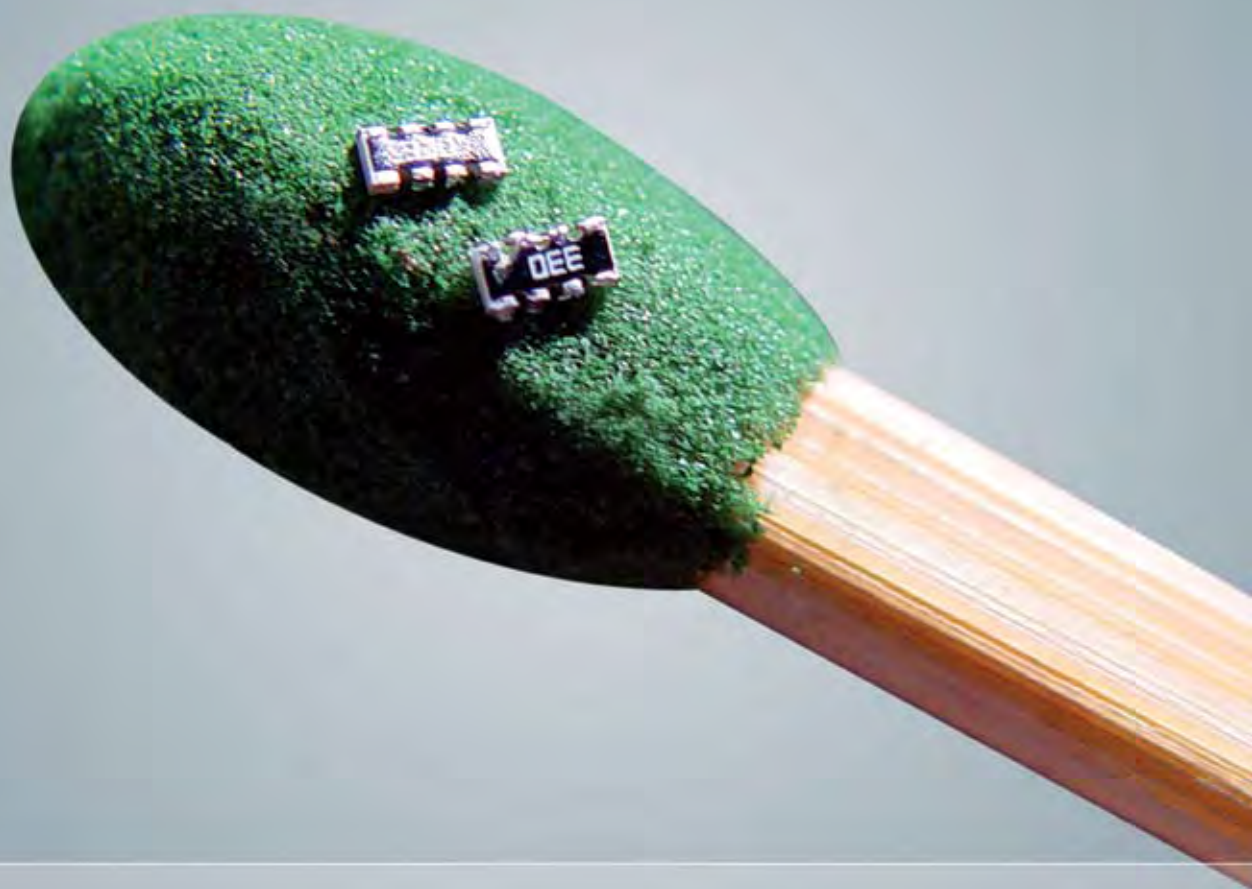


Estudo Prospectivo

Nanotecnologia



Estudo Prospectivo

Nanotecnologia

Série Cadernos da Indústria ABDI
Volume XX

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI)
Brasília – 2010

© 2010 – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI
Série Cadernos da Indústria ABDI – Volume XX
Qualquer parte desta obra pode ser reproduzida, desde que citada a fonte.
ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

Supervisão

Maria Luisa Campos Machado Leal – Diretora da ABDI

Equipe técnica da ABDI

Rosane Argou Marques – Coordenadora de Inovação
Marcia Oleskovicz – Coordenadora de Comunicação
Maria Olívia de Souza Brandão – Técnica
Karen Cristina Leal da Silva Ilogti – Técnica
Carolina Eufêmia Aquino de Sá – Assistente

Equipe técnica do CGEE

Carlos Augusto de Moraes – Coordenador geral
Maria Fátima Ludovico de Almeida – Coordenação Metodológica
Ernesto Costa de Paula – Apoio técnico
Ana Paula de Sena – Apoio técnico

Bernardo Godoy de Castro – Apoio técnico

Sabrina Ottani – Apoio técnico

Ana Maria Rocco – Nanoenergia

Anderson Stevens Leônidas Gomes – Nanofotônica

Claudio Radtke – Nanoeletrônica

Fernando Lázaro Freire Júnior – Nanomateriais

Luiz Henrique Caparelli Mattoso – Nanoambiente

Silvia Stanisçuaski Guterres – Nanobiotechnology

Valtencir Zucolotto – Nanobiotechnology

Fotos

Arquivo ABDI

Projeto Gráfico, Diagramação e Revisão de texto

Chá com Nozes Propaganda

Ficha Catalográfica

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL.

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
Estudo prospectivo nanotecnologia / Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. – Brasília: ABDI, 2010.

392 p. (Série Cadernos da indústria ABDI XX)

ISBN 978-85-61323-23-3

1. Nanotecnologia. 2. Nanociências. I. Título. II. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial.

CDU 620.3

ABDI

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

Setor Bancário Norte
Quadra 1 – Bloco B – Ed. CNC
70041-902 – Brasília – DF
Tel.: (61) 3962-8700
www.abdi.com.br

CGEE

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

Setor Bancário Norte
Quadra 2 – Bloco A – Ed. Corporate Financial Center
Sala 1102
70712-900 – Brasília – DF
www.cgge.org.br

República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva
Presidente

Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

Miguel Jorge
Ministro

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

Reginaldo Braga Arcuri
Presidente

Clayton Campanhola
Diretor

Maria Luisa Campos Machado Leal
Diretora

Rosane Argou Marques
Coordenadora de Inovação

Sumário :



Apresentação	30
Resumo executivo	34
Introdução	35
O estudo prospectivo	42
Nanomateriais	48
Nanoeletrônica	53
Nanofotônica	57
Nanobiotecnologia	61
Nanoenergia	65
Nanoambiente	70
A Agenda INI-Nanotecnologia	74
Nanomateriais	75
Nanoeletrônica	76
Nanofotônica	77
Nanobiotecnologia	78
Nanoenergia	79
Nanoambiente	81
Conclusões e recomendações	82
Referências bibliográficas	87
1. Introdução	90
1.1 Antecedentes	98
1.2 Objetivos e escopo	105
1.3 Estrutura do estudo prospectivo	110

2. Construindo a visão de futuro: 2008-2025.....	112
2.1 Metodologia de prospecção adotada.....	114
2.2 Representação dos mapas tecnológicos e estratégicos	117
2.3 Condicionantes do desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil: 2008-2025	122
3. Nanomateriais.....	129
3.1 Produção científica em nanomateriais: 1996-2006	130
3.2 Propriedade intelectual em nanomateriais: 1996-2006	136
3.3 Tópicos associados ao tema nanomateriais	141
3.4 Mapa tecnológico no mundo: 2008-2025	143
3.5 Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2008-2025.....	145
3.6 Mapa estratégico no Brasil: condicionantes de futuro e prioridades da Agenda INI-Nanotecnologia	150
4. Nanoeletrônica.....	154
4.1 Produção científica em nanoeletrônica: 1996-2006	156
4.2 Propriedade intelectual em nanoeletrônica: 1996-2006	163
4.3 Tópicos associados ao tema nanoeletrônica.....	166
4.4 Mapa tecnológico no mundo: 2008-2025.....	168
4.5 Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2008-2025.....	170
4.6 Mapa estratégico no Brasil: condicionantes de futuro e prioridades da Agenda INI-Nanotecnologia	173
5. Nanofotônica	178
5.1 Produção científica em nanofotônica: 1996-2006.....	180



5.2 Propriedade intelectual em nanofotônica: 1996-2006	186
5.3 Tópicos associados ao tema nanofotônica	190
5.4 Mapa tecnológico no mundo: 2008-2025	192
5.5 Mapa tecnológico do Brasil: oportunidades estratégicas no período 2008-2025.....	193
5.6 Mapa estratégico no Brasil: condicionantes de futuro e prioridades da Agenda INI-Nanotecnologia	198
6. Nanobiotecnologia	204
6.1 Produção científica em nanobiotecnologia: 1996-2006	206
6.2 Propriedade intelectual em nanobiotecnologia: 1996- 2006.....	213
6.3 Tópicos associados ao tema nanobiotecnologia	217
6.4 Mapa tecnológico no mundo: 2008-2025	219
6.5 Mapa tecnológico do Brasil: oportunidades estratégicas no período 2008-2025.....	221
6.6 Mapa estratégico no Brasil: condicionantes de futuro e prioridades da Agenda INI-Nanotecnologia	225
7. Nanoenergia	230
7.1 Produção científica em nanoenergia: 1996-2006.....	233
7.2 Propriedade intelectual em nanoenergia: 1996-2006.....	240
7.2.1 Células solares.....	241
7.2.2 Baterias e capacitores.....	243
7.2.3 Células a combustível	245
7.2.4 Nanofibras, nanotubos de carbono e outros inorgânicos.....	248

7.2.5 Nanocatalisadores.....	250
7.2.6 LEDs para iluminação	252
7.3 Tópicos associados ao tema nanoenergia	254
7.4 Mapa tecnológico no mundo:	
2008-2025	262
7.5 Mapa tecnológico do Brasil: oportunidades estratégicas no período 2008-2025.....	264
7.6 Mapa estratégico no Brasil: condicionantes de futuro e prioridades da Agenda INI-Nanotecnologia	270
8. Nanoambiente	276
8.1 Produção científica em nanoambiente: 1996-2006.....	278
8.2 Propriedade intelectual em nanoambiente: 2004-2008.....	285
8.3 Tópicos associados ao tema nanoambiente	289
8.4 Mapa tecnológico no mundo: 2008-2025.....	290
8.5 Mapa tecnológico do Brasil: oportunidades estratégicas no período 2008-2025.....	292
8.6 Mapa estratégico no Brasil: condicionantes de futuro e prioridades da Agenda INI-Nanotecnologia	296
9. Agenda INI-Nanotecnologia: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações mais promissoras	300
9.1 Nanomateriais.....	301
9.2 Nanoeletrônica.....	307
9.3 Nanofotônica	315
9.4 Nanobiotecnologia.....	322
9.5 Nanoenergia	328



9.6 Nanoambiente	335
10. Conclusões e recomendações	344
11. Referências bibliográficas.....	356
Anexo I – Participantes das Oficinas de Trabalho	
INI-Nanotecnologia	366
1.1 Participantes da 1ª Oficina de Trabalho INI-Nanotecnologia...	367
1.2 Participantes da 2ª Oficina de Trabalho INI-Nanotecnologia...	368
Anexo II – Instrumento para a consulta estruturada.....	370
Atividade 1 – Análise de Impactos e Condicionantes	371
Anexo III – Grupos de Pesquisa em Nanociência e	
Nanotecnologia Plataforma Lattes (2008)	378

Lista de tabelas e quadros :

Resumo executivo

Tabela RE-1. Escopo do estudo prospectivo: temas e tópicos associados 36

Quadro RE-1. Setores mais impactados pelas aplicações da nanotecnologia no Brasil 43

Quadro RE-2. Nanotecnologias de maior impacto no Brasil, por ordem de importância..... 43

Quadro RE-3. Condicionantes do futuro das aplicações de nanotecnologia no Brasil em curto, médio e longo prazos 44

Quadro RE-4. Tópicos associados ao tema nanomateriais e setores mais impactados 49

Quadro RE-5. Tópicos associados ao tema nanoeletrônica e setores mais impactados 54

Quadro RE-6. Tópicos associados ao tema nanofotônica e setores mais impactados 58

Quadro RE-7. Tópicos associados ao tema nanobiotecnologia e setores mais impactados 62

Quadro RE-8. Tópicos associados ao tema nanoenergia e setores mais impactados 66

Quadro RE-9. Tópicos associados ao tema nanoambiente e setores mais impactados 71

Quadro RE-10. Síntese geral do estudo prospectivo: base estratégica para a Agenda INI-Nanotecnologia 84

1. Introdução

Quadro 1.1 Marcos institucionais do desenvolvimento da nanotecnologia no país 104

Quadro 1.2 Temas estratégicos de nanotecnologia 108

Quadro 1.3 Dimensões da Agenda INI-Nanotecnologia 109

2. Construindo a visão de futuro: 2008-2025

Quadro 2.1 Setores mais impactados pelas aplicações da nanotecnologia no Brasil 122

Quadro 2.2 Nanotecnologias de maior impacto no Brasil, por ordem de importância..... 123

Quadro 2.3 Condicionantes do futuro das aplicações de nanotecnologia no Brasil no curto, médio e longo prazos ... 125

3. Nanomateriais

Tabela 3.1 Empresas com produção científica de destaque em nanomateriais: 1996-2006 134

Tabela 3.2 Universidades com atuação de destaque em nanomateriais: 1996-2006 135

Tabela 3.3 Número de patentes americanas em nanomateriais, por país: 1982-2006..... 137

