

O Hidrogénio como combustível

Tânia Esmeralda Rodrigues Estêvão

Relatório do Projecto Final / Dissertação do MIEM

Orientador: Prof. António Tomé Ribeiro



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Julho de 2008

O Hidrogénio como combustível

Tânia Esmeralda Rodrigues Estêvão

Julho 2008

"Quanto mais alargamos os nossos conhecimentos mais nos damos conta de como são limitados"

Gilbert K. Chesterton

RESUMO

Os combustíveis fósseis têm sido os recursos energéticos mais utilizados desde que descobertos, e são utilizados nos mais diversos sectores: industrial, transportes, uso doméstico e muitos outros.

A sua utilização emite para a atmosfera CO_2 que é o principal causador do efeito de estufa no planeta terra, pela consequente diminuição da camada de Ozono. Uma outra preocupação importante é estes recursos energéticos serem finitos, e se crê em breve extinguirão. As especulações financeiras em torno destes, provocam um aumento exagerado dos seus preços, tornando-se a sua compra quase insuportável.

Estas mesmas razões direccionaram as pesquisas mundiais em busca de uma solução para estes problemas, optando-se por enveredar pelo caminho dos combustíveis renováveis.

O hidrogénio tem sido utilizado como combustível alternativo, pois apresenta características que nenhum outro gás ostenta, tal como elevada quantidade de energia por unidade de massa, baixa densidade, é um elemento abundante no universo e porque quando utilizado, o produto dessa reacção é apenas H_2O .

Como todos os Oásis, o hidrogénio também tem um deserto, que é a dificuldade que este apresenta para ser armazenado, pois em condições normais de temperatura e pressão apresenta-se no estado gasoso, e a mudança de fase para líquido ocorre a uma temperatura negativa muito baixa.

Um dos métodos de obtenção do hidrogénio é a electrólise, que segundo os especialistas não compensa a nível energético, pois o gás obtido não é superior à energia gasta para o obter. Este método separa do electrólito – no nosso caso a água – os átomos de hidrogénio e de oxigénio existentes na sua composição molecular.

Em vários sites da internet, que não vão ser mencionados como bibliografia de consulta para este trabalho por não serem fontes fidedignas, podemos observar alguns que suportam a ideia de que através da electrólise se cria um gás denominado de HHO, no entanto isso não tem como se comprovar pois não são utilizados quaisquer tipos de análise espectrométrica da

estrutura molecular do gás formado, afirmam também que os consumos do automóvel chegam a baixar até cerca de 50%.

O objectivo deste trabalho foi tentar verificar os valores disponibilizados nos sites, se seriam verdade ou não, e aplicáveis à indústria dos transportes.

Para isso foi criada uma célula que se identificasse com as dos sites, cujas dimensões não foram tidas em conta para experiência inicial, apenas foram tidos em conta os materiais das placas constituintes da célula – aço inoxidável – bem como a necessidade de isolar as saídas do gás pelos orifícios criados na tampa, para evitar que haja perdas e dissipação do gás formado pela electrólise.

Ao efectuar-se as experiências no automóvel deparamo-nos com uma realidade, para obter os resultados descritos nos sites só seria possíveis com uma célula electrolítica de dimensões maiores, que produzisse a quantidade necessária de hidrogénio para as necessidades de um motor de dimensões equiparadas às do de teste, e cuja alimentação seja superior a 12V.

Pelo facto de este gás ser composto por hidrogénio e oxigénio, podemos ter a certeza que é um gás altamente inflamável, pois contém um comburente na sua constituição que vai ajudar a alimentar a queima do hidrogénio. Mas as quantidades necessárias para que se verifique isso teriam de ser muito mais elevadas para as dimensões de um motor normal de um automóvel.

ABSTRACT

Fossil fuels are created from hydrocarbon material, which are located within the top layers of the Earth's crust.

Fossil fuels can be burned to produce significant amounts of non-renewable energy. Since its discovery, fossil fuels have been utilized as energy resources in a variety of ways, including industrial, transports, commercial and domestic services. Although it has many important uses, the exploitation of fossil fuels cause negative environmental affects. A byproduct of burning fossil fuels is the emissions of carbon dioxide gas, which scientists agree is the main cause of the green house effect. The current use of fossil fuels as an energy resource also cause social economic problems due to the rising cost in its production. Consequently, the use of fossil fuels is viewed by many to be an unsustainable source of energy.

One of these ways has been the use of hydrogen as alternative combustible, therefore this presents characteristics that no other gas exhibits, as amount of energy for unit of mass, low density, an abundant element in the universe and when used, the product of the reaction is only H_2O .

As all Oasis, hydrogen also has desert, which is the difficulty to be stored, due to the fact that in normal conditions of temperature and pressure it is a gas. One of the methods of attainment of hydrogen is electrolyses, according to specialists do not compensate in energy levels. This method separates of the electrolyte – in our case water - the atoms of existing hydrogen and oxygen. In some sites of the internet we can observe some American people who says that the mpg (miles per gallon) rises, diminishing consumptions until 50%.

This was the main reason for the project, and therefore based in these methods, construct an electrolytic cell, whose dimensions were not considered for initial experience. The material of the constituent cell plates was stainless steel. The exits of the gas were isolated, to prevent losses.

The Electrolyzer was used in a car experience - gasoline, 2.0L - which made us to come across with a reality, the attainment of the described results in this sites would never be possible therefore an electrolytic cell to produce the necessary amount of hydrogen for an automobile, which engine is of great dimensions, would have to be a gigantic electrolytic cell, with a bigger tension than the one used of 12V.

Because oxygen and hydrogen are the gas components, we are certain of it's highly inflammability.

But the necessary quantity to verify this theory is not achieved with this cell.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em plena consciência, pela Sua ajuda nos momentos mais críticos, e pela Sua direcção.

Agradeço aos meus pais por terem apostado na minha educação, o que me proporcionou boas oportunidades que tive até hoje bem como as que ainda virão.

Ao meu orientador do projecto, Professor António Tomé Ribeiro pelo tema proporcionado.

À minha amiga Rosa pela disponibilidade da máquina fotográfica, o que me ajudou imenso no registo da experiência prática.

Ao Sr. José Teixeira do INEGI pela cedência e corte das placas de Aço Inoxidável.

Aos Srs. Albino Dias e José Almeida das oficinas de mecânica, pela disponibilidade em ajudar a construir a célula electrolítica, assim como pela cedência de algum material.

Ao Eng. Mário das oficinas de mecânica, que se mostrou bastante receptivo e disponível para ceder os seus próprios conhecimentos na melhoria da experiência.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	I
ABSTRACT	III
AGRADECIMENTOS	V
ÍNDICE GERAL	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
NOMENCLATURA	XIII
1. INTRODUÇÃO	3
1.1. ENQUADRAMENTO INTRODUTÓRIO DO TEMA	3
2. O HIDROGÉNIO	7
2.1. INTRODUÇÃO.....	7
2.2. PROPRIEDADES	8
2.3. CARACTERÍSTICAS COMO COMBUSTÍVEL E NECESSIDADE DE PRECAUÇÕES	9
2.4. ISÓTOPOS DO HIDROGÉNIO.....	11
2.4.1. PRÓTIO	12
2.4.2. DEUTÉRIO	12
2.4.3. TRÍTIO	12
2.5. PROCESSOS DE OBTENÇÃO DO HIDROGÉNIO	12
2.6. DIFERENTES APLICAÇÕES DO HIDROGÉNIO	16
2.7. ARMAZENAMENTO DO HIDROGÉNIO.....	17
3. O COMBUSTÍVEL HIDROGÉNIO	21

3.1. A ELECTRÓLISE	21
3.2. GASES OBTIDOS PELA ELECTRÓLISE.....	24
3.3. HIDROGÉNIO MISTURADO COM OUTROS COMBUSTÍVEIS.....	26
3.3.1. HIDROGÉNIO E GÁS NATURAL.....	27
3.3.2. HIDROGÉNIO E GASOLINA	28
3.3.3. HIDROGÉNIO E GASÓLEO	30
 <u>4. O GÁS HHO</u>	<u>35</u>
 4.1. PROCESSO DE OBTENÇÃO	35
4.2. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO HHO	36
4.3. UTILIZAÇÃO DO HHO COMO COMBUSTÍVEL ADICIONAL.....	38
4.4. ALTERAÇÕES NECESSÁRIAS A EFECTUAR NO COMPUTADOR DO AUTOMÓVEL.....	39
 <u>5. EXPERIÊNCIA PRÁTICA.....</u>	<u>43</u>
 5.1. MATERIAL UTILIZADO E EXPERIÊNCIAS EFECTUADAS.....	43
 <u>6. CONCLUSÕES.....</u>	<u>57</u>
 <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</u>	<u>61</u>
 <u>ANEXOS</u>	<u>63</u>
 ANEXO A: TABELA PERIÓDICA.....	65
ANEXO B: TABELA GASES E SUAS PROPRIEDADES TÉRMICAS	69
ANEXO C: GASES CALOR ESPECÍFICO A VOLUME CONSTANTE (C_v)	73
ANEXO D: GASES CALOR ESPECÍFICO A PRESSÃO CONSTANTE (C_p).....	77
ANEXO E: PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE GASES À PRESSÃO ATMOSFÉRICA	81
ANEXO F: FICHA DE ESPECIFICAÇÃO COMERCIAL – GASOLINA SEM CHUMBO SUPER PLUS	85
ANEXO G: FICHA DE ESPECIFICAÇÃO COMERCIAL – GASOLINA SEM CHUMBO EURO SUPER.....	87
ANEXO H: FICHA DE ESPECIFICAÇÃO COMERCIAL – DIESEL	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo de Vida do Hidrogénio [1]	13
Figura 2 – Fluxo do Processo de Produção de H_2 através do SMR [4.1]	14
Figura 3 – Exemplos de Células Electrolíticas [8] e [12]	23
Figura 4 – Electrólise da Água [9]	23
Figura 5 – Átomo de Hidrogénio [23]	25
Figura 6 – Átomo de Oxigénio [23]	25
Figura 7 – Estrutura atómica da água [21]	26
Figura 8 – Estrutura Molecular da água através de ligações covalentes [11]	37
Figura 9 – Estrutura Molecular da Água com o novo tipo de ligação [11]	37
Figura 10 – Gráfico da Equação Característica do Sensor	40
Figura 13 – Placas de Aço Inoxidável	44
Figura 11 - Placas de Aço inoxidável - montagem de célula	44
Figura 12 - Célula electrolítica montada	44
Figura 14 - Célula electrolítica	45
Figura 15 - Formação do gás através da electrólise	46
Figura 16 – Montagem de nova célula electrolítica, sem fita isoladora – 2ª Experiência	47
Figura 17 – Célula Electrolítica em funcionamento com impurezas no electrólito	47

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Características de Inflamabilidade e Ignição [4.3]	10
Tabela 2 – Temperaturas de Auto-ignição [4.3]	10
Tabela 3 – Características de Explosão	11
Tabela 4 – Propriedades Relevantes para os cuidados de segurança a ter com o hidrogénio e outros gases comumente utilizados [2]	11
Tabela 5 – Energia gasta para a obtenção de hidrogénio através de diferentes processos [3.2]	15
Tabela 6 – Descrição das Tecnologias de Produção de Hidrogénio [3.1]	16
Tabela 7 – Dados comparativos no armazenamento de hidrogénio em dois tipos diferentes de cilindros	18
Tabela 8 – Poder Calorífico de várias misturas de combustíveis [7]	26
Tabela 9 - Composição dos Combustíveis Examinados [4.3]	27
Tabela 10 - Valor mais baixo de aquecimento, valor estequiométrico da relação ar combustível e Temperatura adiabática da chama para os gases examinados [4.3]	28
Tabela 11 – Casos Estudados para diferentes binários [4.4]	29
Tabela 12 – Emissões de CO₂ [4.4]	Tabela 13 – Emissões de NOx [4.4] 30
Tabela 14 – Consumos médios para diversos tipos de combustível [3.2]	31
Tabela 15 – Valores para realização experimental em estrada da Hydrogen Applications	38
Tabela 16 - Análise das Emissões a 1500 rpm com Hidrogénio	49
Tabela 17 - Análise das Emissões a 1500 rpm sem Hidrogénio	49
Tabela 18 – Análise das Emissões a 2500 rpm com Hidrogénio	50
Tabela 19 – Análise das Emissões a 2500 rpm sem Hidrogénio	50
Tabela 20 - Análise das Emissões a 3500 rpm com Hidrogénio	51
Tabela 21 - Análise das Emissões a 3500 rpm sem Hidrogénio	51
Tabela 22 – Quantidade de hidrogénio necessário para satisfazer uma mistura com gasolina 90% e hidrogénio 10%	52

Nomenclatura

NOMENCLATURA

Atm	Atmosfera
GPL	Gás Petróleo Liquefeito
HHO	Gás Hidróxido
NASA	National Aeronautic and Space Administration
Ppm	Parte por milhão
PVT	Pressão, Volume e Temperatura
SMR	Steam Reforming of Methane

Capítulo 1

Introdução

Enquadramento Introdutório do Tema

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda um tema um tanto quanto controverso, no que diz respeito à economia mundial como a procura de fontes de energia alternativas, que combatam o domínio generalizado de um nicho de mercado tão forte.

1.1. Enquadramento Introdutório do Tema

A maioria das fontes de energia mundial é proveniente de combustíveis fósseis. Estes são utilizados na maioria das indústrias e no sector dos transportes.

Os combustíveis fósseis são um bem escasso, na posse de apenas alguns países, o que consequentemente provoca a escalada mundial dos seus preços. Estes combustíveis, para além dos seus preços elevados, têm outro aspecto contra, os elevados níveis de poluição derivados da sua utilização.

De acordo com este panorama, tem-se procurado uma forma alternativa e competitiva de produzir energia que possa vir a substituir estes combustíveis, tais como o biogás, o gás natural, o óleo vegetal, esteres de álcoois e também combustíveis hidrogenados.

Para que o mercado dos combustíveis deixe de ser dominado pelos combustíveis fósseis há que continuar a aplicar esforços para o desenvolvimento de outras tecnologias que superem as actuais fontes de energia, que para além do factor económico também sofrem pressões

O Hidrogénio como combustível

ambientais, que exigem formas de energia mais limpas, tentando evitar a mesma emissão de gases para a atmosfera que os actuais combustíveis fósseis.

Neste trabalho será tratado um tema tão sensível como a utilização de combustíveis alternativos nos transportes actuais, dos quais o hidrogénio se apresenta em grande destaque.

A experiência prática deste projecto será baseada em informações retiradas da internet, em que utilizadores americanos comprovam a eficácia do processo de electrólise, que associado ao motor, aumenta o potencial energético do mesmo, assim como a eficiência e diminui as emissões poluentes. Se esse gás formado é realmente HHO não podemos provar pois não foi feita uma análise espectral do gás para o provar. Apenas se tem conhecimento de um estudo levado a cabo por uma empresa denominada de “Hydrogen Technology Applications, Inc.” que desenvolveu um processo de electrólise diferente dos usuais, cujo gás obtido é realmente o HHO, que apresenta características diferentes dos gases actualmente conhecidos e difundidos.

Capítulo 2

O Hidrogénio

Introdução

Propriedades

Características como Combustível e necessidade de precauções

Isótopos do hidrogénio

Processos de Obtenção do Hidrogénio

Diferentes Aplicações do Hidrogénio

Armazenamento

2. O HIDROGÉNIO

2.1. Introdução

O átomo de hidrogénio foi descoberto em 1766, por Henry Cavendish, através da decomposição da água, mas o nome que lhe conhecemos hoje, foi dado por Lavoisier.

