



Química verde no Brasil: 2010 - 2030

Edição revista e atualizada

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação



Química Verde no Brasil 2010-2030

Edição revista e atualizada



cgEE

Brasília – DF
2010

ISBN 978-85-60755-31-8

© Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

Organização Social supervisionada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia

Presidenta

Lucia Carvalho Pinto de Melo

Diretor Executivo

Marcio de Miranda Santos

Diretores

Antonio Carlos Filgueira Galvão

Fernando Cosme Rizzo Assunção

Edição / *Tatiana de Carvalho Pires*

Design Gráfico / *Eduardo Oliveira*

Gráficos / *Camila Maya*

Diagramação / *Hudson Pereira*

Capa / *Diogo Rodrigues*

C389q

Química verde no Brasil: 2010-2030 - Ed. rev. e atual. - Brasília,
DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

438 p.: il, 24 cm
ISBN – 978-85-60755-31-8

1. Química verde - Brasil. 2. Desenvolvimento auto-sustentável. I.
CGEE. II. Título.

CDU 66(81)

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
SCN Qd 2, Bl. A, Ed. Corporate Financial Center sala 1102
70712-900, Brasília, DF
Telefone: (61) 3424.9600
<http://www.cgee.org.br>

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do Contrato de Gestão -15º Termo Aditivo/
Ação/Subação:51.41.1 - Produção Limpa (Química Sustentável, Tendências, Novos Negócios e Reciclagem)/MCT/2009.

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos nesta
publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citada a fonte.
Impresso em 2010



9. Energias renováveis¹

As energias renováveis representam apenas 13% do suprimento mundial de energias primárias, sendo que somente a biomassa atinge 10,5%. As principais forças motrizes que impulsionam a utilização de energias renováveis são: as preocupações com o aquecimento global, a busca por segurança energética e a volatilidade dos preços do petróleo; no caso das bioenergias pode se adicionar mais uma força que é o interesse dos governantes em reforçar a agricultura doméstica.

Em um panorama global, mais fortemente influenciado pelos problemas ambientais e de segurança energética, a International Energy Agency (IEA), no documento “World Energy Outlook 2009”, faz uma advertência em relação às implicações das emissões atmosféricas e do consumo de energia no mundo: “os sistemas de energia do mundo estão em uma encruzilhada. As tendências atuais de suprimento e consumo são claramente insustentáveis – ambientalmente, economicamente e socialmente”². A IEA sugere também que o cenário pode e deve ser alterado, pois ainda há tempo para isso. Os dois grandes desafios apontados pela Agência são a garantia de suprimento confiável e economicamente suportável e a rápida mudança para um sistema de baixo carbono, eficiente e amigável ao meio ambiente.

Do ponto de vista estritamente ambiental, devem ser considerados os vários cenários elaborados pelo International Panel on Climate Change (IPCC)³, com recomendação clara de que se procure manter o aumento de temperatura no longo prazo abaixo de 2°C, para se assegurar que as consequências sejam ainda suportáveis. Essa meta requer que as emissões de gases de efeito estufa (GEE) atinjam seu pico antes de 2020. Nessa perspectiva, o Grupo 8 (G8) solicitou que a IEA elaborasse um estudo indicando os caminhos tecnológicos (e os custos associados) que permitissem manter o aquecimento global dentro dos limites seguros sugeridos pelo IPCC. O relatório foi publicado em julho de 2008 e contempla três cenários: o de referência (“Business as usual”) e dois alternativos, o ACT mais moderado e o BLUE mais radical, visando reduzir as emissões em relação ao cenário de referência⁴. O horizonte considerado foi 2050.

¹ Este capítulo foi elaborado por Manoel Regis Lima Verde Leal, Marlos Alves Bezerra, Paulo Marcos A. Craveiro e traz contribuições de especialistas participantes das oficinas do Estudo.

² OECD. International Energy Agency. IEA. Energy and CO₂ implications of the 450 Scenario. In: World Energy Outlook. 2009.

³ Intergovernmental Panel on Climate Change. Special report on carbon dioxide capture and storage. IPCC., New York: Cambridge University Press, 2005.

⁴ OECD. International Energy Agency. IEA Energy Technologies Perspectives, 2008.

A Tabela 9.1 resume as principais características de cada cenário. Os resultados do referido estudo da IEA explicam a preocupação da Agência com a manutenção do cenário de referência: o aumento de 70% no consumo de petróleo e o aumento médio de temperatura de 6°C são insustentáveis ambientalmente, socialmente e economicamente.

Tabela 9.1: Principais parâmetros dos cenários da IEA para 2050

Item	Referência	ACT	BLUE
Meta de redução de CO ₂ em relação a 2005 (%)	-	0	50
Consumo adicional de petróleo (%)	+70	+10	-27
Emissões de CO ₂ (%)	+130	0	-50
Aumento médio de temperatura (°C)	6	2,4 a 2,8	2,0 a 2,4
Concentração de CO ₂ na atmosfera (ppm)	550	485	450
Investimento anual adicional médio (109US\$/ano)	-	400	1.100

Fonte: IEA, 2008.

Os custos de mitigação nos dois cenários alternativos de baixo carbono são elevados, mas suportáveis, representando cerca de 1,1 % do PIB mundial ao ano (no cenário BLUE, mais radical). As medidas de mitigação consideradas para os dois principais setores da economia em termos de energia (64% das emissões de CO₂) são:

- geração de energia elétrica: economia de energia, combustível fóssil/captura e sequestro de carbono, energias renováveis (eólica, solar, hidro, biomassa e geotérmica), nuclear.
- transporte: melhorias nos veículos, gas to liquid (GTL), coal to liquid (CTL), células a combustível, veículos elétricos e biocombustíveis.

Um total de 17 opções de mitigação, que não cabem serem discutidas aqui, foram avaliadas segundo um critério que leva em conta a possibilidade de se chegar à maturidade tecnológica no período



e os custos de mitigação reduzirem. Esses foram limitados a US\$ 50/ t de CO₂ no cenário ACT e a US\$ 200/ t de CO₂ no cenário BLUE.

Mais voltado para as energias renováveis, o European Renewable Energy Council (EREC) elaborou dois cenários para a expansão dessas energias, levando em conta as políticas estabelecidas e o comportamento da sociedade no passado recente. Apresenta-se na Tabela 9.2 o cenário mais conservador, que prevê a manutenção das políticas atuais. Mesmo em um cenário conservador para o EREC, a contribuição das energias renováveis na oferta mundial de energia primária chega a 22% em 2020 e 27% em 2040. Apesar de ter um crescimento mais lento, a biomassa continuará como a mais importante fonte renovável de energia primária e também como a única fonte para a produção de combustíveis líquidos para transporte. A energia eólica manterá o crescimento acelerado já observado hoje ao passo que a energia solar terá um crescimento semelhante, mas um pouco atrasado em relação à eólica.

Tabela 9.2: Contribuição das energias renováveis a nível mundial (Mtep)

Energia	2001	2010	2030	2040
Energia Primária (Mtep)	10.038	11.752	15.547	17.690
Biomassa	1.080	1.291	2.221	2.843
PCH	9,5	16	62	91
Eólica	4,7	35	395	580
Solar fotovoltaica	0,2	1	110	445
Solar térmica	4,1	11	127	274
Solar Termelétrica	0,1	0,4	9	29
Geotérmica	43	73	194	261
Marinha	0,05	0,1	2	9
Total Renovável	1.364,5	1.682,5	3.416	4.844
Contribuição Renovável (%)	13,6	14,3	22,0	27,4

Fonte: European Renewable Energy Council, 2006⁵.

Todas as formas de energias renováveis apresentadas na Tabela 9.2, com exceção das energias mari-

⁵ EC. European Renewable Energy Council. Need for sectoral renewable energy targets. 2006.

nhas, já se encontram em estágio comercial. Apesar de ainda caras, já são muitos os avanços de P&D, restando agora o desenvolvimento de engenharia e ganhos de escala para torná-las competitivas frente a alternativas. Entretanto, é importante que se diga que programas inteligentes de P&D poderão levar a soluções disruptivas em alguns casos, como por exemplo a energia solar fotovoltaica.

Uma importante indicação do potencial futuro das energias renováveis são os investimentos em cada alternativa e as tendências ao longo do tempo. Um estudo da *United Nations Environment Programme*⁶ mostra que tais investimentos estão crescendo aceleradamente, desde 2004, a taxas superiores a 50% ao ano, conforme mostra a Tabela abaixo.

Tabela 9.3: Tendências dos investimentos mundiais em energias renováveis (bilhões US\$)

Item	2004	2005	2006	2007	2008
Investimento Financeiro Total	17	36	56	112	119
Eólica	10,0	19,1	25,0	51,3	51,8
Solar	0,6	3,2	10,3	22,5	33,5
Biomassa	1,8	4,1	7,0	10,6	7,9
PCH e Marinha	0,6	1,3	1,5	3,4	3,2
Geotérmica	0,9	0,4	1,0	0,9	2,2
Eficiência energética	0,5	0,9	1,6	2,8	1,8
Outras tecnologias de baixo carbono	0,8	1,6	1,9	2,4	1,8
Biocombustíveis	1,3	5,1	18,0	18,6	16,9
Gastos em P&D e pequenos projetos	19	24	27	36	37
Total de novos investimentos	35	69	93	148	155
Transações Totais*	45	91	133	209	223

⁶ UN. United Nation Environment Programme. Global trends in sustainable energy investment. Executive Summary 2009.



Nota: * Inclui investimentos em novas instalações, fusões, aquisições e compra de participações.

Fonte: UN, 2009.

Algumas observações são claras: crescimento forte de investimentos em eólica, solar e biocombustíveis; desaceleração em 2008 devido à crise econômica mundial; investimento relativamente baixo em eficiência energética indicando que os custos da energia ainda estão baixos. O crescimento dos investimentos em instalações comerciais está muito mais acelerado que os gastos com P&D, o que de certa forma indica o alto grau de maturidade tecnológica já atingido por estas alternativas. Outra informação importante desta referência diz respeito à porcentagem de investimento em capacidade de geração instalada adicional das energias renováveis (sem incluir as grandes hidrelétricas) em relação à capacidade total instalada em geração nova, que passou de 5% em 2004 para 23% em 2008.

Isso posto, é possível afirmar com segurança que as energias renováveis estão chegando com força no cenário mundial, constituindo-se em opções reais para participar na expansão da oferta de energia. Merecem destaque as energias eólica, solar, biomassa e biocombustíveis. Conforme apontado pela International Energy Agency (IEA), a economia de energia é a forma mais rápida e barata para se reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e por isso será incluída também neste estudo.

No panorama nacional, a matriz energética brasileira contempla 44% de fontes renováveis de energia, bem acima dos 13% da matriz mundial. As principais fontes de energias primárias renováveis são a cana de açúcar (16%), a hidroeletricidade (15%) e o carvão vegetal/lenha (12%).

Na parte de geração de energia elétrica, o governo brasileiro decidiu privilegiar as energias renováveis na expansão do sistema brasileiro, introduzindo em 2002 o Programa Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (Proinfa) que foi operacionalizado em 2004. O objetivo do Proinfa é diversificar a matriz de energia elétrica, fortemente dependente da hidroeletricidade, de forma limpa. Três fontes primárias de energias renováveis foram escolhidas: eólica, PCH e biomassa. Energia solar foi excluída, por haver sido considerada ainda muito cara. Um total de 3.300 MW foi reservado para ser dividido igualmente entre essas três fontes, porém, após dois leilões a divisão ficou em 1.423 MW para eólica, 1.191 MW para PCH e 685 MW para biomassa. Os valores das tarifas de referência para as três alternativas foram 210,20; 127,14 e 112,61 R\$/MWh para eólica, PCH e biomassa, respectivamente. Atualmente, as capacidades instaladas para cada uma delas são 1.423 MW (eólica), 1.191 MW (PCH) e 655 MW (biomassa).

Também no setor de transporte, o Brasil exhibe um perfil de baixo carbono devido principalmente à grande participação do etanol, que representa cerca de 35% do consumo energético da frota de

veículos leves (50% em volume). O biodiesel começou apenas em 2005 e já mostra força no crescimento devido às políticas governamentais de incentivos a este biocombustível. Dois desses tópicos, geração elétrica por fontes renováveis e economia de energia serão tratados em mais detalhes nas seções seguintes deste Capítulo. O foco será mais dirigido nos aspectos de viabilidade tecnológica e no potencial de penetração das alternativas que nos processos produtivos, com o intuito de se indicar como deveria ser a política e priorização de introdução das várias alternativas, bem como os investimentos em desenvolvimento tecnológico. Vale lembrar que biocombustíveis foram tratados nos Capítulos 4, 5 e 8, não sendo objeto de discussão no presente Capítulo.

Descrevem-se, a seguir, os resultados das análises realizadas para o tema “energias renováveis” no contexto do desenvolvimento da Química Verde no Brasil. Apresentam-se inicialmente os panoramas mundial e nacional da produção científica e propriedade intelectual no tema, abordando-se o período 1998-2009. Nas seções seguintes, identificam-se os tópicos tecnológicos de interesse para o estudo prospectivo sobre as energias renováveis selecionadas e apresentam-se as principais tendências tecnológicas e aspectos de mercado a eles relacionadas. Na sequência, discutem-se os mapas tecnológicos desse tema em dois níveis de abrangência (mundo e Brasil) e o respectivo portfólio tecnológico estratégico para o país, considerando-se todo o horizonte 2010 - 2030. Apresentam-se os resultados da análise conjunta dos mapas tecnológicos e do portfólio, com indicação objetiva das aplicações mais promissoras para o Brasil. Em seguida, identificam-se os condicionantes para a consecução da visão de futuro construída a partir dos respectivos mapas tecnológicos e portfólio estratégico.

9.1. Panorama mundial

O panorama mundial da produção científica e propriedade intelectual sobre o tema “energias renováveis” foi elaborado a partir de levantamento direto em duas bases de dados internacionais de referência: (i) *Web of Science*, para o levantamento da produção científica⁷; e (ii) Derwent Innovations Index, para o levantamento de patentes⁸. Esses levantamentos abrangeram diversos termos de busca e cobriram o período 1989-2009, como apresentado a seguir.

Considerando que os termos gerais como “renewable energy” ou “biofuels” englobariam tópicos que não serão abordados neste estudo, optou-se por selecionar termos específicos relacionados a tópicos de interesse, como por exemplo, “hydrogen photoproduction” e “solar photovoltaic energy”.

7 ISI Web of Science. Disponível em: < <http://go5.isiknowledge.com> >. Acesso em: dez 2009.

8 Derwent Innovations Index. Disponível em: < <http://go5.isiknowledge.com> >. Acesso em: dez 2009.



As buscas por termo foram delimitadas pelos campos “topic” (TS) e “published year” (PY). A próxima Tabela a seguir apresenta os termos utilizados na estratégia de busca de publicações científicas e patentes e os resultados agregados por termo⁹.