Tabela 3.4 Número de patentes americanas e especialização em nanomateriais, por empresa: 1987-2006 138

Tabela 3.5 Número de patentes americanas e especialização em nanomateriais, por universidade 1987-2006 139

Quadro 3.1 Tópicos associados ao tema nanomateriais e setores mais impactados 141

Quadro 3.2 Condicionantes do futuro do desenvolvimento de nanomateriais no Brasil 150



4. Nanoeletrônica

Tabela 4.1 Empresas com produção científica de destaque em nanoeletrônica: 1996-2006 160

Tabela 4.2 Universidades com atuação de destaque em nanoeletrônica: 1996-2006 162

Tabela 4.3 Número de patentes americanas em nanoeletrônica, por país: 1982-2006..... 164

Tabela 4.4 Número de patentes americanas e especialização em nanoeletrônica, por universidade: 1987-2006 166

Quadro 4.1 Tópicos associados ao tema nanoeletrônica e setores mais impactados 167

Quadro 4.2 Condicionantes do futuro do desenvolvimento das aplicações de nanoeletrônica no Brasil..... 174

5. Nanofotônica

Tabela 5.1 Empresas com produção científica de destaque em nanofotônica: 1996-2006 184

Tabela 5.2 Universidades com atuação de destaque em nanofotônica: 1996-2006 185

Tabela 5.3 Número de patentes americanas em nanofotônica, por país: 1982-2006 188

Tabela 5.4 Número de patentes americanas e especialização em nanofotônica, por universidade: 1987-2006 190

Quadro 5.1 Tópicos associados ao tema nanofotônica e setores mais impactados 191

Quadro 5.2 Condicionantes do futuro do desenvolvimento de nanofotônica no Brasil..... 199

6. Nanobiotecnologia

Tabela 6.1 Empresas com produção científica de destaque em nanobiotecnologia: 1996-2006 210

Tabela 6.2 Universidades com atuação de destaque em nanobiotecnologia: 1996-2006 211

Tabela 6.3 Número de patentes americanas em nanobiotecnologia por país: 1982-2006 214

Tabela 6.4 Número de patentes americanas e especialização em nanobiotecnologia, por universidade: 1987-2006 216

Quadro 6.1 Tópicos associados ao tema nanobiotecnologia e setores mais impactados..... 218

Quadro 6.2 Condicionantes do futuro do desenvolvimento de nanobiotecnologia no Brasil 226

7. Nanoenergia

Tabela 7.1 Empresas com produção científica de destaque em nanoenergia: 1996-2006..... 238

Tabela 7.2 Universidades com atuação de destaque em nanoenergia: 1996-2006 239

Quadro 7.1 Tópicos associados ao tema nanoenergia e setores mais impactados 255

Quadro 7.2 Condicionantes do futuro do desenvolvimento das aplicações do tema nanoenergia no Brasil 271

8. Nanoambiente

Tabela 8.1 Universidades com atuação de destaque na área de nanoambiente: 1996-2006..... 282



Quadro 8.1 Tópicos associados ao tema nanoambiente e
setores mais impactados 289

Quadro 8.2 Condicionantes do futuro do desenvolvimento
do tema nanoambiente no Brasil 296

**9. Agenda INI-Nanotecnologia: ações de suporte ao
desenvolvimento das aplicações mais promissoras**

Quadro 9.1 Recursos humanos: ações de suporte ao
desenvolvimento das aplicações promissoras em
nanomateriais 302

Quadro 9.2 Infraestrutura: ações de suporte ao
desenvolvimento das aplicações promissoras em
nanomateriais 303

Quadro 9.3 Investimentos: ações de suporte ao
desenvolvimento das aplicações promissoras em
nanomateriais 304

Quadro 9.4 Marco regulatório: ações de suporte ao
desenvolvimento das aplicações promissoras em
nanomateriais 305

Quadro 9.5 Aspectos éticos e aceitação pela sociedade:
ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações
promissoras em nanomateriais 306

Quadro 9.6 Aspectos de mercado: ações de suporte
ao desenvolvimento das aplicações promissoras em
nanomateriais 307

Quadro 9.7 Recursos humanos: ações de suporte ao
desenvolvimento das aplicações promissoras em
nanoeletrônica 308

Quadro 9.8 Infraestrutura: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoeletrônica	309
Quadro 9.9 Investimentos: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoeletrônica	311
Quadro 9.10 Marco regulatório: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoeletrônica	312
Quadro 9.11 Aspectos éticos e aceitação pela sociedade: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoeletrônica	313
Quadro 9.12 Aspectos de mercado: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoeletrônica	314
Quadro 9.13 Recursos humanos: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanofotônica	315
Quadro 9.14 Infraestrutura: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanofotônica	316
Quadro 9.15 Investimentos: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanofotônica	318
Quadro 9.16 Marco regulatório: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanofotônica	319



Quadro 9.17 Aspectos éticos e aceitação pela sociedade:
ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações
promissoras em nanofotônica 321

Quadro 9.18 Aspectos de mercado: ações de suporte
ao desenvolvimento das aplicações promissoras em
nanofotônica 322

Quadro 9.19 Recursos humanos: ações de suporte ao
desenvolvimento das aplicações promissoras em
nanobiotecnologia 323

Quadro 9.20 Infraestrutura: ações de suporte ao
desenvolvimento das aplicações promissoras em
nanobiotecnologia 324

Quadro 9.21 Investimentos: ações de suporte ao
desenvolvimento das aplicações promissoras em
nanobiotecnologia 325

Quadro 9.22 Marco regulatório: ações de suporte ao
desenvolvimento das aplicações promissoras em
nanobiotecnologia 326

Quadro 9.23 Aspectos éticos e aceitação pela sociedade:
ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações
promissoras em nanobiotecnologia 327

Quadro 9.24 Aspectos de mercado: ações de suporte
ao desenvolvimento das aplicações promissoras em
nanobiotecnologia 328

Quadro 9.25 Recursos humanos: ações de suporte ao
desenvolvimento das aplicações promissoras em
nanoenergia..... 329

Quadro 9.26 Infraestrutura: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoenergia..... 330

Quadro 9.27 Investimentos: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoenergia..... 331

Quadro 9.28 Marco regulatório: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoenergia..... 333

Quadro 9.29 Aspectos éticos e aceitação pela sociedade: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoenergia..... 334

Quadro 9.30 Aspectos de mercado: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoenergia..... 335

Quadro 9.31 Recursos humanos: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoambiente..... 336

Quadro 9.32 Infraestrutura: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoambiente..... 338

Quadro 9.33 Investimentos: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoambiente..... 339

Quadro 9.34 Marco regulatório: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoambiente..... 340



Quadro 9.35 Aspectos éticos e aceitação pela sociedade:
ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações
promissoras em nanoambiente..... 341

Quadro 9.36 Aspectos de mercado: ações de suporte
ao desenvolvimento das aplicações promissoras em
nanoambiente..... 342

10. Conclusões e recomendações

Quadro 10.1 Síntese geral do estudo prospectivo: base
estratégica para a Agenda
INI-Nanotecnologia 351

**Anexo I – Participantes das Oficinas de Trabalho
INI-Nanotecnologia**

1.1 Participantes da 1ªOficina de Trabalho INI-Nanotecnologia 367

1.2 Participantes da 2ª Oficina de Trabalho INI-Nanotecnologia ... 368

**Anexo III – Grupos de Pesquisa em Nanociência e
Nanotecnologia Plataforma Lattes (2008) 378**

Lista de figuras :

Resumo executivo

Figura RE-1. Modelo conceitual de construção dos mapas tecnológicos e estratégicos..... 39

Figura RE-2. Representação dos mapas tecnológicos: Brasil e mundo 39

Figura RE-3. Representação dos mapas estratégicos: prioridades de ações de suporte 40

Figura RE-4. *Portfolio* tecnológico estratégico da INI-Nanotecnologia 46

1. Introdução

Figura 1.1 Cadeia de valor da nanotecnologia 97

Figura 1.2 Política de Desenvolvimento Produtivo em três níveis..... 103

Figura 1.3 Escopo do estudo prospectivo da INI-Nanotecnologia 108

2. Construindo a visão de futuro: 2008-2025

Figura 2.1 Modelo genérico de mapa tecnológico 116

Figura 2.2 Modelo conceitual de construção dos mapas tecnológicos e estratégicos..... 118

Figura 2.3 Representação dos mapas tecnológicos: Brasil e mundo..... 119

Figura 2.4 Representação dos mapas tecnológicos: espaços de decisão..... 120

Figura 2.5 Representação dos mapas estratégicos: prioridades de ações de suporte 121

Figura 2.6 Condicionantes de futuro do desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil 124

3. Nanomateriais

Figura 3.1 Evolução da produção científica em nanomateriais e posição relativa do tema em relação à produção científica em nanociência: 1996-2006..... 131

Figura 3.2 Países líderes em produção científica em nanomateriais: 1996-2006 132

Figura 3.3 Posição dos países em relação à produção científica em nanomateriais: 1997-2001 e 2002-2006..... 133

Figura 3.4 Evolução do número de patentes americanas em nanomateriais: 1981-2006 136

Figura 3.5 Mapa tecnológico de nanomateriais no mundo (2008-2025) 144

Figura 3.6 Mapa tecnológico de nanomateriais no Brasil (2008-2025) 146

Figura 3.7 *Portfolio* tecnológico estratégico de nanomateriais no Brasil (2008-2025) 147

Figura 3.8 Mapa estratégico de nanomateriais no Brasil (2008-2025) 151

4. Nanoeletrônica

Figura 4.1 Evolução da produção científica em nanoeletrônica e posição relativa do tema em relação à produção científica em nanociência: 1996-2006..... 157

Figura 4.2 Países líderes em produção científica em nanoeletrônica: 1996-2006 158

Figura 4.3 Posição dos países em relação à produção científica em nanoeletrônica: 1997-2001 e 2002-2006..... 159

Figura 4.4 Evolução do número de patentes americanas em nanoeletrônica: 1981-2006 163



Figura 4.5 <i>Portfolio</i> de propriedade intelectual em nanoeletrônica das empresas líderes: 1987-2006.....	165
Figura 4.6 Mapa tecnológico de nanoeletrônica no mundo (2008-2025)	169
Figura 4.7 Mapa tecnológico de nanoeletrônica no Brasil (2008-2025)	171
Figura 4.8 <i>Portfolio</i> tecnológico estratégico de nanoeletrônica no Brasil (2008-2025).....	172
Figura 4.9 Mapa estratégico de nanoeletrônica no Brasil (2008-2025)	175

5. Nanofotônica

Figura 5.1 Evolução da produção científica em nanofotônica e posição relativa do tema em relação à produção científica em nanociência: 1996-2006	180
Figura 5.2 Países líderes em produção científica em nanofotônica: 1996-2006	181
Figura 5.3 Posição dos países em relação à produção científica em nanofotônica: 1997-2001 e 2002-2006	183
Figura 5.4 Evolução do número de patentes americanas em nanofotônica: 1981-2006	187
Figura 5.5 <i>Portfolio</i> de propriedade intelectual em nanofotônica das empresas líderes: 1987-2006	189
Figura 5.6 Mapa tecnológico de nanofotônica no mundo (2008-2025)	192
Figura 5.7 Evolução da produção científica da Rede Nanofoton desde 2005	195

Figura 5.8 Mapa tecnológico de nanofotônica no Brasil
(2008-2025) 196

Figura 5.9 *Portfolio* tecnológico estratégico de nanofotônica
no Brasil (2008-2025) 197

Figura 5.10 Mapa estratégico de nanofotônica no Brasil
(2008-2025) 200

6. Nanobiotecnologia

Figura 6.1 Evolução da produção científica em
nanobiotecnologia e posição relativa do tema em relação
à produção científica em nanociência: 1996-2006..... 207

Figura 6.2 Países líderes em produção científica em
nanobiotecnologia: 1996-2006 208

Figura 6.3 Posição dos países em relação à produção científica
em nanobiotecnologia: 1997-2001 e 2002-2006 209

Figura 6.4 Evolução do número de patentes americanas em
nanobiotecnologia: 1981-2006 213

Figura 6.5 *Portfolio* de propriedade intelectual em
nanobiotecnologia das empresas líderes: 1987-2006..... 216

Figura 6.6 Mapa tecnológico da nanobiotecnologia no
mundo (2008-2025) 219

Figura 6.7 Mapa tecnológico de nanobiotecnologia no Brasil
(2008-2025) 221

Figura 6.8 *Portfolio* tecnológico estratégico da
nanobiotecnologia no Brasil (2008-2025) 223

Figura 6.9 Mapa estratégico da nanobiotecnologia no
Brasil (2008-2025) 227



7. Nanoenergia

Figura 7.1 Evolução da produção científica em nanoenergia e posição relativa do tema em relação à produção científica em nanociência: 1996-2006	234
Figura 7.2 Países líderes em produção científica em nanoenergia: 1996-2006	235
Figura 7.3 Posição dos países em relação à produção científica em nanoenergia: 1997-2001 e 2002-2006	237
Figura 7.4 Evolução do nº de patentes em células solares: 2004-2008	241
Figura 7.5 Patentes em células solares, classificadas por área de especialização: 2004-2008 (critério “top 10”)	242
Figura 7.6 Patentes em células solares, classificadas por depositante: 2004-2008 (critério “top 10”)	243
Figura 7.7 Evolução do nº de patentes em baterias e capacitores: 2004-2008	243
Figura 7.8 Patentes em baterias e capacitores, classificadas por área de especialização: 2004-2008 (critério “top 10”)	244
Figura 7.9 Patentes em baterias e capacitores, classificadas por depositante: 2004-2008 (critério “top 10”)	245
Figura 7.10 Evolução do nº de patentes em células a combustível: 2004-2008	246
Figura 7.11 Patentes em células a combustível, classificadas por área de especialização: 2004-2008 (critério “top 10”) ..	246
Figura 7.12 Patentes em células a combustível, classificadas por depositante: 2004-2008 (critério “top 10”)	247