O hidrogénio é o mais simples e mais abundante elemento do Universo. Existe em milhões de substâncias, em cerca de 76% da massa do Universo e 93% de suas moléculas, como a água (H_2O) e as proteínas nos seres vivos. Existe em grande quantidade nas estrelas no estado de plasma. No planeta Terra, representa aproximadamente 70% da superfície terrestre. Como o hidrogénio não aparece naturalmente na terra, e a sua concentração na atmosfera é muito reduzida de 1 ppm, e por se encontrar combinado com outros elementos, não pode ser considerado como um recurso de energia primária, tal como o petróleo ou o gás natural, mas sim como um vector de energia.

2.2. Propriedades

Um átomo de hidrogénio, cujo símbolo químico é o H, é composto por um protão e um electrão, o que o diferencia de qualquer outro elemento. É difícil decidir a posição do hidrogénio na tabela periódica, uma vez que não se encaixa em nenhum dos grupos. Normalmente é colocado no topo do grupo I (metais alcalinos) - tendo em conta a sua natureza electropositiva - outras vezes, o seu comportamento assemelha-se ao dos halogéneos, aceitando um segundo electrão para formar um ião mono negativo – Consultar Anexo A.

O hidrogénio é o elemento mais leve, sendo o núcleo do seu isótopo mais abundante constituído unicamente por um protão. O hidrogénio molecular (H_2) existe como dois átomos ligados que partilham entre si os seus dois únicos electrões através de uma ligação covalente¹.

A temperatura e pressão normais - 0 °C e 1 atm - o hidrogénio apresenta-se como um gás extremamente inflamável, inodoro, insípido, incolor, insolúvel em água e muito mais leve que o ar. Para se apresentar no estado líquido, tem que estar armazenado numa temperatura de - 253 °C, em sistemas de armazenamento conhecidos como sistemas criogénicos. Acima desta temperatura, o hidrogénio pode ser armazenado em forma de gás comprimido em cilindros de alta pressão. Consultar Anexos B, C, D e E.

A quantidade de energia por unidade de massa que possui, é superior a qualquer outro combustível conhecido 120,7 kJ/gr assim como a maior quantidade de energia por unidade de peso 141,9 MJ/kg – 1 Kg de H representa a mesma quantidade de energia que 2,8 Kg de gasolina. Quando arrefecido, até atingir o estado líquido, este combustível de baixo peso molecular, ocupa um espaço equivalente a 1/700 do que ocuparia no estado gasoso. A sua massa volúmica é de 0,08967 kg/m³, ou seja, o ar é 14,4 vezes mais denso – $\rho_{ar} = 1,2928$

¹ **Ligação covalente** - caracterizada pelo compartilhar de um ou mais pares de Electrões entre átomos, causando uma atracção mútua entre eles, que mantêm a molécula resultante unida. Átomos tendem a compartilhar electrões de modo que suas camadas electrónicas externas sejam preenchidas e eles adquiram uma distribuição electrónica mais estável. A força dessas ligações é maior que a das interacções inter-moleculares e comparável à da ligação iónica. Ligações covalentes normalmente ocorrem entre átomos com electronegatividade similar e alta (geralmente entre dois não-metais), dos quais remover completamente um electrão requer muita energia. Esse tipo de ligação tende a ser mais forte que outros tipos de ligações, como a iónica. Ao contrário das ligações iónicas, nas quais os iões são mantidos unidos por atracção coulombica não direcciona, ligações covalentes são altamente direccionais. Como resultado, moléculas com ligação covalente tendem a formar-se num número relativamente pequeno de formas características, exibindo ângulos de ligação específicos.

Kg/m^3 . A temperatura de mudança de fase de líquido para gás é de $-252,88\text{ }^\circ\text{C}$ e de fusão $-259,20\text{ }^\circ\text{C}$. [5]. Quando submetido a uma pressão muito baixa, o hidrogénio tende a existir na forma de átomos individuais, no entanto quando submetidas a alta pressão, as moléculas mudam a sua natureza e o hidrogénio torna-se um líquido metálico.

2.3. Características como Combustível e necessidade de precauções

A chama do hidrogénio não é visível à luz do dia porque a sua emissividade é muito baixa - 17 a 25 % - emitindo uma luz pouco radiante na faixa do espectro visível, menor do que nos outros combustíveis fósseis, como por exemplo o butano, o propano ou até mesmo a gasolina – 34 a 43%. Esta característica torna o hidrogénio menos perigoso em caso de acidente porque a radiação transmitida é menor, no entanto pode não ser possível perceber a sua existência facilmente. A chama do hidrogénio é muito quente, sendo a sua densidade energética de 38 KWh/kg contra a densidade da gasolina que é de apenas 14 KWh/Kg. A energia necessária para a ignição de uma mistura hidrogénio – ar é de apenas 0,04 mJ, contra os 0,25 mJ dos hidrocarbonetos.

O hidrogénio é extremamente inflamável no ar, entre 4% e 75% por volume de ar. A energia necessária para inflamá-lo é muito pequena e, em algumas condições, pode ocorrer auto-inflamação [1].

O hidrogénio pode-se difundir rapidamente através de materiais e sistemas que estejam presentes no ar ou em outros gases comuns devido à sua baixa densidade. Em alguns materiais, a difusão é mais pronunciada com temperaturas elevadas. Este também é mais volátil que a gasolina, propano e metano, assim como tende a dispersar-se mais rapidamente. A única exceção é para libertações criogénicas, onde o vapor muito frio que inicialmente se forma, pode ser mais denso que o ar circundante. [4.3] As tabelas 1, 2 e 3 comparam os índices de inflamabilidade e ignição, temperaturas de auto-ignição e características de explosão respectivamente.

Quando em contacto com o flúor e o cloro, especialmente com o primeiro, com o qual a reacção é tão rápida e imprevisível que se torna incontrolável, este reage violentamente. A sua despressurização rápida pode provocar inflamação, visto a sua expansão ser acima de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, podendo ocorrer aquecimento [1]. Todas estas características do hidrogénio, colocam-no num patamar de utilização como combustível bastante privilegiado. No entanto essas mesmas características traduzem-se em fortes implicações contra o ser humano, devido à extrema sensibilidade para se detonar.

Para que seja usado em público, o hidrogénio teria de ser manuseado com o mesmo nível de confiança e nunca com mais riscos, que os combustíveis convencionais. As propriedades físicas relevantes para a segurança do hidrogénio são comparadas com as da gasolina, GPL, e o metano. [4.2]

	Hydrogen	Methane	Propane	Gasoline
Flammability limits (vol. % in air)				
Lower limit (LFL)	4	5.3	2.1	1
Upper limit (UFL)	75	15	9.5	7.8
Minimum ignition energy (mJ)	0.02	0.29	0.26	0.24

Tabela 1 – Características de Inflamabilidade e Ignição [4.3]

Autoignition Temperatures ($^{\circ}\text{C}$)	Hydrogen	Methane	Propane	Gasoline
Minimum	585	540	487	228-471
Heated air jet (0.4 cm diameter)	670	1220	885	1040
Nichrome wire	750	1220	1050	

Tabela 2 – Temperaturas de Auto-ignição [4.3]

	Hydrogen	Methane	Propane	Gasoline
Detonability limits (vol. % in air)	11-18	6.3	3.1	1.1
Lower limit (LDL)	59	13.5	7	3.3
Upper limit (UDL)				
Maximum laminar burning velocity (m/s)	3.46	0.43	0.47	
Concentration at maximum (vol. %)	42.5	10.2	4.3	
Laminar burning velocity at stoichiometric (m/s)	2.37	0.42	0.46	0.42
Concentration at stoichiometric (vol. %)	29.5	9.5	4.1	1.8

Tabela 3 – Características de Explosão

	Hydrogen	Methane	Propane
Density, kg m ⁻³ at NTP	0.084	0.65	2.01
Ignition limits in air, volume% at NTP	4.0 to 77	4.4 to 16.5	1.7 to 10.9
Ignition temperature, °C	560	540	487
Min. ignition energy in air, MJ	0.02	0.3	0.26
Max. combustion rate in air, m s ⁻¹	3.46	0.43	0.47
Detonation limits in air, volume%	18 to 59	6.3 to 14	1.1 to 1.3
Stoichiometric ratio in air	29.5	9.5	4.0

Tabela 4 – Propriedades Relevantes para os cuidados de segurança a ter com o hidrogénio e outros gases comumente utilizados [2]

2.4. Isótopos do Hidrogénio

O H é o único elemento que tem nomes e símbolos químicos distintos para cada um dos seus diferentes isótopos². [19]

² **Isótopos** são átomos de um elemento químico cujos núcleos têm o mesmo número atómico "Z", mas diferentes massas atómicas, "A". A palavra *isótopo*, que significa "*no mesmo sítio*", vem do facto de que os isótopos se situam no mesmo local na tabela periódica. O número atómico corresponde ao número de prótons num átomo. Assim, os isótopos de um certo elemento contêm o mesmo número de prótons. A diferença nos pesos atómicos resulta de diferenças no número de neutrões nos núcleos atómicos. [19]

2.4.1. Prótio

É o mais abundante na natureza, aparece na maioria das substâncias que possuem o elemento hidrogénio - possui apenas um protão no núcleo, representado por $1H1$.

2.4.2. Deutério

O seu símbolo é $1D2$, é também chamado de hidrogénio pesado, tem 1 protão e um neutrão no núcleo. Este gás possui as mesmas propriedades químicas do hidrogénio. Obtido pela decomposição da água pesada. O Deutério tem uma abundância natural compreendida entre 0,0184 e 0,0082%. É utilizado como moderador de neutrões em fissão nuclear, e tem aplicações na química e na biologia em estudos de reacções utilizando o efeito isotópico.

2.4.3. Trítio

É isótopo radioactivo do hidrogénio $1T3$, com o núcleo formado por um protão e dois neutrões. Descoberto por Rutherford, em 1934, é preparado nos reactores nucleares e utilizado para fusão termonuclear e como traçador, em biologia.

2.5. Processos de Obtenção do Hidrogénio

O hidrogénio normalmente existe combinado com outros elementos, como o oxigénio na água, o carbono no cloro, e na maioria dos compostos orgânicos.

Como é quimicamente muito activo, raramente permanece sozinho como um único elemento (H_2), estando associado ao petróleo, carvão, metano, água, gás natural, proteínas, hidratos de carbono e também em todo o tipo de vegetação.

Estas razões conduzem-nos a uma necessidade de separação dos átomos de hidrogénio dos restantes elementos aos quais se encontra associado. Como vimos atrás, o hidrogénio tem propriedades que o afirmam como um combustível poderoso, e cabe a nós analisar se a energia usada para o separar é compensatória para a que ele nos fornece. Na Figura 1 está indicado o ciclo de vida do Hidrogénio.

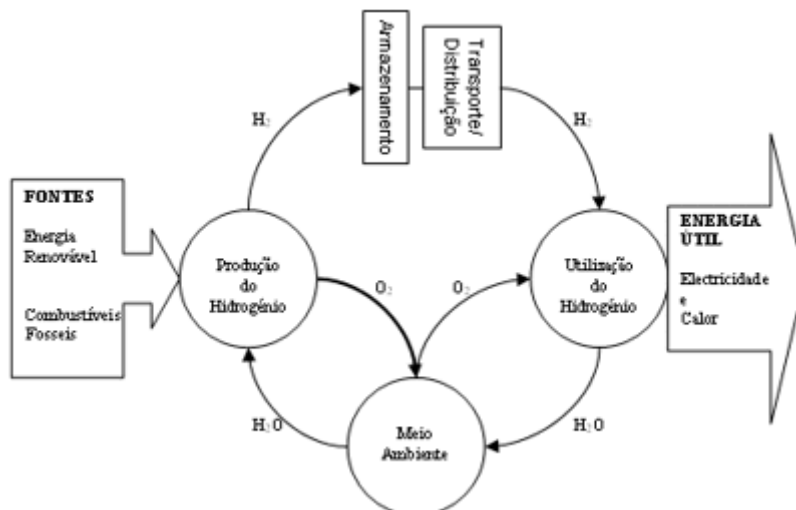


Figura 1 – Ciclo de Vida do Hidrogénio [1]

Para a separação do Hidrogénio estão disponíveis diversos processos; em laboratório é obtido pela reacção de ácidos com metais [1]:

- Reacção de hidretos metálicos
- Reacção de liga de ferro - titânio
- Cloroplastos artificiais (Melvin Klain)
- Reacção de liga de níquel - magnésio
- Reacções de metais com ácidos

Industrialmente é obtido pela electrólise: [1]:

- Electrólise da água
- Decomposição da amónia
- Decomposição do metanol
- Reacções de carvão ou hidrocarbonetos com vapor de água a alta temperatura.

O hidrogénio pode ser obtido através de inúmeros recursos e processos, no entanto o processo que apresenta actualmente um custo de produção menor, e mais difundido é o SMR – trata-se de um processo de separação do Hidrogénio em forma de gás. [4.1] Neste mesmo estudo, o gás natural foi seleccionado como a fonte energética principal não só pelo atractivo processo

económico que é o SMR, mas também porque o gás natural está disponível em grande escala, tendo boas infra-estruturas de distribuição e transporte.

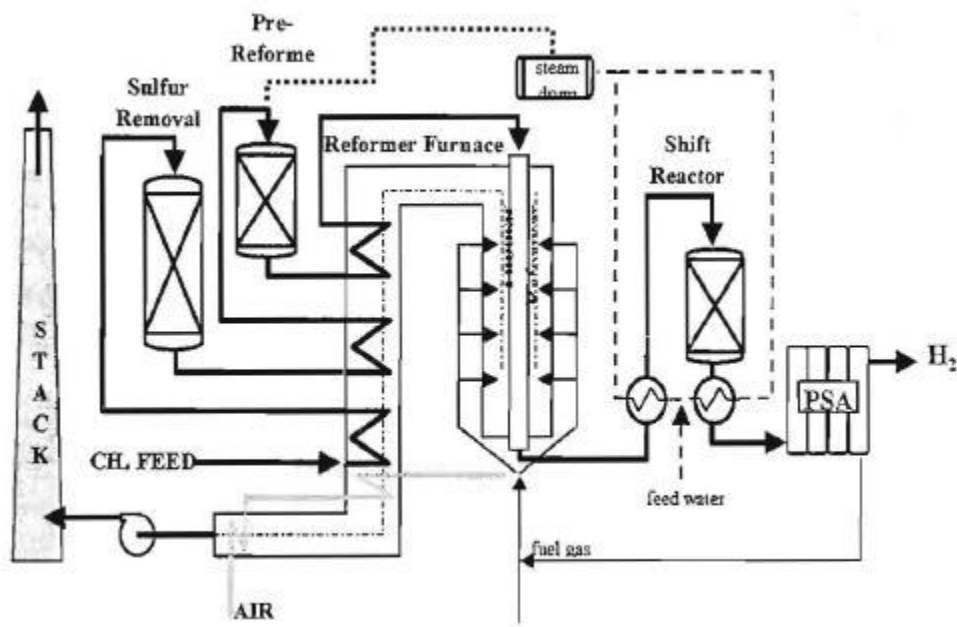


Figura 2 – Fluxo do Processo de Produção de H₂ através do SMR [4.1]

Apesar de o método SMR ser o processo que apresenta maior eficiência, trataremos no entanto neste trabalho, em maior pormenor, o processo de electrólise da água, visto ser este o processo mais divulgado para a nossa experiência direccionada para um veículo ligeiro. No entanto, de acordo com um estudo efectuado em diversos processos de obtenção de hidrogénio, ficou provado que a electrólise é o processo mais caro, pois implica maior gasto de energia, como indicado nas Tabelas 5 e 6. Nas tabelas podemos observar que para a electrólise da água, a energia necessária na prática para a obtenção de potência energética é semelhante aos outros processos enunciados, no entanto a percentagem de produção obtida é muito reduzida comparativamente com os restantes métodos, que conseguem obter uma maior fracção de produção para a mesma quantidade de energia utilizada. Como podemos ver também que para uma célula electrolítica o consumo de electricidade, na formação de hidrogénio, é muito superior às outras tecnologias mencionadas.

