
BIOCOMBUSTÍVEIS

VOLUME 1

SUMÁRIO • Volume 1

Apresentação	IX
Prefácio	XI
Capítulo 1	
BIOCOMBUSTÍVEIS, MEIO AMBIENTE, TECNOLOGIA E SEGURANÇA ALIMENTAR	1
1.1 INTRODUÇÃO	2
1.2 FATORES QUE INFLUENCIAM NA PRODUÇÃO E NA UTILIZAÇÃO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS NO MUNDO.	2
1.2.1 Estado atual das reservas de petróleo no mundo	2
1.2.2 Mudanças climáticas	4
1.3 BIOCOMBUSTÍVEIS	5
1.3.1 Matérias-primas para a obtenção do bioetanol	6
1.3.2 Matérias-primas para a obtenção do biodiesel.	6
1.4 ESTADO-DA-ARTE E PROGNÓSTICOS DA UTILIZAÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO MUNDO.	7
1.4.1 Superfície agricultável necessária para os biocombustíveis	10
1.4.2 Produção de etanol a partir da cana-de-açúcar no Brasil.	13
1.4.3 Tecnologias para a obtenção de biocombustíveis	16
1.4.4 Custos de produção dos biocombustíveis	19
1.5 BIOCOMBUSTÍVEIS E O MEIO AMBIENTE	25
1.5.1 Biocombustíveis e sequestro de carbono	31
1.6 BIOCOMBUSTÍVEIS E SEGURANÇA ALIMENTAR	36
1.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
1.8 REFERÊNCIAS	42
Capítulo 2	
BIOMASSA <i>IN NATURA</i>: COMBUSTÃO E ACIONADORES PRIMÁRIOS	47
2.1 INTRODUÇÃO	48

2.2	BIOMASSA: POTENCIAL E CARACTERÍSTICAS.....	48
2.2.1	Características físico-químicas da biomassa.....	54
2.2.2	Poder calorífico.....	59
2.2.3	Constituintes da biomassa vegetal.....	60
2.2.4	O bagaço e a palha de cana-de-açúcar.....	65
2.2.5	Análise granulométrica.....	66
2.3	COMBUSTÃO DA BIOMASSA.....	69
2.3.1	Combustão estequiométrica ou teórica.....	75
2.3.2	Combustão real.....	75
2.4	FORNALHAS E CALDEIRAS.....	78
2.4.1	Classificação das fornalhas.....	80
2.5	ASPECTOS E APLICAÇÕES DA QUEIMA DE BIOMASSA EM PEQUENA ESCALA.....	81
2.5.1	Fornalhas com queima acima da grelha.....	85
2.5.2	Fornalhas de queima invertida.....	85
2.6	TECNOLOGIAS DE COMBUSTÃO PARA CALDEIRAS INDUSTRIAIS.....	86
2.6.1	Fornalhas para queima em leito fixo.....	87
2.6.2	Combustão em leito fluidizado.....	93
2.6.3	Seleção do tipo de fornalha a utilizar em uma determinada aplicação.....	97
2.7	CALDEIRAS.....	99
2.7.1	Eficiência das caldeiras.....	103
2.8	MODELAGEM DA COMBUSTÃO.....	106
2.9	ACIONADORES PRIMÁRIOS: TURBINAS A VAPOR.....	111
2.9.1	Central Térmica de Lages (UCLA).....	112
2.9.2	Central Térmica de Piratini.....	113
2.9.3	Central Térmica de Kokkolan na Finlândia.....	114
2.10	ACIONADORES PRIMÁRIOS: TURBINA COM FLUIDO ORGÂNICO.....	115
2.11	ACIONADORES PRIMÁRIOS: MICROTURBINAS A GÁS.....	124
2.12	ACIONADORES PRIMÁRIOS: MOTORES A VAPOR.....	131
2.12.1	Motores a vapor de pistão.....	131
2.12.2	Motores a vapor de rosca.....	135
2.13	ACIONADORES PRIMÁRIOS: MOTORES STIRLING.....	137
2.13.1	Estado-da-arte dos motores Stirling operando com biomassa.....	139
2.14	MICROGERAÇÃO COM GERADORES TERMELÉTRICOS.....	157
2.15	COMPARAÇÃO DAS DIFERENTES TECNOLOGIAS.....	161
2.16	REFERÊNCIAS.....	166

