

# AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO H<sub>2</sub> NO SISTEMA ENERGÉTICO NACIONAL IDENTIFICAÇÃO DE FATORES CONDICIONANTES NO PERÍODO ATÉ 2050

*CONFIDENCIAL*



**FCT** FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**CENSE**  
center for environmental  
and sustainability research

**AP2H2**  
Associação Portuguesa  
para a Promoção do Hidrogénio



Hidrogénio e  
Sustentabilidade  
Energética  
COMPETE 2020

Estudo realizado para a AP2H2 no âmbito do  
projeto H2SE, e financiado pelo SIAC2020,  
no quadro do COMPETE2020



Hidrogénio e  
Sustentabilidade  
Energética



Associação Portuguesa  
para a Promoção do Hidrogénio

Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu  
de Desenvolvimento Regional

## ***SUMÁRIO EXECUTIVO***

***OUTUBRO 2019***

**S.. G. SIMOES, P. FORTES, J. SEIXAS**

**CENSE - Center for Sustainability and Environmental Research**


**FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

Imagem da capa: NGC 604, uma região gigante de hidrogénio ionizado na Galáxia Triangulum. Imagem de: NASA, Hui Yang University of Illinois ODNursery of New Stars - Great Images in NASA Description, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6449340>

# Índice

MENSAGENS-CHAVE.....	5
1 INTRODUÇÃO .....	7
2 ABORDAGEM METODOLÓGICA .....	9
3 POTENCIAL DO HIDROGÉNIO NO SISTEMA ENERGÉTICO NACIONAL E IDENTIFICAÇÃO DE FATORES CONDICIONANTES .....	11
3.1 O PAPEL DO HIDROGÉNIO NA ENERGIA FINAL .....	11
3.2 O PAPEL DO HIDROGÉNIO NA MOBILIDADE .....	12
3.3 PRODUÇÃO DE HIDROGÉNIO .....	13
REFERÊNCIAS .....	14

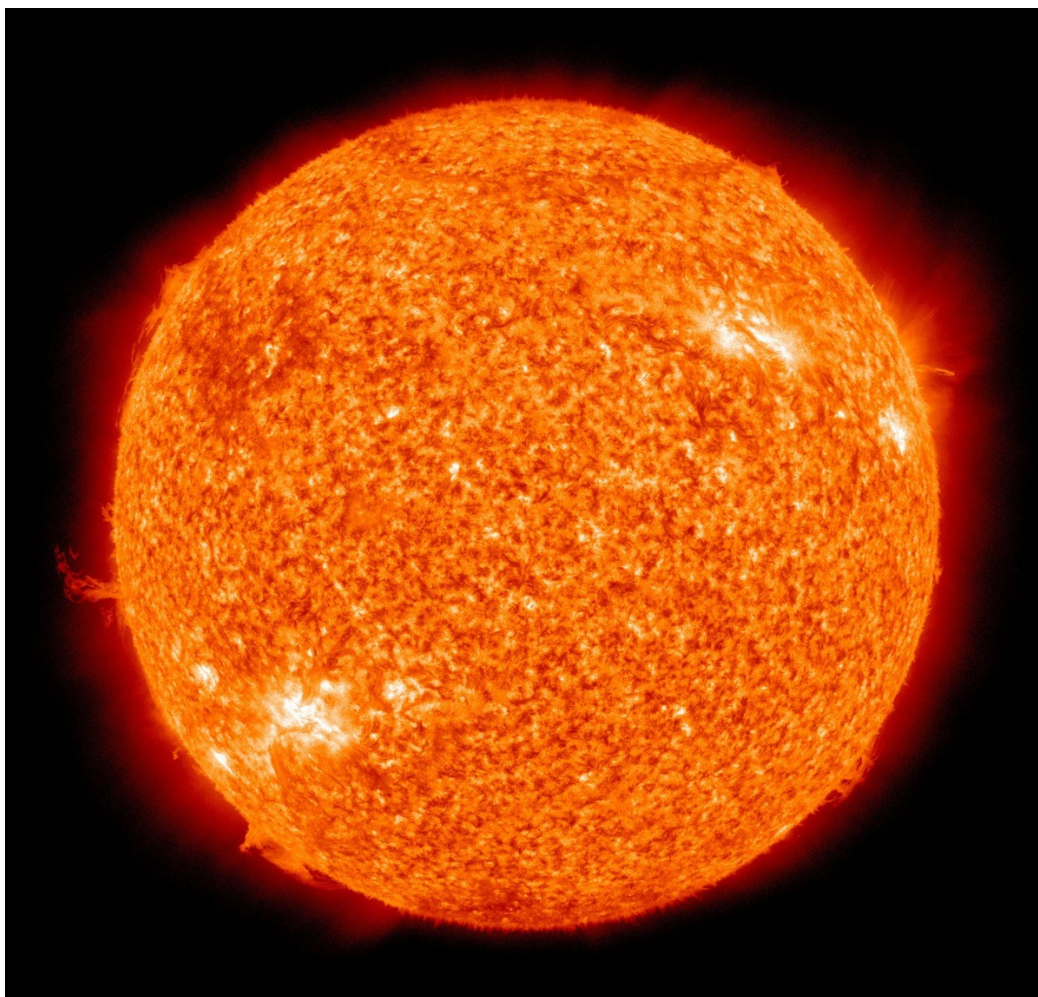


*Até 1988 no Reino Unido funcionou um sistema de abastecimento de gás para habitações, indústria e iluminação pública onde a distribuição por pipelines era feita com uma percentagem de 50% de hidrogénio em volume.*