Tabela 9.4: Termos utilizados na estratégia de busca de publicações científicas e patentes no tema “energias renováveis”

Ref.	Termos da estratégia de busca	Número de publicações	
(Web of Science)	Número de patentes		
(Derwent Innovations Index)			
#1	TS=hydrogen photoproduction OR TS=hydrogen biological production OR TS=photosynth* energy	7.904	402
#2	TS=biogas production OR TS=biogas	2.370	2.257
#3	TS=energy efficiency	43.856	46.661
#4	TS=wind energy	11.155	11.823
#5	TS=solar photovoltaic energy OR TS= photovoltaic energy OR TS= PV energy	4.422	3.212
#6	TS=hydropower OR TS=hydraulic energy	3.492	8.442
#7	#1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #5 OR #6	68.429*	67.514*

Nota: (*) Resultado da estratégia de busca abrangendo todos os termos com o operador booleano OR, e eliminando os documentos em duplicata. Campo TS= tópico (mais abrangente, do que o campo TI=título).

Adotando-se a estratégia apresentada na Tabela 9.4, foram identificadas 68.429 publicações científicas e 67.514 patentes no período 1998-2009, o que demonstra a importância que vem sendo dada, particularmente na última década, ao desenvolvimento e apropriação de tecnologias referentes às energias alternativas abordadas neste levantamento.

⁹ Almeida, M.F.L. Produção científica e propriedade intelectual referentes ao tema “energias renováveis” - tópicos selecionados: 1998-2009. Texto para discussão. Mimeo. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. GGEE. Dez 2009.

A Figura 9.1 mostra a evolução do número de publicações científicas sobre o tema “energias renováveis” no referido período.

Observa-se uma curva ascendente da produção científica deste tema desde 1998, destacando-se os últimos cinco anos da série, período no qual o número de publicações científicas indexadas na base de dados consultada cresceu a uma taxa média anual de 14%.

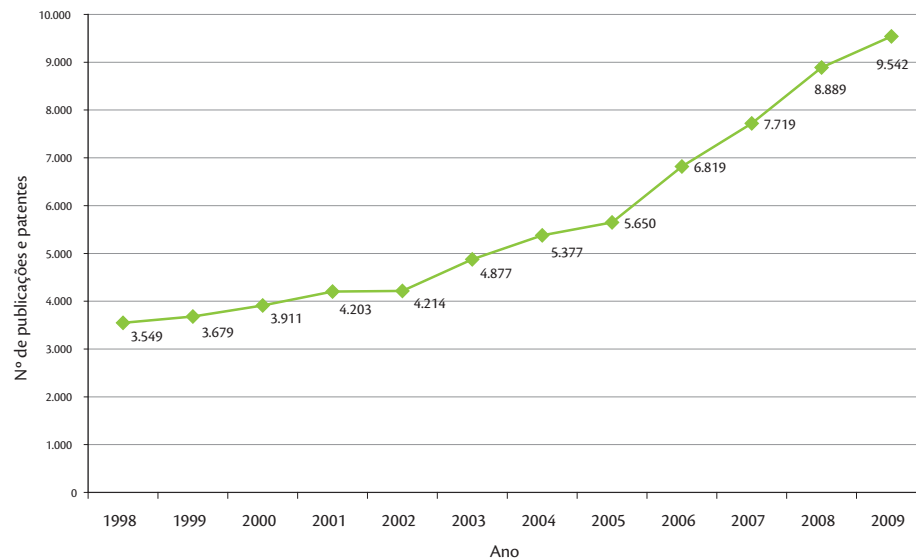


Figura 9.1: Evolução do Número de publicações científicas sobre energias renováveis

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

A Figura 9.2 mostra os resultados da análise das 68.429 publicações científicas classificadas por país de origem dos autores.

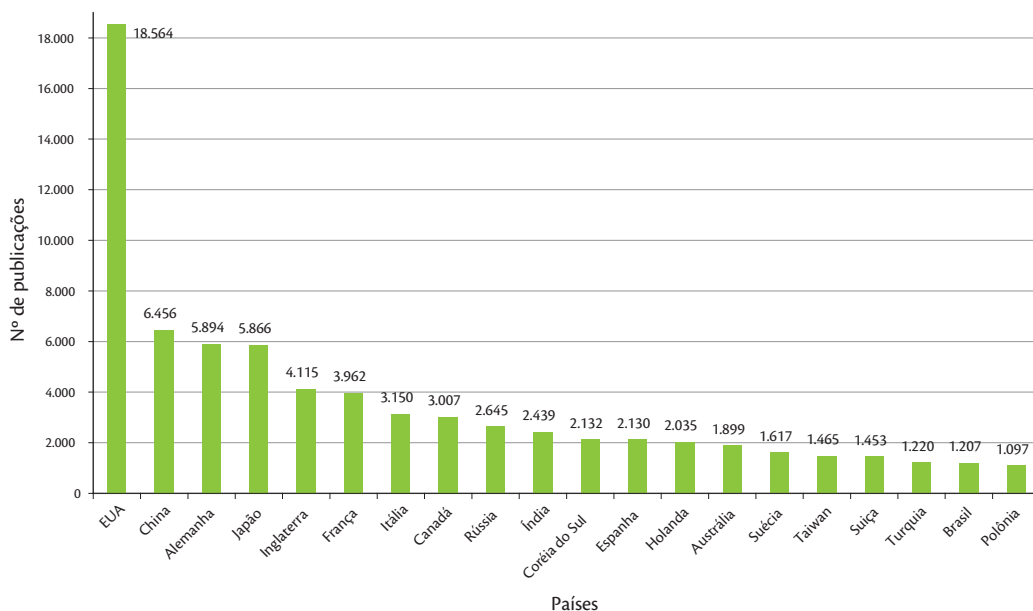


Figura 9.2: Publicações científicas sobre o tema “energias renováveis”, classificadas por país: 1998 – 2009 (critério “top 20”)

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

Os EUA lideram o ranking mundial, com 18.564 publicações, seguidos da China, com 6.456 publicações no período. O Brasil ocupa a 19ª posição do ranking mundial de produção científica no tema “energias renováveis”, com 1.207 publicações indexadas na referida base. Essa busca indicou um total de 172 países.

Na sequência, a Tabela 9,5 apresenta o conjunto das 68.429 publicações científicas classificadas por área de especialização.

Tabela 9.5: Publicações científicas sobre energias renováveis, classificadas por área do conhecimento: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Energia e combustíveis	8.854	12,93
Ciências ambientais	5.519	8,06
Físico-química	5.179	7,68
Física aplicada	5.089	7,44
Ciência dos materiais: multidisciplinar	4.362	6,37
Astronomia e astrofísica	4.028	5,89
Engenharia elétrica e eletrônica	3.903	5,70
Física: atômica, molecular e química	3.277	4,79
Engenharia química	3.199	4,65
Ciência e tecnologia nuclear	2.805	4,10

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

As informações da Tabela 9,5 permitem concluir que não há uma grande concentração de publicações em torno de uma ou mais áreas de especialização. Na faixa de 12,93% a 7,44%, situam-se: energia e combustíveis, ciências ambientais, físico-química e física aplicada. Em um segundo patamar, encontram-se as áreas: ciência dos materiais, astronomia e astrofísica; engenharia elétrica e eletrônica, com percentuais na faixa de 6,37 a 5,70%. As demais áreas mostradas neste ranking situam-se em patamares inferiores na faixa de 4,79 a 4,10% de publicações classificadas nas respectivas áreas.

Conforme informação da base consultada, foram identificadas no total 223 áreas. Cabe destacar que uma determinada publicação pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

A Tabela, a seguir, apresenta a análise do conjunto de publicações científicas em relação a instituições de origem de seus autores.



Tabela 9.6: Publicações científicas sobre energias renováveis, classificadas por instituição de origem dos autores: 1998- 2009 (critério “top 25”)

Instituição	País	Número de publicações
Chinese Academy of Science	China	1.604
Russian Academy of Science	Rússia	1.161
University of California, Berkeley	EUA	863
NASA	EUA	691
Kyoto University	Japão	567
University of Tokyo	Japão	556
Centre National de la Recherche Scientifique	França	549
Osaka University	Japão	520
Consiglio Nazionale delle Ricerche	Itália	490
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	EUA	482
University of Maryland	EUA	448
Indian Institute of Technology	Índia	414
University of Michigan	EUA	406
University of Illinois	EUA	392
University of Colorado	EUA	390
Tohoku University	Japão	382
University of California, Los Angeles	EUA	378
University of London Imperial College of Science Technology & Medicine	Inglaterra	377
Moscow MV Lomonosov State University	Rússia	372
Pennsylvania State University	EUA	371
University of Washington	EUA	370
California Institute of Technology (Caltech)	EUA	365
Johns Hopkins University	EUA	355
University of Wisconsin	EUA	327
Tokyo Institute of Technology	Japão	321

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Em um total de 21.392 instituições, a Chinese Academy of Science lidera o ranking mundial, com 1.604 publicações em um total de 68.429 publicações. Nas próximas posições, encontram-se a Russian Academy of Science, da Rússia, a University of Califórnia, Berkeley e a NASA dos EUA, com 1.161, 863 e 691 publicações, respectivamente.

Na faixa de 567 a 520 publicações no período, destacam-se três instituições japonesas (Kyoto University, University of Osaka e Tokyo University) e o Centre National de la Recherche Scientifique, da França. Embora o Brasil ocupe a 19ª posição no ranking mundial de publicações científicas sobre o tema em questão, não aparecem instituições brasileiras no ranking das 25 principais instituições às quais os autores estão vinculados. Adiante nesta Seção, informações sobre as instituições nacionais às quais os autores brasileiros estão vinculados serão apresentadas quando da apresentação do panorama da produção científica referente a este tema no Brasil.

Tendo em vista o caráter estratégico das tecnologias que se encontram em estágio embrionário/crescimento no cenário mundial, apresenta-se a seguir os resultados da análise bibliométrica focalizando apenas o tópico “produção biológica de hidrogênio”. Foram identificadas no período 1998-2009, 7.904 publicações científicas e apenas 402 patentes. A estratégia de busca utilizou termos específicos do tópico como: “hydrogen photoproduction”; “hydrogen biological production”; “photosynthesis energy” e “photosynthetic* energy”. As buscas por termo foram delimitadas pelos campos “topic” (TS) e “year published” (PY).

A Figura 9.3 mostra a evolução do Número de publicações científicas sobre o tópico “produção biológica de hidrogênio” no referido período. Observa-se pelo formato da curva que a produção científica sobre este tópico se encontra em estágio embrionário para crescimento, com uma produção anual média de 424 publicações no período 1998-2010. Destaca-se um período de plateau na curva no período de 1998 a 2002. A perspectiva é de crescimento para os próximos anos, pela tendência indicada no gráfico a partir de 2007.

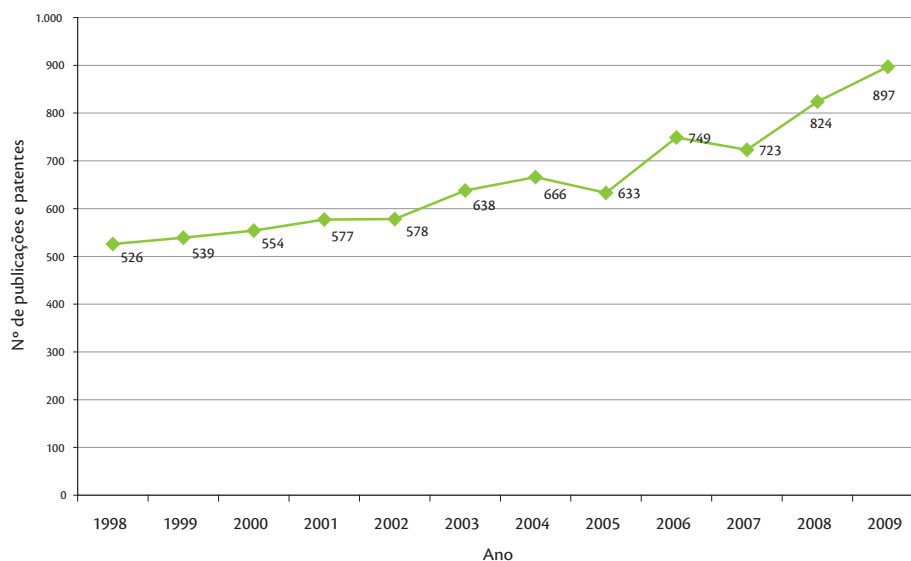


Figura 9.3: Evolução do Número de publicações científicas sobre “produção biológica de hidrogênio”

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

A Figura 9.4 mostra os resultados da análise das 7.904 publicações científicas classificadas por país de origem dos autores. Observa-se que os EUA lideram o ranking, com 2.384 publicações, seguidos da Alemanha e do Japão, com 1.037 e 922 publicações, respectivamente. Em um terceiro patamar, encontram-se a China, a França e a Inglaterra com o número de publicações variando de 579 a 494. O Brasil ocupa a 21ª posição do ranking mundial de produção científica sobre o tópico “produção biológica de hidrogênio” com 119 publicações indexadas na referida base, em um total de 103 países.

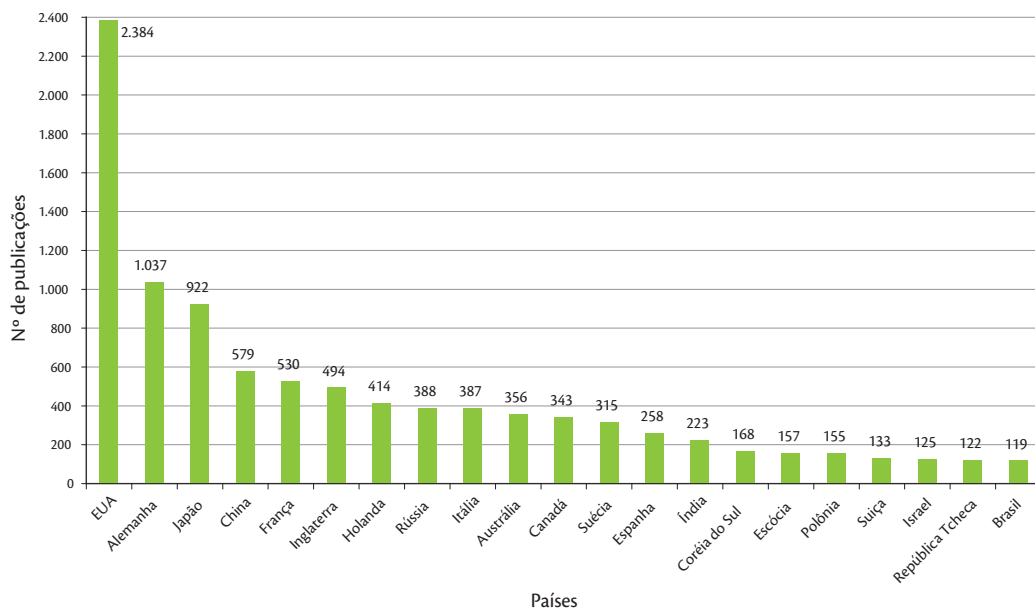


Figura 9.4: Publicações científicas sobre “produção biológica de hidrogênio”, classificadas por país: 1998 – 2009 (critério “top 21”)

Fonte: Busca direta da base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009

Na sequência, a Tabela apresenta o conjunto das 7.904 publicações científicas sobre “produção biológica de hidrogênio”, classificadas por área de especialização.

