



**Filomena Pinto**

**[Filomena.pinto@Ineg.pt](mailto:Filomena.pinto@Ineg.pt)**

**[mfpinto@fc.ul.pt](mailto:mfpinto@fc.ul.pt)**

**210 92 4787**

# Critérios de avaliação

## Avaliação Contínua

0,50 Prova Escrita + 0,25 Trabalho Teórico + 0,25 Apresentação

**Nota:** Classificação mínima na prova escrita – 9 v. (0 – 20v.)

## Avaliação por Exame

100% Exame

# Evaluation Options

## Continuous Evaluation

0,50 Test + 0,25 Theoretical work + 0,25 Presentation of the work

**Nota:** Minimum mark in written test – 9 v. (0 – 20v.)

## By Examination

100% Examination

# 2021

## – Practical Classes

Setembro							Outubro							Novembro							Dezembro						
Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado	Domingo
		1	2	3	4	5				1	2	3	1	2	3	4	5	6	7			1	2	3	4	5	
6	7	8	9	10	11	12	4	5	6	7	8	9	10	8	9	10	11	12	13	14	6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19	11	12	13	14	15	16	17	15	16	17	18	19	20	21	13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26	18	19	20	21	22	23	24	22	23	24	25	26	27	28	20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30				25	26	27	28	29	30	31	29	30						27	28	29	30	31		

Calendários Michel Zbinden / Portugal

©MichelZbinden.com

# 2022

## – Exams



# 2022

Janeiro							Fevereiro							Março							Abril						
Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado	Domingo
				1	2	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6				1	2	3				
3	4	5	6	7	8	9	7	8	9	10	11	12	13	7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10
10	11	12	13	14	15	16	14	15	16	17	18	19	20	14	15	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16	17
17	18	19	20	21	22	23	21	22	23	24	25	26	27	21	22	23	24	25	26	27	18	19	20	21	22	23	24
24	25	26	27	28	29	30	28						28	29	30	31				25	26	27	28	29	30		
31																											



## Summary of Theoretical and Practical Lessons

Date		Summary
22-09	PC/FP	Introdução. Historial da utilização do hidrogénio como forma de energia.
29-09	PC	Métodos de produção de Hidrogénio: reforma de combustíveis. Conversão termoquímica de combustíveis sólidos: gasificação, sistemas de limpeza e separação de gases.
06-10	PC	Eletrólise: origem renovável e não renovável. Fotoeletrólise ou eletrólise assistida.
13-10	FP	Problema 1 – Reforma com vapor
20-10	PC	Sistemas de armazenamento, transporte e abastecimento de hidrogénio. Desafios associados ao armazenamento.
03-11	FP	Problema 2 – Gasificação de biomassa
10-11	FP	Problema 2 – Gasificação de biomassa
17-11	FP	Problema 3 - Produção de hidrogênio por eletrólise da água e por reforma do metano
24-11	PC	Aplicações do hidrogénio: combustão direta em motores de combustão interna e turbinas; tipos de células de combustível e seu funcionamento.
15-12	FP	Problema 4 - Células de combustível

## Calendarização das Aulas Teorico-Práticas

Data		Sumário
22-09	PC/FP	Introduction. History of the use of hydrogen as a form of energy.
29-09	PC	Hydrogen production methods: fuel reforming. Thermochemical Conversion of Solid Fuels: gasification, cleaning systems and gas separation.
06-10	PC	Electrolysis: renewable and non-renewable source. Photoelectrolysis or assisted electrolysis.
13-10	FP	Problem 1 – Steam reforming
20-10	PC	Hydrogen storage, transport and supply systems. Challenges associated with storage.
03-11	FP	Problem 2 – Biomass gasification
10-11	FP	Problem 2 - Biomass gasification
17-11	FP	Problem 3 – Hydrogen production by water electrolysis and by methane reforming
24-11	PC	Applications of hydrogen: direct combustion in internal combustion engines and use in turbines. Types of fuel cells and their operation.
15-12	FP	Problem 4 - Fuel cells