Capítulo 3

BIOCOMBUSTÍVEIS DE PRIMEIRA GERAÇÃO: BIODIESEL 173

3.1	INTRODUÇÃO	174
3.1.1	Situação energética mundial	174
3.1.2	Importância e histórico do uso do diesel	174
3.2	DEFINIÇÕES E CONCEITOS GERAIS DO BIODIESEL	181
3.2.1	Generalidades	181
3.2.2	Uso direto de óleos vegetais como combustível e suas misturas com diesel de petróleo	182
3.2.3	Microemulsificação	185
3.2.4	Pirólise (craqueamento térmico) de óleos vegetais e gorduras	187
3.2.5	Esterificação de óleos vegetais e gorduras	190
3.3	CONDICIONAMENTO DE ÓLEOS VEGETAIS PARA USO EM MOTORES.	194
3.4	MATÉRIAS-PRIMAS.	197
3.4.1	Óleos vegetais e gorduras animais	197
3.4.2	Álcoois	204
3.5	MÉTODOS CATALÍTICOS DE TRANSESTERIFICAÇÃO: ÁCIDA, ALCALINA, ENZIMÁTICA E HETEROGÊNEA	210
3.5.1	Catálise ácida	210
3.5.2	Catálise alcalina	214
3.5.3	Catálise enzimática.	219
3.5.4	Catálise heterogênea	222
3.6	MÉTODOS NÃO CATALÍTICOS: SUPERCRÍTICOS	226
3.7	EFEITOS DE DIFERENTES PARÂMETROS NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL	230
3.7.1	Temperatura de reação	230
3.7.2	Tempo de reação	232
3.7.3	Relação molar	233
3.7.4	Conteúdo de ácidos graxos livres e água	235
3.7.5	Tipo do catalisador e concentração	236
3.7.6	Efeitos da velocidade de agitação	238
3.8	TECNOLOGIAS INDUSTRIAIS DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL	239
3.9	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E CARACTERÍSTICAS DO BIODIESEL.	246
3.9.1	Densidade	247
3.9.2	Viscosidade	248
3.9.3	Número de cetano.	250
3.9.4	Comportamento à baixa temperatura.	253
3.9.5	Ponto de fulgor	256
3.9.6	Poder calorífico	257
3.9.7	Índice de acidez e índice de iodo	258

3.9.8	Estabilidade à oxidação	259
3.9.9	Resíduo de carbono	260
3.9.10	Enxofre total e cinzas sulfatadas	261
3.9.11	Conteúdo de glicerina livre e glicerina total	262
3.9.12	Especificação do biodiesel	263
3.10	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA – BALANÇO ENERGÉTICO	263
3.10.1	Principais impactos sobre a atmosfera incluídos na ACV	266
3.10.2	ACV's dinâmicos para sistemas de energia renovável	268
3.10.3	Etanol <i>versus</i> biodiesel	268
3.10.4	ACV de biodiesel de soja <i>versus</i> diesel fóssil	272
3.10.5	ACV na produção de biodiesel de óleo de palma	276
3.10.6	Indicadores de consumo energético total na produção de biodiesel	283
3.10.7	Impacto da cogeração na ACV para o biodiesel de palma	287
3.11	PLANTA-PILOTO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA (UFBA)	289
3.11.1	Processamento do biodiesel na planta	291
3.11.2	Análise dos resultados obtidos	294
3.12	REFERÊNCIAS	300

Capítulo 4

BIOCOMBUSTÍVEIS DE PRIMEIRA GERAÇÃO: BIOGÁS 311

4.1	INTRODUÇÃO	312
4.1.1	Processos biológicos aeróbicos e anaeróbicos	312
4.2	FUNDAMENTOS BIOLÓGICOS	313
4.2.1	Hidrólise e acidificação (acidogênese)	314
4.2.2	Acetogênese	315
4.2.3	Metanogênese	315
4.2.4	Redução de sulfato	315
4.3	FATORES QUE INFLUENCIAM A ATIVIDADE ANAERÓBICA	316
4.3.1	Temperatura	316
4.3.2	pH	317
4.3.3	Necessidades nutricionais	317
4.3.4	Toxicidade à digestão anaeróbica	318
4.3.5	Toxicidade por compostos orgânicos	318
4.3.6	Toxicidade por amônia	318
4.3.7	Toxicidade por sulfato e sulfeto	319
4.3.8	Toxicidade por metais pesados	319
4.3.9	Tempo de retenção hidráulica	319
4.3.10	Impermeabilidade ao ar	320