Figura 7.13 Evolução do nº de patentes em nanofibras e nanotubos: 2004-2008	248
Figura 7.14 Patentes em nanofibras e nanotubos, classificadas por área de especialização: 2004-2008 (critério "top 10").....	249
Figura 7.15 Patentes em nanofibras e nanotubos, classificadas por depositante: 2004-2008 (critério "top 10").....	250
Figura 7.16 Evolução do nº de patentes em nanocatalisadores: 2004-2008	250
Figura 7.17 Patentes em nanocatalisadores, classificadas por área de especialização: 2004-2008 (critério "top 10").....	251
Figura 7.18 Patentes em nanofibras e nanotubos, classificadas por depositante: 2004-2008 (critério "top 10").....	252
Figura 7.19 Evolução do nº de patentes em LEDs para iluminação: 2004-2008.....	252
Figura 7.20 Patentes em LEDs para iluminação, classificadas por área de especialização: 2004-2008 (critério "top 10").....	253
Figura 7.21 Patentes em LEDs para iluminação, classificadas por depositante: 2004-2008 (critério "top 10")	254
Figura 7.22 Mapa tecnológico de nanoenergia no mundo (2008-2025)	262
Figura 7.23 Mapa tecnológico de nanoenergia no Brasil (2008-2025)	266

Figura 7.24 <i>Portfolio</i> tecnológico estratégico de nanoenergia no Brasil (2008-2025)	269

Figura 7.25 Mapa estratégico de nanoenergia no Brasil (2008-2025)	272

8. Nanoambiente

Figura 8.1 Evolução da produção científica sobre nanoambiente e posição relativa do tema em relação à produção científica em nanociência: 1996-2006.....	279

Figura 8.2 Países líderes em produção científica relacionada a nanoambiente: 1996-2006.....	280

Figura 8.3 Posição dos países em relação à produção científica em nanoambiente: 1997-2001 e 2002-2006	281

Figura 8.4 Produção científica em nanoambiente, classificadas por país: 2004-2008	284

Figura 8.5 Produção científica brasileira em nanoambiente, classificada por instituição: 2004-2008.....	285

Figura 8.6 Evolução do nº de patentes em nanoambiente: 2004-2008	286

Figura 8.7 Patentes em nanoambiente, classificadas por área de especialização: 2004-2008 (critério “ <i>top 10</i> ”)	287

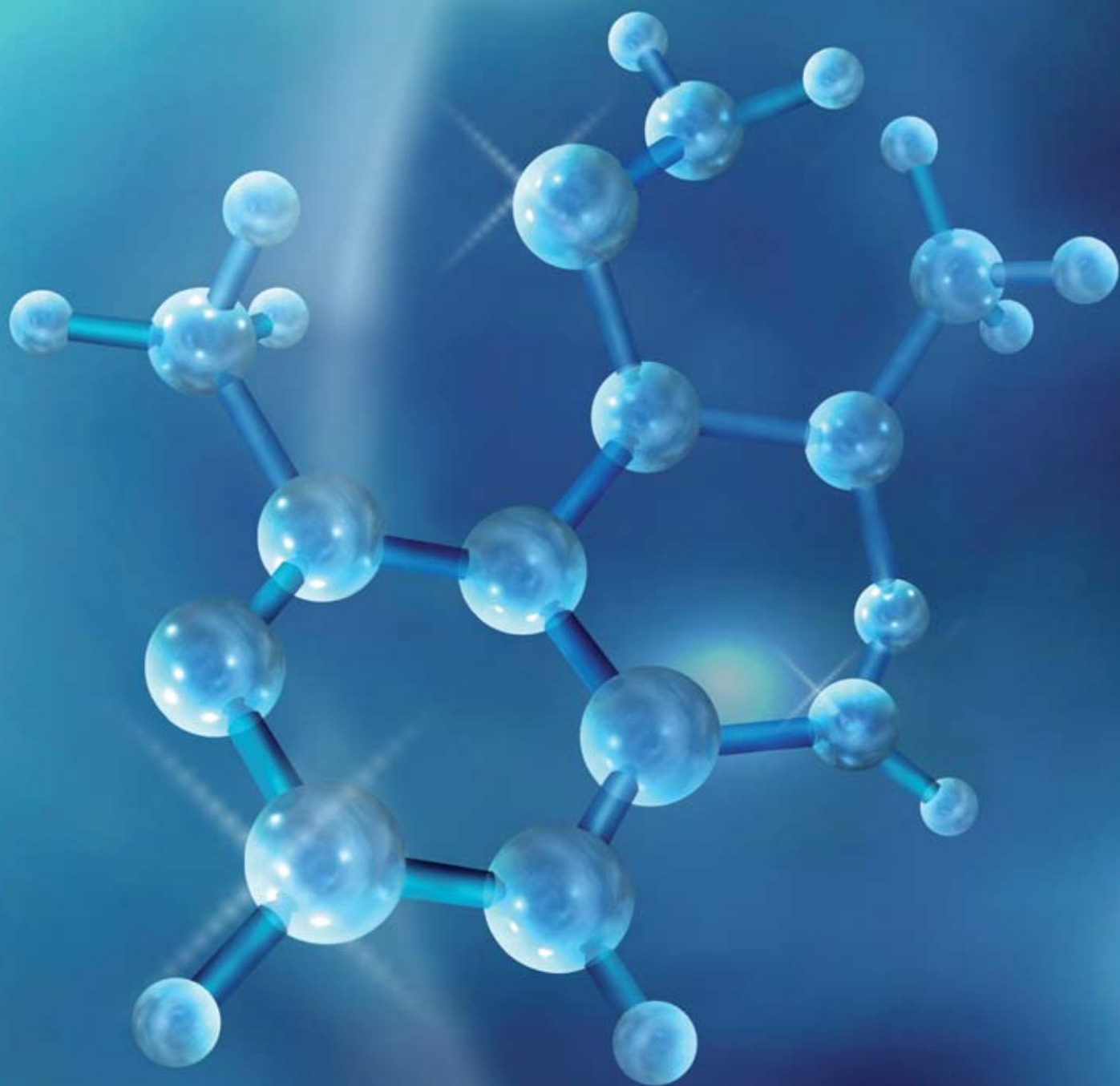
Figura 8.8 Patentes em nanoambiente, classificadas por depositante: 2004-2008 (critério “ <i>top 21</i> ”)	288

Figura 8.9 Mapa tecnológico de nanoambiente no mundo (2008-2025)	291

Figura 8.10 Mapa tecnológico de nanoambiente no Brasil (2008-2025)	293

Figura 8.11 <i>Portfolio</i> tecnológico estratégico de nanoambiente no Brasil (2008-2025)	294
Figura 8.12 Mapa estratégico de nanoambiente no Brasil (2008-2025)	298
10. Conclusões e recomendações	344
Figura 10.1 <i>Portfolio</i> tecnológico estratégico da INI-Nanotecnologia	349





Apresentação :

A nanotecnologia tem um significado especial para a inovação industrial. Entre tantas inovações convergentes, a nanociência e a nanotecnologia entram nessa longa aventura como uma alternativa para o estudo dos fenômenos e manipulação de materiais na escala atômica, molecular e macromolecular, quando as propriedades diferem significativamente daquelas observadas na escala macro e a realização do desenho, caracterização, produção de estruturas, peças e sistemas pelo controle do seu tamanho e forma na escala nanométrica, ou 10^{-9} .

Presente em vários produtos do nosso cotidiano, como nos protetores solares, em calçados esportivos, telefones celulares, tecidos, cosméticos, automóveis e medicamentos, entre outros, também é muito ativa em vários setores, tais como: energia, agropecuária, tratamento e remediação da água, cerâmica e revestimentos, materiais compostos, plásticos e polímeros, cosméticos, aeroespacial, naval e automotivo, siderurgia, odontológico, têxtil, cimento e concreto, microeletrônica, diagnóstico e prevenção de doenças e sistemas para direcionamento de medicamentos.

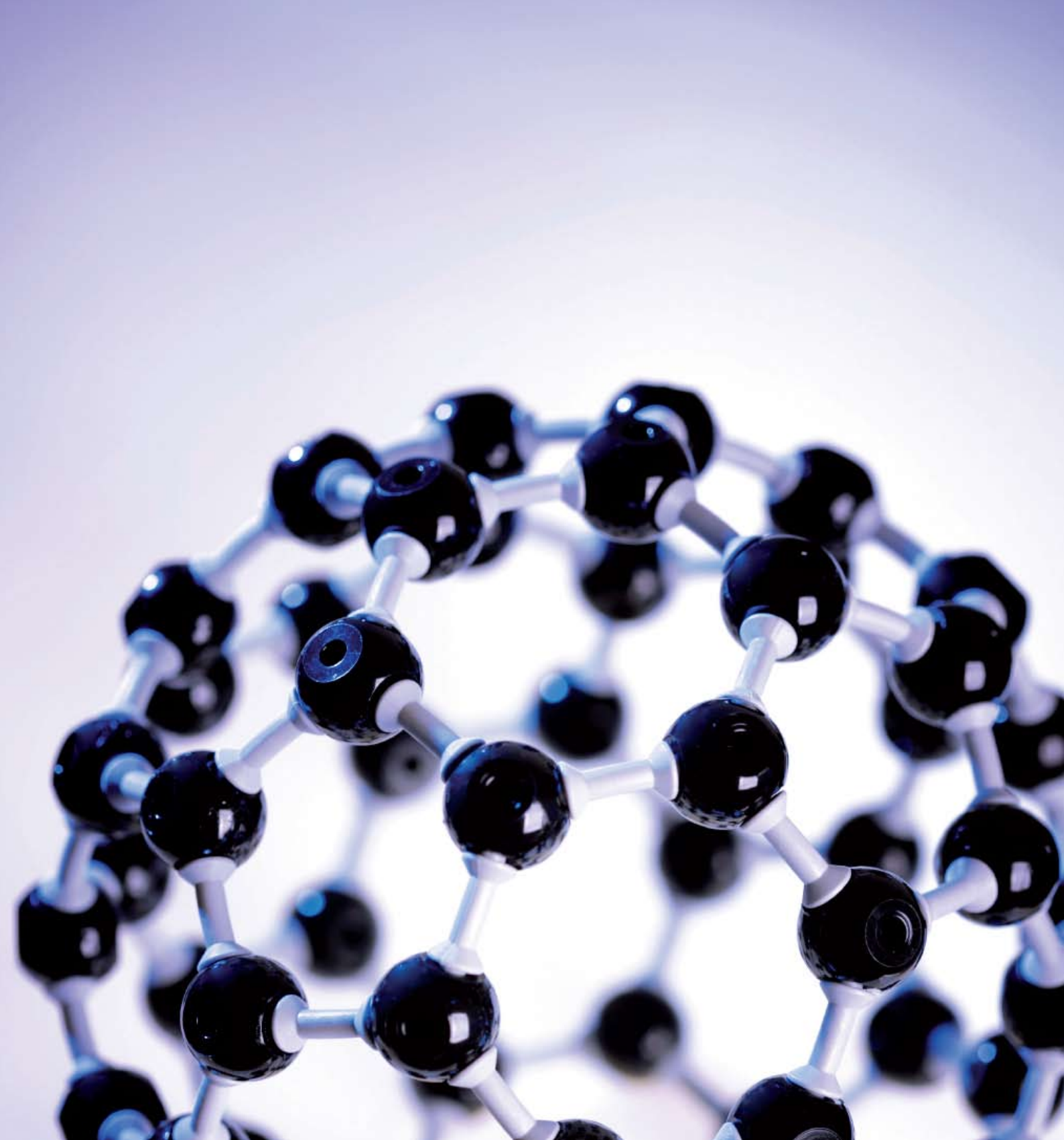
Diante da importância desta área tecnológica para o desenvolvimento industrial, com o objetivo de promover a articulação entre o desenvolvimento da nanotecnologia e as necessidades da indústria, A ABDI iniciou uma série de ações a partir de 2006. A Agência promoveu seminários, oficinas, reuniões, estudos e apóia a construção, execução e monitoramento do Programa de Nanotecnologia da Política de desenvolvimento Produtivo. Estas ações fazem parte da missão institucional da ABDI, no âmbito da Estratégia Nacional de Nanotecnologia.

Este Estudo Prospectivo resulta de contrato realizado pela ABDI com o CGEE que contempla, também, o Panorama da Nanotecnologia. Vários especialistas participaram de oficinas de trabalho realizadas para a construção do documento, representando a iniciativa privada, organismos

públicos, universidades e instituições de pesquisa de diferentes regiões do Brasil, que agradecemos imensamente a contribuição.