# Temas para trabalhos teóricos

- 1) Problemas e benefícios duma economia baseada no hidrogénio, considerando os aspetos da produção e utilização.
- 2) **A utilização de hidrogénio como fonte de energia - problema ou solução para a crise energética?**
- 3) Comparação entre os principais métodos de produção de hidrogénio.
- 4) Produção de hidrogénio a partir da utilização de fontes renováveis.
- 5) Métodos para produção de bio-hidrogénio.
- 6) Produção de energia a partir da utilização de hidrogénio em pilhas de combustível.
- 7) Produção de energia a partir da combustão de hidrogénio.
- 8) Produção de hidrogénio a partir de gasificação de biomassa e/ou de resíduos.
- 9) Opções para a utilização de hidrogénio no sector automóvel.
- 10) Problemas e soluções associados ao armazenamento e transporte de hidrogénio.
- 11) Necessidades de I&D para incrementar a utilização de hidrogénio para produção de energia.
- 12) Principais projetos de demonstração na área da utilização de hidrogénio.
- 13) Outros.

**Só estão disponíveis os temas a preto**



# Themes for theoretical work

- 1) Problems and benefits of an economy based on hydrogen, considering the aspects of use.
- 2) **The use of hydrogen for energy - a problem or solution to the energy crisis?**
- 3) Comparison of the main methods for producing hydrogen.
- 4) Production of hydrogen by the use of renewable sources.
- 5) Methods for the production of bio-hydrogen.
- 6) Energy production by using hydrogen in fuel cells.
- 7) Energy generation from hydrogen combustion.
- 8) Hydrogen production from biomass and/or wastes gasification.
- 9) Hydrogen use methods for the automotive sector.
- 10) Problems and solutions associated with the storage and transport of hydrogen.
- 11) R&D needs to increase the use of hydrogen for energy production.
- 12) Most important demonstration projects in the area of hydrogen use.
- 13) Others.

**Only black written themes are available**



Grupo		Trabalho Teórico
<b>Grupo 1</b> <b>17 de</b> <b>Dezembro</b>	Agnese Branco Beatriz Gameiro Marcelo Rosário	2) The use of hydrogen for energy - a problem or solution to the energy crisis?
<b>Grupo 2</b> <b>17 de</b> <b>Dezembro</b>		
<b>Grupo 3</b> <b>17 de</b> <b>Dezembro</b>		
<b>Grupo 4</b> <b>17 de</b> <b>Dezembro</b>		
<b>Grupo 5</b> <b>17 de</b> <b>Dezembro</b>		

# **Trabalho Teórico**

# Partes do Trabalho

- 1) Capa
  - Título
  - Autores
  - Instituição
  - Data de realização
- 2) Agradecimentos
- 3) Resumo
- 4) Palavras Chave
- 5) Índice Geral
- 6) Índice de Figuras
- 7) Índice de Tabelas
- 8) Nomenclatura
- 9) Lista de Abreviaturas

# Partes do Trabalho

## 10) Introdução:

- Motivação
- Importância do tema abordado

## 11) Desenvolvimento do Tema

## 12) Conclusões

- Síntese dos pontos principais abordados
- Principais conclusões do que foi apresentado
- Considerações finais



# Partes do Trabalho

## 13) Tendências Futuras

- Referir temas para reflexão

## 14) Bibliografia (listagem da bibliografia consultada, a qual pode ou não ser referida no texto).

## 15) Anexos

**Nota: O trabalho em grupo não pode ser a junção de várias partes feitas por pessoas diferentes. O relatório ter de ser uma sequência lógica e coerente.**

# Bibliografia

## Relatórios de organismos reconhecidos

### Lista de Revistas:

Renewable and Sustain. Energy Reviews

Int. J. Hydrogen Energy

Energy & Fuels

Fuel

Fuel Processing Technology

Ind. Eng. Chem. Res.