As informações da Tabela 9.7 permitem concluir que não há uma grande concentração de publicações em torno de uma ou mais áreas de especialização. Na faixa de 22,26% a 14,45%, situam-se as áreas de botânica, bioquímica e biologia molecular e físico-química. Em um segundo patamar, identificam-se as áreas de biofísica, física atômica, molecular e química; ciências ambientais e química (multidisciplinar), com percentuais na faixa de 8,98 a 7,67% de publicações classificadas nas respectivas áreas. A área de energia/combustíveis ocupa a 9ª posição do ranking com 315 publicações diretamente ligadas a essa área. Conforme informação da base consultada, foram identificadas no total 147 áreas.



Tabela 9.7: Publicações científicas sobre “produção biológica de hidrogênio”, classificadas por área do conhecimento: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Botânica	1.760	22,26
Bioquímica e biologia molecular	1.251	15,83
Físico-química	1.142	14,45
Biofísica	710	8,98
Física atômica, molecular e química	619	7,83
Ciências ambientais	616	7,79
Química multidisciplinar	607	7,67
Biotecnologia e microbiologia aplicada	360	4,55
Energia e combustíveis	315	3,98
Ecologia	307	3,88

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

A Tabela a seguir apresenta a análise do conjunto de publicações científicas em relação a instituições de origem de seus autores.

Tabela 9.8: Publicações científicas sobre “produção biológica de hidrogênio”, classificadas por instituição de origem dos autores: 1998- 2009 (critério “top 25”)

Instituição	País	Número de publicações
Chinese Academy of Science	China	262
Russian Academy of Science	Rússia	188
Moscow MV Lomonosov State University	Rússia	172
Arizona State University	EUA	165
University of California, Berkeley	EUA	160
Kyoto University	Japão	135
Osaka University	Japão	121
Tohoku University	Japão	110
University of Illinois	EUA	104
Centre National de la Recherche Scientifique	França	98
Consiglio Nazionale delle Ricerche	Itália	96
University of Glasgow	Escócia	95
Australian National University	Austrália	93
University of Sheffield	Inglaterra	92
Vrije University of Amsterdam	Holanda	88
Free University of Berlin	Alemanha	78
Consejo Superior de Investigaciones Científicas	Espanha	69
University of Tokyo	Japão	69
Umea University	Suécia	68
University of Munich	Alemanha	66
Pennsylvania State University	EUA	64
Universiteit Leiden	Holanda	62
Argonne National Laboratory	EUA	61
CEA Saclay	França	61
Lund University	Suécia	60

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009



Em um total de 3.409 instituições, a Chinese Academy of Science, da China, lidera o ranking mundial com 262 publicações no período considerado, seguida de duas instituições russas: a Russian Academy of Science e a Moscow MV Lomonosov State University, com 188 e 172 publicações, respectivamente.

Retomando-se o tema geral, apresentam-se, na sequência, os resultados do levantamento de patentes referentes a energias renováveis no período 1998 – 2009. Como mencionado, esse levantamento foi realizado diretamente na base Derwent Innovations Index e abrangeu os mesmos termos de busca do levantamento anterior. Foram identificadas 67.514 patentes no referido período.

Os resultados do levantamento de patentes permitiram identificar: (i) as principais áreas de especialização associadas ao conjunto de patentes (critério “top 10”), conforme indexação das áreas pelas próprias bases de dados consultadas; (ii) o número de depositantes e os destaques, enfatizando-se a presença de empresas (critério “top 25”); e (iii) uma análise por código da International Patent Classification (ICP), que revela as subclasses ICP de maior representatividade para posterior monitoramento da evolução da propriedade intelectual no tema nos próximos anos.

A Tabela 9.9 apresenta o conjunto das patentes levantadas, segundo a classificação por área de especialização do próprio sistema de indexação da referida base. A pesquisa indicou um total de 24 áreas de conhecimento.

Tabela 9.9: Patentes referentes ao tema “energias renováveis”, classificadas por área do conhecimento: 1998 - 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de publicações	%
Engenharia	59.048	87,46
Instrumentos e instrumentação	50.551	74,87
Química	22.924	33,95
Energia e combustíveis	17.102	25,33
Transporte	7.218	24,93
Ciência dos polímeros	6.997	10,69
Ciência da computação	4.295	6,36
Tecnologia de construção	3.033	4,49
Metalurgia e engenharia metalúrgica	2.627	3,89
Recursos hídricos	2.493	3,69

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

Ao se analisar as informações sobre patentes apresentadas na Tabela 9.9, observa-se que um percentual bastante significativo refere-se diretamente a duas áreas: engenharia e instrumentos/instrumentação (87,46 e 74,87%, respectivamente). Classificados na área energia/combustíveis há 17.102 documentos, correspondendo a 25,33% do total.

O mesmo conjunto de patentes foi analisado em relação a seus depositantes (Tabela 9.10). Observa-se que a maioria das empresas são de origem japonesa, sendo a Toyota a líder do ranking mundial, com 589 patentes. Seguem-se a LG, a Matsushita e a General Electric com 90, 89 e 69 patentes, respectivamente. A busca indicou um total de 47.468 depositantes.

Tabela 9.10: Patentes referentes ao tema “energias renováveis”, classificadas por depositante: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Depositante	Número de patentes
Toyota Jidosha KK 589	589
LG Electronics Inc 507	507
Matsushita Denki Sangyo KK 481	481
General Electric Co 348	348
Toshiba KK 320	320
Canon KK 296	296
Hitachi Ltd 293	293
Mitsubishi Electric Co 239	239
Samsung SDI Co Ltd 239	239
Mitsubishi Jukogyo KK 227	227

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

Na sequência, a Tabela mostra os resultados da análise das 67.514 patentes segundo as subclasses da International Patent Classification (ICP).



Tabela 9.11: Patentes referentes ao tema “energias renováveis”, classificadas por código do depositante: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Classe ICP	Número de patentes
F03D-009/00	2.040
F03D-011/00	1.019
F03D-003/00	972
H01L-031/00	959
F03B-013/00	921
H01L-031/04	866
H01M-008/04	820
F24J-002/00	746
F03D-001/00	745
B09B-0C3/00	704

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009.

Constata-se que as subclasses ICP de maior representatividade encontram-se na classe F03 - “máquinas ou motores a líquidos; motores movidos a vento, molas, pesos ou outros; produção de força mecânica ou de empuxo propulsivo por reação, não incluída em outro local” e nas classes H01 – “elementos elétricos básicos”, F24 – “aquecimento; fogões; ventilação” e B09 - “eliminação de resíduos sólidos; recuperação de solo contaminado”.

A exemplo do que foi mostrado no panorama da produção científica sobre o tema objeto deste Capítulo, apresenta-se a seguir os resultados do levantamento de patentes focalizando especificamente o tópico “produção biológica de hidrogênio”.

A Tabela 9.12 apresenta o conjunto das 402 patentes levantadas neste tópico, segundo a classificação por área de especialização do próprio sistema de indexação da referida base. Foram identificadas ao todo 26 áreas de especialização às quais as patentes referentes à produção biológica de hidrogênio estão vinculadas.

Tabela 9.12: Patentes referentes ao tópico “produção biológica de hidrogênio”, classificadas por área do conhecimento: 1998 - 2009 (critério “top 10”)

Áreas	Número de patentes	%
Química	333	82,83
Engenharia	246	61,19
Instrumentos/instrumentação	159	39,55
Biotecnologia e microbiologia aplicada	155	38,55
Energia e combustíveis	130	32,33
Agricultura	115	28,60
Recursos hídricos	84	20,89
Ciência da computação	11	2,73
Metalurgia e engenharia metalúrgica	8	1,99
Ótica	6	1,49

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

A análise das informações sobre patentes mostradas na Tabela 9.12 indica que um percentual significativo dos documentos referem-se diretamente a duas áreas: química (82,83%) e engenharia (61,19%). Em um segundo patamar, situam-se três áreas de especialização: instrumentos/instrumentação (39,55%), biotecnologia e microbiologia aplicada (38,55%) e energia/combustíveis (32,33%). Neste ranking (“top 10”), as demais áreas possuem percentuais inferiores de patentes classificadas segundo as respectivas áreas (de 28,60 a 1,49 %). Cabe ressaltar, porém, que uma determinada patente pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

O mesmo conjunto de patentes foi analisado em relação a seus depositantes (Tabela 9.13). Observa-se que as empresas líderes são a Neste Oil Basf AG e a Chiktu Kankyo Sangyo Gijitsu Kenkyu, ambas com 9 patentes, seguidas de 23 depositantes com o número de patentes variando de 4 a 2. A busca indicou ainda um total de 568 depositantes.



Tabela 9.13: Patentes referentes à “produção biológica de hidrogênio”, classificadas por depositante: 1998- 2009 (critério “top 25”)

Depositante	Número de patentes
Neste Oil OVJ	9
Zh Chiktu Kankyo Sangyo Gijitsu Kenkyu	9
Agric Electrifi Res Inst	4
C&M Group LLC	4
Sumitomo Heavy Ind Ltd	4
Bremer, B.W.	3
Carson, R. W.	3
Dokuritsu Gyosei Hojin Sangyo Gijutsu So	3
EERC Energy Environmental Res Cent	3
ENI Technologie Spa	3
Scimist Inc	3
Univ Henan Agric	3
Univ Zhejiang	3
Agency of Industrial Science and Technology (Japão)	2
Amaral Remer R.	2
Basf AG	2
Basf SE	2
Cargill Inc.	2
Commissariat à l’Energie Atomique (França)	2
J. Craig Venter Institute	2
Council of Scientific & Industrial Research (India)	2
Ebara Corp.	2
Elsbett L.	2
Galloway T. R.	2
Harbin Institute of Technology	2

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009

Na sequência, a Tabela 9.14 mostra os resultados da análise das 402 patentes segundo as subclasses da International Patent Classification (ICP).

Para monitoramento posterior das patentes neste tópico com a utilização da International Patent Classification (ICP) como referência, identificam-se sete classes ICP, a saber: C12P – “processos de fermentação ou processos que utilizem enzimas para sintetizar uma composição ou composto químico desejado ou para separar isômeros óticos de uma mistura racêmica” (4 subclasses distintas); C₁₂M – “aparelhos para enzimologia ou microbiologia”, C₁₂N – “microorganismos ou enzimas; suas composições; propagação, preservação, ou manutenção de microorganismos ou tecido; engenharia genética ou de mutações; meios de cultura”; C₁₀G- “craqueamento de óleos hidrocarbonetos; produção de misturas hidrocarbonetos líquidos, por ex., por hidrogenação destrutiva, oligomerização, polimerização. ...” C02F- “tratamento de água, de águas residuais, de esgotos ou de lamas e lodos”; A01G – “horticultura; cultivo de vegetais, flores, arroz, frutas, vinhas, lúpulos ou algas; silvicultura; irrigação”. A classe B10G não consta da - edição 2007.01 da Classificação Internacional de Patentes Atual, que entrou em vigor a partir de janeiro de 2007¹⁰.

Tabela 9.14: Patentes referentes ao tema “produção biológica de hidrogênio”, classificadas por código do depositante: 1998- 2009 (critério “top 10”)

Classe ICP	Número de patentes
C12P-003/00	41
C12M-001/00	31
C12N-001/20	24
A01G-007/00	21
C02F-003/34	21
C12P-005/02	16
C12P-007/02	16
B10G-003/00	14
C10G-003/00	14
C12P-005/00	14

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em dez 2009.

¹⁰ World Industrial Property Organization. WIPO. International Patent Classification. Edição 2007.1 em português. Disponível em: <<http://www6.inpi.gov.br/patentes/classificacao/classificacao.htm>>. Acesso em: dez 2009.



Buscou-se mostrar indicadores bibliométricos de publicações científicas e patentes associados ao tema “energias renováveis” objeto deste Capítulo, focalizando-se tópicos específicos de interesse para o estudo prospectivo. Particularmente, pela sua importância estratégica para o país, apresentaram-se indicadores focalizando especificamente o tópico “produção biológica de hidrogênio”. Os tópicos objeto desta análise constituem alternativas energéticas que deverão contribuir para viabilizar a transição mundial e nacional da denominada “era do petróleo” para a era das energias renováveis.

Vale destacar, entretanto, que qualquer resultado de uma análise bibliométrica tem caráter apenas indicativo, recomendando-se seu cruzamento posterior com outras informações e análises referentes aos tópicos tecnológicos associados ao tema geral (Seção 9.3).

9.2. Panorama nacional

Com relação à produção científica nacional no período 1998-2009, o levantamento na base Web of Science indicou que o Brasil ocupa hoje a 19ª posição do ranking mundial de produção científica no tema “energias renováveis”, com 1.207 publicações indexadas na referida base (Ver Figura 9.2). Nesta Seção, busca-se apresentar a evolução da produção científica no referido período e analisá-la em relação a instituições de origem de seus autores. Os resultados são apresentados na Tabela 9.15, a seguir.

A Figura a seguir mostra a evolução do Número de publicações científicas sobre “energias renováveis” no período 1998-2009.

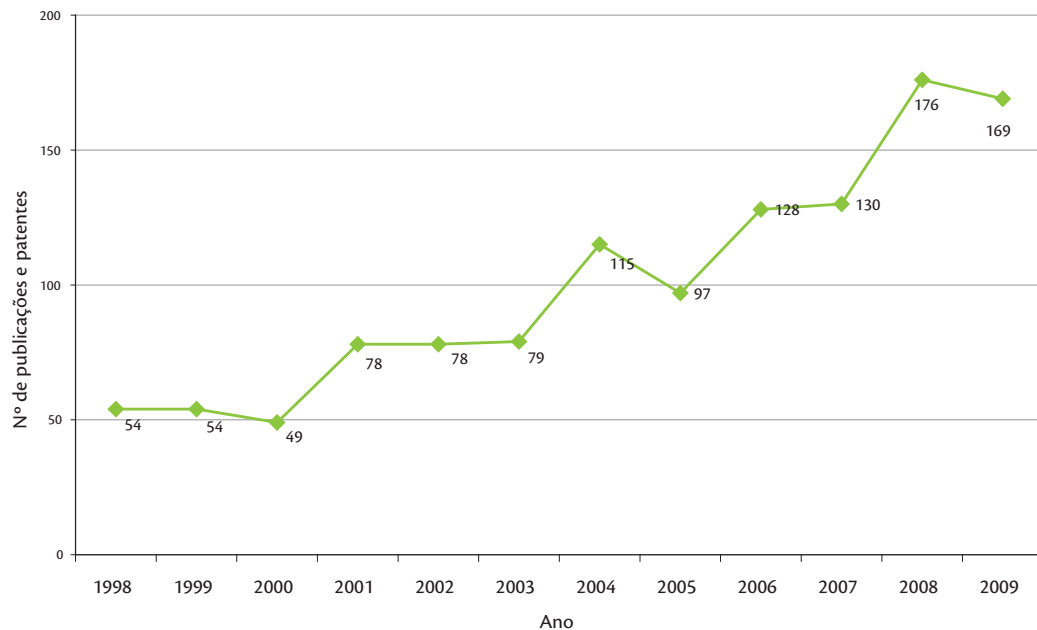


Figura 9.5: Evolução do Número de publicações científicas de autores brasileiros sobre o tema “energias renováveis”: 1998 - 2009

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009.

Observa-se pelo formato da curva que a produção científica sobre o tema se encontra em estágio embrionário para crescimento, com uma produção anual média de 100 publicações no período 1998-2010. A perspectiva é de crescimento para os próximos anos, pela tendência geral indicada no gráfico.