Além deste documento, a ABDI disponibiliza a Cartilha sobre Nanotecnologia e o boletim Nano em Foco com informações atualizadas sobre os lançamentos de produtos e processos, além de notícias sobre normas técnicas e legislação para nanotecnologia. A Cartilha e os boletins estão disponíveis no site da ABDI.





Resumo executivo :

Introdução

A Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) e o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), com o objetivo de subsidiar a Iniciativa Nacional de Inovação em Nanotecnologia (INI-Nanotecnologia) divulgam conjuntamente esta versão do Resumo Executivo do Estudo Prospectivo “Visão de Futuro da Nanotecnologia no Brasil: 2008-2025”.

A percepção de que a nanotecnologia e a nanociência (N&N) representam um novo patamar de conhecimento, com imensos e ainda não devidamente mensurados impactos científicos e econômicos, levou os países líderes, como os EUA, o Japão e os da Comunidade Europeia, a desenhar iniciativas nacionais ou regionais de incentivo e de financiamento privilegiado para a área, visando novos patamares de competitividade de suas empresas. Com financiamentos mais modestos, vários países em desenvolvimento também descobriram o grande potencial da N&N e, em função disso, constituíram suas iniciativas nacionais que poderão reverter em significativas melhorias da qualidade de vida de suas populações. Como exemplos de bons focos podem ser citados agricultura, energia, preservação ambiental, saúde pública, entre tantos outros.

Nos últimos anos, o Brasil tem avançado consistentemente no desenvolvimento de ações de muita importância em Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), com resultados concretos na produção científica, tecnológica e formação de recursos humanos em áreas consideradas estratégicas, particularmente em determinados campos de nanotecnologia e nanociência (N&N). Nesse contexto, o Estudo Prospectivo visa fornecer as bases para a estruturação de uma agenda com diretrizes e ações de curto, médio e longo prazos vinculadas ao desenvolvimento das aplicações de nanotecnologias apontadas como as mais promissoras e estratégicas para o Brasil. Seu escopo compreende seis temas de nanotecnologia e seis dimensões correspondentes aos focos de ações de suporte da INI-

Nanotecnologia, a saber: recursos humanos, infraestrutura, investimentos, marco regulatório, aspectos éticos e aspectos de mercado.

Os seis temas de nanotecnologia – nanomateriais, nanoeletrônica, nanofotônica, nanobiotecnologia, nanoenergia e nanoambiente, foram desdobrados em tópicos, perfazendo um total de 49 tópicos associados, como mostrado a seguir.

Tabela RE-1. Escopo do estudo prospectivo: temas e tópicos associados

Tema	Tópicos	Nº
Nanomateriais	T1a – Nanomateriais estruturais. T1b¹ – Nanofios e nanotubos. T1b² – Nanopartículas. T1b³ – Nanobjetos replicando a natureza. T1c¹ – Nanomateriais semicondutores e magnéticos. T1c² – Nanomateriais além da tecnologia do silício. T1d – Revestimentos nanoestruturados. T1e – Nanomateriais funcionais.	8
Nanoeletrônica	T2a¹ – Dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com incorporação de nanomateriais. T2a² – <i>Vacuum microelectronics</i> com nanotubos. T2a³ – Células solares com nanocompósitos e <i>displays</i> OLEDs com nanodispositivos. T2b – NEMS e atuadores. T2c¹ – Nanodispositivos: tecnologias <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i> . T2c² – Nanodispositivos: tecnologias <i>roll-to-roll</i> . T2c³ – Nanodispositivos: integração de tecnologias <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i> . T2d – Dispositivos convencionais à base de materiais nanoestruturados e suas arquiteturas.	8
Nanofotônica	T3a – <i>Displays</i> . T3b – LEDS orgânicos (computado com T5f²)*. T3c – LEDS inorgânicos (computado com T5f¹)*. T3d – Aplicações de nanofotônica em dados e telecomunicações. T3e – Outros dispositivos optoeletrônicos: optoeletrônica de consumo. T3f¹ – Células solares: <i>quantum dots</i> e heterojunção (computado com T5a)*. T3f² – Células solares: poliméricas de pequenas moléculas (computado com T5a)*. T3g¹ – Sensores fotônicos: plasmônicos. T3g² – Sensores fotônicos: nanopartículas unimoleculares fluorescentes.	9*

continua...



Continuação Tabela RE-1

Tema	Tópicos	Nº
Nanobiotecnologia	T4a – Materiais nanoestruturados biocompatíveis. T4b¹ – Sistemas de entrega e liberação controlada de fármacos. T4b² – Sistemas de entrega e liberação controlada de cosméticos. T4c – Biossensores. T4d – Imageamento molecular. T4e – Materiais nanoestruturados para aplicação em agricultura. T4f – Revestimentos e filmes biofuncionais. T4g – Nanorrobôs.	8
Nanoenergia	T5a – Células solares orgânicas e inorgânicas (computado com T3f¹ e T3f²)**. T5b – Baterias e capacitores. T5c¹ – Células a combustível: óxido sólido. T5c² – Células a combustível: PEM. T5d – Nanofibras e nanotubos de carbono com aplicações em energia. T5e – Nanocatalisadores. T5f¹ – LEDS inorgânicos para iluminação (computado com T3c)**. T5f² – LEDS orgânicos para iluminação (computado com T3b **).	8**
Nanoambiente	T6a – Nanossensores para aplicações ambientais. T6b¹ – Membranas e filtros para gases. T6b² – Membranas e filtros para líquidos orgânicos. T6c – Nanomateriais para controle microbiano em meio ambiente, alimentos e bioprocessos. T6d – Nanodispositivos para tratamento de água e resíduos. T6e¹ – Nanomateriais com atividade catalítica para biocombustíveis e gás natural. T6e² – Nanomateriais com atividade catalítica: consolidação da tecnologia. T6f – Técnicas de monitoramento e diagnóstico de nanomateriais. T6g – Sistemas de entrega e liberação controlada de nutrientes e defensivos agrícolas. T6h – Nanomateriais de fontes renováveis ou biodegradáveis. T6i – Análise do ciclo de vida de nanomateriais.	11
Total		49

Notas: (*) e (**) computados juntos os tópicos: T3b e T5f²; T3c e T5f¹; T5a, T3f¹ e T3f².

Fonte: CGEE (2008)

Cabe ressaltar que, como ponto de partida, foram analisados 38 tópicos, porém à medida que as análises prospectivas avançaram, houve a necessidade de um segundo desdobramento, em função de graus diferenciados de maturidade tecnológica ou de impacto econômico, social e ambiental de 11 tópicos do conjunto inicial.

Os 49 tópicos tecnológicos mostrados na Tabela RE-1 foram avaliados com o auxílio de ferramentas avançadas de construção de mapas tecnológicos, mapas estratégicos e *portfolios* tecnológicos. A metodologia de prospecção contemplou as seguintes etapas:

1. definição dos tópicos a serem estudados, com base na análise detalhada de relatórios do CGEE sobre nanotecnologia^{1,2} e referenciais externos selecionados³;
2. consulta estruturada presencial para as questões gerais sobre o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil, com foco nos seis temas selecionados;
3. construção coletiva da visão de futuro, compreendendo o desenho dos mapas tecnológicos e estratégicos dos seis temas, com indicação das aplicações mais promissoras;
4. proposição de ações que integrarão a Agenda INI-Nanotecnologia.

Em particular para a etapa 3 – construção coletiva da visão de futuro, utilizou-se o modelo conceitual proposto por Phaal *et al.*⁴ para orientar os desenhos dos mapas tecnológicos e estratégicos apresentados no estudo prospectivo.

As Figuras a seguir mostram a representação dos mapas tecnológicos e estratégicos desenvolvidos no estudo prospectivo.



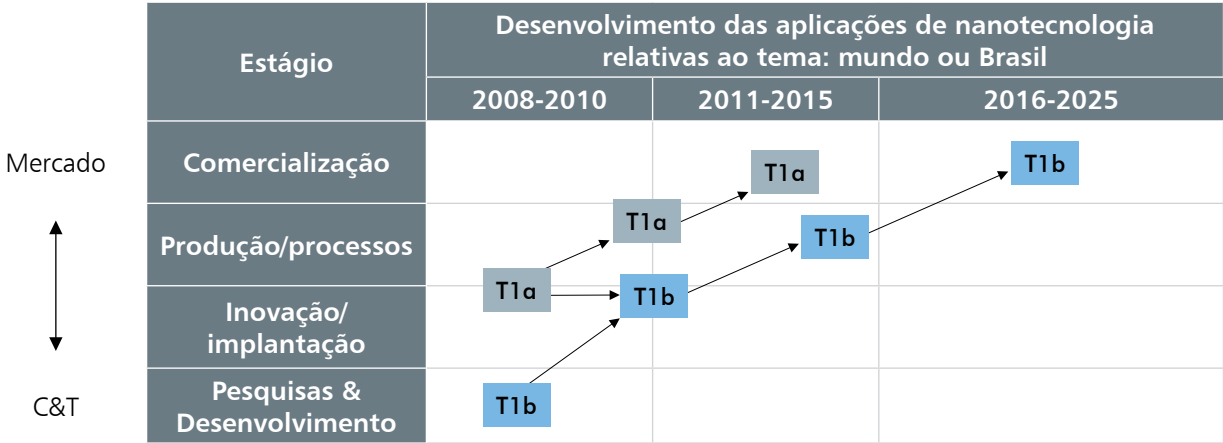
Figura RE-1. Modelo conceitual de construção dos mapas tecnológicos e estratégicos

	Estágio	Desenvolvimento das aplicações de nanotecnologia relativas ao tema		
		2008-2010	2011-2015	2016-2025
Mercado ↕ C&T	Comercialização	Capacidade de comercialização em larga escala no horizonte de tempo considerado.		
	Produção/processos	Produção em larga escala, com incorporação da tecnologia em questão no horizonte de tempo considerado.		
	Inovação/implantação	Capacidade do setor produtivo de incorporar os resultados de P&D em novos processos, produtos e serviços a serem postos no mercado no período considerado.		
	Pesquisas & Desenvolvimento	Capacidade de desenvolvimento científico e tecnológico no período considerado.		

Fonte: CGEE (2008)

Na sequência, apresenta-se o esquema do mapa tecnológico (Brasil ou mundo), no qual devem ser plotados os tópicos associados a um determinado tema. Os tópicos são indicados com referências alfanuméricas e suas trajetórias tecnológicas e de mercado desenhadas durante o exercício prospectivo, conforme a evolução esperada ao longo do tempo.

Figura RE-2. Representação dos mapas tecnológicos: Brasil e mundo

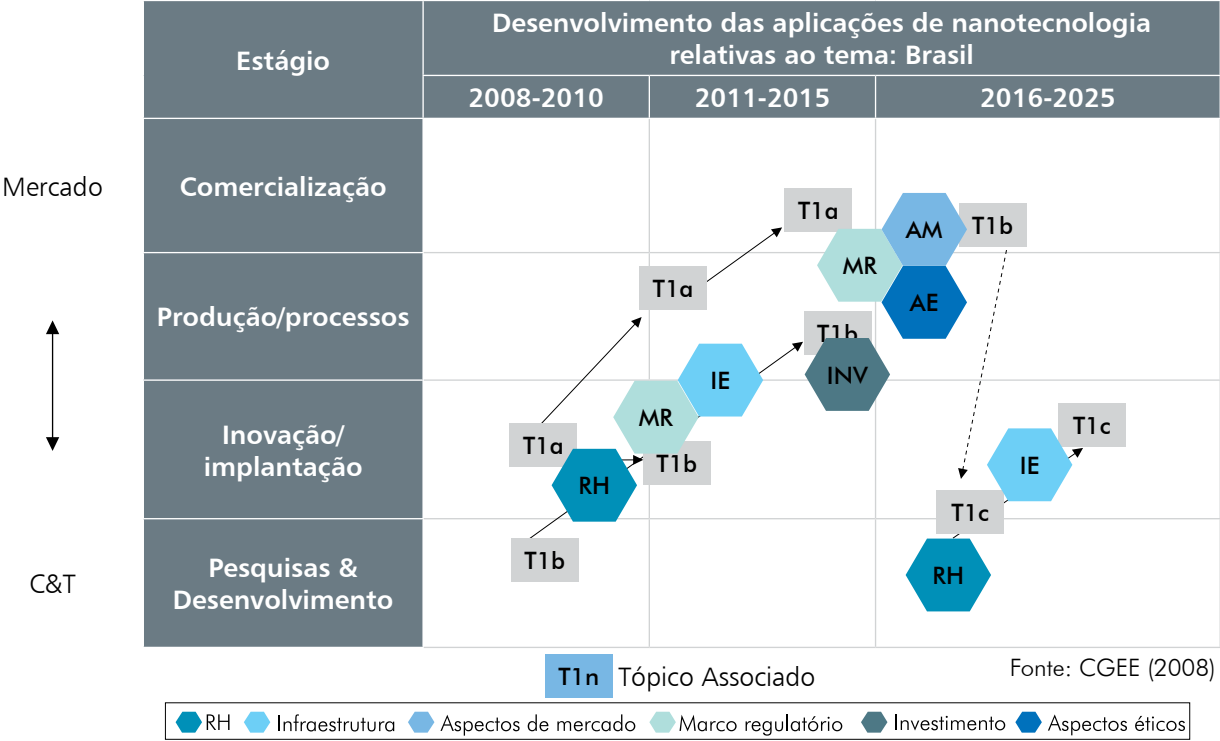


Fonte: Metodologia CGEE

T1n Tópico Associado

O mapa estratégico é construído com base no desenho do mapa tecnológico como mostrado a seguir. Particularmente no mapa tecnológico do Brasil, devem ser indicados diretamente no mapa os espaços para tomadas de decisão em relação a gargalos ou aproveitamento de oportunidades tecnológicas e de mercado para o país. A partir dessas indicações, o mapa estratégico é construído e o exercício prospectivo prevê a indicação naquele mapa dos pontos, nos quais serão necessárias ações de suporte à concretização da visão de futuro representada pelas trajetórias dos tópicos em análise. Esses pontos são representados por hexágonos em cores, correspondentes a cada uma das dimensões da INI-Nanotecnologia, conforme representado na Figura RE-3. Vale destacar que os gargalos e respectivos hexágonos que indicam a necessidade de uma ação de suporte referem-se às seis dimensões da INI-Nanotecnologia: recursos humanos, infraestrutura física, investimentos, marco regulatório, aspectos éticos e de aceitação pela sociedade e aspectos de mercado.