4.4	REATORES BIOLÓGICOS ANAERÓBICOS	320
4.5	MODELAGEM DA DIGESTÃO ANAERÓBICA	326
4.6	BIOGÁS	328
4.6.1	Usos do biogás.	330
4.7	LIMPEZA DO BIOGÁS	330
4.8	MEDIDAS DE SEGURANÇA PARA A UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS	331
4.9	BIOMETANO – <i>UPGRADING</i> DO BIOGÁS PARA O GÁS NATURAL	332
4.10	SUBSTRATOS/MATÉRIA-PRIMA PARA A PRODUÇÃO DO BIOGÁS	335
4.10.1	Vinhaça	335
4.10.2	Resíduos urbanos.	338
4.10.3	Estações de tratamento de esgotos – ETE's	342
4.10.4	Dejetos rurais.	342
4.10.5	Dejetos de bovinos	343
4.10.6	Dejetos de suínos	344
4.11	POTENCIAL ENERGÉTICO – GERAÇÃO DE ELETRICIDADE	346
4.11.1	Potencial de geração de eletricidade em aterros sanitários: caso prático	349
4.12	PANORAMA MUNDIAL	352
4.12.1	Experiências no Brasil – caso Aterro Bandeirantes.	352
4.13	REFERÊNCIAS	354

Capítulo 5

BIOCOMBUSTÍVEIS DE PRIMEIRA GERAÇÃO – BIOETANOL PELA ROTA CONVENCIONAL **359**

5.1	ETANOL: DEFINIÇÃO E PROPRIEDADES	360
5.2	MATÉRIAS-PRIMAS PARA A OBTENÇÃO DO BIOETANOL	361
5.2.1	Rotas tecnológicas de primeira geração para a obtenção do etanol	361
5.3	FERMENTAÇÃO	362
5.3.1	Breve história das leveduras	364
5.3.2	Crescimento das leveduras durante o processo de fermentação.	366
5.3.3	Subprodutos do processo de fermentação.	368
5.3.4	Tipos de processos de fermentação	368
5.3.5	Problemas da fermentação	369
5.3.6	Tecnologias de fermentação utilizadas na atualidade.	370
5.3.7	O futuro da fermentação	377
5.3.8	Modificações genéticas na levedura	377
5.3.9	Otimização das matérias-primas.	378
5.3.10	Otimização do processo de fermentação.	379

5.4	DESTILAÇÃO	380
5.4.1	Descrição dos processos D1 a D6	385
5.4.2	Subprodutos do processo de fermentação que podem ser retirados durante o processo de destilação	389
5.5	DESIDRATAÇÃO	390
5.6	CADEIAS PRODUTIVAS DE OBTENÇÃO DO ETANOL	398
5.6.1	Cadeia produtiva I	398
5.6.2	Cadeia produtiva II	399
5.7	CONFIGURAÇÃO DAS PLANTAS ATUAIS E TECNOLOGIAS PARA A INTEGRAÇÃO ENERGÉTICA NAS DESTILARIAS DO BRASIL	400
5.8	PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE AMIDOS	404
5.9	REFERÊNCIAS	408

Capítulo 6

GASEIFICAÇÃO E PIRÓLISE PARA A CONVERSÃO DA BIOMASSA EM ELETRICIDADE E BIOCOMBUSTÍVEIS 411

6.1	INTRODUÇÃO	412
6.2	GÁS DE SÍNTESE: DEFINIÇÃO E REQUISITOS DE QUALIDADE	413
6.3	TECNOLOGIAS E PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE GÁS DE SÍNTESE A PARTIR DA BIOMASSA (PIRÓLISE E GASEIFICAÇÃO)	417
6.3.1	Pirólise	417
6.3.2	Gaseificação	421
6.4	TECNOLOGIAS E PROCESSOS DE LIMPEZA E CONDICIONAMENTO PARA GÁS DE SÍNTESE	440
6.4.1	Limpeza úmida de gases à baixa temperatura	444
6.4.2	Limpeza a seco dos gases à alta temperatura	445
6.4.3	Tecnologias para a remoção de material particulado	446
6.4.4	Tecnologias para a remoção do alcatrão	447
6.5	ACONDICIONAMENTO DO GÁS DE SÍNTESE	451
6.6	GASEIFICAÇÃO PARA A GERAÇÃO DE ELETRICIDADE	451
6.6.1	Análise técnico-econômica da geração de eletricidade a partir da gaseificação de biomassa	452
6.7	ESTADO-DA-ARTE DA GASEIFICAÇÃO PARA A GERAÇÃO DE ELETRICIDADE NO MUNDO	457
6.8	GASEIFICAÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE GÁS DE SÍNTESE	463
6.8.1	Produção e custo do oxigênio	465

