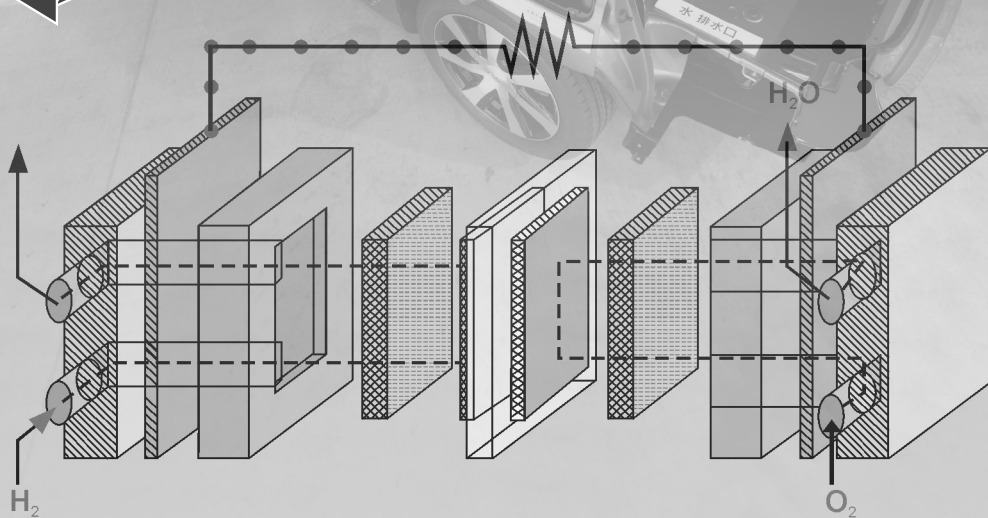


Hidrogênio

e células a combustível

Mariana de Mattos Vieira Mello Souza

Hidrogênio e células a combustível



Copyright © 2018 Mariana de Mattos Vieira Mello Souza
Todos os direitos desta edição reservados à Synergia Editora

Editor Jorge Gama
Editora assistente Isabelle Assumpção

Capa e revisão Equipe Synergia
Diagramação Flávio Meneghesso

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Elaborado por Vagner Rodolfo da Silva - CRB-8/9410

S729h Souza, Mariana de Mattos Vieira Mello

Hidrogênio e células a combustível / Mariana de Mattos Vieira Mello
Souza. – Rio de Janeiro : Synergia, 2018.

244 p. ; 16cm x 23cm.

Inclui bibliografia.
ISBN: 978-85-68483-78-7

1. Química. 2. Engenharia Química. 3. Produção de hidrogênio.
4. Brasil. 5. Aspectos técnicos. 6. Células a combustível. I. Título.

2018-664

CDD 660
CDU 66

Índice para catálogo sistemático

1. Engenharia química 660
2. Engenharia química 66



Livros técnicos, científicos e profissionais

Tel.: (21) 3259-9374

www.synergiaeditora.com.br – comercial@synergiaeditora.com.br

Aos meus pais, Lúcia e Manoel, que sempre estiveram
ao meu lado em todos os momentos da minha vida.

Prefácio

Este livro abrange os principais aspectos técnicos envolvidos na produção, transporte e armazenamento de hidrogênio, bem como o funcionamento e aplicação das células a combustível, com um panorama geral dos desenvolvimentos tecnológicos nestas áreas nas últimas décadas. O trabalho tem uma natureza bastante abrangente, com maior destaque para a produção de hidrogênio a partir de diferentes processos e matérias-primas, desde os combustíveis fósseis até as energias renováveis, como eletrólise da água e gaseificação de biomassa, e inovações nos diferentes tipos de células a combustível.

Este trabalho é dirigido a alunos de graduação e pós-graduação de química, engenharia química, engenharia de materiais, e áreas afins, que buscam uma visão global sobre os diferentes aspectos envolvidos na tecnologia do hidrogênio. Além do público universitário, o livro também é destinado a profissionais da área técnica que buscam um conhecimento mais fundamental das tecnologias de produção, transporte, armazenamento e utilização do hidrogênio, e células a combustível.

Este livro é resultado de minha experiência de mais de dez anos dedicados ao estudo e desenvolvimento de tecnologias do hidrogênio e do meu trabalho frente ao Laboratório de Tecnologia do Hidrogênio da Escola de Química da UFRJ. Busca atender a demanda dos alunos, pesquisadores e interessados em geral, com uma abordagem abrangente, atualizada e multidisciplinar.