Biomass Bioenergy

Renewable Energy

Applied Catal A/B

Catalysis Today

# **Theoretic Work**

# Work Main Parts

- 1) Cover
  - Title
  - Authors
  - University
  - Date
- 2) Acknowledgments
- 3) Abstract
- 4) Key words
- 5) General Index
- 6) Figures Index
- 7) Tables Index
- 8) Nomenclature
- 9) List of Abbreviations



# Work Main Parts

## 10) Introduction:

- Motivation
- Importance of the subject

## 11) Development of the subject

## 12) Conclusions

- Summary of the main points addressed
- Key findings of what was presented
- Final considerations

# Work Main Parts

## 13) Tendências Futuras

- Referir temas para reflexão

## 14) Bibliografia (listagem da bibliografia consultada, a qual pode ou não ser referida no texto).

## 15) Anexos

**Nota: O trabalho em grupo não pode ser a junção de várias partes feitas por pessoas diferentes. O relatório ter de ser uma sequência lógica e coerente.**

# References

**Reports from entities with recognized merit**

**List of Main Journals:**

Renewable and Sustain. Energy Reviews

Int. J. Hydrogen Energy

Energy & Fuels

Fuel

Fuel Processing Technology

Ind. Eng. Chem. Res.

Biomass Bioenergy

Renewable Energy

Applied Catal A/B

Catalysis Today



# References

## Reports from entities with recognized merit:

United States Department of Energy – Clean Energy  
 IEA – International Energy Agency  
 IRENA – International Renewable Energy Agency  
 IEF – International Energy Forum –  
 EERA – European Energy Research Alliance  
 EUREC – The Association of European Renewable Energy  
 Research Centers

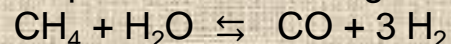




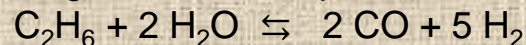
# Problema I

Supondo que se pretende produzir hidrogénio a partir de “reforming” do gás natural com vapor, considere que o gás natural apresenta a composição a seguir indicada e que a conversão global da reacção de “reforming” é de 83%. Admita que o vapor de água condensa e considere o gás seco. Calcule:

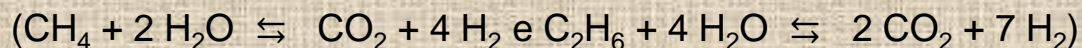
- 1) A composição final do gás admitindo que ocorre somente a reacção de formação de CO a partir de “reforming” de metano.



- 2) A composição final do gás admitindo que ocorre também a conversão do etano.



- 3) A composição final do gás admitindo que para além das reacções anteriores, ocorrem também as reacções correspondentes à formação de CO<sub>2</sub>. Admita que a conversão destas reacções é de 38%.



- 4) O caudal de hidrogénio produzido à temperatura ambiente (25°C) e nas condições consideradas na alínea 3), se o caudal total de gás após “reforming” à temperatura de 100°C for de 190,26, m<sup>3</sup>/h.
- 5) O caudal de hidrogénio produzido se o caudal de gás natural for de 40,1 m<sup>3</sup>/h (T=25°C).
- 6) A quantidade molar de vapor utilizado nas condições de 3), considerando um excesso de vapor de 65%.
- 7) A massa volúmica (MV<sub>Gas</sub>) e o poder calorífico superior (PCS<sub>Gás</sub>) do gás obtido nas condições consideradas na alínea 3).

$$\text{MV}_{\text{Gas}} = y_{\text{CO}} \times 1,2501 + y_{\text{H}_2} \times 0,0898 + y_{\text{CH}_4} \times 0,7167 + y_{\text{C}_n\text{H}_m} \times 1,2644 + y_{\text{CO}_2} \times 1,9768 + y_{\text{N}_2} \times 1,1606 \text{ (g/NL)}$$

$$\text{PCS}_{\text{Gás}} = y_{\text{CO}} \times 12\,625 + y_{\text{H}_2} \times 12\,750 + y_{\text{CH}_4} \times 39\,710 + y_{\text{C}_n\text{H}_m} \times 62\,930 \text{ (J/NL)}$$

*y<sub>i</sub>* - fração molar do componente *i*

- 8) Supondo que 14% do gás produzido diariamente por “reforming” é escoado em reservatórios de 50 L à temperatura ambiente e à pressão de 245 atmosferas, calcule o número de reservatórios necessários.