6.9	ESTADO-DA-ARTE DA GASEIFICAÇÃO PARA GÁS DE SÍNTESE NO MUNDO	467
6.9.1	Pesquisas em gaseificação para a produção de gás de síntese	475
6.10	PESQUISAS EM GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA NO NÚCLEO DE EXCELÊNCIA EM GERAÇÃO TERMELÉTRICA E DISTRIBUÍDA – NEST DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – UNIFEI	481
6.10.1	Leito fixo de fluxo cruzado	482
6.10.2	Leito fixo tipo cocorrente com duplo estágio de fornecimento de ar	482
6.10.3	Leito fluidizado borbulhante	483
6.10.4	Resultados dos testes nos diferentes tipos de gaseificadores	485
6.10.5	Testes de um conjunto gaseificador de duplo estágio / motor de combustão interna	487
6.10.6	Projetos em andamento e planos futuros	492
6.11	CONCLUSÕES	492
6.12	REFERÊNCIAS	493

Capítulo 7

BIOCOMBUSTÍVEIS DE SEGUNDA GERAÇÃO – COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS PELA ROTA BTL

499

7.1	INTRODUÇÃO	500
7.2	COMBUSTÍVEIS OBTIDOS A PARTIR DO GÁS DE SÍNTESE	500
7.2.1	Metanol	500
7.2.2	Combustíveis líquidos via Fischer-Tropsch (FT)	503
7.2.3	Dimetil éter (DME)	509
7.2.4	Novos desenvolvimentos em tecnologias BTL	511
7.3	CUSTOS E DESEMPENHO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO METANOL, COMBUSTÍVEIS FT, DME VIA GASEIFICAÇÃO DA BIOMASSA	512
7.3.1	Metanol	512
7.3.2	Combustíveis FT	514
7.3.3	Dimetil éter (DME)	517
7.4	TENDÊNCIAS E DESAFIOS PARA O PROCESSO BTL	518
7.4.1	Processo FT	518
7.4.2	Metanol	520
7.4.3	Dimetil éter (DME)	521
7.5	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO E USO DE COMBUSTÍVEIS BTL	523
7.6	REFERÊNCIAS	530

Capítulo 8

BIOETANOL A PARTIR DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS**PELA ROTA DA HIDRÓLISE 535**

8.1	INTRODUÇÃO	536
8.2	PROPRIEDADES DO BIOETANOL	536
8.3	MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS	538
8.4	TECNOLOGIAS DE CONVERSÃO	540
8.4.1	Pré-tratamento da biomassa	541
8.4.2	Hidrólise	548
8.5	DESTOXIFICAÇÃO E ADAPTAÇÃO	559
8.6	FERMENTAÇÃO	561
8.7	RECUPERAÇÃO DO PRODUTO E RESÍDUOS SÓLIDOS	564
8.8	ASPECTOS ECONÔMICOS DA PRODUÇÃO DO BIOETANOL	565
8.9	PROCESSOS E PLANTAS EM ESCALA INDUSTRIAL E PILOTO PARA A PRODUÇÃO DO BIOETANOL A PARTIR DE BIOMASSA	571
8.10	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS PLATAFORMAS TERMOQUÍMICA E BIOQUÍMICA	579
8.11	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DO ETANOL LIGNOCELULÓSICO	579
8.12	CONCLUSÕES	584
8.13	REFERÊNCIAS	585