Figura RE-3. Representação dos mapas estratégicos: prioridades de ações de suporte



Cabe ressaltar um diferencial da metodologia adotada neste estudo prospectivo, o qual impacta diretamente a formulação da Agenda INI-Nanotecnologia. Os mapas estratégicos, via de regra, enfatizam ações e diretrizes vinculadas a uma determinada visão de futuro, que são representadas ao longo da linha do tempo em grafos, partindo-se de uma situação inicial até a situação desejada. No Estudo Prospectivo, *as ações e diretrizes que comporão a Agenda INI-Nanotecnologia vinculam-se diretamente aos tópicos tecnológicos e suas trajetórias em cada tema, com a indicação dos estágios em que os mesmos se encontram nos respectivos mapas tecnológicos.*

Os *portfolios tecnológicos* estratégicos desenvolvidos para cada tema selecionado permitiram identificar as aplicações mais promissoras, pela classificação dos tópicos segundo dois critérios: (i) *sustentabilidade*, calculada em função do impacto econômico e socioambiental das aplicações futuras; (ii) *grau de esforço* para atingir o posicionamento desenhado no mapa tecnológico do Brasil, que reflete a existência de barreiras, incertezas e riscos tecnológicos e comerciais.

Desse processo estruturado de análise, destacaram-se no Estudo Prospectivo aquelas aplicações consideradas estratégicas para o país em quatro níveis: (a) *"apostas"*, referentes a tópicos que foram classificados como de alta sustentabilidade e cujos desenvolvimentos requerem alto grau de esforço, na grande maioria dos casos devido ao estágio embrionário em que se encontram; (b) *"situação ideal"*, quando os tópicos são de alta sustentabilidade e seus desenvolvimentos requerem menor esforço, em termos comparativos; (c) *"situação desejável"*, quando os tópicos são de alta sustentabilidade e seus desenvolvimentos irão exigir um esforço médio; e (d) *"situação aceitável"*, quando os tópicos são de média sustentabilidade e seus desenvolvimentos irão exigir um esforço médio, na maioria dos casos por meio de parcerias e de cooperação internacional.

Finalmente, cabe ressaltar que o Estudo Prospectivo reúne os resultados de um esforço coletivo, envolvendo cerca de 60 representantes de instituições acadêmicas, de centros de P&D, da indústria e do governo que atuam diretamente nos campos da nanociência e da nanotecnologia. Consolidou-se dessa forma, com o comprometimento de todos, a Agenda que servirá de base para as etapas posteriores de implantação da INI-Nanotecnologia.

O estudo prospectivo

Apresentam-se, a seguir, os principais resultados do Estudo Prospectivo. Inicialmente, indicam-se os setores mais impactados pelas aplicações da Nanotecnologia e os períodos nos quais os impactos das nanotecnologias serão percebidos com maior intensidade, conforme Quadro RE-1. O setor de fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações foi considerado o mais impactado e na segunda e terceira posições, situam-se o setor de medicina e saúde e o setor de higiene, perfumaria e cosméticos, respectivamente. O Quadro RE-2 apresenta as nanotecnologias de maior impacto para cada setor apontado no Quadro RE-1, por ordem de importância. Na sequência, apontam-se os condicionantes do futuro desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil, por ordem de importância e por período analisado: 2008-2010; 2011-2015; e 2016-2025.

Mostra-se, em seguida, a representação geral do *portfolio* tecnológico estratégico da INI-Nanotecnologia, com a distribuição quantitativa dos 49 tópicos em três níveis de posicionamento para a tomada de decisão: apostas, situação desejável e situação ideal. Mais adiante, apresentam-se a evolução dos tópicos tecnológicos de cada tema nos diversos estágios do ciclo de inovação – de P&D à comercialização, e uma síntese das ações recomendadas pelos especialistas durante as Oficinas de Trabalho realizadas no segundo semestre de 2008.



Quadro RE-1. Setores mais impactados pelas aplicações da nanotecnologia no Brasil

Setor	Horizonte temporal
Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações	2011-2015
Medicina e saúde	2011-2015
Higiene, perfumaria e cosméticos	2008-2010
Petróleo, gás natural e petroquímica	2011-2015
Aeronáutico	2011-2015
Biocombustíveis	3 períodos: empate
Plásticos	2011-2015
Meio ambiente	2011-2015
Agroindústrias	2008-2010

Fonte: CGEE (2008)

Para a maioria dos setores analisados, observa-se que os impactos da nanotecnologia serão mais fortemente percebidos no período 2011-2015.

Quadro RE-2. Nanotecnologias de maior impacto no Brasil, por ordem de importância

Setores, por ordem de impacto	Nanotecnologias de maior impacto, por ordem de importância
Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações	Nanoeletrônica, nanofotônica, nanomateriais, nanoenergia e nanobiotecnologia
Medicina e saúde	Nanobiotecnologia, nanomateriais, nanofotônica e nanoeletrônica
Higiene, perfumaria e cosméticos	Nanobiotecnologia, nanomateriais, nanoambiente e nanofotônica
Petróleo, gás natural e petroquímica	Nanomateriais, nanoambiente, nanoenergia, nanoeletrônica e nanobiotecnologia
Aeronáutico	Nanomateriais, nanoeletrônica, nanoenergia, nanofotônica e nanoambiente
Biocombustíveis	Nanobiotecnologia, nanoambiente, nanoenergia, nanomateriais e nanoeletrônica
Plásticos	Nanomateriais, nanoambiente, nanobiotecnologia e nanoeletrônica
Meio ambiente	Nanobiotecnologia, nanoambiente, nanomateriais e nanoenergia
Agroindústrias	Nanobiotecnologia e nanoambiente

Fonte: CGEE (2008)

Em função do potencial de aplicações da nanotecnologia e da identificação dos gargalos existentes e previstos nos próximos anos, aponta-se para cada período um conjunto diferenciado de condicionantes por ordem de importância (Quadro RE-3).

Quadro RE-3. Condicionantes do futuro das aplicações de nanotecnologia no Brasil em curto, médio e longo prazos

Condicionantes do futuro do desenvolvimento das aplicações da nanotecnologia no Brasil		
2008-2010	2011-2015	2016-2025
• Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • Educação em todos os níveis. • Continuidade da nanotecnologia como prioridade do estado (CT&I e política industrial). • RH em nível técnico e graduado. • Maior volume de capital de risco. • Insumos básicos para P&D. • Parcerias público-privadas. • Impactos da nanotecnologia (estado da arte mundial). • Difusão científica. • Regulamentação técnica e metrologia vinculadas à nanotecnologia. • Percepção da sociedade quanto ao valor das nanotecnologias.	• Educação em todos os níveis. • RH em nível técnico e graduado. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • Lançamento de produtos com características únicas impulsionando novas indústrias. • Parcerias público-privadas. • Difusão científica. • Insumos básicos para P&D. • Nanoética (legislação, <i>risk assessment</i> institucionalizado, valores em relação ao uso das nanotecnologias). • Exigência de escala de produção. • Impactos da nanotecnologia (estado da arte mundial). • Maior volume de capital de risco. • Continuidade da nanotecnologia como prioridade do estado (CT&I e política industrial). • Regulamentação técnica e metrologia vinculadas à nanotecnologia.	• Lançamento de produtos com características únicas impulsionando novas indústrias. • Educação em todos os níveis. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • Insumos básicos para P&D. • Exigência de escala de produção. • Uso de energias limpas. • Impactos da nanotecnologia (estado da arte mundial). • Maior volume de capital de risco. • RH em nível técnico e graduado. • Continuidade da nanotecnologia como prioridade do Estado (CT&I) e política industrial).

Fonte: CGEE (2008)

Observa-se, no Quadro RE-3, que alguns condicionantes foram considerados relevantes nos três períodos, o que reflete sua importância e

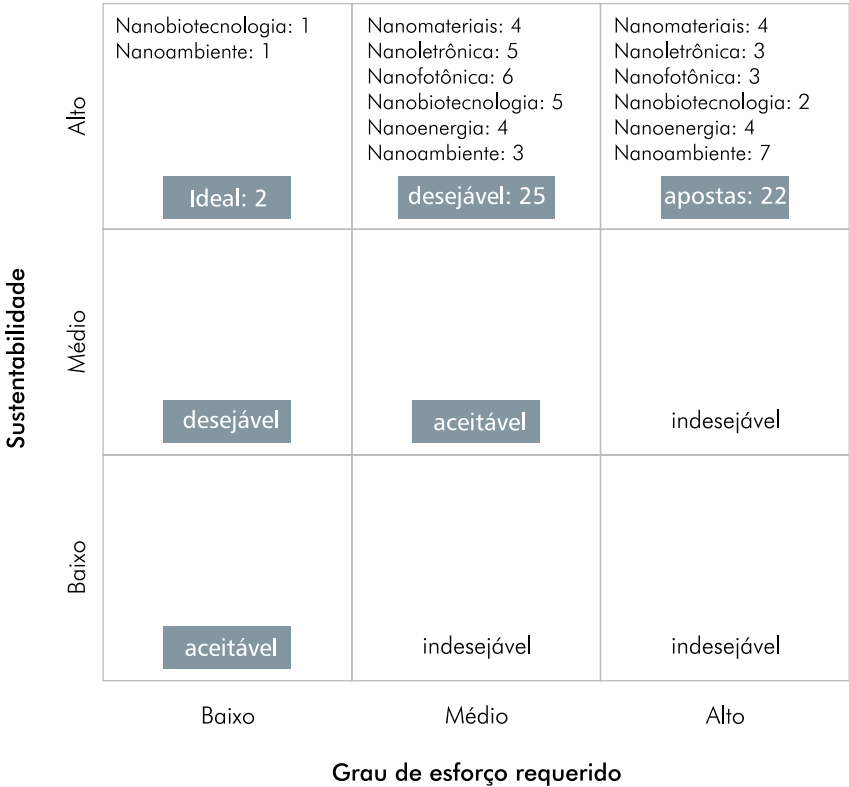


o caráter mobilizador desses fatores ao longo de toda a trajetória de desenvolvimento dos temas de nanotecnologias em questão. A título de ilustração, citam-se os seguintes condicionantes comuns aos três períodos: “educação em todos os níveis”; “existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte”; “recursos humanos em nível técnico graduado” e “insumos básicos para P&D”.

A Figura RE-4 representa o *portfolio* tecnológico estratégico da INI-Nanotecnologia, no qual os 49 tópicos associados foram classificados segundo dois critérios: (i). sustentabilidade, calculada em função do impacto econômico e socioambiental das aplicações potenciais do tópico; (ii) grau de esforço para atingir o posicionamento desenhado no mapa tecnológico.

Os 49 tópicos, como pode ser visto na Figura RE-4, foram distribuídos quantitativamente em três níveis de posicionamento, para a tomada de decisão: “apostas” (22 tópicos), “situação desejável” (25 tópicos) e “situação ideal” (2 tópicos). Um *portfolio estratégico* com essas características favorece significativamente o cumprimento das ações e metas propostas na Agenda INI-Nanotecnologia e o engajamento oportuno e em tempo hábil dos diversos atores sugeridos na Agenda, em torno das trajetórias preconizadas nos respectivos mapas tecnológicos representados ao longo do Estudo Prospectivo.

Figura RE-4. *Portfolio tecnológico estratégico da INI-Nanotecnologia*



Fonte: CGEE (2008)

No primeiro nível, situam-se 22 tópicos considerados como “apostas”, com a seguinte distribuição: nanomateriais (4); nanoeletrônica (3); nanofotônica (3); nanobiotecnologia (2); nanoenergia (4); e nanoambiente (7). São eles: “nanofios e nanotubos” (T1b¹); “nanobjetos replicando a natureza” (T1b³); “nanomateriais, além da tecnologia do silício” (T1c²); “nanomateriais funcionais” (T1e); “dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com incorporação de nanomateriais” (T2a¹); “nanodispositivos: integração de tecnologias *top-down* e *bottom-up*” (T2c³); “dispositivos convencionais à base de materiais nanoestruturados e suas arquiteturas” (T2d); “células solares: poliméricas e de pequenas moléculas” (T3f² e T5a); “sensores fotônicos: plasmônicos” (T3g¹); “sensores fotônicos: nanopartículas unimoleculares fluo-



centes" (**T3g²**); "imageamento molecular" (**T4d**); "nanorrobôs" (**T4g**); "células a combustível: PEM" (**T5c²**); "nanofibras e nanotubos de carbono com aplicações em energia" (**T5d**); "nanocatalisadores" (**T5e**); "nanossensores para aplicações ambientais" (**T6a**); "membranas e filtros para gases" (**T6b¹**); "membranas e filtros para líquidos orgânicos" (**T6b²**); "nanomateriais com atividade catalítica para biocombustíveis e gás natural (**T6e¹**); "nanomateriais com atividade catalítica: consolidação da tecnologia e novas aplicações" (**T6e²**); "técnicas de monitoramento e diagnóstico de nanomateriais" (**T6f**); e "sistemas de entrega e liberação controlada de nutrientes e defensivos agrícolas" (**T6g**). Vale ressaltar que os tópicos **T3f²** e **T5a** foram computados juntos como um único tópico.

