 38: 10716–10728.
166. Xu X, Zhou Q, Yu D. The future of hydrogen energy: Bio-hydrogen production technology. *Int J Hydrogen Energy* 2022; 47: 33677–33698.



167. Autothermal Reformer (ATR) Market Size Estimations: 2022, Development Trends, Technology Advancements and Future Challenges | Air Liquide Engineering & Construction, <https://www.openpr.com/news/2685742/autothermal-reformer-atr-market-size-estimations-2022> (2025).
168. Biomass Gasification: A Circular Economy Enabler for Hydrogen Production, <https://wri-india.org/pt/blog/biomass-gasification-circular-economy-enabler-hydrogen-production> (2025).
169. Singh S, Pandey G, Rath GK, et al. Life cycle assessment of biomass-based hydrogen production technologies: A review. *Int J Green Energy* 2023; 00: 1–16.
170. Varsha M V., Nageswaran G. Operando X-Ray Spectroscopic Techniques: A Focus on Hydrogen and Oxygen Evolution Reactions. *Front Chem*; 8. Epub ahead of print 2020. DOI: 10.3389/fchem.2020.00023.
171. Hydrogen Produced from Methane Pyrolysis: Key Considerations for Investors, <https://www.third-derivative.org/blog/hydrogen-produced-from-methane-pyrolysis-key-considerations-for-investors> (2024).
172. Abbas MK, Hassan Q, Tabar VS, et al. Techno-economic analysis for clean hydrogen production using solar energy under varied climate conditions. *Int J Hydrogen Energy* 2023; 48: 2929–2948.
173. Dehdari L, Burgers I, Xiao P, et al. Purification of hydrogen from natural gas/hydrogen pipeline mixtures. *Sep Purif Technol* 2022; 282: 120094.
174. Hwang J, Maharjan K, Cho HJ. A review of hydrogen utilization in power generation and transportation sectors: Achievements and future challenges. *Int J Hydrogen Energy* 2023; 48: 28629–28648.
175. Ural T, Karaca G. Hydrogen Economy. *J Glob Eng Stud e-ISSN* 2016; 3: 145–154.
176. Li J, Yu T. Sensors integrated control of PEMFC gas supply system based on large-scale deep reinforcement learning. *Sensors (Switzerland)* 2021; 21: 1–19.
177. Chen Y, Xu Z, Wang J, et al. Multi-objective optimization of an integrated energy system against energy, supply-demand matching and exergo-environmental cost over the whole life-cycle. *Energy Convers Manag* 2022; 254: 115203.