BIOCOMBUSTÍVEIS

VOLUME 2

SUMÁRIO • Volume 2

Apresentação	IX
Prefácio	XI
Capítulo 9	
BIO H₂ E CÉLULAS A COMBUSTÍVEL	589
9.1 INTRODUÇÃO	590
9.2 TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DO HIDROGÊNIO	591
9.2.1 Eletrólise da água	592
9.2.2 Reforma a vapor	593
9.2.3 Oxidação parcial	594
9.2.4 Reforma autotérmica	595
9.2.5 Hidrogênio fotobiológico	596
9.2.6 Produção de hidrogênio por extração com água em condições supercríticas . .	596
9.2.7 Produção de hidrogênio através da pirólise rápida de biomassa	597
9.2.8 Produção de hidrogênio através da gaseificação de biomassa	597
9.2.9 Produção de hidrogênio através da gaseificação de carvão	599
9.2.10 Produção de hidrogênio através da reforma do bioetanol	599
9.2.11 Outras formas de produzir o hidrogênio	600
9.3 DISTRIBUIÇÃO DO HIDROGÊNIO	600
9.4 FORMAS DE ARMAZENAMENTO DO HIDROGÊNIO	601
9.4.1 Hidrogênio líquido	602
9.4.2 Armazenamento do hidrogênio sob a forma de gás comprimido	602
9.4.3 Absorção do gás em sólido	603
9.4.4 Microesferas	603
9.4.5 Hidretos químicos (metálicos) à alta e à baixa temperaturas	603
9.4.6 Hidretos alcalinos	604
9.4.7 Metanol	605
9.4.8 Gasolina e outros hidrocarbonetos	605
9.5 CÉLULAS A COMBUSTÍVEL (FC)	606
9.5.1 A biomassa como combustível para a FC	608
9.5.2 Operação de FC com biocombustíveis	608
9.5.3 Limitações	609
9.6 REFERÊNCIAS	611

Capítulo 10

EFEITO DO BIODIESEL E DO ETANOL NOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA**613**

10.1	INTRODUÇÃO	614
10.2	MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA E COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS	614
10.3	O ETANOL E O BIODIESEL COMO COMBUSTÍVEIS AUTOMOTIVOS.	615
10.3.1	Etanol como combustível automotivo	615
10.3.2	Biodiesel como combustível automotivo	620
10.3.3	Aspectos da combustão do biodiesel e do etanol nos motores	623
10.4	ESTUDO EXPERIMENTAL DA COMBUSTÃO DO ETANOL E DO BIODIESEL EM MOTORES	624
10.4.1	Descrição do modelo	624
10.4.2	Análise da combustão do biodiesel de óleo de palma	628
10.4.3	Análise da combustão do etanol.	638
10.5	CONCLUSÕES	645
10.5.1	Relativas ao uso de biodiesel.	645
10.5.2	Relativas ao uso de etanol	646
10.6	MOTORES <i>FLEX-FUEL</i>	646
10.6.1	Princípio de funcionamento	647
10.6.2	Ensaios de desempenho e emissões com motor <i>Flex-Fuel</i>	649
10.7	MOTORES CONVERTIDOS PARA GÁS NATURAL	650
10.7.1	<i>Kits</i> de 1ª geração	651
10.7.2	<i>Kits</i> de 2ª geração	651
10.7.3	<i>Kits</i> de 3ª geração	651
10.7.4	<i>Kits</i> de 4ª geração	651
10.7.5	<i>Kits</i> de 5ª geração	651
10.8	ENSAIOS EXPERIMENTAIS.	652
10.8.1	Dispositivos de conversão.	652
10.8.2	Instrumentação da bancada de ensaio	652
10.8.3	Combustível.	653
10.8.4	Procedimentos de ensaios.	653
10.8.5	Resultados experimentais obtidos.	654
10.9	ANÁLISE DOS RESULTADOS	656
10.10	AGRADECIMENTOS	656
10.11	REFERÊNCIAS	656

Capítulo 11

UTILIZAÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS EM MICROTURBINAS

A GÁS	661
11.1 INTRODUÇÃO	662
11.2 PRINCÍPIOS BÁSICOS DE FUNCIONAMENTO DAS MICROTURBINAS	662
11.2.1 Características técnicas das microturbinas	665
11.2.2 Referências bibliográficas sobre testes de microturbinas operando com biocombustíveis líquidos.	666
11.3 REFERÊNCIAS SOBRE A UTILIZAÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS GASOSOS EM MICROTURBINAS	670
11.3.1 Gás de síntese	671
11.3.2 Gás de pirólise	671
11.3.3 Biogás.	672
11.3.4 Gás residual industrial.	672
11.3.5 Limpeza dos gases combustíveis	672
11.3.6 Experiências com gás residual industrial e gás de síntese	673
11.3.7 Modificações em turbinas a gás	674
11.3.8 Seleção do ciclo da turbina a gás durante a operação com biocombustível gasoso.	674
11.4 TESTES DE MICROTURBINAS COM BIOCOMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ (UNIFEI).	675
11.4.1 Bancada de teste para ensaio com biodiesel.	675
11.4.2 Experimento	678
11.4.3 Padronização dos dados	679
11.4.4 Consumo específico de calor (<i>Heat Rate</i>)	681
11.4.5 Análise das incertezas	682
11.4.6 Desempenho térmico	682
11.4.7 Emissão de poluentes	686
11.5 REFERÊNCIAS	689