# *“O H<sub>2</sub> é essencial para assegurar a descarbonização do sistema energético Português”*

1. A mobilidade a H<sub>2</sub> é fundamental para assegurar o cumprimento com objetivos de descarbonização, tanto no médio prazo (em 2030) como no longo prazo (em 2050);
  2. Com o perfil de evolução de custos tecnológicos considerado e com objetivos de descarbonização em 2050 entre -80% a -90% emissões de gases de efeito de estufa (GEE) face a 1990, o H<sub>2</sub> é competitivo sobretudo no transporte de mercadorias logo a partir de 2030 (assegurando 60-85% do transporte de mercadorias). Estes valores pressupõem taxas de renovação de stock rodoviário muito elevadas e porventura “irrealistas”. No entanto, mostram claramente o custo-eficácia e relevância deste vetor já no curto-médio prazo;
  3. Mesmo sem considerar metas de descarbonização, o H<sub>2</sub> torna-se competitivo já em 2030 se se verificarem reduções de custo de camiões e carrinhas de transporte de mercadorias a H<sub>2</sub> na ordem dos 30%. Não foram modeladas frotas, que poderão aumentar a competitividade do H<sub>2</sub>, devido aos menores custos de infraestrutura;
  4. O efeito combinado de uma meta de descarbonização (-80% GEE face a 2005) e de redução de custos de veículos a H<sub>2</sub> de apenas 10% aumenta ainda mais o custo-eficácia do H<sub>2</sub> em 2030 (com mais 32 000 t H<sub>2</sub> produzidas do que com apenas a descarbonização);
  5. A competitividade do H<sub>2</sub> na mobilidade é também é relevante para o transporte pesado de passageiros— ou logo a partir de 2030, caso se verifique uma redução de custos de autocarros de pelo menos 50% (sem qualquer meta de descarbonização), ou a partir de 2040, sem qualquer redução de custos, mas para cumprir com metas de descarbonização;
  6. Dependendo do cenário de descarbonização ou redução de custos considerado\*, em 2030, poderão produzir-se em Portugal entre 551 a 325 000 toneladas de H<sub>2</sub>. Em 2050 poderão ser produzidas entre 164 000 a 523 000 toneladas de H<sub>2</sub>;
  7. A maioria do H<sub>2</sub> é produzido recorrendo a eletrólise, e/ou reformação de biomassa (esta última sobretudo em 2030 ). A importância relativa destas duas opções na produção de H<sub>2</sub> varia com o preço da eletricidade, a disponibilidade (e preço da biomassa) e por fim, com a evolução expectável dos custos dos eletrolisadores PEM (*polymer electrolyte membrane*). Neste trabalho não foi possível estudar em detalhe se as opções de produção e distribuição descentralizadas são mais custo-eficazes do que as centralizadas, dadas as características da ferramenta de modelação utilizada;
  8. O custo-eficácia do H<sub>2</sub> em 2030 é muito sensível aos seguintes aspetos: (i) preço de eletricidade, uma vez que a maioria do H<sub>2</sub> é gerado por eletrólise (ii) meta de descarbonização, ou (iii) incentivos que permitam reduzir custos dos veículos a H<sub>2</sub> entre 5% a 30%. Variações nos mesmos levam a variações de mais de 100% na produção de H<sub>2</sub> . Políticas afetando o preço de eletricidade serão muito determinantes para o H<sub>2</sub>;
  9. Não foi considerado aqui o efeito sinérgico que existirá entre os veículos pesados e ligeiros de mercadorias. A infraestrutura de H<sub>2</sub> a ser criada para camiões estará também disponível para os veículos ligeiros, facilitando a entrada destes no mercado.
  10. Neste estudo, dada a limitada resolução temporal do modelo utilizado, não é possível estudar com detalhe o papel do H<sub>2</sub> na armazenagem de energia. Foi no entanto feito um ensaio simplificado, tendo-se verificado que o H<sub>2</sub> pode vir a desempenhar um papel importante na armazenagem de eletricidade intermitente já em 2030, sendo mais custo-eficaz do que as baterias Li-Na (quando aplicáveis). Esta opção deverá futuramente ser explorada em maior detalhe na modelação;
  11. O *blending* de H<sub>2</sub> na rede de gás natural aumenta bastante o custo-eficácia do H<sub>2</sub> no consumo final. Esta opção deverá igualmente ser mais explorada futuramente na modelação;
- \* para esta gama de valores de produção de H<sub>2</sub> considerou-se apenas uma redução de custos até 50%. Na secção dos resultados apresentam-se produções maiores para reduções de custo de 70% e 90%.



Cerca de três quartos da massa do Sol são constituídos por  $H_2$

***“Qual o potencial do  $H_2$  no Sistema Energético Nacional até 2050? Quais os fatores que condicionam o seu custo-eficácia até 2050?”***

# 1. Introdução

**A** AP2H2 pretende estudar a penetração do Hidrogénio no sistema energético Português atualizando os estudos realizados no quadro do Roteiro Nacional de Baixo Carbono (RNBC 2050) em que o Hidrogénio foi considerado de forma simplificada. Deste modo, este relatório enquadra-se no estudo que a FCT-NOVA desenvolveu para a AP2H2 intitulado “Avaliação do potencial do H<sub>2</sub> no Sistema Energético Nacional e identificação de fatores condicionantes no período até 2050”. Este estudo inclui os seguintes componentes:

- (a) Análise das cadeias atuais e emergentes de Hidrogénio (interligando mobilidade e armazenamento) abrangendo Produção, Armazenamento e Logística de Distribuição;
- (b) Revisão e atualização das tecnologias de hidrogénio, nomeadamente no que se refere a parâmetros técnicos, custos atuais, learning curve, e o respetivo TRL (Technology Readiness Levels);
- (c) Simulações, com recurso ao modelo TIMES\_PT, calibrado e validado para o sistema energético nacional no âmbito de estudos anteriores para suporte a políticas públicas nacionais (Programa Nacional para as Alterações Climáticas - PNAC2020 e RNBC 2050), sobre a entrada do H<sub>2</sub> no sistema energético português (com especial enfoque na mobilidade e armazenamento) em vários cenários, incluindo a penetração de renováveis, crescimento económico e objetivos de sustentabilidade ambiental;
- (d) Elaboração de um Road map para o desenvolvimento das tecnologias do H<sub>2</sub> no sistema energético Português, com indicação de ações-chave no período até 2050.

Este relatório apresenta de forma sumário dos resultados da modelação efetuada com o modelo TIMES\_PT, sobre a entrada do H<sub>2</sub> no sistema energético português, em particular para as opções de mobilidade e armazenamento de eletricidade.

O trabalho de modelação foi enquadrado por diversos trabalhos de modelação anteriores, mas no seu âmbito foram feitas diversas melhorias metodológicas ao modelo TIMES\_PT, nomeadamente a revisão detalhada das opções

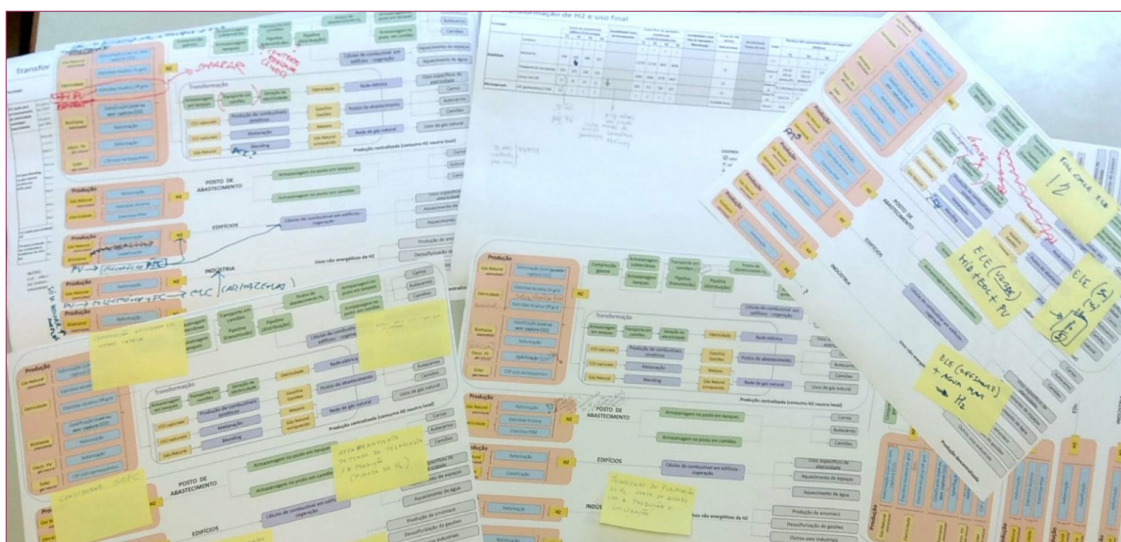
para a produção, transporte e uso do H<sub>2</sub>, considerada no TIMES\_PT. Para tal, efetuou-se uma revisão exaustiva da literatura, bem como uma consulta a diversos stakeholders nacionais na área do H<sub>2</sub>. Esta consulta efetuou-se através de diversas reuniões com a AP2H2, a DGEG e o LNEG (entre outros), bem como um workshop com diversos stakeholders nacionais.

É importante referir que durante o decorrer deste trabalho encontraram-se também a decorrer os trabalhos de modelação para o RNC – Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050. Embora as equipas envolvidas nos trabalhos de modelação não fossem as mesmas, procurou-se compatibilizar na medida do possível as bases de dados tecnológicas que alimentam o modelo TIMES\_PT para os dois trabalhos. Da mesma forma, conforme previamente acordado com a AP2H2, foi decidido utilizar neste estudo os mesmos cenários de procura de serviços de energia (e subsequentemente, os mesmos cenários socioeconómicos) que foram desenvolvidos e utilizados no âmbito do RNC.

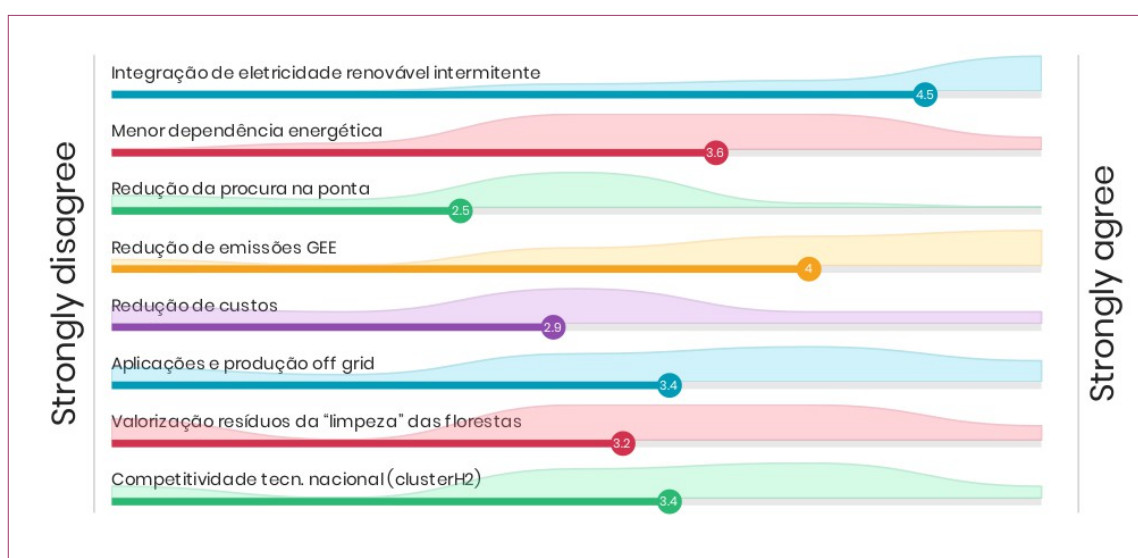
No entanto, o alinhamento entre este estudo e o RNC nem sempre foi possível no que diz respeito às características tecno-económicas das tecnologias de produção, distribuição e uso final de H<sub>2</sub>, dado os timings diferentes dos dois estudos.