A Tabela 9.15 apresenta a análise do conjunto de publicações científicas em relação a instituições de origem dos autores brasileiros.



Tabela 9.15: Publicações científicas de autores brasileiros sobre o tema “energias renováveis”, classificados segundo a instituição de origem de seus autores: 1998 – 2009

Instituição	Estado	Número de publicações
Universidade de São Paulo	São Paulo	275
Universidade Estadual de Campinas	São Paulo	112
Universidade Federal do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	102
Universidade Estadual Paulista Julio Mesquita Filho (UNESP)	São Paulo	88
Universidade Federal de Viçosa	Minas Gerais	86
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Rio Grande do Sul	49
Universidade Federal de Santa Catarina	Santa Catarina	42
Universidade Federal de Santa Maria	Rio Grande do Sul	38
Universidade Federal de Pernambuco	Pernambuco	35
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	Diversos	34
Universidade Federal de Minas Gerais	Minas Gerais	31
Universidade Federal do Paraná	Paraná	27
Universidade Estadual de Maringá	Paraná	25
Universidade de Brasília	DF	22
Universidade Federal de Uberlândia	Minas Gerais	21
Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)	São Paulo	19
Universidade Estadual do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	18
Universidade Federal da Paraíba	Paraíba	17
Universidade Federal do Ceará	Ceará	17
Universidade Estadual do Norte Fluminense	Rio de Janeiro	16
Universidade Federal de Alagoas	Alagoas	15
Universidade Federal Rural de Pernambuco	Pernambuco	15
IPEN	Rio de Janeiro	13
Embrapa	Diversos	12

Instituição	Estado	Número de publicações
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	12
Universidade Federal de Lavras	Minas Gerais	12
Universidade Federal de Campina Grande	Paraíba	11
Universidade Federal Fluminense	Rio de Janeiro	11
Universidade Federal do Mato Grosso	Mato Grosso	10
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia	Amazônia	9
Universidade Federal da Bahia	Bahia	9
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas	Rio de Janeiro	8
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ)	DF	7
Instituto de Zootécnica	São Paulo	7
Universidade Federal de Goiás	Goiás	7
Universidade Federal de Itajubá	Minas Gerais	7
Universidade Federal do Espírito Santo	Espírito Santo	7
Universidade Federal de Sergipe	Sergipe	6
Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais	Minas Gerais	5
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul 5	Mato Grosso do Sul	5
Universidade Federal do Pará	Pará	5
CEPEL	Rio de Janeiro	4
CNEN	Diversos	4
Laboratório Nacional Luz Síncrotron	São Paulo	4
Observatório Nacional	Rio de Janeiro	4
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul	Rio Grande do Sul	4
Universidade Estadual do Ceará	Ceará	4
Universidade Estadual do Oeste do Paraná	Paraná	4
Universidade Federal de Juiz de Fora	Minas Gerais	4
Universidade Federal de Pelotas	Rio Grande do Sul	4

Fonte: Pesquisa direta na base de dados Web of Science. Acesso em dez 2009



Lideram o ranking das instituições brasileiras a Universidade de São Paulo, a Universidade Estadual de Campinas e a Universidade Federal do Rio de Janeiro, com 275, 112 e 102 publicações indexadas no período 1998-2009. Foram identificadas 1.021 instituições às quais os autores brasileiros estão vinculados.

Apresenta-se na Figura 9.6 a distribuição percentual das publicações científicas com relação aos Estados da Federação, adotando-se como linha de corte até 20 publicações.

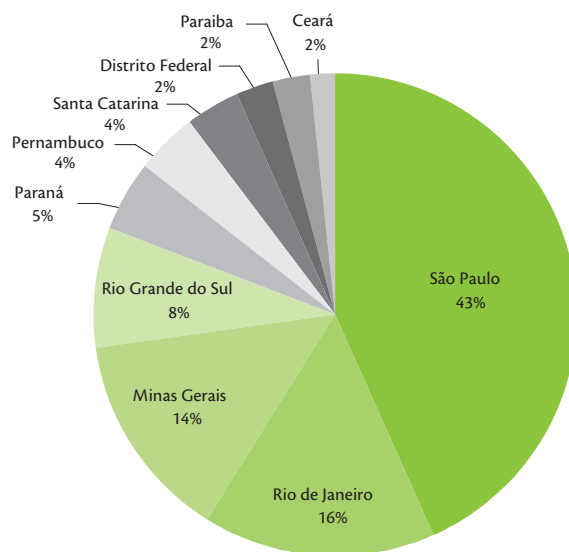


Figura 9.6: Distribuição percentual das publicações científicas de autores brasileiros sobre o tema “energias renováveis” por Estado da Federação (linha de corte até 20 publicações)

Conforme a Figura 9.6, lideram a produção científica brasileira em “energias renováveis” os Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, com percentuais de 43%, 16% e 14%, respectivamente. Importante mencionar a participação dos Estados da Região Nordeste – Pernambuco, Paraíba e Ceará - e da região Sul – Santa Catarina, Paraná e rio Grande do Sul.

Para complementar o panorama nacional, recomenda-se posteriormente o estudo dos grupos de pesquisa atuantes no Brasil nos tópicos abordados neste Capítulo, assim como o levantamento nas bases de dados do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI)¹¹, Spacenet (Europa)¹² e

¹¹ Base de dados INPI. Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br>>. Acesso em: dez 2009.

¹² Base de dados Spacenet. Disponível em:<http://ep.spacenet.com>>. Acesso em: dez 2009.

USPTO (EUA)¹³ para investigar em maior detalhe a posição do Brasil em termos de propriedade intelectual em relação ao tema. Isso porque no levantamento na Derwent Innovations Índex, o Brasil não aparece em destaque em relação a nenhum dos tópicos abordados no período 1998-2009, ao contrário da produção científica.

9.3. Tópicos associados ao tema

O Quadro 9.1 apresenta os tópicos tecnológicos associados ao tema “energias renováveis” que foram selecionados para a construção dos mapas tecnológicos no mundo e no Brasil. Inclui os descritivos dos tópicos, o grau de maturidade de cada tópico no mundo¹⁴ e os setores mais impactados pelo seu desenvolvimento no país. As referências alfanuméricas na primeira coluna do quadro foram adotadas ao longo da construção dos respectivos mapas tecnológicos.

Quadro 9.1: Tópicos associados ao tema “energias renováveis”

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Grau de maturidade (mundo)	Setores mais impactados (Brasil)
T6a	Produção biológica de hidrogênio	Produção de hidrogênio por microorganismos	Embrionário/crescimento	Meio ambiente, energia e petróleo
T6b	Biogás	Aproveitamento de resíduos	Crescimento	Meio ambiente, petróleo e agroindústria
T6c	Eficiência energética	Melhoria do rendimento energético dos atuais processos	Crescimento	Todos os setores
T6d	Energia eólica	Produção de energia elétrica limpa	Maduro	Energia elétrica
T6e	Energia solar fotovoltaica	Produção de energia elétrica limpa	Maduro	Energia elétrica
T6f	Energia hidráulica	Produção de energia elétrica com impacto do reservatório	Maduro	Energia elétrica e meio ambiente

¹³ Base de dados USPTO. Disponível em: <<http://www.uspto.gov>>. Acesso em: dez 2009.

¹⁴ De acordo com Roussel, P. Technological maturity proves a valid and important concept. *Research Management*. V. 27. n.1, January-February 1984; Roussel, P. A., Saad, K. N.; Erickson, T. J. *Third generation R&D: managing the link to corporate strategy*. Cambridge: Harvard Business School Press. 1991.



Apresentam-se a seguir as principais tendências tecnológicas dos tópicos em questão, visando fundamentar a análise prospectiva do tema “energias renováveis”, cujos resultados são apresentados nas Seções 9.4 e 9.5.

9.3.1. Produção biológica de hidrogênio

O hidrogênio, apesar de ser o elemento mais abundante na terra, é altamente reativo e não é encontrado livre na atmosfera. Atualmente, a maior parte do hidrogênio utilizado como combustível é produzida a partir de combustível fóssil, especialmente gás natural. Logo, não é o hidrogênio em si, mas o seu método de fabricação que decidirá se a nova fonte de energia será ambientalmente amigável ou não.

A principal motivação para os estudos de processos biológicos para a produção de hidrogênio é obter um combustível “limpo”, sem utilização prévia de eletricidade e sem geração de gases poluentes que contribuem para o aumento do efeito estufa, sendo, portanto, ecologicamente correto. Estima-se que é possível uma eficiência de conversão da radiação solar em H_2 de até 10%.

A produção biológica de hidrogênio pode ser realizada por duas categorias de organismos vivos (microorganismos): (i) os que possuem a capacidade de realizar fotossíntese; e (ii) aqueles que realizam o processo de produção de H_2 por fermentação (T6a).

A produção biológica de H_2 por intermédio da fotossíntese, por sua vez, pode ser conduzida por: (i) algas verdes (biofotólise direta); (ii) cianobactérias (biofotólise indireta); e (iii) por bactérias fotossintetizantes (fotodecomposição de compostos orgânicos).

Na produção de H_2 por algas verdes os principais microorganismos dessa categoria são as *Chlamydomonas reinhardtii*, algas eficientes na produção de H_2 a partir da água. Já na produção de H_2 por cianobactérias, hidrogênio e oxigênio são formados a partir da energia solar e da água, sem desprendimento de CO_2 . Nas cianobactérias podem existir três tipos de enzimas diretamente envolvidas no metabolismo do H_2 : a nitrogenase, que catalisa a redução de NH_4^+ a N_2 com liberação obrigatória de H_2 ; a hidrogenase de assimilação, que recicla o H_2 liberado pela nitrogenase e a hidrogenase bidirecional, que por sua vez pode produzir ou consumir O_2 . As cianobactérias unicelulares são as únicas capazes de produzir hidrogênio através da biofotólise indireta da água.

Na produção de H_2 por bactérias fotossintetizantes, as bactérias envolvidas são as do gênero *Chromatium*, capazes de degradar glicose completamente à CO_2 e H_2 ($C_6H_{12}O_6 + H_2O \rightarrow 12H_2 + 6CO_2$),

utilizando um amplo espectro de luz. Uma outra grande vantagem desses microorganismos reside no fato dos mesmos consumirem diversos substratos orgânicos, o que possibilita a produção de H_2 a partir de efluentes.

Na produção de hidrogênio por fermentação – segunda rota - o H_2 é libertado pela ação de hidrogenases, como meio de eliminar o excesso de elétrons gerados durante a degradação de hidratos de carbono. As principais espécies utilizadas para esse fim são a *Clostridium acetobutylicum* e a *Clostridium perfringens*. Ambas possuem alta velocidade de produção de hidrogênio; com essa produção sendo constante durante o dia e a noite. Em função do substrato utilizado, as bactérias fermentativas podem ser classificadas em proteolíticas ou sacarolíticas.

Do exposto, observa-se que existe uma grande quantidade de microorganismos produtores de H_2 , todos eles apresentando vantagens que devem ser aproveitadas e desvantagens que devem ser superadas (Quadro 9.2).

Quadro 9.2: Vantagens e desvantagens da utilização de diversos microorganismos para a produção de H_2

Microorganismo	Vantagens	Desvantagens
Algas verdes	Utilizam água como substrato.	Necessitam de iluminação. Necessitam de atmosferas pobres em oxigênio (inibição por O_2).
Cianobactérias	Utilizam água como substrato. Nitrogenase produz principalmente H_2 . Fixam N_2 .	Necessitam de iluminação natural. Inibição da nitrogenase por O_2 . Hidrogenase deve ser cancelada para não degradar o H_2 produzido. Produção de CO_2 .
Bactérias fotossintetizadoras	Utilizam substratos de diferentes resíduos e efluentes. Utilizam amplo espectro de luz.	Necessitam de iluminação constante. Produção de CO_2 .
Bactérias fermentativas	Utilizam substratos de ampla variedade de fontes de carbono. Não necessitam de iluminação. Produzem metabólitos secundários de alto valor agregado. Processo anaeróbico sem problemas de inibição por O_2 .	Resíduo de fermentação necessita de tratamento para não causar problemas de poluição. Produção de CO_2 .



A produção de H_2 por algas verdes utiliza as algas *Chlamydomonas reinhardtii*, que são eficientes na produção de H_2 a partir da água e que, seguramente, são a maior aposta da comunidade científica para uma produção economicamente viável e sustentável de hidrogênio no futuro próximo.

O US Department of Energia (DOE) dos EUA estima ser necessário apenas 9000 Km² de área cultivada com algas para se ter uma produção de H_2 suficiente para substituir toda a gasolina consumida naquele país (com uma eficiência de conversão da radiação solar em H_2 de 10%)¹⁵. A produção sustentada de H_2 pelas algas *Chlamydomonas reinhardtii* é consequência da inativação reversível da atividade fotossintética, que por sua vez leva a uma diminuição na oxidação da água a O_2 (condições de anaerobiose).

Estudos científicos demonstraram que a remoção do enxofre do meio de cultura das células provoca essa inativação. Nessa condição (deficiência de enxofre), ocorre uma conversão de uma proteína do P680 (QA reduzida para uma QA não reduzida). A QA não reduzida, que é um intermediário no ciclo de reparo do P680, se acumula em função da incapacidade do P680 ser totalmente reparado dos efeitos de danos provocados pela radiação, devido a deficiência de aminoácidos sulfurados¹⁶. Como consequência, a transferência de elétrons na membrana dos tilacóides é significativamente reduzida ou até mesmo interrompida, provocando a redução na produção de O_2 . Por consequência, ocorre uma transição do meio de cultura de *C. reinhardtii* de aeróbico para anaeróbico, resultando na indução de uma hidrogenase que é responsável pela produção de H_2 .

Para que a produção de H_2 por algas verdes se torne viável alguns gargalos de produção devem ser superados: (i) redução do tamanho do sistema “antena” do P680; (ii) aumento da taxa de dissipação dos prótons formados no lúmen do tilacóide; e (iii) redução da inibição da atividade da hidrogenase pelo O_2 .

As culturas de algas que são encontradas livremente na natureza apresentam uma baixa eficiência de utilização da radiação solar. Isso decorre do fato das mesmas possuírem um “grande” sistema “antena” do P680, ou seja, apresentam grande quantidade de clorofilas ligadas ao fotossistema II. Essa massa de clorofila proporciona uma cor verde escura à cultura de células, o que reduz a entrada de radiação para as camadas inferiores do cultivo, decrescendo a eficiência de utilização da radiação. Como resposta ao exposto acima, vários mutantes com a característica de possuírem um sistema “an-

¹⁵ US Department of Energy. DOE. A prospectus for biological H_2 production. 2009. Disponível em: <<http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/production/pdfs/photobiological.pdf>>. Acesso em: dez 2009.

¹⁶ Ghirardi, M. L.; Kosourov, S.; Tsygankov, A.; Rubin, A.; Seibert, M. Cyclic photobiological algal H_2 production. In: Proceedings of the 2002 U.S. DOE Hydrogen Program Review, NREL/CP-610-32405, 2002.

tena” menor já foram produzidos. Entre esses, podemos citar um mutante de *Chlamydomonas reinhardtii* nomeado 3LR₃, que aumentou em 43% a eficiência energética do fotossistema II¹⁷.