No segundo nível, situam-se apenas 2 tópicos em "*situação ideal*", ou seja, situação na qual com baixo grau de esforço alcança-se alta sustentabilidade. Os tópicos são: "revestimentos e filmes biofuncionais" (**T4f**); e "nanomateriais para controle microbiano em meio ambiente, alimentos e bioprocessos" (**T6c**).

E, finalmente, no terceiro nível, foram classificados 25 tópicos na posição considerada "*desejável*". São eles: "nanomateriais estruturais" (**T1a**); "nanopartículas" (**T1b²**); "nanomateriais semicondutores e magnéticos" (**T1c¹**); "revestimentos nanoestruturados" (**T1d**); "*vacuum microelectronics* com nanotubos" (**T2a²**); "células solares com nanocompósitos; *displays* OLEDs com nanodispositivos" (**T2a³**); "NEMS e atuadores" (**T2b**); "nanodispositivos: tecnologias *top-down* e *bottom-up*" (**T2c¹**); "nanodispositivos: tecnologias *roll-to-roll*" (**T2c²**); "*displays*" (**T3a**); "LEDs orgânicos" (**T3b** e **T5f²**); "LEDs inorgânicos (**T3c** e **T5f¹**)"; "aplicações de nanofotônica em dados e telecomunicações" (**T3d**); "outros dispositivos optoeletrônicos" (**T3e**); "células solares: *quantum dots* e heterojunção" (**T3f¹**); "materiais nanoestruturados biocompatíveis" (**T4a**); "sistemas de entrega e liberação controlada de fármacos"

(**T4b**¹); “sistemas de entrega e liberação controlada de cosméticos” (**T4b**²); “biossensores” (**T4c**); “materiais nanoestruturados para aplicação em agricultura” (**T4e**); “baterias e capacitores” (**T5b**); “células a combustível: óxido sólido” (**T5c**¹); “nanodispositivos para tratamento de águas e resíduos” (**T6d**); “nanomateriais de fontes renováveis ou biodegradáveis” (**T6h**) e “análise do ciclo de vida de nanomateriais” (**T6i**). Os tópicos **T3b** e **T5f**² foram computados juntos como um único tópico, assim como os tópicos **T3c** e **T5f**¹.

Apresenta-se nas seções seguintes a evolução dos tópicos tecnológicos de cada tema nos diversos estágios do ciclo de inovação – de P&D à comercialização. Mais adiante, apresenta-se a evolução dos tópicos tecnológicos de cada tema nos diversos estágios do ciclo de inovação – de P&D à comercialização, segundo as trajetórias desenhadas pelos especialistas durante as Oficinas de Trabalho realizadas no segundo semestre de 2008.

Nanomateriais

O Quadro RE-4 apresenta os *tópicos tecnológicos e subtópicos* associados ao tema nanomateriais, que integraram os mapas tecnológicos: mundial e no Brasil. Inclui seus descritivos e os setores que serão mais impactados pelo desenvolvimento dos nanomateriais em questão. As referências alfanuméricas na primeira coluna do Quadro RE-4 foram adotadas ao longo da construção dos mapas tecnológicos e do mapa estratégico deste tema.



Quadro RE-4. Tópicos associados ao tema nanomateriais e setores mais impactados

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Setores impactados
T1a	Nanomateriais estruturais	Compreendem uma ampla classe de nanomateriais criados, por exemplo, pela introdução de nanopartículas e outros nanobjetos (fillers) em um meio macroscópico (matriz). A estrutura em nanoescala altera as propriedades dos meios macroscópicos.	Aeronáutico; automotivo; têxtil; couro e calçados; plásticos; celulose e papel; petróleo; construção civil e defesa
T1b	Nanobjetos e materiais nanoestruturados (nanofios, nanotubos, nanopartículas etc.)	Referem-se a objetos construídos em nanoescala que podem ser funcionalizados para aplicações específicas. Nota: esse tópico foi subdividido em T1b¹ – nanofios e nanotubos; T1b² – nanopartículas, T1b³ – nanobjetos replicando a natureza.	Fabricação de produtos químicos (insumos nanotecnológicos); energia solar; aeronáutico; fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; medicina e saúde e plásticos
T1c	Nanomateriais semicondutores e magnéticos	Incluem semicondutores orgânicos e inorgânicos. Nota: esse tópico foi subdividido em T1c¹ – nanomateriais semicondutores e magnéticos; T1c² – nanomateriais além da tecnologia do silício.	Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; aeronáutico; automotivo; energia solar; instrumentação e automação
T1d	Revestimentos nanoestruturados	Incluem engenharia de superfícies e interfaces, filmes finos para otimização de propriedades superficiais.	Aeronáutico; automotivo; defesa; construção civil; indústria naval; biocombustíveis; petróleo e energia
T1e	Nanomateriais funcionais	Incluem nanocompósitos, filmes finos e materiais moleculares. A estrutura em nanoescala confere uma nova funcionalidade ao produto final.	Aeronáutico; energia; meio ambiente; medicina e saúde; higiene e cosméticos; defesa; instrumentação e automação; petróleo; fármacos e fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações

Fonte: CGEE (2008)

Os nanomateriais estão presentes em quase todos os setores dinâmicos da economia mundial, da eletrônica à indústria aeroespacial, dos

fármacos ao setor petroquímico. De fato, nanoestruturas semicondutoras e magnéticas estão em todos os computadores pessoais comercializados hoje em dia. Nanoestruturas semicondutoras (poços e pontos quânticos) são responsáveis por *lasers* e dispositivos emissores de luz (LEDs), enquanto que os semicondutores orgânicos estão nos *displays* de aparelhos celulares. Ao mesmo tempo, já estão no mercado tintas (pigmentos), cosméticos (nanopartículas), automóveis com partes feitas de nanocompósitos, vidros autolimpantes, assim como revestimentos nanoestruturados aplicados em ferramentas de corte com amplo uso na indústria metal-mecânica, dentre muitos outros exemplos.

Os nanomateriais utilizam-se de diversas técnicas de preparação, *bottom-up* e *top-down*⁵, rotas químicas ou processos físicos, assim como de uma enorme gama de técnicas de caracterização e de um sem número de aplicações, incluindo sua utilização como insumos básicos para nanotecnologia.

Em âmbito mundial, as trajetórias dos tópicos estudados em seus diversos estágios já estão atingindo um estágio de maturidade no mundo. Nanomateriais semicondutores inorgânicos (silício) e magnéticos (**T1c**¹) já estão em fase de comercialização em larga escala. Ao contrário, os revestimentos nanoestruturados (**T1d**) estão entrando na fase de produção em larga escala e, para todos os demais, a perspectiva é de que isso também aconteça no médio prazo, ficando a comercialização em larga escala de nanomateriais funcionais (**T1e**) para um prazo mais longo. Esse fato não impede que novos materiais e novas tecnologias surjam nesse horizonte de pouco mais de quinze anos. De fato, novos materiais semicondutores, como grafeno, nanofios, nanotubos e pontos quânticos, devem ser capazes de substituir o silício no horizonte considerado, ao passo que novos materiais (novas ideias e funcionalidades) surgirão como materiais capazes de, em certos aspectos, replicar a natureza (**T1b**³).



No Brasil, o mapa tecnológico de nanomateriais indicou que o país tem uma base científico-tecnológica que permite acompanhar com relativo sucesso a fronteira do conhecimento em nanomateriais. Desenvolvem-se pesquisas básicas de alta qualidade em todos os tópicos analisados, especialmente em nanopartículas e revestimentos.

Aparecem no cenário nacional, com destaque, algumas empresas de base tecnológica, *spin-offs* de laboratórios de pesquisa, como a Nanox, que oferece soluções de proteção antimicrobiana para superfícies e materiais diversos e anticorrosivos para metais que são submetidos a altas temperaturas. A CVD Clorovale e a Plasma LIT, que atuam na área de revestimentos nanoestruturados e engenharia de superfícies, são outros dois casos de inovação em nanomateriais que merecem destaque. Em um cenário de médio prazo, as tecnologias de maior potencialidade para inovações são os nanomateriais estruturais (**T1a**), compósitos que em alguns casos já estão entrando no mercado, e os nanomateriais funcionais (**T1e**). No período 2016-2025, espera-se que, além dos nanomateriais estruturais (**T1a**), os setores ligados a compósitos, revestimentos e nanopartículas, além de pigmentos para aplicações diversas, atingirão maturidade e estarão nos estágios de produção em larga escala e comercialização. Espera-se, adicionalmente, o desenvolvimento de alguns nichos no mercado de semicondutores e magnéticos (**T1c**¹).

Comparando-se o mapa tecnológico de nanomateriais no Brasil com o mapa mundial, identificam-se diversas oportunidades nesse tema para o país, como resumido a seguir.

Observa-se que, por um lado, no que diz respeito aos nanomateriais funcionais (**T1e**) e aos revestimentos de todos os tipos (**T1d**), algumas de suas aplicações podem ser consideradas maduras e já estão sendo comercializadas em larga escala no Brasil. Por outro lado, o país encontra-se no estágio de P&D para inovação em relação à diversas aplicações

promissoras referentes a esses mesmos tópicos (**T1e** e **T1d**, respectivamente), com uma excelente perspectiva no médio prazo (2011-2015) de revestimentos nanoestruturados (**T1d**) atingirem um estágio de produção/comercialização e, certamente, consolidar um posicionamento favorável em um horizonte de longo prazo. Antecipa-se que os nanomateriais funcionais (**T1e**) atingirão o estágio de produção e comercialização no período de 2016-2025.

No *portfolio tecnológico de nanomateriais*, mostra-se que as oportunidades consideradas “apostas” situam-se no quadrante superior direito e referem-se a nanomateriais funcionais (**T1e**), nanofios e nanotubos (**T1b¹**), nanobjetos replicando a natureza (**T1b³**) e nanomateriais semicondutores e magnéticos (**T1c²**). Esses tópicos encontram-se no estágio de P&D no mundo. Esse fato, aliado à expectativa de benefícios econômicos e socioambientais significativos para o país (alta sustentabilidade), lhes confere o *status* de “apostas” no *portfolio* tecnológico, o que significa a exigência de um grande esforço para se alcançar a trajetória traçada no mapa tecnológico no Brasil, porém com um grande potencial de recompensas.

A projeção do mercado de nanomateriais no Brasil para os próximos anos indica claramente o crescimento da oferta de materiais para eletrônica, ainda que basicamente à custa de importações para os parques industriais instalados em Manaus e São Paulo. Ainda nesse aspecto, os materiais semicondutores orgânicos para uso em televisores e *displays* terão um papel importante e poderão vir a ser uma oportunidade para o Brasil (**T1c¹**). Pela solidez de seu sistema de pesquisa e pela particularidade de sua situação no campo dos semicondutores orgânicos, o Brasil ainda pode lutar neste campo por alguns nichos de mercado, o que vai exigir, porém, um alto grau de esforço para acompanhar a evolução dos avanços neste campo no mundo e ser capaz de se posicionar competitivamente nos mercados nacional e internacional.



A posição do tópico “nanomateriais semicondutores e magnéticos” (**T1c¹**) no *portfolio tecnológico* está no quadrante superior “desejável”, porém é o tópico mais próximo do quadrante “apostas”, o que confirma seu alto potencial de vantagens competitivas. Os demais tópicos (**T1a**, **T1b²** e **T1d**), embora com menores vantagens competitivas em relação aos tópicos anteriores, encontram-se no mesmo quadrante de “nanomateriais semicondutores e magnéticos” (**T1c¹**). Requerem, porém, um grau de esforço menor em termos comparativos (grau de esforço médio e sustentabilidade alta). Destacam-se nessa categoria alguns produtos como tintas, compósitos poliméricos para uso na indústria automobilística, revestimentos nanoestruturados para uso na indústria do petróleo e gás, revestimentos e compósitos biocompatíveis (próteses), materiais biocompatíveis.

Adicionalmente a essas oportunidades, o Brasil pode estar em situação de comercialização de nanopartículas (**T1b²**) no médio prazo, sendo a produção de nanopartículas com distribuição de tamanho e forma controlada um insumo básico para vários dos produtos descritos acima. Vale destacar o setor de produtos de higiene, perfumaria e cosméticos, que já vem demandando o desenvolvimento de novos nanomateriais no Brasil: Nesse setor, o Brasil tem empresas com porte suficiente para ocupar espaço no mercado mundial, demandando novos nanomateriais para suas linhas de produção, como nanopartículas (**T1b²**) e revestimentos funcionais (**T1e**).