Os trabalhos de modelação do RNC foram concluídos em março de 2019 enquanto estes se prolongaram durante 2019. Além disso, os dois estudos têm pressupostos distintos no que respeita à velocidade de substituição de stocks de tecnologias de uso final H<sub>2</sub>, devido aos seus objetivos distintos. Enquanto que no RNC se considera uma taxa de substituição tecnológica no curto-médio prazo em linha com o verificado historicamente, neste trabalho pretende-se avaliar qual seria a taxa de substituição necessária para que o H<sub>2</sub> se torne custo-eficaz logo a partir de 2030.

*“Este estudo tem semelhanças com o RNC, mas com diferentes características tecnoeconómicas das tecnologias de H<sub>2</sub>. Além disso no RNC considera-se uma taxa de substituição em 2030 em linha com o verificado historicamente, mas aqui pretende-se avaliar qual a taxa de substituição necessária para que o H<sub>2</sub> se torne custo-eficaz em 2030.”*



Desenho de cadeias de H<sub>2</sub> a incluir no modelo TIMES\_PT.



Votação sobre os fatores condicionantes do custo-eficácia do H<sub>2</sub> a modelar (no workshop com *stakeholders* nacionais em janeiro de 2018)



## 2. Abordagem metodológica

**N**uma abordagem sistémica de modelação de H<sub>2</sub>, considerando sua flexibilidade e como o mesmo pode satisfazer uma variedade de serviços de energia, pode-se evitar que ele seja considerado, à partida, uma forma ineficiente de utilização da energia em comparação com outras opções. Assim o H<sub>2</sub> pode ser avaliado conforme o custo-eficácia do sistema como um todo e o impacto ambiental potencial deste, especialmente no que diz respeito a redução de emissões de CO<sub>2</sub> em cenários de baixo carbono (ERP, 2016).

Considerando as formas nas quais o H<sub>2</sub> pode contribuir para a transição para a descarbonização da economia mundial, fica muito clara também esta necessidade de abordagem sistémica. O hidrogénio pode permitir:

(1) eficiente integração das energias renováveis variáveis em larga escala, pode colaborar com a (2) distribuição da energia por setores e regiões e pode (3) servir como vetor energético de armazenagem de energia para que seja criada mais resiliência no sistema. Nos usos finais o hidrogénio pode (4) descarbonizar os transportes, (5) os usos de energia na indústria, pode servir ainda como (6) input para a produção de combustíveis sintéticos líquidos recorrendo a CO<sub>2</sub> capturado e ainda para (7) descarbonizar o aquecimento centralizado.

No presente trabalho as cadeias de produção, distribuição e consumo de H<sub>2</sub> consideradas no modelo TIMES\_PT foram revistas e atualizadas. Para tal foram considerados parâmetros técnicos de cada tecnologia, tais como eficiência, emissões associadas, valor horário máximo anual que a tecnologia pode operar e parâmetros económicos, tais como custos atuais e evolução futura.

Após esta revisão foi analisada a entrada do H<sub>2</sub> no sistema energético português no período entre 2015 e 2050 por forma a avaliar o seu potencial e identificar os fatores que condicionam a sua custo-eficácia. Apesar de o horizonte temporal para o estudo ser entre 2015 e 2050, foram elaborados e analisados resultados para 2020, 2030, 2040 e 2050.

Foi utilizado o TIMES\_PT que é um modelo tecnológico de

otimização linear que resulta da implementação para Portugal do gerador de modelos de otimização de economia - energia - ambiente TIMES desenvolvido pelo ETSAP (Energy Technology Systems Analysis Programme) da Agência Internacional de Energia (Loulou 2005a, Loulou 2005b).

O objetivo principal modelo TIMES\_PT é a satisfação da procura de serviços de energia ao menor custo possível. Para tal, são consideradas em simultâneas opções de investimento e operação de determinadas tecnologias, fontes de energia primária e importações e exportações de energia .

O modelo TIMES\_PT representa o sistema energético Português de 2005 a 2050, incluindo os seguintes sectores: oferta de energia primária (refinação e produção de combustíveis sintéticos, importação e recursos endógenos); geração de eletricidade; indústria (cimento, vidro, cerâmica, aço, química, pasta de papel e papel, cal e outras industriais); residencial; terciário; agricultura, silvicultura e pescas (apenas a componente de consumo de energia) e transportes. Em cada sector são modelados em detalhe os fluxos monetários, de energia e de materiais associados às diversas tecnologias de produção e consumo de energia, incluindo balanços de massa para alguns sectores industriais (Simões et al, 2008).