Para que a hidrogenase atue eficientemente no estroma do cloroplasto das algas, faz-se necessário que os prótons gerados pela hidrólise da água e pela recuperação do pool oxidado de quinonas no lúmen do tilacóide seja transferido para o estroma. Esse transporte é mediado por uma síntese do ATP presente na membrana do tilacóide que tem uma taxa limitada de transporte (Figura 9.7).

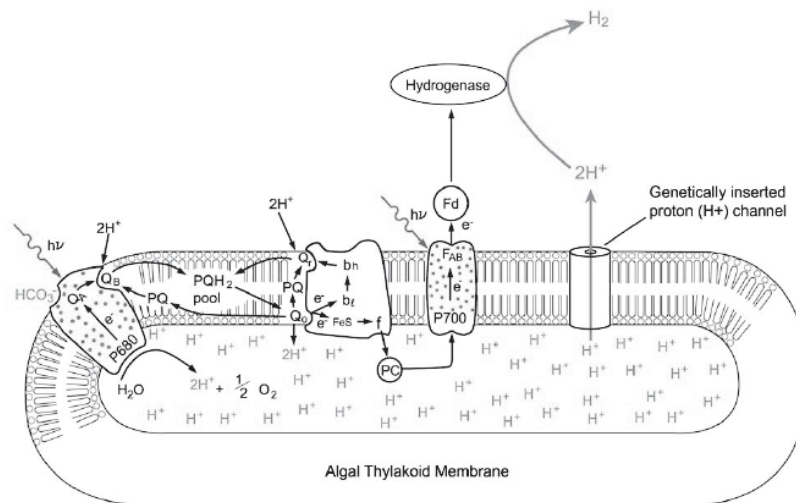


Figura 9.7: Inserção de um canal de prótons na membrana do tilacóide de cloroplastos de *Chlamydomonas reinhardtii*

Essa barreira está sendo suplantada por manipulação genética dos cloroplastos das algas, com a adição de canais de prótons na membrana dos cloroplastos. Um dos centros de pesquisa que se destaca nessa área é o Oak Ridge National Laboratory, nos EUA.

E, finalmente, para reduzir a inibição da atividade da hidrogenase pelo O₂, algumas estratégias vêm sendo utilizadas. Em uma delas, pesquisas vêm sendo desenvolvidas no sentido de modificar por engenharia genética a conformação da hidrogenase, de modo que o sítio catalítico da enzima seja inalcançável pelo O₂, porém sem alterar a taxa de difusão do H₂ formado.

¹⁷ Mussgnug, J. H.; Thomas-Hall, S.; Rupprecht, J.; Foo, A.; Klassen, V.; McDowall, A.; Schenk, P.M.; Kruse, O.; Hankamer, B. Engineering photosynthetic light capture: impacts on improved solar energy to biomass conversion. *Plant Biotechnology Journal*, v. 5, p. 802-814, 2007.



Em outro campo, as pesquisas buscam separar temporalmente a produção de O_2 e H_2 . Essa estratégia já é bastante utilizada, com o processo sendo nomeado de produção fotossintética de O_2 e produção de H_2 em duas fases. Na primeira fase, as algas verdes são crescidas em ambiente sob irradiação (fotossíntese normal) até alcançar uma certa densidade de células na cultura. Após, se retira o enxofre do meio de cultura, provocando o declínio da fotossíntese e a manutenção da respiração, fazendo com que em pouco tempo o meio ambiente se torne anaeróbico e propicie a atividade da hidrogenase e produção de H_2 ¹⁸. Adicionalmente, pesquisas vêm sendo desenvolvidas no sentido de produzir hidrogenase tolerante ao O_2 . Hidrogenases Ni-Fe tolerante ao O_2 já foram identificadas em vários microorganismos, como na bactéria *Rubrivivax gelatinosus*, podendo em curto tempo ser geneticamente expressa em uma cianobactéria.

Além da própria resolução dos gargalos acima descritos, visando à produção de algas para a produção de H_2 em larga escala, outra gama enorme de possibilidades descortina-se no campo da produção de biocombustíveis por organismos fotossintéticos. Entre esses, destaca-se a produção integrada de H_2 pelo cultivo integrado de diferentes microorganismos.

Quando uma cultura de *C. reinhardtii* é submetida a um ambiente desprovido de enxofre, concomitantemente com a produção de H_2 , em função da parada dos transportes de elétrons na cadeia de transporte de elétrons dos tilacóides ocorre uma massiva mudança na expressão gênica e logicamente no metabolismo das células, com uma forte degradação de proteínas e um surpreendente aumento no conteúdo de amido¹⁹ (Figura 9.8).

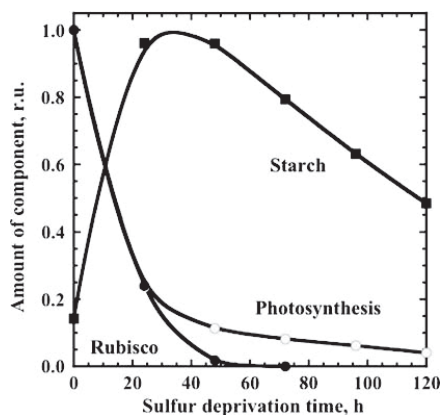


Figura 9.8: Produção de amido concomitante com declínio da fotossíntese e atividade da Rubisco em células de *Chlamydomonas reinhardtii* cultivadas sob condições de anaerobiose

¹⁸ Melis, A., Happe, T. Hydrogen Production. *Green Algae as a Source of Energy*. *Plant Physiology*, v.127, p. 740 - 748, 2001.

¹⁹ Melis, A. Photosynthetic H_2 metabolism in *Chlamydomonas reinhardtii* (unicellular green algae). *Planta*, v.226, p. 1075–1086, 2007.

A produção metabólica de H_2 ligada a uma produção de amido por *C. reinhardtii*, aliada ao metabolismo dos outros organismos aqui discutidos, sugere o desenho de um sistema integrado em que os microorganismos submetidos tanto a condições aeróbicas, quanto a condições anaeróbicas, utilizando radiação visível e no infravermelho, produzem H_2 e substrato (especialmente amido e material celulósico) para outro grupo de microorganismo que em condições de anaerobiose degradam essas moléculas por um processo fermentativo, produzindo também H_2 e pequenas moléculas orgânicas, que por sua vez podem alimentar os microorganismos fotossintéticos²⁰ (Figura 9.9).

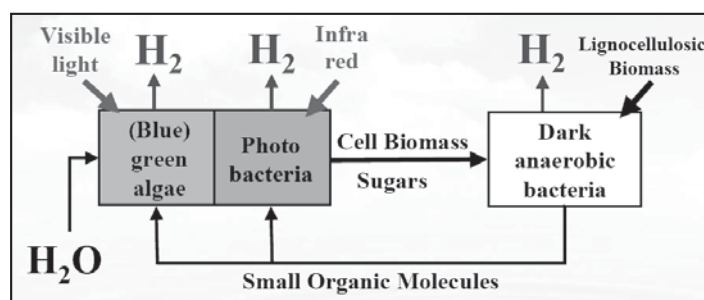


Figura 9.9: Co-cultura de algas verdes, cianobactérias, bactérias fotossintetizadoras e bactérias fermentativas em reatores integrados

Em uma outra linha de pesquisa, recentemente foi mostrado que a adição de nanopartículas de platina no P700 de uma bactéria termofílica proporcionou a produção de H_2 in vitro, sob iluminação artificial. Nesse arranjo, os elétrons transportados desde o P680, ao chegarem no P700, ao invés de serem entregues a hidrogenase, são catalisados pela platina, formando H_2 . Segundo os autores, essa produção se manteve estável por cerca de 85 dias²¹. Evidentemente que as pesquisas nesse sentido são incipientes, devendo ser essa uma linha promissora para o avanço do conhecimento sobre a produção biológica do H_2 .

²⁰ Melis, A.; Melnicki, M. R. Integrated biological hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, v.31, p. 1563 – 1573, 2006.

²¹ Iwuchukwu, I. J.; Vaughn, M.; Myers, N.; O'Neill, H.; Frymier, P.; Bruce, B. D. Self-organized photosynthetic nanoparticle for cell-free hydrogen production. *Nature Nanotechnology*, Published online: 8 November 2009 | doi:10.1038/nnano.2009.315.



9.3.2. Biogás

O biogás é um gás natural resultante da fermentação anaeróbica de dejetos animais, resíduos vegetais, lixo industrial ou residencial em condições adequadas. Compõe-se de uma mistura de gases que tem sua concentração determinada pelas características do resíduo e pelas condições de funcionamento do processo de digestão. É constituído principalmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) e geralmente apresenta em torno de 65% de metano, sendo o restante composto na maior parte por dióxido de carbono e alguns outros gases, porém, em menores concentrações²². A Tabela 9.16 apresenta a composição do biogás.

A utilização do biogás como recurso energético é devida fundamentalmente ao metano, que quando puro em condições normais de pressão (1 atm) e temperatura (0°) possui um poder calorífico inferior (PCI) de 9,9 kWh/m³. O biogás com um teor de metano entre 50 e 80% tem um PCI entre 4,95 e 7,92 kWh/m³.

Tabela 9.16: Composição do biogás

Gás	Símbolo	Concentração no biogás (%)
Metano	CH_4	50 - 80
Dióxido de carbono	CO_2	20 - 40
Hidrogênio	H_2	1 - 3
Nitrogênio	N_2	0,5 - 3
Gás sulfídrico e outros	$\text{H}_2\text{S}, \text{N}_2, \text{H}_2, \text{CO}, \text{O}_2$	1 - 5

Fonte: La Farge, 1979²³.

A Tabela a seguir mostra a equivalência energética do biogás comparado a outras fontes de energia.

²² Ferraz, J. M. G.; Mariel, I. E. Biogás uma fonte alternativa de energia. Sete Lagoas: Embrapa.CNPMS,1980.

²³ La Farge, B. Le biogaz. Procédés de fermentation méthanique. Paris: Masson, 1979.

Tabela 9.17: Equivalência energética do biogás comparado a outras fontes de energia

Energético	Ferraz; Mariel, 1980	Sganzerla, 1983	Nogueira, 1986	Santos, 2000
Gasolina (l)	0,61	0,613	0,61	0,6
Querosene (l)	0,58	0,579	0,62	-
Diesel (l)	0,55	0,553	0,55	0,6
GLP (kg)	0,45	0,454	1,43	-
Álcool (l)	-	0,79	0,80	-

Fonte: Ferraz; Mariel, 1980²⁴; Sganzerla, 1983²⁵; Nogueira, 1986²⁶; Santos, 2000²⁷ apud Coldebella et al. 2008²⁸.

Transformar o biogás em energia elétrica depende da utilização de geradores. Para que ocorra a queima e sua transformação em energia térmica, faz-se necessário o uso de fornos e para utilização em motores a gasolina, torna-se necessária a conversão do motor para biogás. Os motores a biogás funcionam segundo os mesmos princípios dos motores diesel e Otto, bastando apenas algumas modificações no sistema de alimentação, ignição e também na taxa de compressão.

O biogás pode ser usado como combustível em substituição do gás natural ou do gás liquefeito de petróleo (GLP), ambos extraídos de reservas minerais. Pode ser também utilizado para cozinhar em residências rurais próximas ao local de produção, economizando outras fontes de energia, como lenha ou GLP. Na produção rural, pode ser utilizado no aquecimento de instalações para animais muito sensíveis ao frio ou no aquecimento de estufas de produção vegetal, para citar alguns exemplos. Além desses usos, pode ainda ser utilizado na geração de energia elétrica, por meio de geradores elétricos acoplados a motores de explosão adaptados ao consumo de gás²⁹.

O biogás tem sido utilizado por meio da combustão em fogões, aquecedores, incubadoras e pequenos motores, normalmente equipamentos de uso estacionário. Em motores estacionários, pode-se utilizar o biogás diretamente produzido nos biodigestores para o acionamento de bombas hidráulicas e geradores de energia, sendo, assim, uma grande vantagem o seu uso no meio rural. No setor agrícola, por

²⁴ Ferraz, J. M. G.; Mariel, I. E. Biogás uma fonte alternativa de energia. Sete Lagoas: Embrapa. NPMS, 1980. 27p.

²⁵ Sganzerla, E. Biodigestor: uma solução. Ed. Agropecuária. Porto Alegre, 1983.

²⁶ Nogueira, L. A. H. Biodigestão: A alternativa energética. Nobel - São Paulo, 1986.

²⁷ Santos, P. Guia técnico de biogás. Centro para a Conservação de Energia. Guia Técnico de Biogás. AGEEN. Agência para a Energia, Amadora, Portugal, 2000. 117 p.

²⁸ Coldebella et al. Viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura. Informe Gepec, v.12, n.2, jul./dez. 2008.

²⁹ Avellar, L. H. N.; Luczynski, E. Abordagem qualitativa da inserção do biogás x diesel para o meio rural. In: 4º Encontro de Energia no Meio Rural. CD ROM, 2002, São Paulo. Anais... São Paulo: Encontro de Energia no Meio Rural, 2002. p. 44-49.



exemplo, as granjas de suínos utilizam o processo de digestão anaeróbica para tratar as águas residuais da limpeza das pocilgas e produzir biogás. Já no cenário urbano, nos dias atuais, a geração de energia elétrica a partir do biogás está em expansão, principalmente nos aterros sanitários.

9.3.3. Eficiência energética

O desperdício e a utilização ineficiente de recursos são práticas que não mais se coadunam com a sociedade contemporânea, caracterizada pela vertiginosa alteração de comportamento e acirrada competição entre os seus segmentos. Parte substancial das decisões estratégicas requeridas pela sociedade envolve a energia, insumo essencial para a consolidação do desenvolvimento econômico e do bem estar social.

A produção de energia, em especial, exige pesados investimentos com longos prazos de retorno, que repercutem de modo relevante sobre o processo de desenvolvimento e sempre causam impactos sobre o meio ambiente em intensidades que dependem principalmente da natureza da fonte energética.

A eficiência energética é o mais importante vetor que dispõe a sociedade contemporânea para atenuar o aumento mundial de produção de energia, motivado pelo crescimento populacional e das atividades produtivas, em especial, as energo-intensivas. É uma importante abordagem, especialmente porque é um gerenciamento pelo lado da demanda. Segundo a avaliação do Programa Nacional de Conservação de Energia (Procel), cada R\$ 1,00 investido em eficiência energética evita cerca de R\$ 17,00 na aplicação de recursos no sistema elétrico nacional.

Eficiência energética pode ser definida como a relação entre a energia útil e a energia fornecida a um sistema para se obter um determinado produto ou serviço. O objetivo é obter o mesmo produto ou serviço, com qualidade adequada, utilizando a menor quantidade de energia e o máximo de eficácia no processo. Neste sentido, ser eficiente do ponto de vista energético equivale a gastar menos energia para se obter um mesmo resultado final; ou ainda, gastar a mesma quantidade de energia e obter um melhor resultado final.

O conceito de eficiência energética engloba outros conceitos relacionados a características técnicas dos equipamentos de geração de energia, dos processos produtivos, dos bens produzidos, dos equipamentos de uso final de energia, além dos aspectos econômicos.