Splitting Process	Energy Required [kWh/N ³ of H ₂]		Status	Efficiency [%]	Costs Relative to CH ₄ Steam Reform	Fraction of Production [%]
	In Theory	In Practice				
Methane Steam Reforming	0.78	2 – 2.5	Mature	70 – 80	1	48
Methane Cracking			Mature	54	(0.9)	
Partial Oxidation of Heavy Oil	0.94	4.9	Mature	70	1.8 (1.6)	30
Naphtha Reformation			Mature			
Coal Gasification (TEXACO)	1.01	8.6	Mature	60	1.4 – 2.6 (2.3)	18
Partial Oxidation of Coal			Mature	55		
HYDROCRAK			R&D		(0.9)	
Steam Iron			R&D	46	(1.9)	
Chloralkali Electrolysis			Mature		By product	4
Water Electrolysis	3.54	4.9	R&D Mature	27 ⁽³⁾	5 – 10 (3.0)	
High Temperature Electrolysis			R&D	48	(2.2)	
Thermochemical Cycles			Early R&D	35 – 45	6	
Biomass Conversion			Early R&D		2 – 2.4	--
Photolysis			Early R&D		< 10	

Tabela 5 – Energia gasta para a obtenção de hidrogénio através de diferentes processos [3.2]

Technology Description	Natural Gas Consumption	Electricity Consumption
Centralized steam methane reformer (Caloric)	3.2 kg natural gas / kg hydrogen	0.32 kWh/kg hydrogen
Decentralized steam methane reformer (H ₂ Gen Innovations)	3.2 kg natural gas / kg hydrogen	1.4 kWh / kg hydrogen
Decentralized Electrolyzer	N/A	50 kWh / kg hydrogen

Tabela 6 – Descrição das Tecnologias de Produção de Hidrogénio [3.1]

2.6. Diferentes Aplicações do Hidrogénio

Como curiosidade, serão mencionados outros sectores, para além do dos transportes, que utilizam o hidrogénio como combustível. Este começou a ser utilizado em grande escala já no início do séc. XIX, onde foi identificado como uma fonte potencial de combustível, no entanto o desastre com o zeppelin "Hindenburg" em 1937 novas precauções para larga escala de utilização foram tomadas.

A agência espacial dos EUA – NASA - utiliza nos seus projectos espaciais para a propulsão dos foguetes, pois estes exigem características não adquiridas com outros combustíveis, tais como: o baixo peso, a capacidade de compactação e grande armazenamento de energia. Quando utilizado em células, a água que resulta do processo é consumida pelos astronautas.

A maior parte do hidrogénio produzido no mundo, é utilizado como matéria-prima na fabricação de produtos como os fertilizantes, na conversão de óleo líquido em margarina, no processo de fabricação de plásticos e no arrefecimento de geradores e motores devido à sua elevada condutibilidade térmica. Algumas indústrias utilizam o hidrogénio para refinar petróleo. Elevadas quantidades de hidrogénio são necessárias em indústrias químicas e

petrolíferas, nomeadamente no processo “Harber” para produção de amónia, o quinto composto com maior produção industrial, e na produção de ácido clorídrico (HCl). [1]

Alguns fabricantes de automóveis desenvolveram carros movidos a hidrogénio. A queima de hidrogénio é 50% mais eficiente que a da gasolina, e esta gera alguns óxidos de nitrogénio (NO_x), mas ainda assim, a queima de hidrogénio com ar produz menos poluentes atmosféricos que os combustíveis fósseis (petróleo, carvão). Isto quer dizer que o hidrogénio queima mais rapidamente, mas traz consigo os perigos de pré-ignição e flashback.

Presentemente, as pesquisas sobre hidrogénio estão concentradas na geração de energia eléctrica, térmica e de água pura através das células a combustível. Como pesquisas futuras, o hidrogénio pode fornecer electricidade e combustível para os sectores residencial, comercial, industrial e de transporte, criando uma nova economia energética.

2.7. Armazenamento do Hidrogénio

Para se utilizar o hidrogénio em larga escala de maneira segura, os sistemas de armazenamento ainda têm de sofrer alguma evolução, devendo ser mais práticos, especialmente para os automóveis. Apesar de o hidrogénio poder ser armazenado no estado líquido, este processo requer um elevado gasto de energia, cerca de 25 ou 30% de sua energia total pois o hidrogénio tem de ser arrefecido até -253°C , e exige materiais e manipulação especiais. O arrefecimento de 0,5kg de hidrogénio necessita cerca de 5KWh de energia eléctrica.

O hidrogénio também pode ser armazenado como gás, que utiliza muito menos energia que aquela necessária para fazer hidrogénio líquido.

Ao ser armazenado no estado gasoso, deve ser pressurizado para que se consiga uma quantidade razoável. Para utilização em larga escala, o gás pressurizado pode ser depositado em cavernas ou minas. O gás hidrogénio pode ser encanado e levado às residências da mesma maneira que o gás natural, mas por ser útil para a utilização do hidrogénio como combustível de aquecimento, não o é para utilização em veículos porque os tanques de metal pressurizados

são muito caros. Na Tabela 7 serão indicadas as características de armazenamento do hidrogénio, em dois tipos de cilindros diferentes, no primeiro, um cilindro convencional de aço, e no segundo, um tanque de maiores dimensões, construído em material compósito, cujo preço é três vezes superior ao do primeiro caso. [2]

Um método potencialmente mais eficiente é na forma de hidretos³. Certas ligas metálicas como as de magnésio - níquel, magnésio - cobre e ferro - titânio, absorvem hidrogénio e quando aquecidos libertam-no. Os hidretos, no entanto, armazenam pouca energia por unidade de massa. As pesquisas actualmente procuram um composto que seja capaz de armazenar uma grande quantidade de hidrogénio com uma elevada densidade energética, liberar o hidrogénio como combustível, reagir rapidamente e possuir um custo acessível. [1]

	2 L steel, 200 bar	147 L composite, 300 bar
Mass of empty cylinder	3.0 kg	100 kg
Mass of hydrogen stored	0.036 kg	3.1 kg
Storage efficiency (% mass H ₂)	1.2%	3.1%
Specific energy	0.47 kWh kg ⁻¹	1.2 kWh kg ⁻¹
Volume of tank (approx.)	2.2 L (0.0022 m ³)	220 L (0.22 m ³)
Mass of H ₂ per litre	0.016 kg L ⁻¹	0.014 kg L ⁻¹

Tabela 7 – Dados comparativos no armazenamento de hidrogénio em dois tipos diferentes de cilindros

³ **Hidretos** - compostos químicos formados por hidrogénio num metal

Capítulo 3

O combustível hidrogénio

A Electrólise

Gases obtidos pela electrólise

Hidrogénio misturado com outros combustíveis

3. O COMBUSTÍVEL HIDROGÉNIO

Um dos processos que garantem a obtenção do hidrogénio separado de outras substâncias químicas, é o processo de electrólise como foi mencionado atrás. Este método vai ser o abordado, para cumprir os objectivos do trabalho inicialmente proposto, que se baseia na electrólise da água para a obtenção do gás composto por hidrogénio e oxigénio, que servirá como combustível para o nosso automóvel..

3.1. A Electrólise

O termo electrólise vem do grego *electro* + *lýsis* que significa decomposição pela electricidade. [21]

É um processo electroquímico em que os iões de um electrólito (*i.* e, um composto em estado de dissolução ou fusão, base, ácido ou sal) de carga eléctrica positiva e negativa são transportados pela corrente eléctrica e transformados em partículas não carregadas electricamente. No caso de se tratar de um composto dissolvido, este sofre uma decomposição mais ou menos completa por acção da água, quando esta dissocia os seus iões. V. *Dissociação*. Para efectuar uma electrólise, mergulham-se dois eléctrodos, um positivo, outro negativo, na solução do electrólito, fazendo depois passar a corrente eléctrica proveniente de

uma bateria ou outra fonte de tensão; obtém-se assim um banho electrolítico. Os iões de carga positiva (ou *catiões*), que contem menor numero de electrões que o átomo neutro respectivo, são atraídos para o cátodo, o eléctrodo negativo, onde captam electrões que os neutralizam.

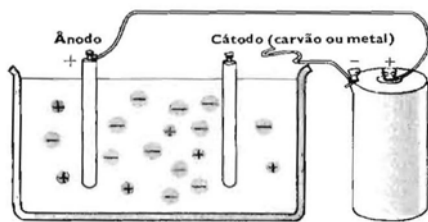
Os iões negativos (ou *aniões*) deslocam-se para o ânodo, o eléctrodo positivo, onde depositam o excesso de electrões e se neutralizam. Uma aplicação prática da electrólise é a *galvanoplastia*, deposição de metais no cátodo. O peso da substancia depositada, de acordo com as leis de Faraday, é proporcional ao peso do seu equivalente químico, a carga eléctrica e ao tempo de passagem da corrente. A electrólise é muitas vezes complicada pelo facto de o solvente se encontrar ionizado. [8] A água interfere nas reacções químicas cujos resultados irão depender do poder redutor e oxidante das partículas presentes em solução (iões positivos e negativos do sal, moléculas de água e iões H^+ e iões OH^- resultantes da ionização da água). Numa electrólise há conversão de energia eléctrica em energia química. [21]

William Nicholson e A. Carlisle, descobriram que quando uma corrente eléctrica passa através da água, que se tornou condutora pela adição de umas gotas de ácido, bolhas de Oxigénio aparecem no ânodo e o dobro do volume de bolhas de Hidrogénio aparecem no Cátodo. As bolhas aparecem somente nos eléctrodos, e não há alterações visíveis na água que fica entre eles, no entanto é claro que se um dos gases é libertado, o outro também o é.

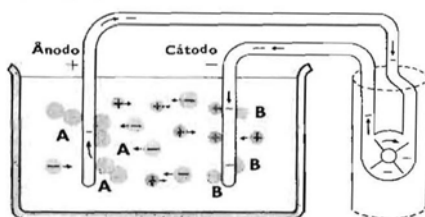
De acordo com a lei de Faraday a massa de qualquer substância libertada na electrólise, é directamente proporcional à quantidade de corrente eléctrica que passa através da solução. Essas mesmas massas libertadas são proporcionais aos seus pesos equivalentes. [9]

Os electrólitos mais utilizados são com sais dissolvidos, óxidos, ou hidróxidos, ou mais comumente, soluções de sal, bases e ácidos num solvente apropriado, água. Das soluções com ácidos e bases, e de sais de Alkali e metais alcalinos terrosos, o hidrogénio é o gás libertado através destes. Se o ânodo consistir em metais atacáveis, tais como zinco, cobre ou cádmio, a corrente dissolvê-los-á e nenhum gás irá ser libertado. [10]

De seguida serão apresentados alguns esboços e imagens de possíveis células electrolíticas:



Uma solução aquosa de cloreto de cobre II (Cl_2Cu) contém iões cloro carregados negativamente (aniões Cl^-) e iões cobre de carga positiva (catiões Cu^{+2}). Cada ião cloro tem um electrão em excesso e cada ião cobre tem deficiência de dois electrões.



Quando se liga a bateria, ela funciona como «bomba de electrões», que se deslocam do ânodo para o cátodo. Este carrega-se negativamente; o ânodo, positivamente. O ânodo atrai iões cloreto, que se neutralizam, isto é, que cedem o excesso de electrões, libertando-se Cl_2 sob forma gasosa (A). O cátodo atrai os iões cobre, que fixam electrões que os neutralizam, depositando-se sobre o cátodo (B). O cátodo fica cobreado.

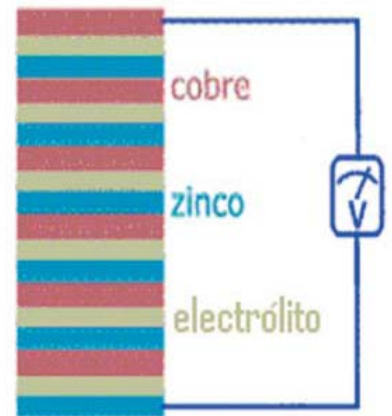
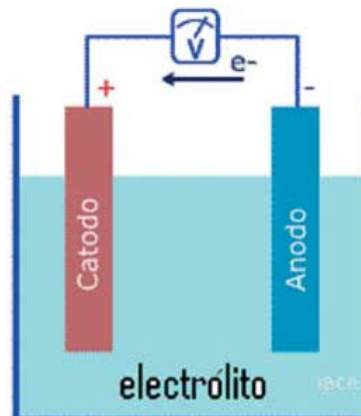


Figura 3 – Exemplos de Células Electrolíticas [8] e [12]

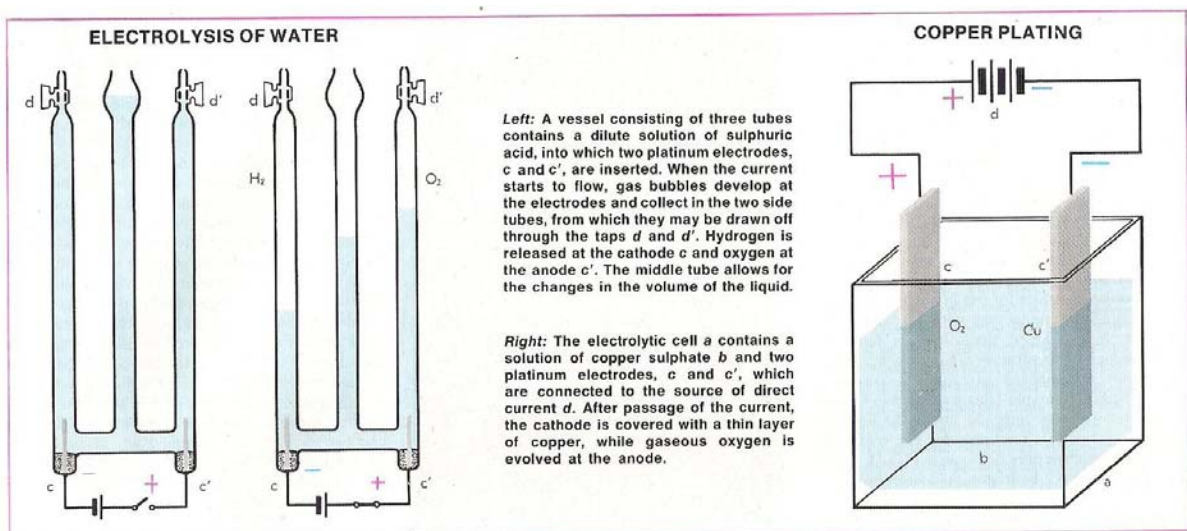
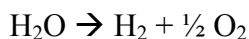


Figura 4 – Electrólise da Água [9]

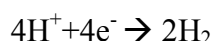
A electrólise da água encontra-se patenteada. [20]

De acordo com os químicos, a reacção que ocorre através deste processo é traduzida pela seguinte equação química na proporção molar de 2 para 1:

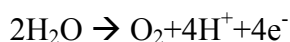


Cuja reacção inversa, combustão de hidrogénio para obter H_2O , é uma fonte de energia.