Nanoeletrônica

O Quadro RE-5 apresenta os tópicos tecnológicos associados ao tema nanoeletrônica que foram considerados na construção do mapa tecnológico mundial e do Brasil. Inclui seus descritivos e os setores que serão mais impactados pelo desenvolvimento das nanotecnologias em questão. As referências na primeira coluna do quadro foram adotadas ao longo da construção dos mapas tecnológicos e do mapa estratégico deste tema.

Quadro RE-5. Tópicos associados ao tema nanoeletrônica e setores mais impactados

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Setores impactados
T2a	Dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos à base de materiais nanoestruturados e suas arquiteturas	Compreendem dispositivos de memória, processadores, sensores, moduladores, fotodetectores, <i>displays</i> , células solares, dispositivos de micro-ondas etc. Abrange também desenvolvimento de arquiteturas compatíveis e ferramentas computacionais. Nota: esse tópico foi subdividido em: T2a¹ – dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com incorporação de nanomateriais: arquiteturas que incorporem nanodispositivos; T2a² – <i>vacuum microelectronics</i> com nanotubos; T2a³ – células solares com nanocompósitos e <i>displays</i> OLEDs com nano.	Aeroespacial; automotivo; defesa; fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; instrumentação e automação; energia; petróleo, gás natural e petroquímica
T2b	NEMS e atuadores	Referem-se a objetos construídos em nanoescala que podem ser funcionalizados para aplicações específicas.	Aeroespacial; defesa; fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; instrumentação e automação; petróleo, gás natural e petroquímica
T2c	Fabricação de nanodispositivos	Incluem semicondutores orgânicos e inorgânicos. Nota: esse tópico foi subdividido em: T2c¹ – nanodispositivos: tecnologias <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i> ; T2c² – nanodispositivos: tecnologias <i>roll-to-roll</i> ; T2c³ – nanodispositivos: integração <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i> .	Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; aeronáutico; automotivo; energia solar; instrumentação e automação
T2d	Dispositivos não convencionais à base de materiais nanoestruturados e suas arquiteturas	Incluem engenharia de superfícies e interfaces, filmes finos para otimização de propriedades superficiais. Nota: esse tópico foi subdividido em: T2d¹ – spintrônica, nanotubos, grafeno: transporte; dispositivos moleculares; T2d² – dispositivos spintrônicos para memória.	Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações

Fonte: CGEE (2008)



A evolução da nanoeletrônica se dará basicamente segundo duas vertentes. A primeira consiste em continuar a evolução da integração de dispositivos, com a utilização de novos materiais. Nessa vertente, destacam-se duas classes de materiais: (i) FETs fabricados com nanotubos de carbono e nanofios e heteroestruturas de nanofios. Em tal categoria também são incluídos dispositivos a base de grafeno; (ii) MOSFETs com nanocamadas de Ge e semicondutores do tipo III-V.

Em uma segunda etapa, serão necessários dispositivos inovadores que explorem outras características além da carga do elétron. Para tanto, será necessário um intenso trabalho de pesquisa para adaptar as técnicas de fabricação desses dispositivos à escala de fabricação atual de estruturas C-MOS. As principais abordagens emergentes nessa categoria são: dispositivos de um elétron SETs; dispositivos moleculares; dispositivos ferromagnéticos lógicos e dispositivos spintrônicos.

O mapa tecnológico do desenvolvimento de nanoeletrônica no mundo indica que as aplicações *top-down* e *bottom-up* referentes a nanodispositivos (**T2c¹**) e os dispositivos spintrônicos para memória (**T2d²**) já se encontram em fase de comercialização em larga escala. Por outro lado, situam-se em estágio de P&D no mundo os dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com incorporação de nanomateriais (**T2a¹**), os nanodispositivos baseados em tecnologias integradas *top-down* e *bottom-up* (**T2c³**), bem como spintrônica, nanotubos e grafeno (**T1d¹**).

No estágio de inovação, encontram-se os seguintes tópicos: células solares com nanocompósitos e *displays* OLEDs com nano (**T2a³**); *vacuum microelectronics* com nanotubos (**T2a²**); NEMS e atuadores (**T2b**) e nanodispositivos baseados em tecnologias *roll-to-roll* (**T2c²**). Essas informações permitirão comparar as trajetórias dos tópicos estudados no Brasil às trajetórias mundiais.

O mapa tecnológico do Brasil indica que o país se encontra no estágio de inovação em relação às células solares com nanocompósitos; *displays* OLEDs com nano (**T2a³**) e à tecnologia *roll-to-roll* para nanocompósitos (**T2c²**), podendo chegar a uma posição competitiva desejável no médio prazo, aproveitando alguns nichos estratégicos de mercado.

Vale destacar, para efeito do desenho do *portfolio* tecnológico estratégico, aqueles tópicos de nanoeletrônica que se encontram em estágio de P&D no Brasil e também no mundo. São eles: “dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com incorporação de nanomateriais”, isto é, arquiteturas que incorporem nanodispositivos (**T2a¹**), os “nanodispositivos baseados em tecnologias integradas *top-down* e *bottom-up*” (**T2c³**) e os “dispositivos convencionais à base de materiais nanoestruturados e suas arquiteturas” (**T2d**). Com relação aos demais tópicos, o país será seguidor, considerando-se o atual estágio de avanço da nanoeletrônica nos países desenvolvidos.

O *portfolio* tecnológico estratégico do tema “Nanoeletrônica” confirma a análise de posicionamento estratégico obtida pela leitura dos mapas tecnológicos (mundo e Brasil), particularmente no que tange os tópicos “dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com incorporação de nanomateriais” (**T2a¹**), “nanodispositivos baseados na integração de tecnologias *top-down* e *bottom-up*” (**T2c³**) e “dispositivos não convencionais à base de materiais nanoestruturados e suas arquiteturas” (**T2d**). Esses tópicos são apontados como as “*apostas*” estratégicas do tema para o Brasil, considerando que os mesmos encontram-se também em estágio de P&D no mapa tecnológico do mundo, requerendo um alto grau de esforço para atingir os estágios de produção e comercialização no Brasil. Por serem considerados de alto impacto econômico e socioambiental para o país, encontram-se no quadrante de “*apostas*” do *portfolio* tecnológico estratégico.



As análises prospectivas indicaram ainda que o Brasil se encontra no estágio de inovação em relação a dois tópicos: “células solares com nanocompósitos; *displays* OLEDs com nano” (T2a³) e “tecnologia *roll-to-roll* para nanocompósitos” (T2c²), podendo chegar a uma posição competitiva favorável no médio prazo, se aproveitar alguns nichos estratégicos de mercado. No *portfolio* tecnológico estratégico, esses tópicos se encontram no quadrante que representa a situação “desejável”. Para os demais tópicos, que também se situam no quadrante que representa a situação “desejável”, a análise dos mapas tecnológicos apontou que o Brasil será seguidor. Por outro lado, os resultados da análise de sustentabilidade indicaram que esses tópicos são de alto impacto econômico e sociambiental para o país. Por isso, é recomendável a identificação de oportunidades estratégicas que mereçam investimentos por parte do governo e de empresas aqui localizadas, com um grau de esforço médio para concretização de suas trajetórias.

Nanofotônica

O Quadro RE-6 apresenta os tópicos tecnológicos associados ao tema “Nanofotônica” e selecionados para compor o mapa tecnológico mundial e do Brasil. Inclui seus descritivos e os setores que serão mais impactados pelo desenvolvimento das nanotecnologias em questão. As referências na primeira coluna do quadro foram adotadas ao longo da construção dos mapas tecnológicos e do mapa estratégico deste tema.

Destacaram-se para a construção dos mapas tecnológicos: *displays*, LEDs orgânicos e inorgânicos, dispositivos optoeletrônicos voltados para a transmissão, processamento, armazenamento de dados de natureza clássica e quântica; outros dispositivos optoeletrônicos, compreendendo os *lasers*, fotodetetores, chaveadores, atuadores, e outros nanodispositivos que usam luz e eletrônica em nanoescala; células eletrônicas e sensores fotônicos.

Quadro RE-6. Tópicos associados ao tema nanofotônica e setores mais impactados

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Setores impactados
T3a	<i>Displays</i>	Compreendem uma das mais importantes aplicações da fotônica, presente em uma grande variedade de dispositivos.	Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; automotivo; aeronáutico, instrumentação e automação; e medicina e saúde
T3b	LEDs orgânicos	Referem-se aos dispositivos emissores de luz com base em materiais orgânicos.	Energia; fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; automotivo; aeronáutico, instrumentação e automação; e medicina e saúde
T3c	LEDs inorgânicos	Referem-se aos dispositivos emissores de luz com base em materiais inorgânicos.	Energia; fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; automotivo; aeronáutico, instrumentação e automação; e medicina e saúde
T3d	Aplicações de nanofotônica em dados e telecomunicações	Compreendem os <i>lasers</i> , fotodetectores, chaveadores, dispositivos fotônicos e tecnologias voltadas para a transmissão, processamento, armazenamento de dados de natureza clássica e quântica.	Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; segurança; defesa; aeronáutico; automotivo; indústria naval; instrumentação e automação; energia; petróleo, gás natural e petroquímica; e medicina e saúde
T3e	Outros dispositivos optoeletrônicos	Compreendem os <i>lasers</i> , fotodetectores, chaveadores, atuadores, comando e controle, e outros nanodispositivos que usam luz e eletrônica em nanoescala.	Construção civil; defesa; fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; automotivo; aeronáutico, instrumentação e automação; e medicina e saúde; indústria naval; instrumentação e automação; energia; petróleo, gás natural e petroquímica
T3f	Células solares	Compreendem dispositivos com aplicação específica na captação e transformação de energia solar em energia elétrica. Nota: esse tópico foi desdobrado em: T3f¹ – células solares: <i>quantum dots</i> e heterojunção; T3f² – células solares: poliméricas e pequenas moléculas.	Energia; automotivo; aeronáutico; e construção civil
T3g	Sensores fotônicos	Compreendem dispositivos com propriedades fotônicas que são alteradas por parâmetros externos a serem monitorados. Nota: esse tópico foi desdobrado em: T3g¹ – sensores fotônicos: sensores plasmônicos; T3g² – sensores fotônicos: nanopartículas unimoleculares fluorescentes.	Alimentos (embalagens); aeronáutico; automotivo; indústria naval; instrumentação e automação; energia; meio ambiente; petróleo, gás natural e petroquímica; e medicina e saúde

Fonte: CGEE (2008)

O traçado do mapa tecnológico do desenvolvimento de nanofotônica no mundo permitiu que as trajetórias dos tópicos estudados no Brasil pudessem ser comparadas às trajetórias mundiais, tendo em vista a definição da estratégia tecnológica a ser seguida em nível nacional e o estabelecimento das prioridades da Agenda INI-Nanotecnologia no que se refere a esse tema.

Conforme o mapa tecnológico mundial, as trajetórias de alguns tópicos, como “*displays*” (**T3a**), “LEDs orgânicos: *displays* e iluminação” (**T3b**) e “LEDs inorgânicos: sinalização, *displays* e iluminação” (**T3b**) já estão atingindo um grau de maturidade no mundo, ocupando no período 2008-2010 o estágio de produção e comercialização em larga escala.

Nesse mesmo período, encontram-se em produção os fotodetectores, *lasers*, fibras microestruturadas e dispositivos fotônicos para telecomunicações e transmissão de dados (**T3d**). Já em estágio de inovação, situam-se os tópicos T3e – dispositivos optoeletrônicos de consumo (**T3e**) e células solares: *quantum dots* e heterojunção (**T3f¹**).

Os sensores fotônicos do tipo plasmônico (**T3g¹**) estão ainda na fase de P&D, chegando à fase de inovação nos períodos 2011-2015. Nesse período, novas pesquisas em torno de nanopartículas unimoleculares fluorescentes (**T3g²**) levarão à uma perspectiva de inovações disruptivas por volta de 2018. Os demais tópicos encontram-se situados no centro do mapa, mas precisamente nos estágios de inovação ou de produção em larga escala, com comercialização prevista para o médio ou longo prazo, respectivamente.

No Brasil, a área de nanofotônica começou a se desenvolver de forma mais coordenada e com visibilidade a partir de 2006, com a formação da Rede Cooperativa de Nanofotônica – Nanofoton, com sede na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). A Rede Nanofoton foi um projeto aprovado entre

as 10 redes cooperativas de nanotecnologias apoiadas pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). Outras redes e mesmo Institutos do Milênio atuam, de forma direta ou indireta, usando técnicas ou processos da nanofotônica, como por exemplo, as atividades desenvolvidas na Rede de Nanotubos, com sede na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), o Instituto do Milênio de Matérias Poliméricas, com sede na Universidade de São Paulo – São Carlos, o Instituto de Nanociências, com sede também na UFMG, e o Instituto de Óptica Não Linear, Fotônica e Biofotônica, com sede na UFPE. Vale ressaltar, porém, que antes de 2006 já existiam vários grupos atuando em nanofotônica, mesmo não utilizando esse termo para suas atividades.

O mapa tecnológico do desenvolvimento de nanofotônica no Brasil, compreendendo as trajetórias projetadas para cada um dos tópicos, indica que, no período de 2008 a 2010, os seguintes tópicos de nanofotônica se encontram em estágio de P&D avançado, quase chegando à inovação/implantação: “*displays*” (**T3a**); “LEDs orgânicos, compreendendo *displays* e iluminação” (**T3b**); e “células solares: *quantum dots* e heterojunção” (**T3f**¹).