Recente estudo realizado pela McKinsey³⁰, intitulado “*The Carbon Productivity Challenge*”, aponta que a estabilização das emissões de gases com efeitos de estufa, sem comprometer o ritmo de crescimento econômico constitui um grande desafio que governantes e empresas estão enfrentando. Para tal, o Produto Interno Bruto (PIB) produzido por unidade de carbono terá que aumentar dez vezes até 2050. Uma intervenção neste cenário adverso é necessária no sentido de reduzir significativamente as emissões de CO₂ e a eficiência energética deverá assumir um papel fundamental na cadeia da energia, desde a produção até o consumo final.

A implementação de programas de eficiência energética (T6c) deverá ser a prioridade para desacelerar o aquecimento global, já que podem contribuir com dois terços da meta de redução de carbono até 2020.

Especialistas internacionais apontam que tecnologias inovadoras poderão contribuir significativamente para a redução das emissões de gases com efeitos de estufa, merecendo destaque tecnologias mais eficientes nas seguintes áreas: (i) veículos automotivos; (ii) climatização ambiental; (iii) edificações; e (iv) iluminação.

No Brasil, ainda não existe um programa nacional de eficiência energética como um todo, mas somente abordagens setoriais. O país vem desenvolvendo esforços para melhorar a eficiência energética dos seus processos desde meados da década de 80, quando foram criados dois principais programas nacionais: o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), da Eletrobrás, e o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural (Conpet) da Petrobras.

Embora outras iniciativas anteriores tivessem ocorrido, esses dois programas constituem a maior expressão do interesse do governo federal e uma manifestação favorável de se estabelecer uma política pública para a área de energia que incorporasse a necessidade de agir sobre o controle da demanda de energia. Na verdade, é mais razoável aceitar que os principais fatores que motivaram a criação dos programas de eficiência energética foram as fortes pressões ambientais internacionais que começaram a pesar sobre o Brasil e o “apagão” nacional do ano de 2001.

No Brasil foram promovidas iniciativas bem sucedidas com criação de leis, programas específicos de eficiência energética, regulamentos e mecanismos modernos e úteis no sentido de promover a introdução de melhores tecnologias e práticas para uso eficiente de energia. Lamentavelmente, a re-

³⁰ McKinsey & Co. The carbon productivity challenge: curbing climate change and sustaining economic growth. June 2008.



sultante final dos esforços desses quase 30 anos é modesta e frustrante, considerando-se o enorme potencial e as oportunidades perdidas no campo da eficiência energética.

No início da privatização de empresas do setor elétrico, foram colocadas cláusulas nos primeiros contratos de concessão sobre obrigações de investimentos em eficiência energética, mostrando a importância que o setor público conferiu ao tema. Isso se tornou regra a partir de 1998, quando a recém criada ANEEL estabeleceu uma determinação de investimento de 1% da receita operacional líquida das empresas de eletricidade em programas de Eficiência Energética e de Pesquisa e Desenvolvimento (Lei Número. 9.991 de 24/07/2000).

A partir desta Lei, o país nunca teve tantos recursos destinados a programas de eficiência energética e iniciou-se uma fase onde os recursos passaram a ser muito maiores que aqueles historicamente destinados a essas atividades. No biênio 2003/04 mais de R\$ 185 milhões foram aplicados pelas empresas enquanto que o Procel investiu somente R\$ 29 milhões em 2003. A partir de 2005 mais de R\$ 400 milhões têm sido investidos pelas empresas em programas de eficiência energética, o que é muito significativo.

São frágeis as avaliações do que foi economizado com todos esses investimentos. Os números apresentados pela ANEEL e pelas concessionárias não inspiram muita credibilidade. As concessionárias vivem um permanente conflito de interesse: como vão realizar bons programas de eficiência energética se são remuneradas pelas vendas de energia. Por outro lado, é mais prático para a ANEEL fiscalizar as despesas com os programas, que avaliar a eficácia dos mesmos, uma atividade muito específica e técnica, bastante diferente das atribuições usuais de um órgão regulador. Em resumo: é provável que se esteja gastando muito para se economizar pouca energia elétrica.

O racionamento de energia elétrica dos anos 2001-02 teve o mérito de motivar o país para as possibilidades e a busca de resultado das medidas de eficiência energética. Uma das importantes consequências foi ter desenterrado e melhorado um projeto de lei que tramitava há mais de dez anos no Congresso, transformando-o na Lei Número. 10.295, promulgada em 17/10/2001. Essa lei é conhecida como Lei de Eficiência Energética e tem como objetivo estabelecer índices de consumo máximo de equipamentos comercializados no país. Sua aplicação deverá melhorar continuamente a eficiência dos equipamentos elétricos usados pelos brasileiros no longo prazo, todavia, o progresso na sua implementação tem sido incompreensivelmente lento.

O Fundo Setorial CT-Energ, criado a partir do ano de 2001, é mais um exemplo de ações que favorecem o avanço da eficiência energética no Brasil. Este Fundo é destinado a financiar programas e

projetos na área de energia, especialmente na área de eficiência energética no uso final. A ênfase é na articulação entre os gastos diretos das empresas em P&D e a definição de um programa abrangente para enfrentar os desafios de longo prazo no setor, tais como fontes alternativas de energia com menores custos e melhor qualidade e redução do desperdício, além de estimular o aumento da competitividade da tecnologia industrial nacional.

O potencial de economia de energia pode ser avaliado pela eficiência média típica no uso da energia pelo setor de atividade, energético e uso final. A Tabela a seguir apresenta o potencial de economia de energia no Brasil.

Tabela 9.18: Potencial de economia de energia no Brasil

Potencial de economia	Descrição	Eficiência média (%)
Setor de atividade	Energético	76
	Industrial	71
	Público/comercial/agropecuário	54
	Residencial	45
	Transportes	40
Total	58	
Fonte energética	Eletricidade	77
	Óleo combustível	73
	Gás natural/gás/GLP	61
	Carvão vegetal/lenha/bagaço	55
	Gasolina/querosene/diesel/álcool	40
Total	58	
Uso final	Calor de processo	74
	Aquecimento direto	57
	Força motriz	51
	Outros	41
Total	58	

Fonte: Brasil. Ministério de Minas e Energia, 2005.



9.3.4. Energia eólica

A energia eólica (T6d) é a energia cinética do deslocamento de massas de ar (vento). Os ventos são causados pela associação do movimento de rotação da Terra com a radiação solar incidente gerando diferença de aquecimento entre o equador e os pólos. Fenômenos naturais que se repetem, por isso é considerada energia renovável. Devido a este fator, ventos das superfícies frias sopram dos pólos para o equador para substituírem o ar quente que sobe para a atmosfera superior em direção aos pólos.

O vento usado pelos geradores eólicos é o vento próximo à superfície terrestre. Esta energia é utilizada visando dois objetivos básicos: produção de energia mecânica para bombeamento de água ou produção de energia elétrica para utilização direta ou armazenamento em baterias.

A energia eólica apresenta como vantagens principais ser renovável e disponível em quase todos os locais do planeta. O vento em si é gratuito, porém a captura da sua energia exige um custo inicial relativamente alto devido à sua baixa densidade. O aproveitamento da energia eólica para geração de eletricidade, em escala industrial, compõe atualmente a matriz energética de 50 países, incluindo o Brasil. Em dezembro de 2008, estavam em operação em todo o mundo cerca de 200 mil turbinas eólio-elétricas, correspondendo a uma potência total instalada de 121.188 MW, e com capacidade de produção superior a 200 bilhões de quilowatts-hora por ano. No ano de 2008, apenas o mercado de aerogeradores teve o seu valor avaliado em US\$ 47,5 bilhões e uma expansão de 28,8 % na sua capacidade instalada.

No final de 2008, os EUA lideravam mundialmente o aproveitamento da energia eólica, com 25.170 MW de capacidade instalada, seguidos da Alemanha (23.903 MW) e da Espanha (16.740 MW). O Brasil ocupava a 24ª posição com 338,5 MW de capacidade instalada. A energia eólica é útil para o meio ambiente e cada vez mais ela se torna um importante fator na economia global. A indústria dos ventos já criou mais de 400 mil empregos ao redor do mundo. E se a crise econômica mundial não se agravar muito, teremos cada vez mais investimentos, já que os preços dos combustíveis fósseis estão cada vez mais altos e voláteis.

O desenvolvimento de aerogeradores modernos tem progredido no sentido de dois tipos básicos, caracterizados pela orientação do eixo de rotação da turbina em relação ao solo: turbina eólica de eixo horizontal (Horizontal Axis Wind Turbine – HAWT) e turbina eólica de eixo vertical (Vertical Axis Wind Turbine – VAWT). No aspecto comercial, as turbinas de eixo horizontal têm alcançado aceitação quase unânime (cerca de 95%), embora as pesquisas continuem visando o

aprimoramento dos equipamentos de eixo vertical, que vêm sendo utilizados principalmente em regiões de condições ambientais extremas

As turbinas de eixo vertical são mais simples em sua concepção e manutenção, principalmente por não necessitarem de mecanismo de direcionamento e terem o gerador elétrico instalado na altura do solo. Entretanto por seu rotor estar mais próximo do solo, notadamente as do tipo Darrieus, não aproveitaram a característica do gradiente vertical do vento, aumento da intensidade do vento com a altura.

Tendo em vista que as turbinas de eixo vertical ainda não atingiram um estágio tecnológico que inspire confiabilidade operacional, essa análise está voltada especificamente para as turbinas eólicas de eixo horizontal. Atualmente estão disponíveis comercialmente vários modelos desses aerogeradores, sendo os principais fabricantes de origem europeia, merecendo relevância às empresas Enercon, Vestas, NEG Micon e AN Windenergy. Os aerogeradores de eixo horizontal são classificados segundo a sua dimensão conforme dados da Tabela a seguir.

Tabela 9.19: Classificação dos aerogeradores de eixo horizontal pela dimensão

Tamanho	Diâmetro do rotor (m)	Potência nominal (kW)
Pequeno	Inferior a 12	Menor que 40
Médio	De 12 a 54	De 40 a 1.000
Grande	Superior a 45	Acima de 1.000

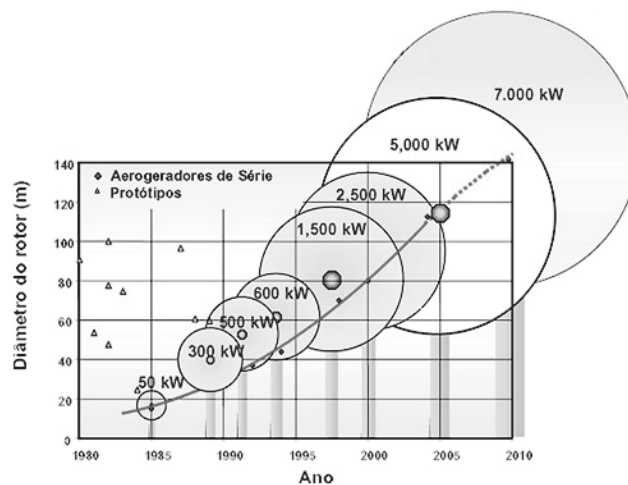
Em quinze anos o tamanho das turbinas eólicas evoluiu da dimensão de 12m de diâmetro e 15kW de potência nominal até a atual de 140 m e 7.000kW. Este desenvolvimento foi surpreendente em um período de tempo relativamente curto, especialmente após a experiência sob a sensação de fracasso do desenvolvimento de turbinas com potência superior a 1 megawatt no final dos anos 80 e início dos 90. O comércio de aerogeradores no mundo se desenvolveu rapidamente em tecnologia e tamanhos durante os últimos 15 anos, como mostra a Tabela 9.20 e ilustra a Figura 9.10.

**Tabela 9.20:** Evolução dos aerogeradores comerciais: 1985 - 2010

Ano	Diâmetro do rotor (m)	Potência nominal (kW)
1985	15	50
1989	30	300
1992	37	500
1994	46	600
1998	70	1.500
2005	110	5.000
2010	140	7.000

Fonte: Dewi, 2006³¹.

A Figura a seguir ilustra o impressionante desenvolvimento do tamanho e da potência de aerogeradores desde 1985.

**Figura 9.10:** Evolução dos aerogeradores comerciais: 1985 - 2010

Fonte: Dewi, 2006³².

³¹ German Wind Energy Institute.DEWI. Wind energy study 2006. Market assessment of the wind energy industry up to the year 2014. Hamburg: Dewi. 2006.

³² German Wind Energy Institute.DEWI. Wind energy study 2006. Market assessment of the wind energy industry up to the year 2014. Hamburg: Dewi. 2006.

O desenvolvimento de turbinas eólicas visando o aumento do tamanho prossegue em ritmo acelerado. Especialmente para aplicações no mar grandes aerogeradores, cerca de 7,0 MW de potência nominal e 140m de diâmetro de rotor, estão em fase de projeto e estarão prontos até o ano 2010.

Em nível mundial, os custos de produção de eletricidade via energia eólica são altamente dependentes do regime de ventos e do porte dos empreendimentos. Considerando esses parâmetros, os custos podem atingir as seguintes faixas de variação: (i) grandes empreendimentos: US\$ 35 a 60/MWh; (ii) médios empreendimentos: US\$ 45 a 80/MWh; e (iii) pequenos empreendimentos: US\$ 70 a 120/MWh. Embora seu custo de instalação esteja situado por volta dos US\$ 1.500.000 por MW de capacidade instalada, as variações nos regimes e fluxos dos ventos apresentam graus de incerteza maiores do que as variações da vazão d' água. Isso se reflete em fatores de capacidade de cerca de 35% contra 65% das hidroelétricas.

A tendência do desenvolvimento de aerogeradores no mundo é atingir a produção de máquinas de grande porte, funcionando com grande eficiência, para atender principalmente a exigência natural das concessionárias de energia elétrica de geração integrada de grandes blocos de energia.

A tecnologia dos aerogeradores consolidou o denominado conceito dinamarquês - marco no desenvolvimento de turbinas eólicas modernas. Sua concepção é caracterizada por um tipo de máquina de eixo horizontal, rotor up-wind de três pás, com cubo rígido e rotação constante, e que operam acopladas à rede elétrica com gerador assíncrono. O sistema de acionamento obedece a um ordenamento linear multiplicador de velocidade-freio-acoplamento gerador. A orientação da turbina é feita por um motor de acionamento; a limitação de potência é realizada através do efeito stall ou controle de passo; e a proteção contra tormentas por um freio aerodinâmico. Os aerogeradores do conceito dinamarquês tiveram a sua comprovada viabilidade técnica na Califórnia, nos EUA.

Os modelos mais recentes de aerogeradores lançados por alguns fabricantes no mercado confirmam diversas características do conceito dinamarquês, porém incorporam alguns novos aspectos, merecendo relevância: eliminação da caixa de engrenagens (tração direta rotor-gerador), rotor de velocidade variável e pás com perfil aerodinâmico da grande eficiência de conversão e operação mais silenciosa.

As vantagens dessas inovações são tão evidentes que deverão servir de referência para os demais fabricantes, sob o risco de tornarem-se obsoletos os seus produtos. No aerogerador de tração direta rotor-gerador, o número de peças mecânicas é sensivelmente reduzido, o funcionamento mais silencioso, o projeto da nascele muito simples e todo o óleo de lubrificação ou hidráulico pode ser evitado. Os aerogeradores de rotor com velocidade variável apresentam como principais vantagens:



maior produção de energia, cargas menores no rotor devido a rajadas, muito baixa emissão de ruídos em baixas velocidades e possibilidade de pequenas taxas de variação do passo.