Mariana de Mattos V. M. Souza

Janeiro/2018

Sumário

1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Panorama da produção de hidrogênio	4
1.2 O fim da era do petróleo.....	6
1.3 A economia do hidrogênio	9
1.4 A segurança do hidrogênio	11
2 – INFRAESTRUTURA.....	15
2.1 Transporte de hidrogênio	16
2.1.1 Transporte de hidrogênio gasoso.....	17
2.1.2 Transporte de hidrogênio líquido	17
2.1.3 Transporte de hidrogênio como compostos intermediários	18
2.2 Armazenamento de hidrogênio	19
2.2.1 Armazenamento de hidrogênio gasoso	19
2.2.2 Armazenamento de hidrogênio líquido.....	21
2.2.3 Armazenamento de hidrogênio em compostos sólidos.....	25
3 – PRODUÇÃO A PARTIR DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS.....	43
3.1 Produção a partir do gás natural.....	44
3.1.1 Reforma com vapor.....	44
3.1.2 Reforma com CO ₂	57
3.1.3 Reforma autotérmica	59
3.1.4 Reatores a membrana	62
3.1.5 Conversão direta em condições não-oxidativas	68
3.2 Produção a partir de óleos pesados	70
3.3 Produção a partir de carvão.....	73

4 – PRODUÇÃO A PARTIR DA ÁGUA	79
4.1 Eletrólise da água	79
4.1.1 Termodinâmica da eletrólise da água	80
4.1.2 Eletrólise convencional.....	83
4.1.3 Eletrólise avançada.....	89
4.2 Processos foto-eletróquímicos.....	92
4.3 Processos fotocatalíticos.....	98
4.4 Processos termoquímicos.....	99
5 – PRODUÇÃO A PARTIR DE BIOMASSA.....	105
5.1 Processos biológicos	107
5.1.1 Biofotólise da água.....	107
5.1.2 Foto-fermentação	110
5.1.3 Fermentação no escuro.....	111
5.2 Gaseificação de biomassa.....	113
5.2.1 Tipos de gaseificadores.....	116
5.2.2 Reforma de bio-óleos.....	121
5.3 Reforma em fase líquida.....	122
5.3.1 Reforma do etanol	125
5.3.2 Reforma do glicerol.....	126
6 – CÉLULAS A COMBUSTÍVEL.....	131
6.1 Princípios gerais.....	131
6.2 Breve histórico.....	133
6.3 Tipos de células a combustível	134
6.4 Componentes das células a combustível.....	138
6.5 Combustíveis	140
6.6 Reformadores compactos.....	145
6.7 Aplicações.....	150
7 – PERFORMANCE DAS CÉLULAS A COMBUSTÍVEL.....	155
7.1 Performance ideal.....	155
7.2 Performance real.....	157
7.3 Eficiência da célula.....	161
8 – CÉLULAS A COMBUSTÍVEL ALCALINAS.....	165
8.1 Breve histórico.....	165
8.2 Funcionamento e componentes.....	167
8.3 Construção das células.....	169
8.4 Performance.....	170

9 – CÉLULAS A COMBUSTÍVEL DE MEMBRANA TROCADORA DE PRÓTONS	173
9.1 Breve histórico	173
9.2 Funcionamento e componentes	174
9.2.1 Eletrólito	175
9.2.2 Eletrodos	188
9.2.3 Placas separadoras	181
9.3 Gerenciamento da água	183
9.4 Performance	185
10 – CÉLULAS A COMBUSTÍVEL DE METANOL DIRETO	187
10.1 Introdução	187
10.2 Componentes	189
10.2.1 Eletrodos	189
10.2.2 Eletrólito	192
10.3 Performance	192
10.3.1 Crossover de metanol	192
10.3.2 Efeito da concentração de metanol	193
10.3.3 Efeito da temperatura	194
10.3.4 Efeito da alimentação líquida ou vapor	194
11 – CÉLULAS A COMBUSTÍVEL DE ÁCIDO FOSFÓRICO	197
11.1 Breve histórico	197
11.2 Componentes	198
11.3 Performance	200
12 – CÉLULAS A COMBUSTÍVEL DE CARBONATO FUNDIDO	203
12.1 Breve histórico	203
12.2 Funcionamento e componentes	204
12.2.1 Eletrólito e suporte	205
12.2.2 Eletrodos	206
12.2.3 Placas bipolares	208
12.3 Performance	209
12.4 Reforma interna	210
13 – CÉLULAS A COMBUSTÍVEL DE ÓXIDO SÓLIDO	213
13.1 Breve histórico	213
13.2 Princípio de funcionamento	214
13.3 Componentes	216
13.3.1 Eletrólito	216
13.3.2 Eletrodos	218
13.3.3 Interconector	221
13.4 Design da SOFC	223
13.5 Performance	226