No eléctrodo negativo, os protões são removidos do electrólito, e o hidrogénio é formado através da reacção:



No eléctrodo positivo, a água é oxidada e o oxigénio é formado através da reacção:



Um estudo efectuado na Universidade do Texas comprova os benefícios da obtenção do Hidrogénio através da electrólise da água. [24]

3.2. Gases obtidos pela electrólise

Como já foi mencionado em 3.1, os gases obtidos deste processo são o hidrogénio e o oxigénio, e de acordo com a lei de Faraday estes são proporcionais à sua massa molar no electrólito. Um átomo de hidrogénio como já foi mencionado atrás é composto por um protão e por um electrão – Fig. 5- O átomo de oxigénio por sua vez é composto por oito protões e oito electrões – Fig. 6. A água tem uma estrutura atómica muito simples. Essa estrutura consiste em dois átomos de hidrogénio ligados a um átomo de oxigénio. (Ver Figura 7) A natureza dessa estrutura atómica provoca propriedades electroquímicas únicas. No lado onde se encontra o hidrogénio na água, a molécula tem uma carga positiva, no outro lado uma carga negativa. Esta polaridade molecular faz com que a água seja um poderoso solvente.

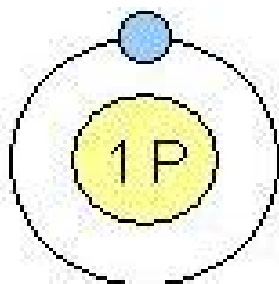


Figura 5 – Átomo de Hidrogénio [23]

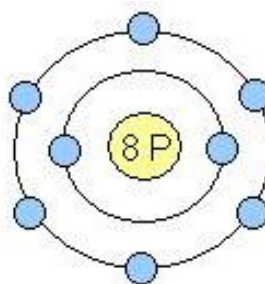


Figura 6 – Átomo de Oxigénio [23]

Chegámos à conclusão que o hidrogénio é um combustível, e que apresenta uma queima mais eficiente que os outros combustíveis fósseis que regularmente utilizamos, e por isso melhores potências energéticas podem ser obtidas.

O oxigénio de elemento químico com o símbolo O, número atómico 8 (8 protões e 8 electrões) com massa atómica 16 u⁴.

Na sua forma molecular, O₂, é um gás à temperatura ambiente: incolor, insípido, inodoro, comburente, não combustível e pouco solúvel em água.

Representa aproximadamente 21% da composição da atmosfera terrestre. É um dos elementos mais importantes da química orgânica, participando de maneira relevante no ciclo energético dos seres vivos, sendo essencial na respiração celular dos organismos aeróbios.

Nas Condições Normais de Temperatura e Pressão o oxigénio encontra-se no estado gasoso, formando moléculas biatómicas de fórmula molecular O₂. Esta molécula é formada durante a fotossíntese das plantas e, posteriormente, utilizada pelos seres vivos no processo de respiração. O oxigénio no seu estado líquido e sólido tem uma ligeira coloração azulada e, em ambos os estados, é paramagnético. O oxigénio líquido é obtido usualmente a partir da destilação fraccionada do ar líquido, junto com o nitrogénio. Reage praticamente com a totalidade dos metais, excepto com os metais nobres como ouro, platina, provocando a corrosão. [19]

⁴ **Unidade de massa atómica**, ou Dalton é uma unidade de medida de massa utilizada para expressar a massa de partículas atómicas (massas atómicas de elementos ou compostos). Ela é definida como 1/12 da massa de um átomo de carbono-12 em seu estado fundamental

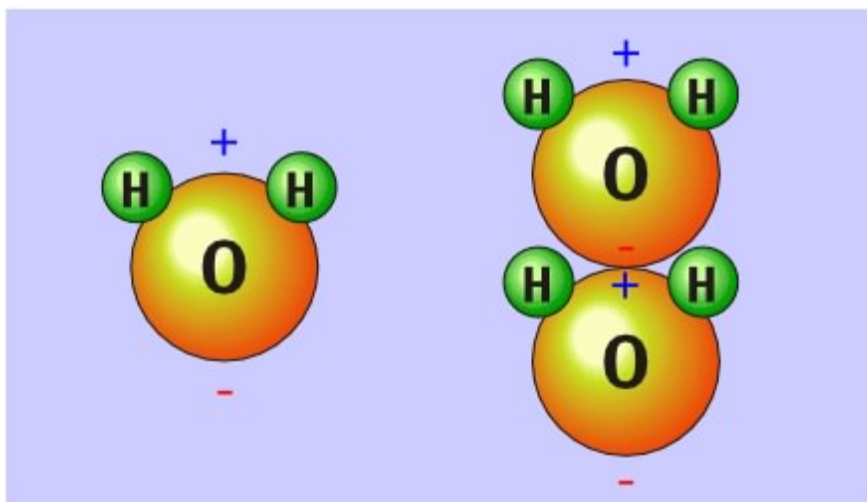


Figura 7 – Estrutura atômica da água [21]

3.3. Hidrogénio misturado com outros combustíveis

A utilização do hidrogénio como combustível a solo deixou de ser o principal objectivo dos investigadores, e retirou-se completamente a ideia de utilizar o hidrogénio como combustível misturado com ar, pois esta mistura não apresenta um poder calorífico tão elevado como nas restantes misturas com os restantes combustíveis fósseis utilizados – gasóleo e gasolina – assim como no caso do metanol – Tabela 6.

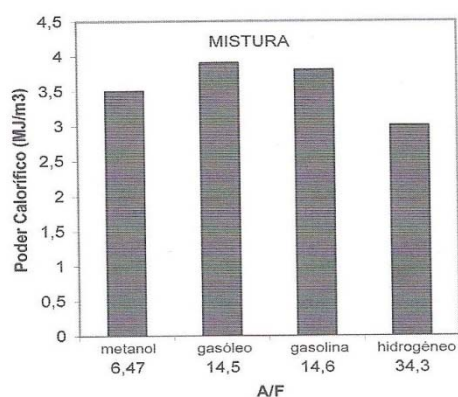


Tabela 8 – Poder Calorífico de várias misturas de combustíveis [7]

A sua aplicação, no panorama actual dos transportes, torna-se mais atractiva quando surge a possibilidade de o associarmos aos combustíveis utilizados em grande escala, como são os fósseis, pois implica um gasto menor de adaptação dos motores.

3.3.1. Hidrogénio e Gás Natural

De acordo com um estudo efectuado pela Universidade Técnica da Dinamarca, quando o hidrogénio é utilizado como um suplemento de combustíveis fósseis, o nível de reactividade deste é importante para o início da combustão onde o início da chama é desenvolvido. [4.3] Para além disso a velocidade laminar da chama de hidrogénio é maior que a chama proveniente dos combustíveis fósseis. Quanto mais largos forem os limites da inflamabilidade e menor for a duração da combustão causada pela velocidade da chama mais intensa, e se adicionado ao gás natural, torna possível fazer o motor gastar menos combustível e com níveis de emissões para a atmosfera mais baixos. Há uma redução das emissões de CO, NO_x e UHC pelo aumento da relação ar combustível até que a combustão parcial seja predominante. De seguida será apresentado na Tabela 9 a percentagem dos componentes de três gases estudados. No RNG - Gás Natural Reformulado - foi adicionada uma determinada percentagem de H₂, o NG é o gás Natural, e por fim o PG+NG é o gás Natural com adição de um gás de um Produtor, que também tem uma percentagem de 30-35% de H₂. A diferente composição química dos três gases denuncia também propriedades de combustão diferentes, sendo assim na Tabela 10 estará representado o LHV (Valor de aquecimento mais baixo) e o valor estequiométrico da relação ar combustível dos três gases.

Composition	RNG [%]	NG [%]	PG + NG [%]
CH ₄	70.9	87.6	44.4
C ₂ H ₆	0	6.6	3.3
C ₃ H ₈	0	3.0	1.5
C ₄ H ₁₀	0	1.3	0.7
H ₂	22.6	0	17.0
CO	0	0	9.6
CO ₂	6.5	1.3	8.1
N ₂	0	0.4	15.6

Tabela 9 - Composição dos Combustíveis Examinados [4.3]

	RNG	NG	PG + NG
LHV / [MJ/m ³]	27.5	39.3	22.9
A/F _{stoic}	14.3	16.3	8.58
T _{ad}	2734 K	2743 K	2709 K

Tabela 10 - Valor mais baixo de aquecimento, valor estequiométrico da relação ar combustível e Temperatura adiabática da chama para os gases examinados [4.3]

De acordo com os valores obtidos podemos ver que a diferença das temperaturas é mínima, sendo que a do Gás Natural apresenta os valores mais elevados, e por isso uma melhor combustão e queima dos elementos componentes. Chegou-se à conclusão que a emissão de CO é reduzida em cerca de 80% no gás reformulado. [4.3]

3.3.2. Hidrogénio e Gasolina

Numa publicação da SAE International, os engenheiros responsáveis por um estudo do uso do hidrogénio como um aditivo da gasolina, defendiam que, a queima do hidrogénio e da gasolina, juntos, pode ser feita através de uma larga variedade de misturas. A adição de pequenas quantidades de hidrogénio à gasolina, aumenta a velocidade da chama em todas as relações equivalentes da gasolina, tornando possível o motor trabalhar com uma mistura pobre de ar gasolina. Esta necessidade de utilização do hidrogénio nos motores a gasolina aumentou com a crise energética e com factores como a poluição.

O conceito de utilização de hidrogénio associado à gasolina tem tido mais importância do que a utilização do hidrogénio puro, pois implica modificações menores nos motores. Estas misturas gasolina e hidrogénio permitem boas prestações, reduzem as emissões poluentes e melhoram a eficiência térmica.

Infelizmente, como já foi mencionado o hidrogénio apresenta limitações de armazenamento, e se formos a colocar grandes garrafas de armazenamento num veículo, este perderá qualidades aerodinâmicas pois aumentará o seu peso. Alguns problemas derivam da ausência de sistemas de distribuição. [4.4]

O ideal será portanto, com uma mistura pobre de ar – gasolina, utilizar o hidrogénio misturado com esta, sem que a performance do veículo diminua.

Nas tabelas seguintes estão apresentados os resultados obtidos da avaliação feita num FIAT FIRE 1242 16v com os diferentes combustíveis, Hidrogénio puro, Gasolina e a mistura dos dois. Os resultados obtidos provam que funcionando com binários baixos, o motor trabalha com hidrogénio puro, ou com mais hidrogénio que gasolina. Podemos observar também que injeções de hidrogénio contribuem para o desenvolvimento de uma chama estável, permitindo o funcionamento do motor com misturas pobres, enquanto que com gasolina pura, o motor precisa de funcionar com misturas mais ricas.

Pela relação criada entre as temperaturas dentro dos cilindros, e a formação de NO_x , associamos um aumento dessas concentrações nas utilizações de hidrogénio puro, no entanto verificou-se uma diminuição dessas mesmas emissões na mistura gasolina – ar - hidrogénio em comparação com a mistura ar - gasolina.

A redução das emissões de CO_2 também foram verificadas, mas essa redução apenas existe quando o hidrogénio é obtido através de fontes de energia que não sejam fósseis.

No geral verificou-se também uma diminuição dos consumos de gasolina, aquando da sua utilização com o combustível hidrogénio.

<i>Calculated Torque</i>	<i>Hydrogen equivalence ratio ϕ_h</i>	<i>Gasoline equivalence ratio ϕ_g</i>	<i>hydrogen/ gasoline [% in mass]</i>
15 Nm	0.2	0.1	92 %
	0.24	0.05	201 %
	0.3	0.0	-
30 Nm	0.2	0.18	47 %
	0.24	0.14	75 %
	0.3	0.08	159 %
45 Nm	0.2	0.27	33 %
	0.24	0.23	47 %
	0.3	0.20	66 %
60 Nm	0.2	0.43	21 %
	0.24	0.34	28 %
	0.3	0.33	40 %
75 Nm	0.2	0.59	15 %
	0.24	0.54	20 %
	0.3	0.48	27 %

Tabela 11 – Casos Estudados para diferentes binários [4.4]

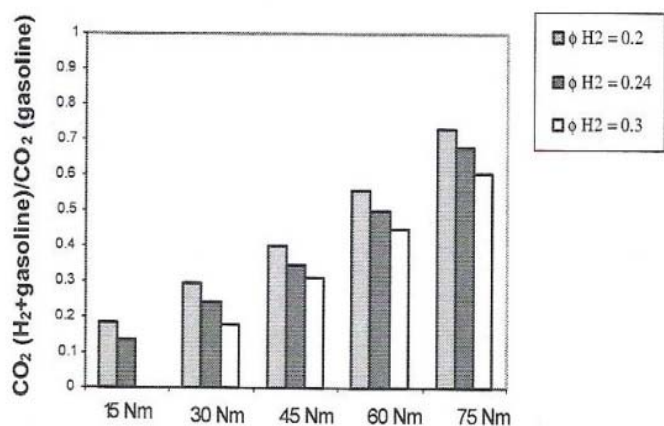


Tabela 12 – Emissões de CO₂ [4.4]

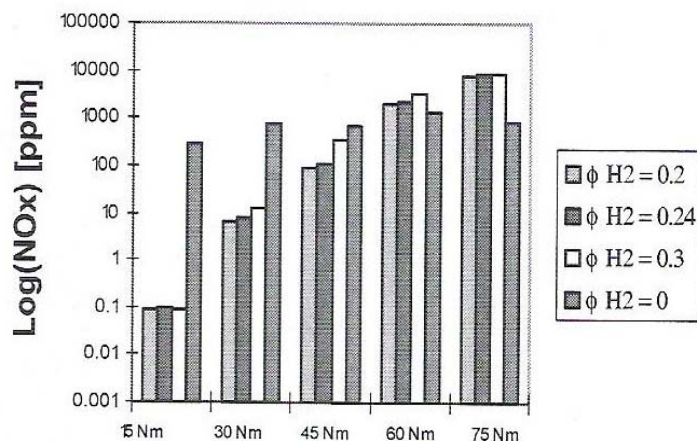


Tabela 13 – Emissões de NO_x [4.4]

3.3.3. Hidrogénio e Gasóleo

Este estudo foi apresentado mais uma vez pela SAE International, onde é mencionado que, a grande dificuldade encontrada nestes motores a diesel, depara-se na auto-ignição. É muito difícil fazer com que o hidrogénio se auto-inflame pelo simples processo de compressão, pois a temperatura de auto-ignição é muito elevada – consultar Tabela 2 - e a energia mínima de ignição é consideravelmente baixa. [4.5]

Estes tipos de motor com gasóleo e hidrogénio foram estudados por alguns investigadores, os resultados obtidos mostraram uma eficiência térmica comparável com os de gasóleo puro, e numa redução em cerca de 50% da energia necessária. A área mais problemática era o início de “Knocking” muito antes da região estequiométrica.

Em seguida temos uma Tabela que apresenta os consumos médios para diferentes tipos de automóvel, com combustíveis diferentes, e podemos observar que o consumo de um carro a trabalhar a hidrogénio é muito pequeno, cerca de 1,1 Kg/100 Km, sendo o que percorreu a maior distância a seguir ao carro eléctrico.

Vehicle	Fuel Consumption	MPGGE
Ford Focus (gasoline)	7.15 litres gasoline / 100 Km*	33
VW Jetta TFI (diesel)	5.24 litres diesel / 100 km *	40
Honda Civic GX (natural gas)	3.9 kg natural gas / 100 km *	39
Toyota Prius (HEV)	4.05 litres gasoline / 100 km *	58
NECAR 5 (methanol)	Confidencial	
NECAR 4 (hydrogen)	1.1 kg hydrogen/ 100 km	59
GM EV1 (electricity)	20 kWh electricity / 100 km	105

*EPA combined city / highway driving cycle

MPGGE: miles per gallon gasoline equivalent

Tabela 14 – Consumos médios para diversos tipos de combustível [3.2]

Capítulo 4

O Gás HHO

Processo de Obtenção

Principais características do HHO

Utilização do HHO como combustível adicional

Alterações necessárias a efectuar no computador do automóvel

4. O GÁS HHO

Todo este capítulo vai ser baseado num estudo publicado numa revista científica, onde os autores provam que este gás existe, e mencionam algumas características que o diferenciam de qualquer outro gás. [11]

4.1. Processo de Obtenção

De acordo com os investigadores, o gás HHO é obtido através do processo de electrólise, razão pela qual no capítulo anterior foi explicado o processo ao pormenor.