A próxima Tabela apresenta os principais dados das usinas eólico-elétricas em operação no Brasil.

Tabela 9.21: Principais usinas eólico-elétricas em operação no Brasil

Usina	Potência (kW)	Proprietário	Município
Eólica de Prainha	10.000	Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda.	Aquiraz - CE
Eólica de Taiba	5.000	Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda.	São Gonçalo do Amarante - CE
Eólica-Elétrica Experimental do Morro do Camelinho	1.000	CEMIG Geração e Transmissão S.A.	Gouveia - MG
Eólio - Elétrica de Palmas	2.500	Centrais Eólicas do Paraná Ltda.	Palmas - PR
Eólica de Fernando de Noronha	225	Centro Brasileiro de Energia Eólica - FADE/UFPE.	Fernando de Noronha - PE
Parque Eólico de Beberibe	25.600	Eólica Beberibe S.A.	Beberibe - CE
Eólica do Mucuripe	2.400	Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda.	Fortaleza - CE
RN 15 - Rio do Fogo	49.300	Energias Renováveis do Brasil S.A.	Rio do Fogo - RN
Eólica de Bom Jardim	600	Parque Eólico de Santa Catarina Ltda.	Bom Jardim da Serra - SC
Foz do Rio Choró	25.200	SIIF Cinco Geração e Comercialização de Energia S.A.	Beberibe - CE
Eólica Olinda	225	Centro Brasileiro de Energia Eólica - FADE/UFPE.	Olinda - PE
Eólica Canoa Quebrada	10.500	Rosa dos Ventos Geração e Comercialização de Energia S.A.	Aracati - CE
Lagoa do Mato	3.230	Rosa dos Ventos Geração e Comercialização de Energia S.A.	Aracati - CE
Parque Eólico do Horizonte	4.800	Central Nacional de Energia Eólica Ltda.	Água Doce - SC
Eólica Paracuru	23.400	Eólica Paracuru Geração e Comercialização de Energia S.A.	Paracuru - CE

Usina	Potência (kW)	Proprietário	Município
Eólica Praias de Parajuru	28.804	Central Eólica Praia de Parajuru S.A.	Beberibe - CE
Pedra do Sal	18.000	Eólica Pedra do Sal S.A.	Parnaíba - PI
Macau	1.800	Petróleo Brasileiro S.A.	Macau - RN
Eólica Água Doce	9.000	Central Nacional de Energia Eólica Ltda.	Água Doce - SC
Parque Eólico de Osório	50.000	Ventos do Sul Energia S.A.	Osório - RS
Parque Eólico Sangradouro	50.000	Ventos do Sul Energia S.A.	Osório - RS
Taíba Albatroz	16.500	Bons Ventos Geradora de Energia S.A.	São Gonçalo do Amarante - CE
Parque Eólico dos Índios	50.000	Ventos do Sul Energia S.A.	Osório - RS
Millennium	10.200	SPE Millennium Central Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Presidente	4.500	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Camurim	4.500	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Albatroz	4.500	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Coelhos I	4.500	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Coelhos III	4.500	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Atlântica	4.500	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Caravela	4.500	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Coelhos II	4.500	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Coelhos IV	4.500	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Mataraca	4.500	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A.	Mataraca - PB
Total: 34 usinas	Potência total: 443.284 kW		

Fonte: ANEEL, 2009³³.

³³ Agência Nacional de Energia Elétrica. ANEEL. Banco de Informações de Geração. 2009. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: dez 2009.



9.3.5. Energia solar fotovoltaica

A conversão direta da luz solar em energia elétrica é realizada através do chamado efeito fotovoltaico (T6e), estudado por Becquerel desde 1839. É importante ressaltar que esse processo de conversão não depende do calor e, pelo contrário, o rendimento da célula fotovoltaica decresce quando a sua temperatura se eleva. Esse comportamento é explicado pelo fato de que os fótons da luz solar transferem sua energia diretamente aos elétrons sem a necessidade de uma etapa térmica intermediária.

O efeito fotovoltaico pode ser obtido em todos os materiais semicondutores, pois são inadequados os isolantes, por causa da sua baixa condutividade, e os metais, em decorrência da sua elevada concentração de elétrons, no escuro. Ele só ocorre quando existe uma barreira de potencial no semicondutor não iluminado, como a encontrada na interface entre duas áreas de dopagem diversa, isto é, onde dois tipos de “impurezas” foram introduzidas em concentrações inferiores a 1%. Se esse material é iluminado, as cargas elétricas criadas pela luz através do efeito fotocondutor serão separadas pela barreira em cargas positivas de um lado, e negativas do outro, possibilitando a geração de potência elétrica.

Atualmente, o silício é o mais importante material semicondutor usado na conversão fotovoltaica e também o material básico para toda a indústria eletrônica. As células fotovoltaicas da atualidade são produzidas a partir de silício monocristalino, policristalino ou amorfo.

Uma usina elétrica fotovoltaica, operando interligada à rede elétrica convencional, compõe-se basicamente do gerador solar e do subsistema condicionador de potência, que converte a saída do gerador em potência útil. A Figura a seguir mostra o diagrama de blocos de uma usina fotovoltaica interligada à rede elétrica.

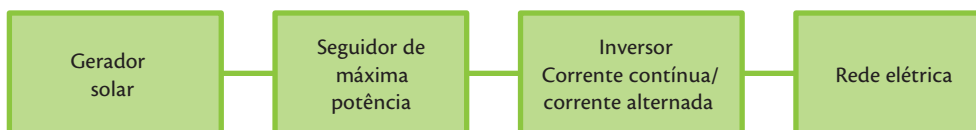


Figura 9.11: Diagrama de blocos de uma usina fotovoltaica interligada à rede elétrica

O gerador solar consiste de um arranjo elétrico em série e paralelo de módulos fotovoltaicos, montados em uma estrutura de sustentação, de forma a se obter a potência e a tensão nominal em corrente contínua requeridas. O módulo é formado por um conjunto de células fotovoltaicas interliga-

das e encapsuladas. Normalmente são incorporados diodos de potência no arranjo para proteção dos módulos contra sobre aquecimento e circulação interna de corrente.

O módulo comercial de silício monocristalino apresenta eficiência na faixa de 10 a 13 %, todavia poderão ser produzidos equipamentos que alcancem rendimento de 28% sob luz solar ordinária em condição AM 1.5 (espectro solar na superfície da terra com o sol elevado de 48,2° em relação à vertical do local), e de 34% sob concentração.

O módulo de silício policristalino apresenta eficiência um pouco inferior a do monocristalino, entretanto o potencial de menor custo de produção torna esta alternativa muito atraente do ponto de vista comercial, além da obtenção de células quadradas. As células quadradas possibilitam produzir módulos fotovoltaicos com um fator de ocupação de 100%, de forma compensar a redução de eficiência das células policristalinas.

Os módulos de silício mono e policristalino apresentam vida útil superior a 20 anos, ou seja, mantêm a condição original de produção de energia durante todo o período referido, porém possuem custo de produção elevado, como consequência do altíssimo grau de pureza exigido para o silício e das elevadas perdas desses materiais durante o processo de corte.

O silício amorfo apresenta-se como a mais importante alternativa para produção de células fotovoltaicas de baixo custo, pois requer uma quantidade muito menor de material por watt e permite a formação de células com grande área em processo automatizado. Os módulos comerciais de silício amorfo apresentam como principais desvantagens em relação aos mono e policristalinos a eficiência em torno de 9% e vida útil de 10 anos, pois são mais sensíveis ao processo de degradação.

A estrutura de sustentação dos módulos pode ser fixa ou móvel, através de moto-redutores que seguem o movimento do sol. O movimento é comandado por sensores ou tabelas de posição do sol, que sinalizam para dispositivos eletrônicos ou microcomputadores, e estes comandam o acionamento dos moto-redutores.

O subsistema condicionador de potência (Power Conditioning Subsystem - PCS) coleta a energia produzida pelo gerador solar na forma CC e, após o condicionamento, a transporta para a rede elétrica na forma CA. O PCS é composto de diversos dispositivos acoplados fisicamente com as funções de controlar o acionamento-desacionamento, ponto de operação do gerador solar, proteção do sistema, conversão de corrente contínua em alternada e sincronização com a rede elétrica. O controle do ponto de operação é exercido pelo seguidor de máxima potência, pois a saída de po-



tência de um gerador solar é sensivelmente influenciada pelo nível de insolação do local e temperatura de operação das células fotovoltaicas. O seguidor ajusta, a cada instante, a tensão e a corrente de operação, possibilitando que o gerador opere sempre no ponto de máxima potência.

O inversor é o componente do PCS que transforma a energia CC em AC, dissipando o mínimo de potência para reduzir perdas e formatando a onda com um baixo teor de harmônicos e em sincronismo com a rede. Atualmente, utilizam-se inversores comutados à linha e autocomutados. No primeiro tipo o processo de inversão é controlado pela tensão da rede e no autocomutado o controle é realizado por um sinal gerado no próprio inversor. O PCS possui um transformador de proteção que desacopla à parte CC da AC, e outro que eleva a tensão de saída para o nível da rede de distribuição. O PCS apresenta uma eficiência média em torno de 92%.

As centrais fotovoltaicas em operação na Califórnia, nos EUA, apresentam um fator de capacidade máximo anual (relação entre a potência média gerada e a potência nominal no período considerado) na faixa de 25% a 30%, e eficiência média global de conversão de 9 a 12%.

Os custos de investimentos e operacionais das usinas helioelétricas, apesar de ainda serem mais elevados do que os das usinas termo e hidroelétricas convencionais, apresentam tendência decrescente em razão dos seguintes fatores: (i) aumento de eficiência dos coletores e absorvedores solares, como consequência da melhoria do rendimento ótico e redução da emissividade; (ii) elevação da temperatura do fluido térmico possibilitando elevar a eficiência do conjunto turbina/gerador; (iii) aumento da capacidade instalada por central, traduzindo-se em redução dos custos de investimento por unidade de potência e de operação e manutenção; (iv) aperfeiçoamento dos equipamentos de controle, o que leva a uma sensível melhoria na relação custo-benefício; (v) incorporação de melhorias tecnológicas, tais como: eliminação do fluido térmico, armazenamento térmico eficiente, aperfeiçoamento do elemento de coleção da radiação e dos sistemas de seguimento da posição do sol; e (vi) melhoria da eficiência das células fotovoltaicas e redução nas suas perdas de produção.

A Tabela 9.22 apresenta dados comparativos das tecnologias para geração helioelétrica.

Tabela 9.22: Dados comparativos das tecnologias para geração helioelétrica

Tecnologia Parâmetro	Usina solar torre de potência	Usina solar calha parabólica	Piscina solar	Central fotovoltaica
Pais/ local	Espanha/Sevilha	EUA/Califórnia	Israel/ B Há' Árava	Portugal/Serpa
Potência da planta (MW)	11	340	5	11
Área do coletor (Ha)	7,5	120	25	32
Densidade de potência (KW/Ha)	1.500	2.800	200	350
Eficiência global anual (%)	14 a 19	14 a 18	2	9 a 12
Custo de investimento (US\$/KW)	1.100 a 4.800	2.890 a 4.500	4.000	6.500 a 7.500
Custo da energia gerada (US\$/MWh)	40 a 170	200 a 400	850	2.700 a 4.500

Fontes: Fraindenraich; Lyra, 1995; PSA, 1999; EC, 2009.



A Figura 9.12 mostra a evolução da capacidade fotovoltaica instalada no mundo expressa em 1000 MW e a curva decrescente de crescimento (%) ao longo do período.

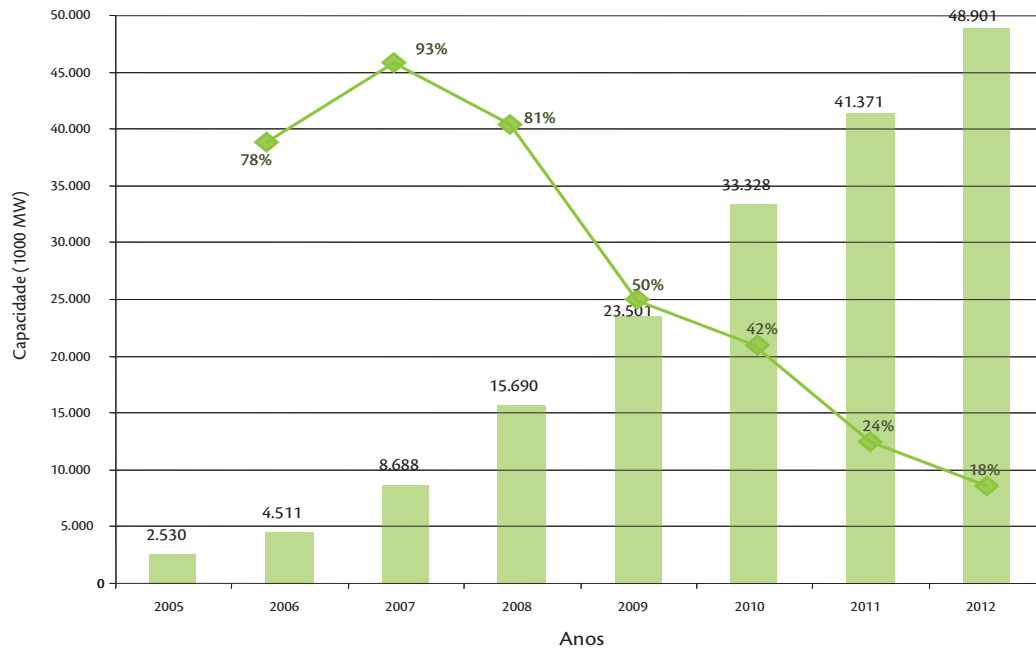


Figura 9.12: Evolução da capacidade fotovoltaica instalada no mundo

Fonte: IMS Research, 2009³⁴.

Os estudos e a experiência adquirida na utilização do recurso solar para geração de eletricidade em larga escala têm demonstrado que os impactos térmicos e climáticos associados a uma central fotovoltaica são mínimos. Os módulos reduzem a refletividade levemente, o que tende a elevar a temperatura do local, porém esse efeito é compensado pela conversão de boa parcela da luz solar em eletricidade, que normalmente irá produzir calor. Nesta tecnologia não existe emissão de resíduo qualquer espécie.

Com relação às centrais solares do tipo SEGS e ISCCS, os fabricantes fornecem dados que mostram um nível de emissão de NO_x e CO₂ bem abaixo dos normalmente verificados em plantas térmicas convencionais. Além disso, as emissões se dão principalmente à noite, quando os efeitos de poluição atmosférica são minimizados.

³⁴ IMS Research. YMR's Solar Cell Capacity, Shipment and Company Profile Database and Report. 2009.