Neste trabalho estudaram-se os seguintes fatores passíveis de condicionar o custo-eficácia do H<sub>2</sub> no Sistema energético nacional:

- > Metas de descarbonização (entre os 80% os 90% de redução de emissões de GEE face a 2005);
- > Evolução de custos de tecnologias de mobilidade a H<sub>2</sub> (carros, autocarros, carrinhas e camiões);
- > Taxa de penetração moderada de veículo elétricos a baterias.

Foram ainda estudados outros fatores como a evolução de custos de tecnologias de produção e de distribuição de H<sub>2</sub>, que não são aqui apresentados por se ter concluído terem menor importância do que os três acima.

A modelação foi feita tendo por base o cenário socioeconómico Camisola Amarela (CA), conforme desenvolvido no RNC.



*A opção de geração mais custo-eficaz de  $H_2$  em Portugal será a eletrólise*



*O  $H_2$  irá ter um papel fundamental na descarbonização do sector dos transportes, principalmente o transporte de mercadorias.*



### 3. Potencial do Hidrogénio no sistema energético nacional

Nesta secção apresentam-se os resultados da modelação dos diversos cenários estudados no que respeita a:

- Importância do H<sub>2</sub> no consumo de energia final;
- Produção de H<sub>2</sub>;
- % de serviços de mobilidade, i.e. pkm e tkm satisfeitas com veículos a H<sub>2</sub>.

São apresentados resultados para os seguintes cenários:

- > REF - cenário de referência, sem qualquer meta de descarbonização;

- > CAP80%, CAP85% e CAP90% - idênticos ao REF, mas com meta de redução de GEE em 2050 de -80%/ ou 85% ou 90% face a 2005;
- > Red10%, Red20%, Red30%, Red50%, Red70% - idênticos ao REF, mas com redução dos custos de investimento e operação de veículos a H<sub>2</sub> entre 10% e 70% a partir de 2030;
- > STG3%, STG5% e STG10% - idênticos ao REF, mas com obrigação de armazenar 3%, 5% ou 10% da eletricidade produzida a partir de 2030, que se assume circular a custo zero no mercado ibérico, devido ao não *curtailment* de renováveis variáveis intermitentes (solar e eólico).

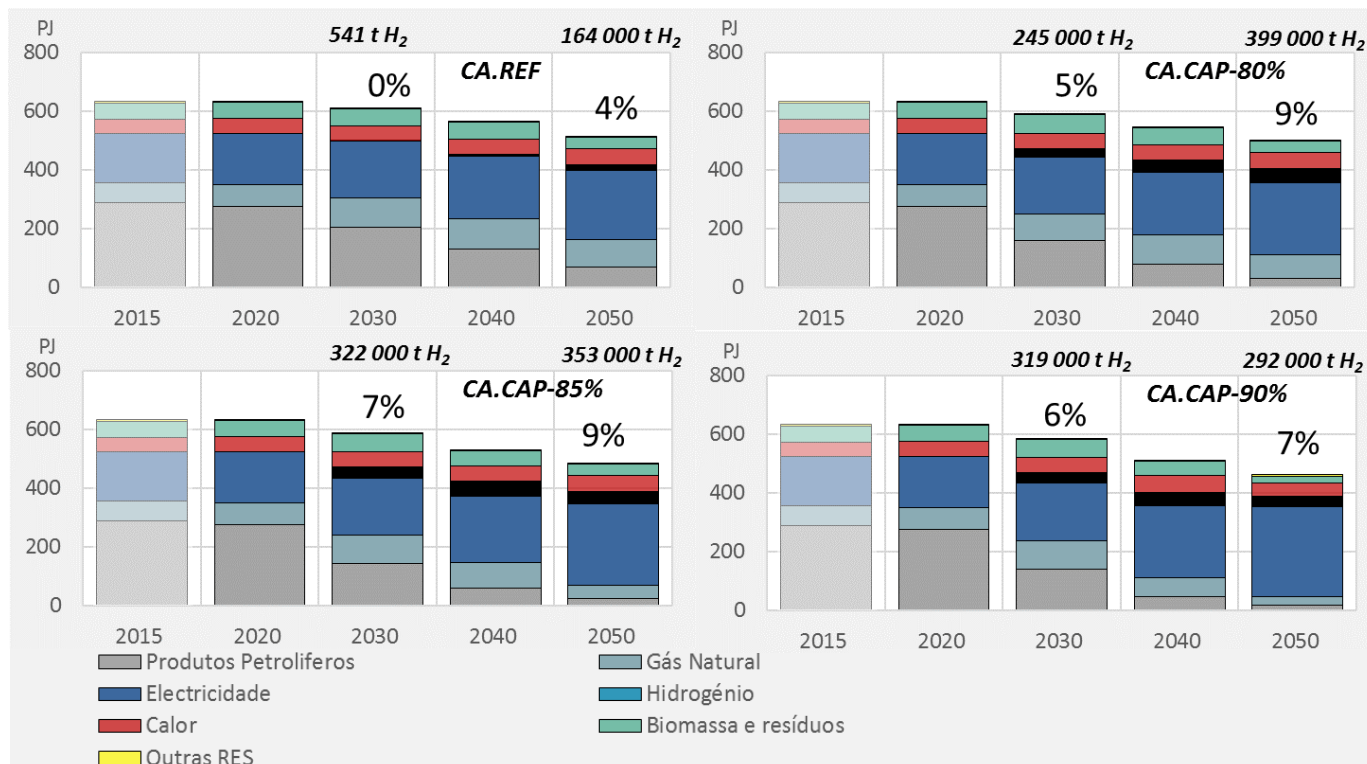


FIGURA 1 | EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA FINAL EM PORTUGAL DE 2015 A 2050, NOS CENÁRIOS REF, CAP-80%, CAP-85% E CAP-90%, COM INDICAÇÃO DA % DO H<sub>2</sub> NO CONSUME DE H<sub>2</sub> EM 2030 E 2050, BEM COMO DA INDICAÇÃO EM TONELADAS DE H<sub>2</sub>