As condições em que a electrólise é efectuada, para a produção de HHO, não são mencionadas. Apenas é dito que é utilizada água destilada, mas as dimensões das placas de metal e seu material, não são referidas. Existe uma patente [16] para este processo e para este gás da “Hydrogen Technology Applications”.

De acordo com o relatório, o gás obtido é muito similar ao já patenteado “Brown Gás”, no entanto este último é composto pelos hidrogénio e oxigénio convencionais, cuja relação estequiométrica corresponde a 2/3 de Hidrogénio e a 1/3 de Oxigénio.

4.2. Principais características do HHO

O HHO através de uma inspeção visual é um gás sem odor, sem cor e mais claro que o ar. De acordo com a eficiência obtida é de prever que a transição de água líquida para o estado gasoso não é obtida através da evaporação.

Tendo em conta que a água não é um elemento combustível, ao contrário do gás HHO mencionado, a eficiência descrita – célula electrolítica converte água em $9,01\text{E-}4\text{ m}^3$ de HHO a 0,24MPa, através do uso de 5 KWh de potência – sugere a existência de um novo processo químico na produção deste gás.

Um outro aspecto positivo neste gás é o facto de não precisar de oxigénio para a combustão, visto este já o ter, nas proporções necessárias, na sua composição química.

Este gás, de acordo com o estudo, não segue a PVT dos gases, ou seja, a sua estrutura molecular não é a convencional, pois este gás requer o estado líquido da água a uma pressão de 1,034 MPa, pressão que é muito mais elevada nos restantes gases. Esta característica indica que as ligações deste gás não são inteiramente do tipo de valência. [11]

Uma outra característica é a anómala adsorção⁵ a gases, líquidos e sólidos, obrigando o seu uso como um aditivo eficaz, a fim de melhorar a qualidade ambiental de outros combustíveis, ou outras aplicações. [11] Mais uma vez esta característica é inexistente em outros gases, confirmando a nova ligação química.

Este gás apresenta também um elevado coeficiente térmico, cuja chama em ar aberto anda à volta de 150°C até grandes libertações de energia térmica que rondam os 9000°C, dependendo da substância à qual a chama está aplicada.

Ao ser analisada a massa específica do gás, há um aumento da mesma em cerca de 8,8%, cujos resultados estão no estudo realizado, em maior pormenor. Estes testes indicam claramente que o gás HHO não é composto de uma mistura simples de H_2 ou O_2 , mas tem adicionado outras espécies mais pesadas. [11] Através desses mesmos estudos chegaram à

⁵ **Adsorção** - do Lat. *Adsorption*; s. f., fixação de moléculas de gases ou líquidos à superfície de outra substância (normalmente um sólido); qualidade do que é absorvente; absorção.

conclusão que o gás HHO não apresenta a ligação do H_2 com o O_2 do tipo vapor de água, mas uma ligação que ainda é desconhecida a qual denominam de “magnecular structure”, e que o processo pela qual a criação gasosa ocorre não se dá através da evaporação ou separação, dando origem a uma nova forma de água, ligada com a estrutura do tipo $(HxH) - O$.

As principais características competitivas apresentadas pelo combustível desenvolvido a nível industrial, cuja estrutura de ligação corresponde à “magnecular structure” são a capacidade instantânea de derreter tungsténio e tijolo refractário, sendo que esta capacidade só pode ser justificada pela presença no gás HHO de hidrogénio atómico mas também de um hidrogénio com polarização toroidal. Note-se que o gás hidrogénio convencional é diamagnético, ou seja repele a atracção magnética, logo não poderia adquirir qualquer tipo de polarização magnética. Isto quer dizer que a célula electrolítica criada por esta entidade, permite a transformação da molécula de água $H-O-H$ (Fig.8) numa nova estrutura $(HxH)-O$ (Fig.9), em que “-” representa uma ligação covalente. [11]

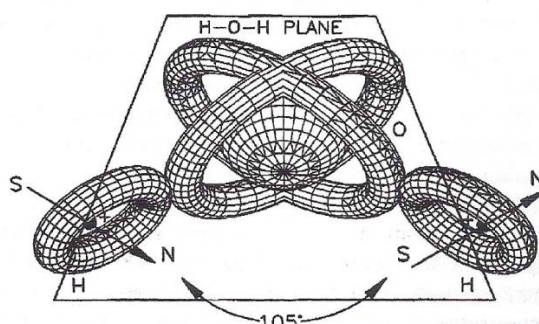


Figura 8 – Estrutura Molecular da água através de ligações covalentes [11]

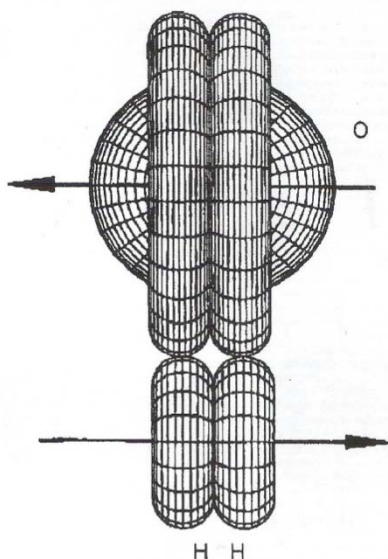


Figura 9 – Estrutura Molecular da Água com o novo tipo de ligação [11]

4.3. Utilização do HHO como combustível adicional

De acordo com diversos sites americanos, pessoas sem qualquer tipo de formação a nível de engenharia ou ciência, têm criado o gás HHO através da electrólise da água, utilizando uma bateria normal de veículos automóveis, como fonte de energia. Dizem eles que esse gás é o HHO, mas isso só seria possível de provar se fosse analisado em laboratório. No entanto temos certeza que através da electrólise, sendo o electrólito a água, se libertam dois gases, o hidrogénio e o oxigénio, nas proporções molares do electrólito.

O poder energético desse gás, de acordo com as pessoas responsáveis por esses sites, aumenta a quilometragem, diminui as emissões de carbono para a atmosfera, e aumenta o desempenho dos motores em questão.

De acordo com um teste realizado pela Hydrogen Technology Applications, em 100 milhas de condução em estrada, e com o “HHOS Electrolyzer” instalado no veículo, e um alternador, sem qualquer outro suporte adicional de potência, fez com que o número de milhas por galão aumentasse no veículo de teste, em cerca de 23%, sem que se aumentasse a temperatura do óleo ou da água, ou que a tensão da bateria baixasse. O carro onde foi feita a experiência foi um Ford Escort Wagon de 4 cilindros de 1994, 1.9 com transmissão manual, cujos resultados em estrada estão descritos na tabela a seguir:

Realização Experimental em 161 km a 60 mph		
	Consumo (km/L)	Combustível (Litros por 100Km)
1º Teste	17,24	5,8
2º Teste	14,03	7,13
3º Teste	12,46	8,03

Tabela 15 – Valores para realização experimental em estrada da Hydrogen Applications

4.4. Alterações necessárias a efectuar no computador do automóvel

A adição de uma célula electrolítica a um veículo automóvel, requer certas modificações a efectuar no computador do mesmo.

Como é de conhecimento público, hoje em dia um automóvel é constituído por um controlador electrónico, no qual estão memorizados os parâmetros para o sistema de injeção funcionar da maneira mais económica possível.

Este surgiu com a necessidade de nos anos 80 ter de se cumprir uma lei que obrigava a ter uma precisão superior a 1% no teor das misturas. A forma conseguida foi medir o valor exacto de combustível a injectar, e de uma maneira mais precisa, seria em vez de calcular esses valores, introduzirem-se na memória do controlador electrónico, o que requer uma grande quantidade de dados armazenados. [7]

As quantidades exactas a injectar, mediante diferentes condições de carga e velocidade são determinadas no banco de ensaio. Ao colocar-se o motor a trabalhar, existem dois sensores que medem as duas variáveis atrás referidas, e compara-os com os valores do controlador electrónico. Quando estes valores não correspondem aos valores introduzidos na memória do controlador, será efectuada uma interpolação entre os valores mais próximos, calculando-se a massa de gasolina a injectar.

Estas medições só podem ser feitas de duas maneiras: através da medição directa numa localização a montante da borboleta do fluxo de ar [7] ou pelo cálculo do caudal à entrada dos cilindros, pela medição da pressão no colector de admissão, velocidade do motor e dados relativos à eficiência energética [7].

Pelo que foi mencionado atrás, e tendo em conta que ao ser colocada uma célula electrolítica a queima dentro do cilindro se efectua de uma maneira mais eficiente, o controlador electrónico “pensa” que a quantidade de oxigénio não queimado será a mesma, e quando este não o detecta, o controlador aumenta o nível de fluxo de combustível para que os níveis de oxigénio sejam os admitidos na sua memória interna. Esta acção do controlador implica que a melhoria de quilómetros por litro de combustível possível com a adição do hidrogénio seja prejudicada, aumentando o consumo do veículo.

Os limites considerados por um sensor de banda pequena, maioritariamente utilizado nos automóveis, para uma mistura ar - combustível são de 14,2:1 até 19,9:1, ao fazer as comparações indicadas atrás, este gera uma tensão de 0,2V para uma mistura pobre e uma tensão de 0,8V para uma mistura rica. Este aumenta a alimentação de combustível quando o sinal é de 0,2V e diminui-a quando este é de 0,8V. Infelizmente, como os valores introduzidos no controlador não correspondem aos valores derivados da introdução da célula, este não consegue emitir o sinal correcto, pois ultrapassa a banda de leitura – Fig.10. Esta particularidade deve ser tida em conta aquando da montagem de uma célula electrolítica no motor.

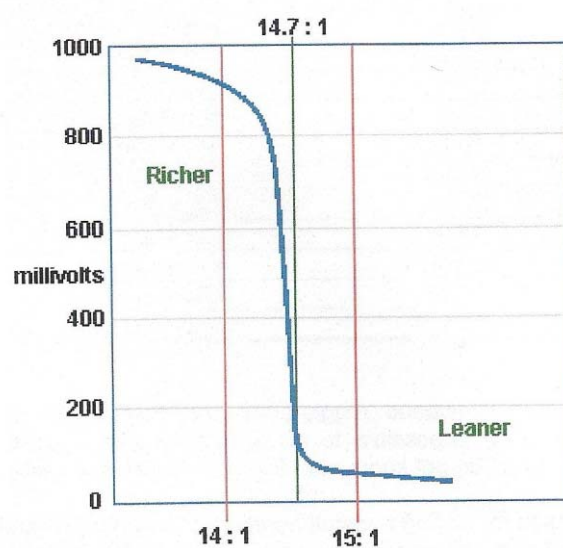


Figura 10 – Gráfico da Equação Característica do Sensor

Capítulo 5

Experiência Prática

Material Utilizado e Experiências Efectuadas

5. EXPERIÊNCIA PRÁTICA

O objectivo inicial desta experiência foi verificar os valores apresentados em diversos sites americanos, em como o gás obtido através da electrólise da água, o qual denominam de HHO, é um bom auxiliar ao combustível, aumentado a eficiência energética do automóvel, reduzindo os consumos e consequentemente os gastos.

5.1. Material Utilizado e Experiências Efectuadas

Foi necessário adquirir placas de metal que serviram como eléctrodos, cujo material é aço inoxidável – Figura 11 – cortado em tiras de 3 mm de espessura com as dimensões 150x35mm. Utilizaram-se 6 placas em que 3 funcionaram como cátodo e as outras 3 como ânodo. A montagem da célula está representada nas Figuras 12 e 13. Entre cada placa foi colocado material isolante a fim de evitar o contacto entre as placas de diferentes pólos.

As placas que funcionaram como cátodo, assim como as que funcionaram como ânodo, asseguraram a passagem de corrente através dos parafusos e das anilhas, que estabelecerem o contacto. As cintas verdes serviram para evitar que as placas exteriores abrissem, mantendo a estrutura física da célula.



Figura 13 – Placas de Aço Inoxidável



Figura 11 - Placas de Aço inoxidável - montagem de célula



Figura 12- Célula electrolítica montada

A primeira experiência foi efectuada num boião de 1,5 L em vidro, com tampa em metal, na qual foram feitos três furos, um para a saída do gás, e os outros dois para a saída dos fios utilizados para fazer a ligação eléctrica - Figura 9.

O objectivo seria que o gás saísse por uma mangueira de borracha de 1m. Dentro desse mesmo boião foi colocado 1 L de água destilada para que não fossem introduzidas as impurezas da água, e 2 gr de soda cáustica que serviram como um auxílio à condução da electricidade no electrólito. Os fios de ligação eléctrica foram ligados cada um ao pólo positivo e negativo da fonte - uma bateria de automóvel com 12V.



Figura 14- Célula electrolítica

A capacidade de dispersão do gás hidrogénio verificou-se na 1ª experiência, visto que este se escapou pela tampa de metal, pois não estava isolada o suficiente, e como a taxa de formação de gás, que se veio a verificar nas experiências seguintes, era baixa, nunca conseguiria ser apercebida.



Figura 15- Formação do gás através da electrólise

Na 2ª experiência utilizou-se um boião de vidro com capacidade ligeiramente maior – 2L – que permitiu uma melhor colocação da célula electrolítica dentro do mesmo, sem que fosse criado qualquer tipo de conflito entre a tampa e a célula.

A tampa utilizada foi de cortiça, pelas características vedantes que esta apresenta. O procedimento foi idêntico na colocação dos furos, um para a mangueira e outros dois para os fios de ligação eléctricos. Desta vez as ligações eléctricas foram mais pormenorizadas, mudaram-se os fios para uns mais resistentes à corrente, e essas ligações foram efectuadas com bornes específicos, que não permitiam também a passagem do gás através deles. Todos estes orifícios foram vedados com silicone, assim como se vedou a rolha de cortiça com fita de isolamento – Fig. 16. Desta vez utilizou-se água da torneira, verificando-se após a electrólise uma coloração ligeiramente amarelada devido às impurezas existentes – Fig.17.

Nesta 2ª experiência a saída do gás verificou-se através da mangueira de borracha, no entanto a taxa de saída do gás era pouca.



Figura 16 – Montagem de nova célula electrolítica, sem fita isoladora – 2ª Experiência



Figura 17 – Célula Electrolítica em funcionamento com impurezas no electrólito

Através dessa mesma experiência chegou-se à conclusão que ao se chegar uma fonte de ignição perto desse gás, este tem um poder de explosão bastante elevado, e expande-se com grande facilidade, pois o que aconteceu neste caso foi um retorno da chama inflamada de gás, através do tubo de borracha que fez com que o boião explodisse.

Foi feita uma terceira experiência, na qual se utilizaram os mesmos métodos, no entanto já se utilizou o carro, um dos Peugeot a gasolina, com um motor de 2 Litros.

Verificou-se a estanquicidade desta nova montagem de célula, e o isolamento dos rebordos da tampa foi feito com silicone de juntas, e desta vez colocou-se também silicone espalhado na superfície da tampa, para além dos furos, para garantir que não iria passar o gás através dos interstícios existentes na cortiça.

A experiência no automóvel foi feita de duas maneiras, com o tubo de borracha inserido directamente na entrada da admissão - experiência “com hidrogénio”; e sem o tubo - experiência “sem hidrogénio”.

As emissões foram lidas através de um dispositivo de diagnóstico, e com uma sonda no cano de escape, cujo fio era de vários metros de comprimento, obrigando a uma leitura mais demorada, devido ao atraso temporal existente.

As experiências foram feitas com o objectivo de analisar os gases do escape, mais propriamente as emissões de NOx, que se diminuíssem indicariam uma melhoria da queima no motor, mesmo sabendo que as emissões de NOx num carro a gasolina são mínimas.