A energia solar ainda não ocupa uma posição de destaque na matriz energética mundial, porque se apresenta sob forma descontínua, sujeita a alternâncias periódicas (dia-noite, inverno-verão) e casuais (céu claro-nebuloso), o que exige o uso de dispositivos de acumulação, com a consequente elevação dos custos. Algumas questões merecem destaque: (i) a energia solar é fruto de um longo processo de maturação, alternando sua existência com períodos de ampla difusão e períodos de falta de interesse e pouca aceitação. Não obstante os avanços e retrocessos mencionados, a ciência e tecnologia solar constituem hoje uma base de conhecimento, cujos fundamentos estão solidamente estabelecidos; (ii) a tecnologia solar só ingressou no campo dos energéticos em situações em que as perspectivas de uso de combustíveis fósseis começaram a declinar; (iii) no passado, a tecnologia solar foi muito mais o resultado de estímulos externos.

O cálculo tradicional do custo da energia elétrica gerada por fontes convencionais não incorpora a substancial parcela decorrente de impactos ambientais dessas fontes, devido ao fato de serem repassados para toda a sociedade. O aprofundamento das discussões sobre questões de energia e meio ambiente favorecerá uma utilização ampla e progressiva da energia solar.

O Brasil situa-se em segundo lugar no mundo quanto à energia solar incidente. A título de ilustração, o Estado do Ceará é caracterizado por insolação superior a 2.600 horas por ano, radiação solar global média anual de 5,4 kWh/m² por dia e uma área de 42.586 km² especialmente favorável ao aproveitamento dessa energia, aspectos que o credenciam como um dos mais interessantes locais do planeta para aplicações de energia solar. Vale ressaltar que as tecnologias para aproveitamento desse recurso vêm apresentando sensíveis reduções no seu custo de produção e já são competitivas com energias convencionais em aplicações específicas.

No tocante ao mercado potencial para a tecnologia termelétrica solar, somente na Região Nordeste existem cerca de 30,8 milhões de hectares de terras irrigáveis, distribuídas em 17 áreas prioritárias. Entretanto, devido a limitações no suprimento de energia elétrica poderão não ser aproveitadas em curto e médio prazos. A demanda potencial de eletricidade associada à irrigação é estimada de 1.500 MW a 3.000 MW, em função da tecnologia de irrigação utilizada e da distância à fonte. O potencial hidrelétrico da região Nordeste é da ordem de 26.700 MW, dos quais mais de 13.350 MW já são explorados em usinas hidrelétricas ao longo do Rio São Francisco.

A limitação do uso da hidreletricidade e a demanda potencial de energia elétrica para irrigar o semi-árido da região Nordeste justificam a idéia de associar a geração termelétrica solar a projetos de irrigação. Entre os inúmeros benefícios, destacam-se: crescimento local e desenvolvimento; implementação de benefícios sociais; oferta de novos empregos no campo, evitando o êxodo rural; mais água



poderá ser direcionada para irrigação ao invés de geração elétrica; e a hidreletricidade não usada para irrigação estará disponível para outras aplicações.

9.3.6. Energia hidráulica

A energia hidráulica (T6f) é uma fonte renovável e uma das formas indiretas da energia solar. Trata-se de um recurso energético simples de ser explorado e praticamente inesgotável, pois o potencial hidráulico depende da energia solar e da energia potencial gravitacional da terra. O aproveitamento do potencial hidráulico existente em um rio, através de hidrelétricas, permite a geração de eletricidade em larga escala, com baixo impacto ambiental e com eficiência da ordem de 80%. O potencial hidráulico é proporcionado pela vazão hidráulica e pela concentração dos desníveis presentes ao longo do curso de um rio. As principais partes de uma central hidroelétrica são: barragem, condutos de adução da água, casa das máquinas e canal ou galeria de restituição.

A barragem possui as seguintes finalidades: represar as águas do rio para permitir sua captação e desvio; e elevar o nível das águas a fim de proporcionar um desnível adequado a um aproveitamento hidroelétrico ou condições de navegabilidade ao rio; e formar o reservatório regulador de vazão. Já os condutos de adução da água destinam-se à condução da água da barragem para as turbinas. A casa de máquinas constitui o componente mais importante de uma hidroelétrica, na qual estão localizados os geradores elétricos e as turbinas. O canal ou galeria de restituição deve ser construído quando a restituição da água não puder ser feita diretamente ao leito do rio.

Esse é o panorama das possibilidades e desafios das tecnologias associadas às energias renováveis em foco, cujo estágio de desenvolvimento pode ser observado em seu conjunto nos mapas tecnológicos mundial e do Brasil, apresentados nas Seções 9.4 e 9.5, a seguir.

9.4. Mapa tecnológico no mundo: 2010-2030

A Figura 9.13 representa o mapa tecnológico do desenvolvimento do tema “energias renováveis” no mundo. Esse mapa permite comparar as trajetórias mundiais dos tópicos com as trajetórias no Brasil, tendo em vista a definição da estratégia tecnológica a ser seguida em nível nacional e o estabelecimento das prioridades da Rede Brasileira de Química Verde, no que se refere à geração de conhecimento e inovações neste tema.

Estágios	Desenvolvimento do tema “energias renováveis” no mundo		
	2010 - 2015	2016 - 2025	2026 - 2030
Comercialização	T6f	T6d T6e	
Produção/ processo	T6e T6b T6d		T6a
Inovação/ implantação			T6a
Scale-up		T6a	
Fase demonstração		T6a	
Fase piloto	T6a		
Pesquisa em bancada			

Figura 9.13: Mapa tecnológico do tema “energias renováveis” no mundo: 2010 – 2030

Notação: T6a – Produção biológica de hidrogênio; T6b – Biogás; T6c – Eficiência energética; T6d – Energia eólica; T6e – Energia solar fotovoltaica; T6f – Energia hidráulica.

As informações e dados constantes no panorama mundial do tema “energias renováveis” e as principais tendências tecnológicas que foram discutidas na Seção 9.3 deste Capítulo sustentam o exercício prospectivo das trajetórias tecnológicas de cinco dos seis tópicos tecnológicos desenhadas na Figura 9.1, considerando-se os períodos 2010-2015; 2016 -2025; e 2026 -2030. A trajetória do tópico “eficiência energética” (T6c) não foi desenhada no mapa em função de seu caráter transversal e também pelo fato de sua implantação ter componentes culturais e políticos, mais marcantes que os desafios tecnológicos per se.

As trajetórias tecnológicas preconizadas no mapa tecnológico da Figura 9.12, indicam que, em meados do período 2010-2015, o tópico “produção biológica de hidrogênio” (T6a) se encontrará na fase piloto e que seus resultados promissores levarão à fase de demonstração ainda neste período.



Já os tópicos “biogás” (T6b); “energia eólica” (T6d); “energia solar fotovoltaica” (T6e) estarão em fase de produção em larga escala, como indicado na Figura 9.12. O tópico “energia hidráulica” (T6f), também considerado maduro, encontra-se no estágio superior do mapa tecnológico.

No período do médio prazo (2016- 2025), destaca-se a trajetória do tópico “fotossíntese artificial” (T6a) que passará da fase de scale-up para implantação, prevendo-se a entrada em operação em larga escala no período seguinte (2026 -2030). Ainda no médio prazo, os tópicos “energia eólica” (T6d) e “energia solar fotovoltaica” (T6e) estarão no estágio superior do mapa como pode ser visualizado na Figura 9.12.

9.5. Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2010- 2030

A Figura 9.13 apresenta o mapa tecnológico do desenvolvimento do tema “energias renováveis” no Brasil, tendo em vista a análise das vantagens competitivas potenciais para o país, principalmente no curto e médio prazo em relação às trajetórias mundiais.

As principais tendências tecnológicas referentes ao tema e as informações e dados constantes no panorama nacional apresentado na Seção 9.3 deste Capítulo serviram de base para a construção do mapa tecnológico do tema “energias renováveis” no Brasil. Indicam-se as trajetórias de cinco dos seis tópicos tecnológicos desenhadas na Figura 9.13, considerando os períodos 2010-2015; 2016 -2025; e 2026 -2030. Pelos motivos apontados na seção anterior, a trajetória do tópico “novas tecnologias voltadas para eficiência energética” (T6c) também não foi traçada no mapa tecnológico do Brasil.

Com relação às trajetórias indicadas no mapa tecnológico da Figura 9.14, observa-se que, no início do período 2010-2015, o tópico “matérias-primas oleaginosas não-convencionais” (T6a) estará no estágio de pesquisa em bancada, um pouco mais atrasado do que a situação apontada no mapa mundial. Os resultados das pesquisas em bancada só deverão passar para a fase piloto no final deste período, devendo chegar à fase demonstração no médio prazo (2020) e ao escalonamento por volta de 2025. Inovações e produção em larga escala estão previstas para o longo prazo (2026 -2030).

O fato de “energia solar fotovoltaica” (T6e) ser uma tecnologia considerada madura no mundo irá se refletir na trajetória deste tópico no Brasil. Prevê-se que ainda no período 2010-2015 já esteja entrando em fase de produção em larga escala. Os tópicos “energia hidráulica” (T6f) e “energia eólica” (T6d), considerados maduros, estarão nos estágios superiores aqui também no mapa do Brasil.

Estágios	Desenvolvimento do tema “energias renováveis” no Brasil		
	2010- 2015	2016- 2025	2026- 2030
Comercialização	T6f	T6d	
Produção/ processo	T6b T6d		T6a
Inovação/ implantação	T6e		T6a
Scale-up			T6a
Fase demonstração		T6a	
Fase piloto		T6a	
Pesquisa em bancada	T6a T6e		

Figura 9.14: Mapa tecnológico do tema “energias renováveis” no Brasil: 2010 – 2030

Notação: T6a – Produção biológica de hidrogênio; T6b – Biogás; T6c – Eficiência energética; T6d – Energia eólica; T6e – Energia solar fotovoltaica; T6f – Energia hidráulica.

O tópico “biogás” (T6b), cuja tecnologia hoje está em fase de crescimento, iniciará seu ciclo de uso em larga escala por volta de 2012-2013.

A Figura 9.15 representa o portfólio tecnológico estratégico do tema “energias renováveis”, no qual os tópicos associados foram classificados e dispostos no gráfico segundo dois critérios: (i) sustentabilidade, calculada em função do impacto econômico e socioambiental das aplicações potenciais do tópico no período 2010-2030; e (ii) grau de esforço para atingir o posicionamento desenhado no mapa tecnológico do Brasil (Figura 9.13).

Ao se analisar o portfólio tecnológico da Figura 9.14, confirma-se o posicionamento estratégico indicado nos mapas tecnológicos (Figuras 9.12 e 9.13), particularmente no que tange ao tópico



“energia eólica” (T6d) e aos tópicos “energia hidráulica” (T6f) e “biogás” (T6b) que se situam nas posições “ideal” e “aceitável”, respectivamente.

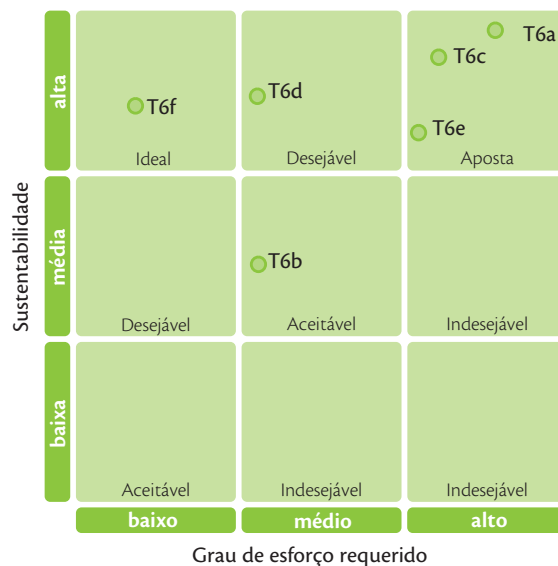


Figura 9.15: Portfolio tecnológico estratégico do tema “energias renováveis” no Brasil:2010 – 2030

Notação: T6a – Produção biológica de hidrogênio; T6b – Biogás; T6c – Eficiência energética; T6d – Energia eólica; T6e – Energia solar fotovoltaica; T6f – Energia hidráulica.

Cabe ressaltar, porém, que os tópicos com maior potencial e que representam as chamadas “apostas” estratégicas para o país são: “produção biológica de hidrogênio” (T6a); “eficiência energética” (T6c) e “energia solar fotovoltaica” (T6e).

9.6. Condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento do tema

Apontam-se nesta seção os principais condicionantes do futuro em relação ao desenvolvimento dos tópicos associados ao tema “energias renováveis” no Brasil, na perspectiva de correlacionar tais condicionantes, mais gerais, aos planos de ação de curto, médio e longo prazo que viabilização o

desenvolvimento dos referidos tópicos nos respectivos períodos. O Quadro 9.3 apresenta tais condicionantes no curto, médio e longo prazo.

Quadro 9.3: Condicionantes do futuro do desenvolvimento do tema “energias renováveis” no Brasil

Condicionantes do futuro do desenvolvimento do tema “energias renováveis” no Brasil		
2010 – 2015	2016 – 2025	2026 – 2030
<ul style="list-style-type: none"> • Aquecimento global e seus impactos; 	<ul style="list-style-type: none"> • Educação em todos os níveis; 	<ul style="list-style-type: none"> • Educação em todos os níveis;
<ul style="list-style-type: none"> • Legislação ambiental mais restritiva; 	<ul style="list-style-type: none"> • Políticas creditícias e tributárias para consolidar a base industrial brasileira; 	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos humanos em nível técnico e graduado e pós-graduado;
<ul style="list-style-type: none"> • Parcerias público-privadas; 	<ul style="list-style-type: none"> • Parcerias público-privadas; 	<ul style="list-style-type: none"> • Impactos da Química Verde e da Biotecnologia (estado-da-arte mundial);
<ul style="list-style-type: none"> • Formação de arranjos cooperativos de pesquisa, como redes, clusters e sistemas locais de inovação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Exigência de escala de produção; 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de energias limpas;
	<ul style="list-style-type: none"> • Produção mais limpa; 	<ul style="list-style-type: none"> • Percepção da sociedade quanto ao valor das tecnologias limpas.
	<ul style="list-style-type: none"> • Bioética 	

Reconhece-se hoje que o suprimento dos combustíveis convencionais – notadamente os fósseis – é limitado e insuficiente para sustentar a atual taxa de desenvolvimento industrial e populacional por muito tempo. A alternativa de exploração comercial de um conjunto mais amplo de fontes energéticas, principalmente as renováveis, apresenta-se como uma opção contemporânea de desenvolvimento socioeconômico sustentável. Nessa perspectiva foram identificados e selecionados seis tópicos de interesse para o Brasil, que foram objeto da visão de futuro do desenvolvimento do tema em um horizonte de 20 anos. Ressalta-se que os tópicos relativos a biocombustíveis (bioetanol e biodiesel) não foram aqui incluídos, por terem sido elencados na análise dos temas biorrefinarias e oleoquímica, respectivamente.

A visão de futuro construída para o Brasil, no que se refere à geração de novos conhecimentos e inovações no tema “energias renováveis” estará sujeita, portanto, aos condicionantes indicados no Quadro 9.3. Nesse contexto e visando a concretização das trajetórias tecnológicas preconizadas na Figura 9.13, as ações voltadas à estruturação e ao fortalecimento da capacidade nacional devem ser implementadas como prioridades estratégicas, como será devidamente abordado no Roadmap Estratégico da Rede Brasileira de Química Verde.