No cenário REF em 2030 são consumidas apenas 541 t H<sub>2</sub>, que representam apenas 0,01% do consumo total de energia final em Portugal. Em 2050, com a descida prevista do custo das tecnologias de produção, distribuição e consumo final de H<sub>2</sub>, passam a ser consumidas 164 000 t H<sub>2</sub> o que representa cerca de 4% do consumo de energia final.

No cenário REF o H<sub>2</sub> é custo-eficaz mesmo sem qualquer meta de descarbonização ou incentivo que permita uma redução mais acelerada dos custos das tecnologias deste vetor.

Nos cenários com as metas de descarbonização em 2050 (com efeito a partir de 2030), aumenta o custo-eficácia do H<sub>2</sub> logo em 2030 com 245 000 a 322 000 t H<sub>2</sub> consumidas (5 a 7% do consumo total de energia final). Em 2050, com a descida prevista do custo das tecnologias e a meta mais agressiva de GEE, passam a ser consumidas entre 292 000 a 399 000 t H<sub>2</sub> (cerca de 7 a 9% do consumo de energia final). A maior exigência de redução de GEE não se traduz num aumento proporcional do papel do H<sub>2</sub> em 2050, porque aumentam os preços de eletricidade usados na sua produção.

# “O H<sub>2</sub> pode chegar a representar 14% do consumo de energia final em Portugal”

Com uma redução de custo de veículos na ordem dos 30% o transporte a H<sub>2</sub> torna-se competitivo logo em 2030 (sem qualquer meta de descarbonização). Pequenas alterações no preço de eletricidade tornam o transporte a H<sub>2</sub> mais competitivo. As reduções de custo levam a um aumento do

consumo de H<sub>2</sub> em 2030 que varia entre 541 a 364 000 t H<sub>2</sub> consumidas (0,01 a 7% do consumo total de energia final). Em 2050, com as reduções consideradas nos custos das tecnologias a H<sub>2</sub>, passam a ser consumidas entre 389 000 a 571 000 t H<sub>2</sub> (cerca de 6 a 14% do consumo de energia final).

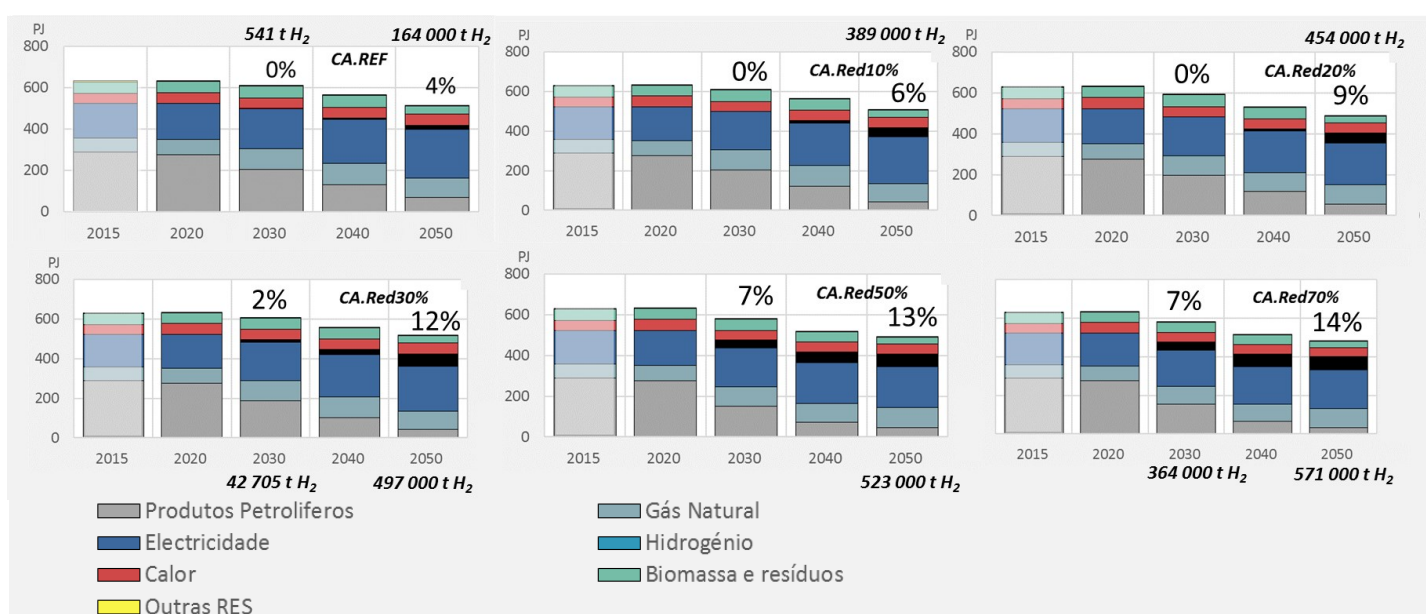


FIGURA 2 | EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA FINAL EM PORTUGAL DE 2015 A 2050, NOS CENÁRIOS REF, RED10%, RED20%, RED30%, RED50% E RED70%, COM INDICAÇÃO DA % DO H<sub>2</sub> NO CONSUMO DE H<sub>2</sub> EM 2030 E 2050, BEM COMO DA INDICAÇÃO EM TONELADAS DE H<sub>2</sub>

Em todos os cenários modelados o H<sub>2</sub> é consumido no setor dos **transportes**, com expressão diferente no transporte de mercadorias, transporte pesado de passageiros (autocarros urbanos e interurbanos) e transporte ligeiro de passageiros, consoante o cenário.