Capítulo 12

RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS: VINHAÇA E GLICERINA**691**

12.1 INTRODUÇÃO	692
12.2 CARACTERIZAÇÃO DA VINHAÇA	692
12.3 CLASSIFICAÇÃO DA VINHAÇA COMO RESÍDUO E QUANTIDADE PRODUZIDA.	696

12.4	LEGISLAÇÃO SOBRE A VINHAÇA.....	698
12.5	FORMAS DE DISPOSIÇÃO DA VINHAÇA.....	701
12.6	ALTERNATIVAS PARA A REDUÇÃO DO VOLUME DE VINHAÇA.....	703
12.6.1	Uso da refrigeração para a redução da temperatura de fermentação.....	704
12.6.2	Fermentação contínua com a extração do etanol.....	706
12.6.3	Fermentação contínua com a recirculação da vinhaça.....	711
12.7	SISTEMAS DE DISPOSIÇÃO DA VINHAÇA – FERTIRRIGAÇÃO.....	713
12.7.1	Efeitos da vinhaça nas propriedades químicas do solo.....	713
12.7.2	Efeitos agronômicos da vinhaça.....	718
12.7.3	Métodos e projeto de um sistema de fertirrigação.....	722
12.8	COMPOSTAGEM.....	733
12.8.1	Definição dos sistemas de compostagem.....	733
12.8.2	Exemplo de aplicação da compostagem.....	738
12.9	BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DA VINHAÇA.....	740
12.9.1	Requerimentos da biodigestão anaeróbia da vinhaça.....	741
12.9.2	Biodigestão anaeróbia da vinhaça no Brasil.....	747
12.9.3	Análise econômica dos sistemas de biodigestão anaeróbia da vinhaça.....	749
12.10	CONCENTRAÇÃO DA VINHAÇA.....	751
12.10.1	Tipos e seleção de evaporadores para a concentração da vinhaça.....	752
12.10.2	Histórico da concentração da vinhaça.....	755
12.10.3	Recomendações e restrições quanto ao uso da concentração da vinhaça.....	755
12.10.4	Conceituação e exemplos de aplicação dos sistemas de concentração.....	756
12.11	ALIMENTO ANIMAL.....	763
12.11.1	Panorama mundial da utilização da vinhaça como alimento animal.....	763
12.11.2	Proteína alimentar da vinhaça de cana-de-açúcar.....	765
12.12	COMBUSTÃO DA VINHAÇA.....	773
12.12.1	Conceituação sobre a combustão da vinhaça.....	774
12.12.2	Descrição técnica de um sistema de combustão da vinhaça.....	775
12.12.3	Estudo de caso envolvendo a combustão da vinhaça.....	779
12.13	AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DAS ALTERNATIVAS PARA A DISPOSIÇÃO DA VINHAÇA.....	781
12.14	GLICERINA.....	786
12.14.1	Processos de obtenção e possíveis usos do glicerol.....	788
12.14.2	Alternativas de aproveitamento ou disposição da glicerina – Purificação.....	789
12.14.3	Compostagem.....	791
12.14.4	Biodigestão anaeróbia.....	794
12.14.5	Compósitos biodegradáveis.....	796
12.14.6	Biogolina.....	797
12.15	REFERÊNCIAS.....	800

Capítulo 13

COGERAÇÃO A PARTIR DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA DE BIOCOMBUSTÍVEIS: SUCROALCOOLEIRA E DE BIODIESEL 811