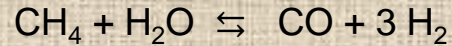
13/10/2021

	% molar
Metano	91,7
Etano	3,9
Propano	0
Nitrogénio	2,1
Dióxido de Carbono	2,3

# Problema I

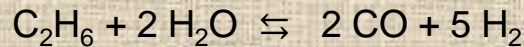
## Informação Adicional:

1) A composição final do gás admitindo que ocorre somente a reacção de formação de CO



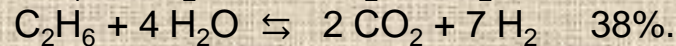
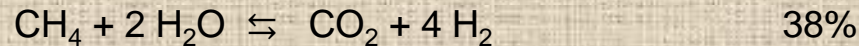
91,7 moles

2) Que ocorre também a conversão do etano.



3,9 moles

3) Que para além das reacções anteriores, ocorrem também as reacções correspondentes à formação de  $\text{CO}_2$



4)  $P_1V_1 = nRT_1$

$P_2V_2 = nRT_2$

8)  $V = C \cdot Vt$

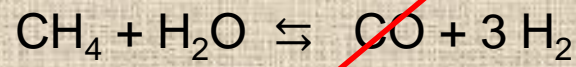
V é o volume de gás em condições normais de P e T (1 atmosfera e 25°C), Vt volume do tanque e C factor de compressão, é função da temperatura e pressão do gás.

(pé <sup>3</sup> )	T (°F)	3 600 Psi
C	76	210.8
	78	210.1

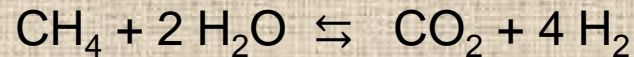
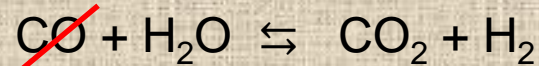
# Natural Gas Steam Reforming

## Main Reactions

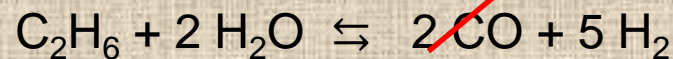
Methane (CH<sub>4</sub>) reactions



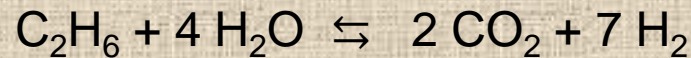
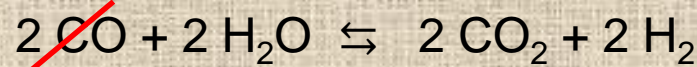
Water Gas Shift Reaction



Ethane (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) reactions.



Water Gas Shift Reaction



<https://www.youtube.com/watch?v=eoF2EoFhIJw>

<https://www.youtube.com/watch?v=xAjHJ49VOUM>



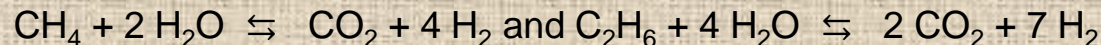
# Problem I

To produce hydrogen from natural gas reforming, a gas whose composition is shown in the next table is used. The global conversion of reforming reactions is 83%. It should be considered that after steam condensation the produced gas is dry. Determine:

- 1) The final gas composition if only the next methane reforming reaction occurs.  

$$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO} + 3 \text{H}_2$$
- 2) The final gas composition if ethane reforming reaction to form CO also occurs.  

$$\text{C}_2\text{H}_6 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2 \text{CO} + 5 \text{H}_2$$
- 3) The final gas composition if reactions leading to the formation of  $\text{CO}_2$  also take place. Please consider that these reactions conversions are 38%.