Os resultados obtidos, após alguns ensaios iniciais e estabilização da temperatura do motor, com a utilização do gás proveniente da electrólise misturado com a gasolina em comparação com a mistura ar - gasolina, serão indicados nas tabelas seguintes:

1500 rpm com Hidrogénio	
CO [%Vol]	0,039
CO₂ [%Vol]	15,90
HC [ppm Vol]	5
O₂	0,04
γ	1
COcor. [%Vol]	0,039
NO[ppm Vol]	0

Tabela 16 - Análise das Emissões a 1500 rpm com Hidrogénio

1500 rpm sem Hidrogénio	
CO [%Vol]	0,073
CO₂ [%Vol]	15,98
HC [ppm Vol]	27
O₂	0,01
γ	0,997
COcor. [%Vol]	0,073
NO[ppm Vol]	0

Tabela 17 - Análise das Emissões a 1500 rpm sem Hidrogénio

2500 rpm com Hidrogénio	
CO [%Vol]	1,776
CO₂ [%Vol]	14,08
HC [ppm Vol]	102
O₂	0.0
γ	0,944
COcor. [%Vol]	1,776
NO[ppm Vol]	0

Tabela 18 – Análise das Emissões a 2500 rpm com Hidrogénio

2500 rpm sem Hidrogénio	
CO [%Vol]	1,180
CO₂ [%Vol]	14,79
HC [ppm Vol]	24
O₂	0,02
γ	0,966
COcor. [%Vol]	1,180
NO[ppm Vol]	0

Tabela 19 – Análise das Emissões a 2500 rpm sem Hidrogénio

3500 rpm com Hidrogénio	
CO [%Vol]	3,692
CO₂ [%Vol]	12,87
HC [ppm Vol]	133
O₂	0,01
γ	0,893
COcor. [%Vol]	3,692
NO[ppm Vol]	0

Tabela 20 - Análise das Emissões a 3500 rpm com Hidrogénio

3500 rpm sem Hidrogénio	
CO [%Vol]	2,723
CO₂ [%Vol]	13,99
HC [ppm Vol]	42
O₂	0
γ	0,924
COcor. [%Vol]	2,723
NO[ppm Vol]	0

Tabela 21 - Análise das Emissões a 3500 rpm sem Hidrogénio

Para rotações baixas [1500rpm], as leituras traduziram resultados promissores, pois há uma diminuição considerável dos índices de CO assim como a queima dentro do motor se apresenta mais eficiente, pois há também uma diminuição dos HC. Também podemos verificar que as quantidades de Oxigénio introduzidas são suficientes, pois deparamo-nos com ligeiras sobras deste componente, em comparação com o teste sem hidrogénio.

Os resultados obtidos para rotações elevadas não puderam ser tão úteis para a avaliação da influência do gás no desempenho do motor, pelo facto de o caudal de gás criado pela electrólise não ser suficientemente grande, em comparação com o caudal de ar necessário para o motor de 2L utilizado, cujos valores de ar máximo admitido são 1100mg/r e de combustível 58mg/r. Isto é verificado através das leituras, pois começaram a apresentar valores de CO demasiado elevados para o teste com hidrogénio, em comparação com as leituras sem hidrogénio. Esta explicação pode ser dada de duas maneiras, ou a combustão dentro dos cilindros está a ser incompleta, ou o controlador electrónico perdeu o domínio das leituras efectuadas pela sonda lambda. A anulação completa de Oxigénio significa que a quantidade de Oxigénio disponível não foi suficiente.

Um motor de 2L admite por rotação grandes quantidades de ar e de combustível, como foi mencionado atrás. Para se ter a dimensão do que seria pedido a uma célula electrolítica para debitar por rotação, serão indicadas quantidades aproximadas, numa mistura de gasolina – hidrogénio com 10% de hidrogénio, que contribuam para uma maior eficiência do motor.

Sabendo que para que um ciclo seja completo, se tenham de efectuar duas rotações, e que em apenas uma das rotações é feita a admissão, dividimos por dois as rotações em que foram efectuados os testes, e cujos resultados são demonstrados a seguir:

10% de mistura - 2,9mg/r	
750 rpm	2175 mg
1250 rpm	3625 mg
1750 rpm	5075 mg

Tabela 22 – Quantidade de hidrogénio necessário para satisfazer uma mistura com gasolina90% e hidrogénio 10%

As variáveis que poderiam ser alteradas, para que a taxa de gás produzido fosse maior seriam as dimensões da célula e a fonte de tensão, que permitiria aumentar a corrente. Isso seria possível adicionando o número de placas à célula, que consequentemente aumentariam a área de contacto com o electrólito, crescendo o fluxo de gás produzido.

O fluxo volumétrico através de uma célula electrolítica é dado pela seguinte fórmula:

$$V = \frac{M}{\rho} * \frac{1}{nF}$$

Onde M e ρ é o peso molecular e a densidade do gás envolvido (hidrogénio e oxigénio). O n representa o número de electrões transferidos na produção do gás e o F a constante de Faraday. O i representa a corrente que passa na célula. [26]

Numa 4ª experiência, foram tirados os valores da resistência, e da corrente do electrolizador, que são respectivamente 12,36 K Ω e 0,97 mA, para a tensão de 12V da bateria, como já indicado atrás.

Nesta experiência notou-se claramente que o electrolizador baixa a tensão da bateria, sendo mais notório ao relanti.

Para se obter a taxa de gás produzido pela célula, ter-se-ão que relacionar diversas variáveis, tais como tensão da fonte, número de placas dos eléctrodos, resistividade do material dos eléctrodos, condutividade do electrólito, valores esses que têm de ser relacionados entre si com um único objectivo, aumentar a taxa de produção de gás, para um gasto de energia mínimo.

Capítulo 6

Conclusões

6. CONCLUSÕES

O hidrogénio, relativamente às suas características, é considerado um combustível de grande poder calorífico, no entanto tem aspectos que tornam o seu uso bastante difícil, e apesar das evoluções tecnológicas conseguidas, ainda não são suficientes para ultrapassar as barreiras que este apresenta, nos sistemas de armazenamento.

A utilização do hidrogénio sem qualquer mistura com outro combustível, é neste momento uma ideia para já colocada um pouco de parte, pois acarreta problemas estruturais complexos, modificações que implicariam grandes investimentos, e provavelmente obrigaria a total descontinuação de veículos utilizados actualmente. Por isso mesmo, o grande objectivo actual é a utilização de misturas de hidrogénio adicionado a outros combustíveis, em especial a gasolina que apresenta os melhores resultados associada à pequena necessidade de alteração dos motores.

Um dos grandes problemas na produção do hidrogénio, visto este ser um vector, e não uma fonte de energia, é na pouca eficiência que os processos disponíveis têm, inviabilizando por isso a sua utilização em grande escala, em que por vezes os custos para a sua produção e armazenamento, não compensam face à energia obtida.

O gás denominado de HHO, existe, mas apenas quando é efectuado um tipo de electrólise, diferente do usual, dentro de condições específicas, cuja entidade criadora patenteou.

Aquilo que se pôde provar através da electrólise foi que realmente o gás obtido é composto por oxigénio e hidrogénio, tornando-o num gás combustível, com um poder calorífico bastante elevado, isto foi comprovado na 2ª experiência do projecto em questão, pois para verificar se o gás estaria a sair pelo tubo, aproximou-se uma fonte de ignição à extremidade desse tubo, e o que aconteceu foi o gás expandir a uma velocidade tal, que fez explodir o recipiente onde estava a célula.

Ao colocar-se em prática o objectivo deste projecto, foi possível chegar à conclusão que a taxa de produção de uma célula electrolítica com as dimensões da utilizada na 3ª experiência, com uma fonte de tensão de 12V, seria insuficiente para o motor em questão, quando este trabalha a rotações mais elevadas. Para que os resultados obtidos fossem satisfatórios para essas rotações, a dimensão da célula teria de ser muito maior, assim como a fonte de tensão a utilizar, o que provavelmente implicaria um maior gasto de energia.

Uma célula electrolítica simples produz um gás que injectado no colector de admissão de um automóvel afecta consideravelmente as emissões de escape.

O volume de gás produzido por esta célula não parece ser suficiente para elevados regimes de rotação.

Os resultados documentados pela empresa que patenteou o uso desse gás para fins industriais (corte e soldadura) parecem poder melhorar o consumo e as emissões nos veículos automóveis.

Os veículos de injeção electrónica modernos, deverão ser alvo de uma reprogramação da electrónica de controlo, pois a quantidade de combustível injectado não se adapta à presença de um combustível e comburente extra (HHO ou H_2 O_2) na admissão.

Para trabalhos futuros, podemos aproveitar a energia produzida no veículo como a energia das travagens ou quando o veículo é arrastado, e utiliza-la na electrólise.

Referências Bibliográficas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <http://www.colegiosaofrancisco.com.br/alfa/hidrogenio/hidrogenio-2.php>.
- [2] James Larminie, Andrew Dicks; Fuel Cell Systems Explained – 2nd Edition; Wiley, 2003.
- [3] Richard Stobart; Fuel Cell Technology for Vehicles – 2nd Edition; SAE, 2004.
- [3.1] R. Mercuri, A.Bauen, D. Hart; Options for Refuelling Hydrogen fuel Cell Vehicles in Italy; Elsevier Science B.V., 2002.
- [3.2] Jesse Row and Marlo Raynolds, Renato Legati, Ron Monk, Grant Arnol; Life-Cycle Value Assessment (LCVA) of Fuel Supply Options for Fuel Cell Vehicles; SAE International, 2003.
- [3.3] Antoni K. Oppenheim, Harold J. Shock; Raison d'Être of Fuel Cells and Hydrogen Fuel for Automotive Powerplants; SAE International 2004.
- [4] Daniel J. Holt; Hydrogen and its Future as a Transportation Fuel; SAE International, 2003.
- [4.1] Marianne Mintz, Stephen Folga, Jerry Gillette and John Moulburg; Hydrogen: On the Horizon or Just a Mirage? ; Society of automotive Engineers, 2002.
- [4.2] Susan M. Schoenung; Hydrogen Vehicle Fueling Alternatives: An Analysis Developed for the International Energy Agency; SAE 2001.
- [4.3] R.F.Cracknell, J.L. Alcock, J.J. Rowson, L.C.Shirvill and A. Üngüt; Safety Considerations in Retailing Hydrogen; Shell Research Limited 2002.
- [4.4] T.K. Jensen, J.Schramm, C.Sogaard and J. Aherenfeldt; Hydrocarbon Emissions from SI Engine Using Different Hydrogen Containing Gaseous Fuels; SAE 2000.
- [4.5] Eiji Tomita, Nobuyuki Kawahara, Zhenyu Piao and Shogo Fujita and Yoshisuke Hamamoto; Hydrogen Combustion and Exhaust Emissions Ignited with Diesel Oil in a Dual Fuel Engine; SEA 2001.
- [5] Marina Isabel Duarte; Tabelas de Termodinâmica; ISEP.
- [6] Frank P. Incropera, David P. DeWitt; Transferência de Calor e de Massa – 5^a Edição; LTC, 2003.
- [7] Jorge Martins; Motores de Combustão Interna – 2^a Edição; Publindústria, 2006.
- [8] Enciclopédia Internacional Volume II, p.381; Livraria Sá da Costa Editora/ Lisboa, 1977.
- [9] The new Caxton Encyclopedia Volume VII; Caxton Publications Limited London, 1979.
- [10] Collier's Encyclopedia Volume VIII p.770; Macmillan Educational Company, 1992.
- [11] Ruggero Maria Santilli; A new gaseous and combustible form of water; International Journal of Hydrogen Energy, 2005.

- [12] Maria Filomena Camões; Ânodos e Cátodos – Positivos ou negativos? ; CECUL – Departamento de Química e Bioquímica, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2005.
- [13] Ficha de Especificação Comercial - Gasolina sem Chumbo Super Plus, FEC - 016; Galp Energia 2005.
- [14] Ficha de Especificação Comercial - Gasolina sem Chumbo Euro Super, FEC - 015; Galp Energia 2005.
- [15] Ficha de Especificação Comercial - Gasóleo, FEC - 001; Galp Energia 2005.
- [16] Dennis J. Klein; Apparatus and Method for the conversion of water into a clean burning combustible gas for use as an Additive with other forms of fuels; United States Patens Application Publication, Pu. No.: US 2007/0151846 A1, July 5, 2007.
- [17] Patrick J. Kelly; A Pratical Guide to "Free Energy" Devices - Dealing with the Vehicle Computer; Devices Part 17: Feb, 2007.
- [18] <http://www.gluon.com.br/fq/tabela-periodica.htm>.
- [19] www.wikipedia.org.
- [20] E. Baur; Process For the Recovery of Hydrogen and Oxygen by Electrolysis - 1.543.357; Filed Sep2, 1921.
- [21] Vários Autores; Diciopédia 2002; Porto Editora Multimédia, 2002.
- [22] <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8a.html>.
- [23] <http://www.waterfuelcell.org/concept.html>
- [24] J.O'M Bockris, B. Dandapani, D.Cocke and J. Ghoroghchian; On the Spitting of Water; Hydrogen Research Center, Texas A&M University; 18 Sept 1984.
- [25] Hydrogen Technology Applications; Hybrid Hydrogen Oxygen System (HHOS) Tested; 21 October 2003
- [26] DEES, Dennis Wayne; Mass Transfer at Gas Evolving Surfaces in Electrolysis; University Microfilms International; 1983

Anexos

Anexo A – Tabela Periódica [18]

Anexo B – Gases e suas Propriedades Térmicas [5]

Anexo C – Gases Calor Específico a Volume Constante (C_v) [5]

Anexo D – Gases Calor Específico a Pressão Constante (C_p) [5]

Anexo E – Propriedades Termofísicas de Gases à Pressão Atmosférica [6]

Anexo F – Ficha de Especificação Comercial – Gasolina sem Chumbo Super Plus [13]

Anexo G – Ficha de Especificação Comercial – Gasolina sem Chumbo Euro Super [14]

Anexo H – Ficha de Especificação Comercial – Diesel [15]

ANEXO A: Tabela Periódica

[illegible]