13.1	INTRODUÇÃO	812
13.2	DISPONIBILIDADE E CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE BIOMASSA NA INDÚSTRIA DE BIOCOMBUSTÍVEIS	812
13.2.1	Indústria sucroalcooleira	812
13.2.2	Indústria de óleo de palma	815
13.3	DEFINIÇÃO, HISTÓRICO E ASPECTOS GERAIS DA COGERAÇÃO	817
13.3.1	Benefícios da cogeração	818
13.3.2	Classificação dos sistemas de cogeração	819
13.3.3	CrITÉrios gerais para a seleção de sistemas de cogeração	820
13.4	CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS, CICLOS E PARÂMETROS DOS SISTEMAS DE COGERAÇÃO UTILIZADOS NA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA	824
13.4.1	Considerações teóricas sobre o ciclo Rankine	824
13.4.2	Sistemas com turbinas de contrapressão	826
13.4.3	Sistemas com turbinas de extração e condensação	828
13.4.4	Cogeração com tecnologias avançadas (gaseificação de bagaço e turbinas a gás)	829
13.5	INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DO VAPOR SOBRE O DESEMPENHO DE SISTEMAS DE COGERAÇÃO BASEADOS EM TURBINA A VAPOR	832
13.6	TERMODINÂMICA DA COGERAÇÃO: INDICADORES DE DESEMPENHO	837
13.6.1	Índices de desempenho baseados na Primeira Lei	837
13.6.2	Índices de desempenho pela Segunda Lei	840
13.7	GERAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA	842
13.7.1	Aspectos gerais	842
13.7.2	Destilaria convencional e etapas de produção do etanol hidratado	843
13.7.3	Consumo energético do processo e eficiência do sistema de cogeração	850
13.8	TERMOECONOMIA APLICADA À ANÁLISE DE SISTEMAS DE COGERAÇÃO	853
13.8.1	Conceitos e metodologia da avaliação termoeconômica	853
13.8.2	Modelagem termoeconômica	855
13.9	AVALIAÇÃO TERMODINÂMICA E TERMOECONÔMICA DA REPOTENCIAÇÃO DO SISTEMA DE COGERAÇÃO DE UMA USINA DE AÇÚCAR E ETANOL	859
13.10	AVALIAÇÃO TERMOECONÔMICA DE DESTILARIAS AUTÔNOMAS	864
13.10.1	Levantamento econômico	865
13.10.2	Formação de custos	867

13.11	SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS DE MODERNIZAÇÃO UTILIZANDO A TERMOECONOMIA COMO FERRAMENTA	874
13.12	EFICIÊNCIA DAS CALDEIRAS NOS SISTEMAS DE COGERAÇÃO	876
13.13	A COGERAÇÃO NAS USINAS DE EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE PALMA	879
13.13.1	Balço de massa no processo de extração do óleo de palma	880
13.13.2	Misturas de biomassa utilizadas como combustível.	881
13.13.3	Parâmetros de geração e uso do vapor.	881
13.13.4	Indicadores energéticos da cogeração na indústria de óleo de palma.	882
13.14	COGERAÇÃO E MEIO AMBIENTE NO SETOR DOS BIOCOMBUSTÍVEIS. ...	886
13.15	REFERÊNCIAS	890

Capítulo 14

PERSPECTIVAS DO BIOETANOL PARA A AMÉRICA LATINA 897

14.1	BARREIRAS PARA A PRODUÇÃO E O USO DO BIOETANOL	898
14.2	PERSPECTIVAS PARA O BIOETANOL NA REGIÃO LATINO-AMERICANA ..	900
14.3	RECOMENDAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO BIOETANOL NA AMÉRICA LATINA E NO CARIBE	905
14.4	REFERÊNCIAS	906

Capítulo 15

AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA DO CICLO DE VIDA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 907

15.1	INTRODUÇÃO	908
15.2	O CONTEXTO DE IMPLEMENTAÇÃO DA AAI	910
15.2.1	Entrando na “Era Antropocênica”.	910
15.2.2	O desenvolvimento sustentável e duradouro.	911
15.2.3	As negociações internacionais	913
15.2.4	As limitações territoriais	914
15.2.5	As limitações energéticas.	916
15.2.6	As limitações climáticas.	917
15.2.7	Diferentes métodos de contabilização dos GEE.	923
15.2.8	As transições	927
15.3	APRESENTAÇÃO DO MODELO	929
15.3.1	Comparações dos cenários nos níveis global e local	930
15.3.2	O modelo de referência.	936
15.3.3	A bioconversão de energia solar no Estágio I	943