	% molar
Methane	91.7
Ethane	3.9
Propane	0
Nitrogen	2.1
Carbon Dioxide	2.3

- 4) Hydrogen flow rate at 25°C in the conditions of 3) if total reforming gas flow rate is 190.26 m<sup>3</sup>/h at 100°C.
- 5) Hydrogen flow rate, if the flow rate of initial gas is 40.1 m<sup>3</sup>/h (T=25°C).
- 6) Steam molar flow rate in the conditions of 3) if an excess of 65% of steam is used.
- 7) Density ( $\rho_{\text{Gas}}$ ) and HHV of gas leaving the gasifier ( $\text{MV}_{\text{Gas}}$ ) in the conditions of 3).

$$\rho_{\text{Gas}} = y_{\text{CO}} \times 1.2501 + y_{\text{H}_2} \times 0.0898 + y_{\text{CH}_4} \times 0.7167 + y_{\text{C}_n\text{H}_m} \times 1.2644 + y_{\text{CO}_2} \times 1.9768 + y_{\text{N}_2} \times 1.1606 \text{ (g/NL)}$$

$$\text{HHV}_{\text{Gas}} = y_{\text{CO}} \times 12\,625 + y_{\text{H}_2} \times 12\,750 + y_{\text{CH}_4} \times 39\,710 + y_{\text{C}_n\text{H}_m} \times 62\,930 \text{ (J/NL)}$$

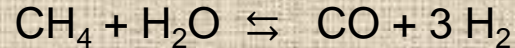
$y_i$  - molar fraction of component i

- 8) If 14% of the produced gas per day is compressed till 245 atmosphere and stored in tanks with 50 L at 25°C. Determine the number of tanks needed.

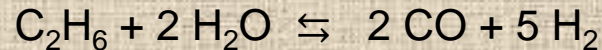
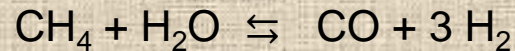


# Problem I

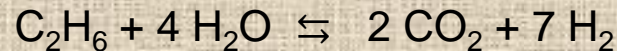
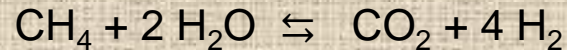
- 1) Consider that only the next reaction occurs



- 2) Consider that the next 2 reactions occur.



- 3) Besides the previous reactions, the following ones also take place:



4)  $P_1V_1 = nRT_1$

$P_2V_2 = nRT_2$

8)  $V = C \cdot V_t$

**V** is the gas volume at standard P and T conditions (1 atmosphere and 25°C), **V<sub>t</sub>** is the tank volume and **C** is the compression factor, it depends on gas temperature and pressure.

	T ( F )	3 600 Psi
<b>C</b> <b>(ft<sup>3</sup>)</b>	76	210.8
	78	210.1



# Proposta

	<b>Apresentações dos Trabalhos</b>	<b>Entrega dos Trabalhos</b>	<b>Saída das Notas</b>
Todos os Grupos	<b>6/7 de Dezembro</b>	<b>?? de Janeiro</b>	<b>?? de Janeiro</b>
<b>Teste</b>	<b>?? de Janeiro?, 9:00h, Sala: ??</b>		<b>?? de Janeiro</b>

Aula de Dúvidas da Parte Teórico-Prática –

**Exame 1.<sup>a</sup> Época - ?? de Janeiro (?<sup>a</sup> feira), 9h00, Sala 6.2.47**

**Exame 2.<sup>a</sup> Época - ?? de Janeiro (?<sup>a</sup> feira), 9h00, Sala 6.2.47**

**Época Especial - ?? de Fevereiro (?<sup>a</sup> feira), 13h00, Sala 8.2.14**

# Suggestion

	<b>Work Presentation</b>	<b>Delivery of Works</b>	<b>Course grades</b>
All Groups	<b>5<sup>th</sup>/6<sup>th</sup> December</b>	<b>??<sup>th</sup> January</b>	<b>??<sup>th</sup> January</b>
<b>Test</b>	<b>??<sup>th</sup> January, 9:00h, Room:</b>		<b>??<sup>th</sup> January</b>

Revisions Lesson –

**Examination 1<sup>st</sup> Date – ?<sup>th</sup> January, 9h00, Room 6.2.47**

**Examination 2<sup>nd</sup> Date – ?<sup>th</sup> January, 9h00, Room 6.2.47**

**Examination Especial Date – ?<sup>th</sup> February, 13h00, Room 8.2.14**