ANEXO B: Tabela Gases e suas Propriedades Térmicas

Gás	Fórmula química	Massa molar M	Massa volumica a 0°C 760 mmHg ρ	Constante específica		a 0°C		a 760 mmHg			
				r	J/kg K	Calor específico		Ponto de fusão		Calor de fusão	
						kcal/kg K	γ = c _p /c _v	T °C	T K	kcal/kg	kJ/kg
Acetileno	C ₂ H ₂	26,04	1,1709	32,59	319,599	0,39447	1,6097	-81	192,15	-	-
Acido clorídrico	HCl	36,465	1,6391	23,25	228,005	0,194	0,812	-112	161,15	13,4	56,103
Acido sulfídrico	H ₂ S	34,08	1,5392	24,90	244,186	0,237	0,992	-85,6	187,55	16,6	69,501
Amoníaco	NH ₃	17,031	0,7714	48,78	488,175	0,481	2,056	-77,7	195,15	81	339,131
Ar	-	28,96	1,2828	28,27	287,041	0,2397	1,0038	-	-	-	-
Argon	Ar	39,944	1,7839	21,23	208,195	0,125	0,523	-189,3	83,15	7,0	29,308
Arsina	H ₃ As	77,93	3,48	10,9	106,892	-	-	-113,5	159,65	-	-
Azoto	N ₂	28,016	1,2505	30,26	286,749	0,2462	1,0392	-210,10	63,13	6,15	25,749
Brometo de hidrogénio	HBr	80,924	3,644	10,49	102,872	0,082	0,343	-87	186,15	7,4	30,982
Butano-n	C ₄ H ₁₀	58,12	2,703	14,60	143,177	0,458*	1,918*	-135	138,15	18,0	75,362
Cianogénio	C ₂ N ₂	52,04	2,32	16,60	162,790	-	-	-34,4	238,75	-	-
Cloreto de nitrólio	NOCl	65,465	2,9919	12,93	126,800	-	-	-81,5	211,65	-	-
Cloreto metílico	CH ₃ Cl	50,49	2,307	16,80	164,752	0,176	0,737	-91,5	181,65	-	-
Cloro	Cl ₂	70,914	3,22	11,96	117,288	0,120	0,502	-103	170,15	45	188,406
Diclorodifluorometano	CF ₂ Cl ₂	120,92	5,083	7,0127	68,771	0,141	0,590	-155	118,15	-	-
Dióxido de carbono	CO ₂	44,01	1,9768	19,25	188,778	0,1946	0,8148	-56	217,15	44	184,219
Dióxido de enxofre	SO ₂	64,06	2,9263	13,24	128,840	0,145	0,632	-75,3	197,85	27,9	116,812
Etano	C ₂ H ₆	30,07	1,366	28,22	278,744	0,3934	1,6471	-83,6	89,55	22,2	62,947
Éter metílico	C ₂ H ₅ O	46,07	2,1093	18,40	180,442	0,3933	1,5211	-138,5	134,65	-	-
Etileno	C ₂ H ₄	28,05	1,2605	30,25	296,651	0,3488	1,4695	-169,4	103,75	25,0	104,670
Fluor	F ₂	38,000	1,695	22,30	216,688	-	-	-220	53,15	8,0	37,681
Fluoreto metílico	CH ₃ F	34,03	1,545	24,91	244,284	-	-	-133,5	139,65	7,85	32,866
Fosfina	PH ₃	34,04	1,530	24,90	244,186	-	-	-	-	1,365	5,715
Hélio	He	4,002	0,1785	212,00	2079,010	1,250	5,234	-	-	14	58,615
Hidrogénio	H ₂	2,0156	0,08967	420,3	4121,735	3,3904	14,1949	-259,20	13,95	5,5	23,027
Iodeto de hidrogénio	HI	127,93	5,789	6,64	65,116	0,055	0,230	-51	222,15	18,7	78,293
Isobutano	C ₄ H ₁₀	58,12	2,668	14,60	143,177	0,390*	1,633*	-145	128,15	4,7	19,678
Krypton	Kr	83,7	3,74	10,23	100,322	0,080*	0,251*	-157,2	115,95	14	58,615
Metano	CH ₄	16,04	0,7168	52,90	516,772	0,5172	2,1654	-182,5	90,65	-	-
Metilamina	CH ₃ N	31,06	1,39	27,30	267,722	-	-	-92,5	180,65	7,2	30,145
Monóxido de carbono	CO	28,01	1,2500	30,28	296,945	0,2483	1,0396	-205	68,15	4,0	16,747
Néon	Ne	20,183	0,8999	41,88	411,683	0,246	1,030	-248,60	24,55	18,4	77,037
Óxido nítrico	NO	30,008	1,3402	28,26	277,136	0,2396	0,9900	-163,5	109,65	35,5	148,631
Óxido nítrico	N ₂ O	44,016	1,9780	19,26	188,876	0,2032	0,8508	-90,8	182,35	3,3	13,816
Oxigénio	O ₂	32,000	1,42895	26,49	259,778	0,2185	0,9148	-218,83	54,32	-	-
Ozono	O ₃	48,000	2,22	17,68	173,382	-	-	-252	21,5	19,2	80,387
Propano	C ₃ H ₈	44,09	2,019	19,25	188,778	0,3701	1,5495	-189,9	83,25	16,7	69,920
Propeno	C ₃ H ₆	42,08	1,915	20,19	197,996	0,3406	1,4260	-185,2	87,95	-	-
Sulfureto	COS	60,07	2,72	14,2	139,245	0,160	0,670	-138,2	134,95	-	-
Xénon	X	131,3	5,89	6,51	63,841	0,038*	0,159*	-111,9	161,25	4,2	17,585

* Calor específico a 20 °C

* Constante universal R=8,31441 kJ/kmol K

ANEXO C: Gases Calor Específico a Volume Constante (C_v)

Temperatura		O ₂		H ₂		NO		OH		H ₂ O		N ₂		"Ar"		CO		CO ₂		N ₂ O	
°C	K	c _v		c _v		c _v		c _v		c _v		c _v		c _v		c _v		c _v		c _v	
		kcal/kgK	kJ/kgK	kcal/kgK	kJ/kgK	kcal/kgK	kJ/kgK	kcal/kgK	kJ/kgK	kcal/kgK	kJ/kgK	kcal/kgK	kJ/kgK	kcal/kgK	kJ/kgK	kcal/kgK	kJ/kgK	kcal/kgK	kJ/kgK	kcal/kgK	kJ/kgK
0	273,15	0,1564	0,6548	2,4053	10,0705	0,1724	0,7218	0,3044	1,2745	0,3339	1,3980	0,1773	0,7423	0,1711	0,7164	0,1774	0,7427	0,1495	0,6259	0,1581	0,6619
100	373,15	0,1609	0,6737	2,4658	10,3238	0,1719	0,7197	0,2995	1,2539	0,3413	1,4290	0,1780	0,7453	0,1727	0,7231	0,1786	0,7478	0,1731	0,7247	0,1817	0,7607
200	473,15	0,1679	0,7030	2,4792	10,3799	0,1752	0,7335	0,2975	1,2456	0,3533	1,4792	0,1804	0,7553	0,1761	0,7373	0,1819	0,7616	0,1920	0,8039	0,2005	0,8395
300	573,15	0,1755	0,7348	2,4861	10,4088	0,1810	0,7578	0,2974	1,2452	0,3675	1,5386	0,1845	0,7725	0,1810	0,7578	0,1871	0,7834	0,2073	0,8679	0,2160	0,9043
400	673,15	0,1824	0,7637	2,4975	10,4555	0,1872	0,7838	0,2989	1,2514	0,3828	1,6027	0,1898	0,7947	0,1866	0,7813	0,1932	0,8089	0,2200	0,9211	0,2289	0,9584
500	773,15	0,1833	0,7674	2,5169	10,5378	0,1932	0,8089	0,3023	1,2657	0,3989	1,6701	0,1955	0,8185	0,1923	0,8051	0,1995	0,8353	0,2307	0,9659	0,2398	1,0040
600	873,15	0,1932	0,8089	2,5446	10,6537	0,1986	0,8315	0,3069	1,2849	0,4156	1,7400	0,2012	0,8424	0,1978	0,8281	0,2054	0,8600	0,2395	1,0027	0,2490	1,0425
700	973,15	0,1973	0,8261	2,5808	10,8053	0,2033	0,8512	0,3126	1,3088	0,4327	1,8116	0,2065	0,8646	0,2027	0,8487	0,2107	0,8822	0,2470	1,0341	0,2566	1,0743
800	1073,2	0,2007	0,8403	2,6250	10,9904	0,2074	0,8683	0,3190	1,3356	0,4499	1,8636	0,2113	0,8847	0,2071	0,8671	0,2154	0,9018	0,2532	1,0601	0,2632	1,1020
900	1173,2	0,2035	0,8520	2,6721	11,1875	0,2108	0,8826	0,3256	1,3632	0,4666	1,9536	0,2156	0,9027	0,2110	0,8834	0,2195	0,9190	0,2585	1,0823	0,2689	1,1258
1000	1273,2	0,2060	0,8625	2,7212	11,3931	0,2137	0,8947	0,3321	1,3904	0,4827	2,0210	0,2193	0,9182	0,2144	0,8976	0,2230	0,9337	0,2630	1,1011	0,2738	1,1463
1100	1373,2	0,2082	0,8717	2,7733	11,6113	0,2165	0,9064	0,3385	1,4172	0,4977	2,0838	0,2226	0,9320	0,2174	0,9102	0,2261	0,9466	0,2668	1,1170	0,2789	1,1677
1200	1473,2	0,2103	0,8805	2,8244	11,8252	0,2183	0,9140	0,3447	1,4432	0,5113	2,1407	0,2255	0,9441	0,2200	0,9211	0,2287	0,9575	0,2700	1,1304	-	-
1300	1573,2	0,2122	0,8884	2,8760	12,0412	0,2202	0,9219	0,3506	1,4679	0,5248	2,1972	0,2280	0,9546	0,2224	0,9311	0,2311	0,9676	0,2728	1,1422	-	-
1400	1673,2	0,2141	0,8964	2,9246	12,2447	0,2219	0,9291	0,3560	1,4905	0,5368	2,2475	0,2302	0,9638	0,2245	0,9389	0,2330	0,9755	0,2752	1,1522	-	-
1500	1773,2	0,2159	0,9039	2,9712	12,4398	0,2233	0,9349	0,3611	1,5119	0,5479	2,2939	0,2322	0,9722	0,2264	0,9479	0,2348	0,9831	0,2773	1,1610	-	-
1600	1873,2	0,2177	0,9115	3,0149	12,6228	0,2245	0,9399	0,3659	1,5320	0,5581	2,3367	0,2339	0,9793	0,2281	0,9550	0,2364	0,9898	0,2791	1,1685	-	-
1700	1973,2	0,2194	0,9186	3,0565	12,7970	0,2256	0,9445	0,3704	1,5508	0,5677	2,3768	0,2354	0,9856	0,2296	0,9613	0,2378	0,9956	0,2806	1,1748	-	-
1800	2073,2	0,2212	0,9261	3,0957	12,9611	0,2267	0,9491	0,3745	1,5680	0,5763	2,4129	0,2368	0,9914	0,2311	0,9676	0,2390	1,0006	0,2820	1,1807	-	-
1900	2173,2	0,2229	0,9332	3,1334	13,1189	0,2276	0,9529	0,3783	1,5839	0,5842	2,4459	0,2380	0,9965	0,2324	0,9730	0,2402	1,0057	0,2831	1,1853	-	-
2000	2273,2	0,2246	0,9404	3,1681	13,2642	0,2285	0,9567	0,3818	1,5985	0,5915	2,4765	0,2391	1,0011	0,2337	0,9785	0,2412	1,0099	0,2840	1,1891	-	-
2100	2373,2	0,2253	0,9433	3,2009	13,4015	0,2292	0,9596	0,3852	1,6128	0,5984	2,5054	0,2401	1,0053	0,2348	0,9831	0,2421	1,0136	0,2848	1,1924	-	-
2200	2473,2	0,2280	0,9546	3,2331	13,5363	0,2299	0,9625	0,3883	1,6257	0,6047	2,5318	0,2411	1,0094	0,2359	0,9877	0,2429	1,0170	0,2855	1,1953	-	-
2300	2573,2	0,2296	0,9613	3,2624	13,6590	0,2305	0,9651	0,3913	1,6383	0,6106	2,5565	0,2419	1,0128	0,2369	0,9919	0,2437	1,0203	0,2860	1,1974	-	-
2400	2673,2	0,2312	0,9680	3,2907	13,7775	0,2311	0,9676	0,3941	1,6500	0,6160	2,5791	0,2427	1,0161	0,2379	0,9960	0,2444	1,0233	0,2863	1,1987	-	-
2500	2773,2	0,2328	0,9747	3,3175	13,8897	0,2317	0,9701	0,3969	1,6617	0,6211	2,6004	0,2434	1,0191	0,2388	0,9998	0,2450	1,0258	0,2864	1,1991	-	-
2600	2873,2	0,2343	0,9810	3,3428	13,9956	0,2322	0,9722	0,3996	1,6730	0,6259	2,6205	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2700	2973,2	0,2358	0,9872	3,3666	14,0953	0,2323	0,9726	0,4022	1,6839	0,6304	2,6394	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2800	3073,2	-	-	-	-	0,2333	0,9768	0,4047	1,6944	0,6347	2,6574	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2900	3173,2	-	-	-	-	0,2338	0,9789	0,4071	1,7044	0,6387	2,6741	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3000	3273,2	-	-	-	-	0,2342	0,9805	0,4095	1,7145	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ANEXO D: Gases Calor Específico a Pressão Constante (C_p)