15.3.4	Otimização das conversões.	948
15.3.5	Os balanços de energia e de GEE no Estágio I, no nível de uma parcela e na ausência de mudanças significativas do estoque médio de carbono	951
15.3.6	As modificações dos balanços de energia e de GEE de uma parcela de solo, quando há mudanças significativas nos estoques médios de carbono	962
15.3.7	A eficiência territorial	975
15.4	COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS.	986
15.4.1	Impactos das modificações das produções mundiais decorrentes das eficiências territoriais.	988
15.4.2	Metodologia de Comparação dos Cenários no Estágio I	993
15.4.3	Algumas aplicações no Estágio I	999
15.4.4	Metodologias de comparação dos cenários no Estágio II.	1009
15.4.5	Metodologia de comparação dos cenários no Estágio III.	1014
15.5	UTILIZAÇÃO DA AAI PARA A REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE. COMPARAÇÃO DO MÉTODO COM OUTRAS ABORDAGENS, TAIS COMO A ACV E A PEGADA ECOLÓGICA.	1015
15.5.1	Especificidades da AAI.	1016
15.5.2	A contabilidade das emissões de GEE para os tomadores de decisões	1019
15.5.3	Principais diferenças entre a AAI, a ACV e a pegada ecológica	1024
15.5.4	Consequências das abordagens que não consideram a utilização das terras, ou fazem isso de maneira incompleta, ou ainda ignoram os possíveis progressos na eficiência territorial	1027
15.6	REFERÊNCIAS	1029

Capítulo 16

O FUTURO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS: BIORREFINARIAS, BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DE ALGAS E CÉLULAS MICROBIANAS 1033

16.1	BIORREFINARIAS: INTRODUÇÃO E CONCEITUAÇÃO	1034
16.2	O FUTURO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS	1034
16.3	DEFINIÇÃO DE BIORREFINARIAS.	1037
16.3.1	Classificação das biorrefinarias	1038
16.4	BIOPRODUTOS DERIVADOS DA BIOMASSA	1045
16.4.1	Principais produtos obtidos a partir de hidrocarbonetos presentes na biomassa	1046
16.4.2	Outros produtos derivados da biomassa	1049
16.5	DESAFIOS E OPORTUNIDADES	1059
16.6	BIOCOMBUSTÍVEIS DE ALGAS: DEFINIÇÕES, RENDIMENTOS E VANTAGENS.	1062

16.7	MICROALGAS: CLASSIFICAÇÃO, PRODUTOS COMERCIAIS E TECNOLOGIAS DE CONVERSÃO	1066
16.8	FOTOSSÍNTESE E METABOLISMO CELULAR NAS MICROALGAS	1071
16.8.1	Fotoinibição	1073
16.9	PRODUTOS: BIODIESEL, HIDROGÊNIO E BIOGÁS	1076
16.9.1	Biodiesel	1076
16.9.2	Hidrogênio a partir de algas	1082
16.9.3	Produção de biogás a partir das algas	1084
16.9.4	Etanol	1084
16.10	REMOÇÃO DO CO ₂	1085
16.11	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) DA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS A PARTIR DE ALGAS	1088
16.12	SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MICROALGAS	1091
16.12.1	Sistemas combinados lagoa/fotobiorreator	1096
16.13	CUSTOS E BALANÇO DE ENERGIA	1097
16.14	EMPRESAS DEDICADAS AO CULTIVO E AO PROCESSAMENTO DE MICROALGAS PARA BIOCOMBUSTÍVEIS	1099
16.15	BIORREFINARIAS DE ALGAS	1102
16.16	LIMITAÇÕES E PESQUISAS FUTURAS	1103
16.17	CÉLULA A COMBUSTÍVEL MICROBIANA: INTRODUÇÃO E CONCEITUAÇÃO	1104
16.17.1	Histórico	1108
16.18	MECANISMO DE FUNCIONAMENTO DAS CCM	1110
16.19	MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE ELÉTRONS	1113
16.19.1	Mediadores eletroquímicos	1116
16.19.2	Nanotubos	1123
16.20	GERAÇÃO DE TENSÃO EM UMA CCM	1124
16.21	GERAÇÃO DE POTÊNCIA EM UMA CCM	1127
16.22	EFICIÊNCIA COULÔMBICA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	1130
16.23	FATORES DE QUE AFETAM A TENSÃO DA CCM	1133
16.24	UTILIZAÇÃO DAS CCM PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES	1134
16.25	REFERÊNCIAS	1137
	ÍNDICE REMISSIVO	1149