O modo de transporte onde o H<sub>2</sub> se revela mais custo-eficaz é o transporte de mercadorias. Nos **veículos de mercadorias** a mobilidade a H<sub>2</sub> é custo-eficaz em 2040, sem qualquer redução de custos ou meta de descarbonização (cenário REF).

Logo em 2030 o **transporte de mercadorias** a H<sub>2</sub> é fundamental para a descarbonização. Sem descarbonização é custo-eficaz com reduções de custo a partir dos 30% em 2030 (22% da mobilidade neste modo). Em 2050, reduções de apenas 10% tornam o transporte de mercadorias a H<sub>2</sub> a opção chave neste modo (entre 90 a 100% das deslocações).

Nos **veículos pesados de passageiros**, em 2030, a mobilidade a H<sub>2</sub> só é custo-eficaz com reduções de custo na ordem dos 50% ou mais, entregando até 70% da mobilidade neste modo. A partir de 2040, a mobilidade em autocarros a H<sub>2</sub> é necessária para a descarbonização. Sem descarbonização é custo-eficaz com reduções de custo a partir dos 10% (27% da mobilidade neste modo). Com reduções maiores pode chegar-se a 100% das deslocações em autocarros a H<sub>2</sub> em 2050.

Por fim nos **veículos ligeiros de passageiros** em 2030, a mobilidade a H<sub>2</sub> só é custo-eficaz com reduções de custo na ordem dos 70% ou mais, entregando até 15% da mobilidade neste modo. Em 2050, a mobilidade a H<sub>2</sub> já é custo-eficaz com reduções de custo a partir dos 20%, entregando até 44% da mobilidade neste modo. A descarbonização por si só não é um *driver* dos veículos ligeiros a H<sub>2</sub> uma vez estes que competem com os veículos a baterias.