Temperatura		O ₂		H ₂		NO		OH		H ₂ O		N ₂		"Ar"		CO		CO ₂		N ₂ O	
°C	K	C _p		C _p		C _p		C _p		C _p		C _p		C _p		C _p		C _p		C _p	
		kcal/kgK	kJ/kgK	kcal/kgK	kJ/kgK	kcal/kgK	kJ/kgK	kcal/kgK	kJ/kgK	kcal/kgK	kJ/kgK	kcal/kgK	kJ/kgK	kcal/kgK	kJ/kgK	kcal/kgK	kJ/kgK	kcal/kgK	kJ/kgK	kcal/kgK	kJ/kgK
0	273,15	0,2185	0,9148	3,3904	14,1949	0,2386	0,9990	0,4212	1,7635	0,4441	1,8594	0,2482	1,0392	0,2397	1,0036	0,2483	1,0396	0,1946	0,8148	0,2032	0,8508
100	373,15	0,2230	0,9337	3,4509	14,4482	0,2381	0,9969	0,4163	1,7430	0,4515	1,8903	0,2489	1,0421	0,2413	1,0103	0,2495	1,0446	0,2182	0,9136	0,2269	0,9500
200	473,15	0,2300	0,9630	3,4643	14,5043	0,2414	1,0107	0,4143	1,7346	0,4635	1,9406	0,2512	1,0512	0,2447	1,0245	0,2528	1,0584	0,2371	0,9927	0,2456	1,0283
300	573,15	0,2376	0,9948	3,4712	14,5332	0,2472	1,0350	0,4142	1,7342	0,4778	2,0005	0,2554	1,0693	0,2495	1,0446	0,2580	1,0802	0,2524	1,0567	0,2611	1,0932
400	673,15	0,2445	1,0237	3,4826	14,5809	0,2534	1,0609	0,4157	1,7405	0,4931	2,0645	0,2607	1,0915	0,2552	1,0685	0,2641	1,1057	0,2652	1,1103	0,2740	1,1472
500	773,15	0,2504	1,0484	3,5020	14,6622	0,2594	1,0861	0,4191	1,7547	0,5092	2,1319	0,2694	1,1154	0,2609	1,0923	0,2704	1,1321	0,2758	1,1547	0,2849	1,1928
600	873,15	0,2553	1,0689	3,5298	14,7786	0,2648	1,1087	0,4237	1,7739	0,5258	2,2014	0,2721	1,1392	0,2663	1,1149	0,2763	1,1568	0,2847	1,1920	0,2941	1,2313
700	973,15	0,2593	1,0856	3,5660	14,9301	0,2695	1,1283	0,4294	1,7978	0,5429	2,2730	0,2774	1,1614	0,2712	1,1355	0,2816	1,1790	0,2921	1,2230	0,3017	1,2632
800	1073,2	0,2627	1,0999	3,6101	15,1148	0,2736	1,1455	0,4358	1,8246	0,5601	2,3450	0,2822	1,1815	0,2756	1,1539	0,2863	1,1987	0,2984	1,2493	0,3084	1,2912
900	1173,2	0,2656	1,1120	3,6572	15,3120	0,2770	1,1597	0,4424	1,8522	0,5769	2,4154	0,2864	1,1991	0,2795	1,1702	0,2904	1,2158	0,3037	1,2715	0,3141	1,3151
1000	1273,2	0,2682	1,1229	3,7063	15,5175	0,2799	1,1719	0,4489	1,8795	0,5929	2,4824	0,2902	1,2150	0,2829	1,1844	0,2939	1,2305	0,3081	1,2900	0,3189	1,3552
1100	1373,2	0,2703	1,1317	3,7584	15,7357	0,2824	1,1824	0,4553	1,9063	0,6080	2,5456	0,2935	1,2288	0,2859	1,1970	0,2970	1,2435	0,3119	1,3059	0,3232	1,3532
1200	1473,2	0,2723	1,1401	3,8095	15,9496	0,2845	1,1911	0,4615	1,9322	0,6220	2,6042	0,2964	1,2410	0,2886	1,2083	0,2996	1,2544	0,3152	1,3197	-	-
1300	1573,2	0,2743	1,1484	3,8611	16,1657	0,2864	1,1991	0,4674	1,9569	0,6350	2,6586	0,2989	1,2514	0,2909	1,2179	0,3020	1,2644	0,3180	1,3314	-	-
1400	1673,2	0,2762	1,1564	3,9097	16,3691	0,2881	1,2062	0,4728	1,9795	0,6470	2,7089	0,3011	1,2606	0,2930	1,2267	0,3040	1,2728	0,3204	1,3415	-	-
1500	1773,2	0,2780	1,1639	3,9563	16,5642	0,2895	1,2121	0,4779	2,0009	0,6581	2,7553	0,3030	1,2686	0,2949	1,2347	0,3057	1,2799	0,3224	1,3498	0,3254	1,3624
1600	1873,2	0,2797	1,1710	4,0000	16,7472	0,2907	1,2171	0,4827	2,0210	0,6683	2,7980	0,3048	1,2761	0,2966	1,2418	0,3073	1,2866	0,3242	1,3574	-	-
1700	1973,2	0,2815	1,1786	4,0417	16,9218	0,2918	1,2217	0,4872	2,0398	0,6779	2,8382	0,3063	1,2824	0,2982	1,2485	0,3087	1,2925	0,3257	1,3636	-	-
1800	2073,2	0,2832	1,1857	4,0808	17,0855	0,2928	1,2259	0,4913	2,0570	0,6865	2,8742	0,3077	1,2883	0,2996	1,2544	0,3100	1,2979	0,3271	1,3695	-	-
1900	2173,2	0,2849	1,1928	4,1185	17,2433	0,2938	1,2301	0,4951	2,0729	0,6944	2,9073	0,3089	1,2933	0,3010	1,2602	0,3111	1,3025	0,3282	1,3741	-	-
2000	2273,2	0,2867	1,2004	4,1533	17,3890	0,2947	1,2338	0,4986	2,0875	0,7017	2,9379	0,3100	1,2979	0,3022	1,2653	0,3121	1,3067	0,3292	1,3783	0,3281	1,3737
2100	2373,2	0,2884	1,2075	4,1860	17,5259	0,2954	1,2368	0,5020	2,1018	0,7086	2,9668	0,3110	1,3021	0,3034	1,2703	0,3130	1,3105	0,3300	1,3816	-	-
2200	2473,2	0,2900	1,2142	4,2182	17,6608	0,2960	1,2393	0,5051	2,1148	0,7150	2,9936	0,3120	1,3063	0,3045	1,2749	0,3138	1,3138	0,3306	1,3842	-	-
2300	2573,2	0,2917	1,2213	4,2475	17,7834	0,2967	1,2422	0,5081	2,1273	0,7208	3,0178	0,3128	1,3096	0,3055	1,2791	0,3146	1,3172	0,3311	1,3862	-	-
2400	2673,2	0,2933	1,2280	4,2758	17,9019	0,2973	1,2447	0,5109	2,1390	0,7263	3,0409	0,3136	1,3130	0,3065	1,2833	0,3153	1,3201	0,3314	1,3875	-	-
2500	2773,2	0,2948	1,2343	4,3026	18,0141	0,2978	1,2468	0,5137	2,1508	0,7313	3,0618	0,3143	1,3159	0,3074	1,2870	0,3160	1,3230	0,3315	1,3879	0,3315	1,3879
2600	2873,2	0,2964	1,2410	4,3279	18,1201	0,2984	1,2493	0,5194	2,1746	0,7361	3,0819	0,3155	1,3209	0,3087	1,2925	-	-	-	-	-	-
2700	2973,2	0,2979	1,2472	4,3517	18,2197	0,2989	1,2514	0,5190	2,1729	0,7406	3,1007	0,3162	1,3239	0,3087	1,2925	-	-	-	-	-	-
2800	3073,2	0,2984	1,2493	4,3808	18,3415	0,2994	1,2535	0,5215	2,1834	0,7449	3,1187	0,3170	1,3272	0,3100	1,2979	-	-	-	-	-	-
2900	3173,2	0,2997	1,2548	4,4056	18,4464	0,2999	1,2556	0,5239	2,1935	0,7489	3,1355	0,3173	1,3285	0,3107	1,3008	-	-	-	-	-	-
3000	3273,2	0,3010	1,2602	4,4300	18,5475	0,3004	1,2577	0,5263	2,2035	0,7489	3,1355	0,3180	1,3314	0,3110	1,3021	0,3190	1,3356	0,3330	1,3942	0,3330	1,3942

ANEXO E: Propriedades Termofísicas de Gases à Pressão
Atmosférica

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)
550	—	5,193	—	—	—	—
600	—	5,193	320	—	252	—
650	—	5,193	332	—	264	—
700	0,06969	5,193	350	502	278	768
750	—	5,193	364	—	291	—
800	—	5,193	382	—	304	—
900	—	5,193	414	—	330	—
1000	0,04879	5,193	446	914	354	1400
Hidrogênio (H₂)						
100	0,24255	11,23	42,1	17,4	67,0	24,6
150	0,16156	12,60	56,0	34,7	101	49,6
200	0,12115	13,54	68,1	56,2	131	79,9
250	0,09693	14,06	78,9	81,4	157	115
300	0,08078	14,31	89,6	111	183	158
350	0,06924	14,43	98,8	143	204	204
400	0,06059	14,48	108,2	179	226	258
450	0,05386	14,50	117,2	218	247	316
500	0,04848	14,52	126,4	261	266	378
550	0,04407	14,53	134,3	305	285	445
600	0,04040	14,55	142,4	352	305	519
700	0,03463	14,61	157,8	456	342	676
800	0,03030	14,70	172,4	569	378	849
900	0,02694	14,83	186,5	692	412	1030
1000	0,02424	14,99	201,3	830	448	1230
1100	0,02204	15,17	213,0	966	488	1460
1200	0,02020	15,37	226,2	1120	528	1700
1300	0,01865	15,59	238,5	1279	568	1955
1400	0,01732	15,81	250,7	1447	610	2230
1500	0,01616	16,02	262,7	1626	655	2530
1600	0,0152	16,28	273,7	1801	697	2815
1700	0,0143	16,58	284,9	1992	742	3130
1800	0,0135	16,96	296,1	2193	786	3435
1900	0,0128	17,49	307,2	2400	835	3730
2000	0,0121	18,25	318,2	2630	878	3975
Monóxido de Carbono (CO)						
200	1,6888	1,045	127	7,52	17,0	9,63
220	1,5341	1,044	137	8,93	19,0	11,9
240	1,4055	1,043	147	10,5	20,6	14,1
260	1,2967	1,043	157	12,1	22,1	16,3
280	1,2038	1,042	166	13,8	23,6	18,8

ANEXO F: Ficha de Especificação Comercial – Gasolina sem
Chumbo Super Plus

DESCRIÇÃO:

Combustível para motores de ignição comandada que satisfaz os requisitos do Decreto-Lei nº 235/2004 de 16 de Dezembro. Corresponde ao código de produto Petrogal P020236.

COMPOSIÇÃO:

Combinação complexa de hidrocarbonetos produzidos pela destilação do petróleo bruto. É constituído predominantemente por hidrocarbonetos com cadeias de átomos de carbono de C₄ até C₁₁. Contém aditivos.

DESIGNAÇÃO	LIMITES	UNIDADES	MÉTODOS ANÁLISE ¹
Aspecto	Claro e Límpido	-	Inspecção visual
Cor	Azul	-	Inspecção visual
Massa Volúmica @ 15°C	Mín. 720 Máx. 775	Kg/m³	EN ISO 3675; EN ISO 12185
Índice de Octano			
	<i>RON</i> Mín 98	-	EN 25164
	<i>MON</i> Mín 87		EN 25163
Pressão de Vapor (Método Reid)			EN 13016-1 (DVPE); EN 12
<i>De 21 de Maio a 30 de Setembro</i>	Mín 45.0 Máx. 60.0	kPa	
<i>Em Abril e Outubro</i>	Mín 60.0² Máx. 90.0²	kPa	
<i>De 1 de Novembro a 31 de Março</i>	Mín 60.0 Máx. 90.0	kPa	
Destilação:			EN ISO 3405
Evaporado @ 70°C			
<i>De 1 de Maio a 30 de Setembro</i>	Mín 20.0 Máx. 48.0	% (v/v) % (v/v)	
<i>De 1 de Outubro a 30 de Abril</i>	Mín 22.0 Máx. 50.0	% (v/v) % (v/v)	
Evaporado @ 100°C	Mín 46.0 Máx. 71.0	% (v/v) % (v/v)	
Evaporado @ 150°C	Mín. 75.0	% (v/v)	
Ponto Final	Máx 210	°C	
Resíduo	Máx 2	% (v/v)	
Análise de Hidrocarbonetos			
Olefinas	Máx 18.0	% (v/v)	ASTM D 1319; pr EN 14517
Aromáticos	Máx 42.0	% (v/v)	ASTM D 1319; pr EN 14517
Benzeno	Máx 1.0	% (v/v)	EN 12177; EN 238; pr EN 14517; ASTM D 3606



DESIGNAÇÃO	LIMITES	UNIDADES	MÉTODOS ANÁLISE ¹
Teor de Oxigénio	Máx 2.7	%(m/m)	EN 1601; EN 13132; ASTM D 4815
Compostos Oxigenados			EN 1601; EN 13132; ASTM D 4815
<i>Metanol</i>	Máx 3	%(v/v)	
<i>Etanol</i>	Máx 5	%(v/v)	
<i>Álcool Isopropílico</i>	Máx 10	%(v/v)	
<i>Álcool Terbutílico</i>	Máx 7	%(v/v)	
<i>Álcool Isobutílico</i>	Máx 10	%(v/v)	
<i>Éteres com cinco ou mais átomos por molécula</i>	Máx 15	%(v/v)	
<i>Outros compostos oxigenados</i>	Máx 10	%(v/v)	
Enxofre	Máx. 10	mg/kg	EN ISO 20846; EN ISO 20847; ASTM D 2622; EN ISO 14596
Chumbo	Máx. 0.005	g/l	EN 237
Estabilidade à Oxidação	Mín. 360	minuto	EN ISO 7536
Gomas Existentes	Máx. 5	mg/100ml	EN ISO 6246
Corrosão da Lâmina de Cobre (3h @ 50°C)	Máx. 1	-	EN ISO 2160

OBSERVAÇÕES:

¹ Todos os métodos de ensaio são efectuados nos Laboratórios da Petrogal, acreditados pelo Instituto Português da Qualidade, segundo a norma NP EN /IEC 17025.

² Com a condição de a soma de dez vezes a pressão de vapor expressa em kPa e sete vezes o evaporado a 70°C expresso em %(v/v) não exceder 1150.

Emitido por :

GALP EMPRESAS - Ambiente, Qualidade e Segurança

Contacto:

CORE Centro Operacional de Relacionamento – Serviço de apoio a Empresas

TELEFONE: 809500809

FAX: 210058888

email: core.galpempresas@galpenenergia.com

www.galpenenergia.com

ANEXO G: Ficha de Especificação Comercial – Gasolina sem
Chumbo Euro Super

DESCRIÇÃO:

Combustível para motores de ignição comandada que satisfaz os requisitos do Decreto-Lei nº 235/2004 de 16 de Dezembro. Corresponde ao código de produto Petrogal P020232.

COMPOSIÇÃO:

Combinação complexa de hidrocarbonetos produzidos pela destilação do petróleo bruto. É constituído predominantemente por hidrocarbonetos com cadeias de átomos de carbono de C₄ até C₁₁. Contém aditivos.

DESIGNAÇÃO	LIMITES	UNIDADES	MÉTODOS ANÁLISE ¹
Aspecto	Claro e Límpido	-	Inspecção visual
Cor	Violeta	-	Inspecção visual
Massa Volúmica @ 15°C	Mín. 720 Máx. 775	Kg/m³	EN ISO 3675; EN ISO 12185
Índice de Octano			
	<i>RON</i> Mín 95	-	EN 25164
	<i>MON</i> Mín 85		EN 25163
Pressão de Vapor (Método Reid)			EN 13016-1 (DVPE); EN 12
<i>De 21 de Maio a 30 de Setembro</i>	Mín 45.0 Máx. 60.0	kPa	
<i>Em Abril e Outubro</i>	Mín 60.0² Máx. 90.0²	kPa	
<i>De 1 de Novembro a 31 de Março</i>	Mín 60.0 Máx. 90.0	kPa	
Destilação:			EN ISO 3405
Evaporado @ 70°C			
<i>De 1 de Maio a 30 de Setembro</i>	Mín 20.0 Máx. 48.0	% (v/v) % (v/v)	
<i>De 1 de Outubro a 30 de Abril</i>	Mín 22.0 Máx. 50.0	% (v/v) % (v/v)	
Evaporado @ 100°C	Mín 46.0 Máx. 71.0	% (v/v) % (v/v)	
Evaporado @ 150°C	Mín. 75.0	% (v/v)	
Ponto Final	Máx 210	°C	
Resíduo	Máx 2	% (v/v)	
Análise de Hidrocarbonetos			
Olefinas	Máx 18.0	% (v/v)	ASTM D 1319; pr EN14517
Aromáticos	Máx 42.0	% (v/v)	ASTM D 1319; pr EN14517
Benzeno	Máx 1.0	% (v/v)	EN 12177; EN 238; pr EN14517; ASTM D3606

DESIGNAÇÃO	LIMITES	UNIDADES	MÉTODOS ANÁLISE ¹
Teor de Oxigénio	Máx 2.7	%(m/m)	EN 1601; EN 13132; ASTM D4815
Compostos Oxigenados			EN 1601; EN 13132; ASTM D4815
<i>Metanol</i>	Máx 3	%(v/v)	
<i>Etanol</i>	Máx 5	%(v/v)	
<i>Álcool Isopropílico</i>	Máx 10	%(v/v)	
<i>Álcool Terbutílico</i>	Máx 7	%(v/v)	
<i>Álcool Isobutílico</i>	Máx 10	%(v/v)	
<i>Éteres com cinco ou mais átomos por molécula</i>	Máx 15	%(v/v)	
<i>Outros compostos oxigenados</i>	Máx 10	%(v/v)	
Enxofre	Máx. 50	mg/kg	EN ISO 14596; EN ISO 2846; EN ISO 20847; EN ISO 20884; ASTM D2622
Chumbo	Máx. 0.005	g/l	EN 237
Estabilidade à Oxidação	Mín. 360	minuto	EN ISO 7536
Gomas Existentes	Máx. 5	mg/100ml	EN ISO 6246
Corrosão da Lâmina de Cobre (3h @ 50°C)	Máx. 1	-	EN ISO 2160

OBSERVAÇÕES:

¹ Todos os métodos de ensaio são efectuados nos Laboratórios da Petrogal, acreditados pelo Instituto Português da Qualidade, segundo a norma NP EN /IEC 17025.

² Com a condição de a soma de dez vezes a pressão de vapor expressa em kPa e sete vezes o evaporado a 70°C expresso em %(v/v) não exceder 1150.

Emitido por :

GALP EMPRESAS - Ambiente, Qualidade e Segurança

Contacto:

CORE Centro Operacional de Relacionamento – Serviço de apoio a Empresas

TELEFONE: 809500809

FAX: 210058888

email: core.galpempresas@galpennergia.com

www.galpennergia.com

ANEXO H: Ficha de Especificação Comercial – Diesel