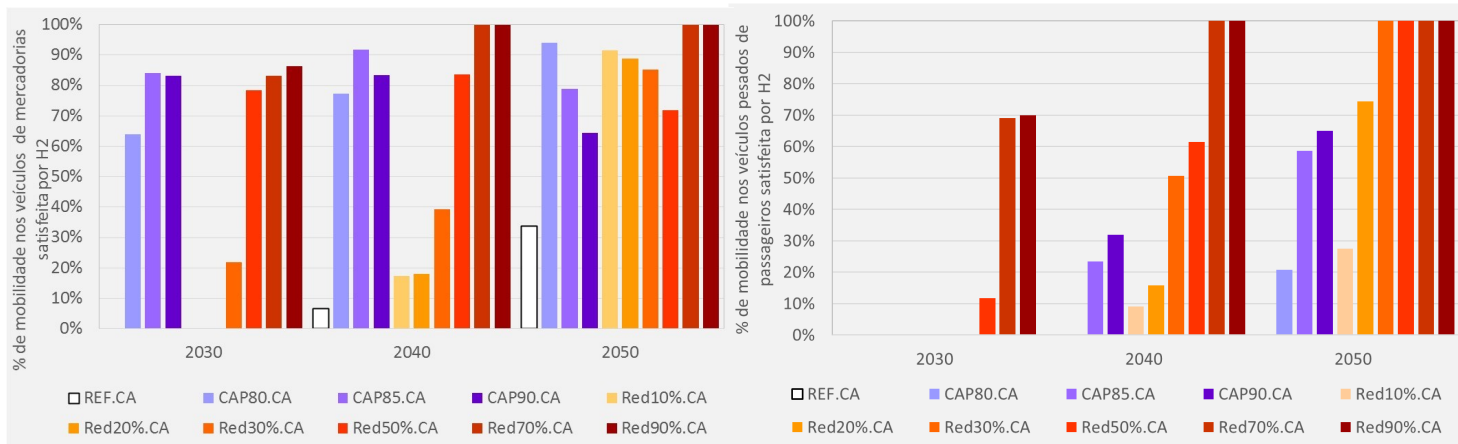


FIGURA 3 | % DE TKM PERCORRIDAS EM CAMIÕES A DE H<sub>2</sub>

FIGURA 4 | % DE PKM PERCORRIDAS EM AUTOCARROS A DE H<sub>2</sub>

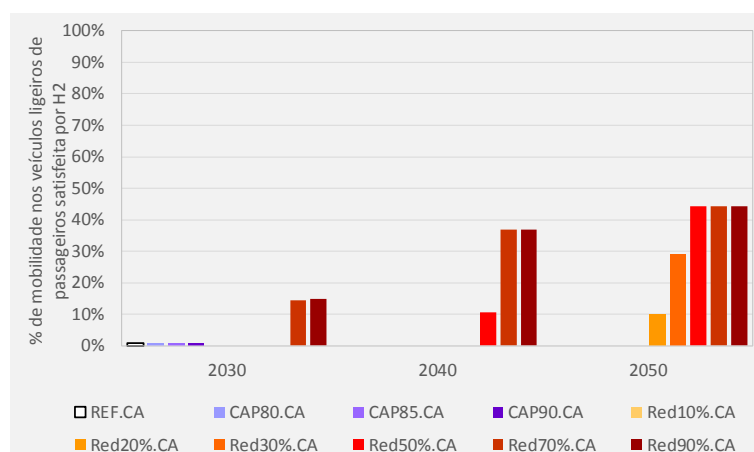


FIGURA 3 | % DE PKM PERCORRIDAS EM CARROS A DE H<sub>2</sub>



H<sub>2</sub> | 10 a 44% deslocações em 2050



H<sub>2</sub> | 21 a 100% deslocações em 2050



H<sub>2</sub> | 34 a 100% deslocações em 2050

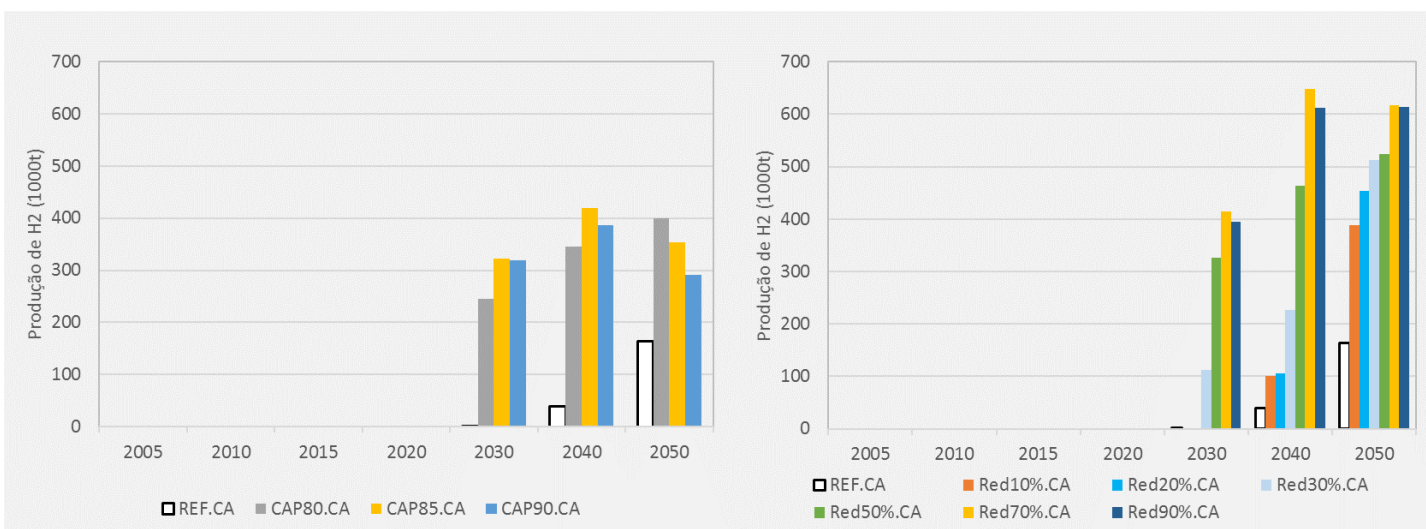


FIGURA 3 | VOLUME DE H<sub>2</sub> PRODUZIDO EM PORTUGAL ATÉ 2050 NOS CENÁRIOS COM META DE DESCARBONIZAÇÃO

FIGURA 4 | VOLUME DE H<sub>2</sub> PRODUZIDO EM PORTUGAL ATÉ 2050 NOS CENÁRIOS COM REDUÇÃO DE CUSTOS DOS VEÍCULOS A H<sub>2</sub>

Dependendo do cenário considerado, em 2030, poderão produzir-se em Portugal entre 551 a 395 000 toneladas de H<sub>2</sub>. Em 2050 poderão ser entre 164 000 a 613 000 toneladas de H<sub>2</sub>. Em 2030 o H<sub>2</sub> é produzido por reformação de biomassa e por eletrólise alcalina, enquanto que em 2050 a maioria do H<sub>2</sub> é produzido por eletrólise PEM, devido às expetativas de evolução do custo desta opção.

A opção por biomassa ou eletricidade para produção de H<sub>2</sub> é muito sensível ao preço da eletricidade e quantidades e

preços de biomassa disponível.

Por fim, ao ensaiar a obrigatoriedade de armazenagem de eletricidade a partir de 2030 e até 2050, verificou-se que a produção de H<sub>2</sub> é uma opção mais custo-eficaz do que as baterias, sobretudo em 2030. Os valores de H<sub>2</sub> assim produzidos rondam as 58 000 a 206 000 toneladas nesse ano.

Em 2050 as baterias tornam-se mais baratas e são produzidas apenas 112 000 a 149 000 t H<sub>2</sub>.

# Referências

ERP (2016) Potential Role of Hydrogen in the UK Energy System - The Energy Research Partnership

Loulou, R., U. Remme, A. Kanudia, A. Lehtila, G. Goldstein (2005a). Documentation for the TIMES model - PART I. [www.etsap.org/tools.htm](http://www.etsap.org/tools.htm).

Loulou, R., U. Remme, A. Kanudia, A. Lehtila, G. Goldstein (2005b). Documentation for the TIMES model - PART II. [www.etsap.org/tools.htm](http://www.etsap.org/tools.htm)

Simoes, S., Cleto, J, Fortes, P., Seixas, J., Huppel, G. (2008). Cost of energy and environmental policy in Portuguese CO2 abatement—scenario analysis to 2020. Energy Policy Vol. 36, Issue 9, pp. 3598-3611. September 2008. doi:10.1016/j.enpol.2008.06.004;