No mesmo período, os tópicos “LEDs inorgânicos: sinalização, *displays* e iluminação” (**T3c**); “fotodetectores, *lasers*, fibras microestruturadas e dispositivos fotônicos para telecomunicações e transmissão de dados” (**T3d**); “dispositivos optoeletrônicos de consumo” (**T3d**) e “sensores plasmônicos” (**T3g**¹) encontram-se no estágio de P&D. Vale destacar que os tópicos “sensores plasmônicos” (**T3g**¹) e “sensores fotônicos: nanopartículas unimoleculares fluorescentes” (**T3g**²) encontram-se ambos no estágio de P&D no mundo, indicando que há espaço para o Brasil avançar suas pesquisas e inovar com competitividade em patamares internacionais.

A análise do *portfolio* tecnológico estratégico do tema nanofotônica indica como aplicações consideradas como “*apostas*” os tópicos “sensores plasmônicos” (**T3g**¹), “sensores fotônicos: nanopartículas unimolecula-



res fluorescentes” (**T3g²**) e “células solares: poliméricas e pequenas moléculas” (**T3f²**). São tópicos que irão exigir um alto grau de esforço para atingir os patamares desenhados no mapa tecnológico do Brasil, mas que uma vez atingidos, seus resultados inovadores serão de alto impacto econômico e socioambiental (alta sustentabilidade).

Particularmente na área do *portfolio* considerada como “*desejável*”, situam-se os tópicos “*displays*” (**T3a**); “LEDs orgânicos: *displays* e iluminação” (**T3b**); “LEDs inorgânicos: sinalização, *displays* e iluminação” (**T3c**); “fotodetectores, *lasers*, fibras microestruturadas e dispositivos fotônicos para transmissão de dados e telecomunicações” (**T3d**); “dispositivos optoeletrônicos de consumo” (**T3e**); e “células solares: *quantum dots* e heterojunção” (**T3f¹**). Comparativamente aos três primeiros tópicos (**T3g¹**, **T3g²** e **T3f²**), esses últimos apresentam menor vantagem tecnológica competitiva. Considerando-se, porém, que o tema nanofotônica é área de fronteira tecnológica no mundo, o Brasil poderá ser um importante *player*, aproveitando suas vantagens competitivas – tamanho do mercado e massa crítica de P&D atual – e implementando ações com foco em formação de recursos humanos especializados, fortalecimento da infraestrutura física de P&D e de certificação e cooperação internacional já no curto prazo.

Nanobiotecnologia

Tópicos de interesse para estudo e aplicação de nanobiociência ou nanobiotecnologia podem ser classificados em seis grandes áreas, doravante definidos como tópicos associados. O Quadro RE-7 apresenta os tópicos que foram selecionados para compor o mapa tecnológico mundial e do Brasil, incluindo um breve descritivo de cada tópico. As referências alfanuméricas foram adotadas ao longo da construção dos mapas tecnológicos e do mapa estratégico deste tema. Do ponto de vista tecnológico e de mercado, espera-se que vários setores industriais sejam beneficiados por pesquisas em nanobiotecnologia, como mostrado na coluna à direita do Quadro RE-7.

Quadro RE-7. Tópicos associados ao tema nanobiotecnologia e setores mais impactados

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Setores impactados
T4a	Materiais nanoestruturados biocompatíveis	Compreendem materiais (polímeros, cerâmicas, metais etc.), e seus compósitos, estruturados em escala nanométrica e biocompatíveis. Podem ter aplicações em reconstrução de órgãos para transplantes, produção de insumos e próteses etc.	Medicina e saúde; fabricação de produtos químicos e fármacos; higiene, perfumaria e cosméticos; meio ambiente; e madeira e móveis
T4b	Sistemas de entrega e liberação controlada	Referem-se a uma das mais importantes aplicações da bionanotecnologia, explorando nanobiomateriais com propriedades terapêuticas e cosméticas. Nota: esse tópico foi desdobrado em: T4b¹ – sistemas de entrega e liberação controlada (fármacos) e T4b² – sistemas de entrega e liberação controlada (cosméticos).	Medicina e saúde; higiene, perfumaria e cosméticos; nutrientes; e fabricação de fármacos
T4c	Biossensores	Compreendem uma classe de sensores biológicos e sondas inteligentes <i>in vivo</i> e <i>lab-on-a-chip</i> , com base em efeitos na escala molecular, com aplicações em medicina (ex.: diagnóstico), agricultura etc.	Medicina e saúde; higiene, perfumaria e cosméticos; fabricação de fármacos; agroindústrias; e meio ambiente
T4d	Imageamento molecular	Compreende uma nova classe de técnicas e métodos de diagnóstico em nível molecular ou usando sistemas moleculares para geração de imagens.	Medicina e saúde; higiene, perfumaria e cosméticos; e fabricação de fármacos
T4e	Materiais nanoestruturados para aplicação em agricultura	Referem-se ao uso de nanopartículas biodegradáveis para controle e liberação de fertilizantes e defensivos agrícolas.	Agroindústrias, meio ambiente
T4f	Revestimentos e filmes biofuncionais	Referem-se ao uso de nanopartículas com atividades antimicrobianas aplicadas nos setores médico-hospitalar, de embalagens e têxteis.	Alimentos; medicina e saúde; higiene, perfumaria e cosméticos; e têxteis
T4g	Nanorrobôs	Compreendem dispositivos programáveis construídos em nanoescala que podem ser funcionalizados para aplicações médicas e terapêuticas.	Medicina e saúde

Fonte: CGEE (2008)



Esse quadro evidencia o amplo espectro de aplicação dos tópicos associados à nanobiotecnologia em vários setores produtivos, desde medicina e saúde até agroindústrias e cosmetologia. No curto e médio prazo, é de se esperar que os setores médico e biomédico sejam os mais impactados pelo desenvolvimento de processos e produtos nanobiotecnológicos.

O mapa tecnológico mundial desse tema indica que o maior gargalo para o desenvolvimento de materiais nanoestruturados biocompatíveis (**T4a**) e posterior introdução no mercado refere-se às questões de segurança e toxicidade. Esses materiais deverão ser avaliados por meio de testes comprobatórios, tanto do ponto de vista biológico como ambiental. Uma tendência futura desse tópico é o desenvolvimento de novos materiais biocompatíveis e biodegradáveis, atóxicos, e com funcionalização e propriedades específicas e controladas. Muitos novos nanomateriais com potencial para aplicação biológica estão sendo propostos na literatura científica, mas são poucos os que estão sendo experimentalmente testados nos laboratórios de pesquisa em nível mundial. Esses materiais poderão no futuro “customizar” os produtos nanotecnológicos aplicados à área da saúde.

As empresas dos setores farmacêutico e cosmético em nível mundial têm adotado diferentes estratégias para melhorar a eficácia terapêutica, biodisponibilidade, solubilidade e redução de doses de vários medicamentos por meio da manipulação física dos fármacos. Em 2015, prevê-se que os produtos terapêuticos de base nanotecnológica serão responsáveis por vendas que alcançarão US\$ 3,4 bilhões⁶, incluindo sistemas de entrega de fármacos e liberação controlada (*delivery systems*), nanorrevestimentos biocompatíveis para implantes médicos e odontológicos (**T4b**). Podem ser consideradas como áreas portadoras de futuro em nanotecnologia: *delivery* de vacinas e genes, dispositivos de liberação controlada e para melhoria da biodisponibilidade e solubilidade de fármacos, direcionamento ativo para o cérebro e no tratamento do câncer⁷.

As perspectivas de mercado na área de biossensores (**T4c**) são bastante otimistas, principalmente em relação a sensores minimamente invasivos e aos sensores implantáveis, para monitoramento *in vivo*. Nesse último caso, alguns produtos já são disponíveis comercialmente (Minimed Paradigm®, Medtronic), contudo, algumas limitações em termos de estabilidade, calibração e biocompatibilidade ainda representam gargalos tecnológicos importantes a serem equacionados. O interesse no estudo e processamento de revestimentos e filmes biofuncionais (**T4f**) tem sido crescente em termos mundiais, com grande potencial de aplicação, principalmente em embalagens funcionais, vestimentas, fabricação de tintas e revestimentos.

No Brasil, o mapa tecnológico aponta que, no curto prazo, a maioria dos tópicos associados à nanobiotecnologia se encontrarão nos estágios de P&D e inovação, com previsão de alcance de produção efetiva de produtos e processos no médio prazo (2011-2015). Há possibilidades do Brasil vir a ocupar posição competitiva desejável em tópicos específicos, como materiais nanoestruturados biocompatíveis (**T4a**), materiais nanoestruturados para aplicação em agricultura (**T4e**), sistemas de entrega e liberação controlada aplicados à área de fármacos (**T4b¹**), sistemas de entrega e liberação controlada aplicados à área de cosméticos (**T4b²**) e biossensores (**T4c**). Em estágio mais embrionário, no Brasil e no mundo, encontram-se os tópicos “nanorrobôs” (**T4g**) e imageamento molecular (**T4d**).

As análises prospectivas e o *portfolio* tecnológico estratégico revelam que na área do *portfolio* considerada “ideal”, situam-se os revestimentos e filmes bifuncionais (**T4f**); considerado um tópico de alta sustentabilidade e que necessita pouco esforço, em termos comparativos, para atingir a visão de futuro desenhada no mapa tecnológico do Brasil. Dentre os tópicos situados no quadrante “desejável”, incluem-se os sistemas de entrega e liberação controlada para cosmetologia (**T4b²**),



área na qual o país poderá aproveitar vantagens competitivas atuais e futuras, devido ao elevado número de empresas já instaladas e à disponibilidade de matérias primas. Outros tópicos situados no quadrante “*desejável*” são: “materiais nanoestruturados biocompatíveis” (T4a); “sistemas de entrega e liberação controlada de fármacos” (T4b¹) e “materiais nanoestruturados para aplicação em agricultura” (T4e). Com relação a esse último tópico, os avanços tecnológicos devem-se, principalmente, à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Destacam-se os filmes e embalagens para uso em alimentos, bioplásticos comestíveis para maior durabilidade de frutas, além de processos que permitem o aproveitamento econômico, social e ambiental de resíduos de cana-de-açúcar, casca de arroz, açaí, entre outros. Como tópicos da área de “*apostas*” do *portfolio*, apontam-se os biossensores (T4c), já com casos de sucesso como a língua eletrônica que propicia a análise de características físico-químicas e organolépticas de produtos como o vinho e o café. Outros tópicos considerados “*apostas*” para o Brasil são “imageamento molecular” (T4d) e “nanorrobôs” (T4g), ambos com aplicações promissoras na área de Medicina e Saúde. Tratam-se de tópicos em estágio tecnológico embrionário, em nível mundial, com alto impacto para o Brasil, especialmente impacto socioambiental, por serem direcionadas para a área de Medicina e Saúde.

Nanoenergia

O Quadro RE-8 apresenta os tópicos que foram selecionados para compor o mapa tecnológico mundial e do Brasil de nanoenergia, incluindo um breve descritivo de cada tópico e os setores que serão mais impactados pelo desenvolvimento dessas nanotecnologias. As referências alfanuméricas foram adotadas ao longo da construção dos mapas tecnológicos e do mapa estratégico deste tema.

Quadro RE-8. Tópicos associados ao tema nanoenergia e setores mais impactados

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Setores impactados
T5a	Células solares	Compreendem células solares à base de semicondutores orgânicos e inorgânicos.	Energia, instrumentação e automação e meio ambiente
T5b	Baterias e capacitores	Referem-se à microbaterias, supercapacitores e materiais nanoestruturados para eletrólitos sólidos (membrana poliméricas condutoras).	Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de telecomunicações; aeronáutica, automotivo e indústria naval
T5c	Células a combustível	Referem-se também a todos os materiais e dispositivos relativos à economia do hidrogênio, como membranas condutoras protônicas e nanocatalisadores. Nota: para efeito da construção do <i>portfolio</i> tecnológico estratégico, esse tópico foi desdobrado em: T5c¹ – Células a combustível: óxido sólido e T5c² – Células a combustível: PEM.	Energia, automotivo, aeronáutica e indústria naval, defesa, meio ambiente
T5d	Nanofibras e nanotubos de carbono	Referem-se ao desenvolvimento de compósitos para uso em equipamentos do ciclo do combustível nuclear e emprego como suporte de catalisador nos dispositivos de geração e armazenamento de energia, como suporte de catalisador na cadeia produtiva de biocombustíveis e reforma catalítica.	Energia, petróleo, gás natural e petroquímica; defesa, aeronáutica e indústria naval
T5e	Nanocatalisadores	Incluem tanto novos catalisadores nanoestruturados como os já em uso comercial.	Petróleo, gás natural e petroquímica; automotivo, meio ambiente e biocombustíveis
T5f	LEDs para iluminação	Compreendem dispositivos orgânicos e inorgânicos. Nota: para efeito da construção do <i>portfolio</i> tecnológico estratégico, esse tópico foi desdobrado em: T5f¹ – LEDs inorgânicos para iluminação e T5f² – LEDs orgânicos para iluminação.	Energia; automotivo; aeronáutico; e construção civil

Fonte: CGEE (2008)

O tema nanoenergia compreende o estudo de dispositivos em nanoes-
cala ou processos que agem sobre energia em suas várias formas (tér-
mica, química, elétrica, radiante, nuclear etc.) para geração de energia,



transmissão, uso e armazenamento em aplicações baseadas em elétrica, hidrogênio, solar ou biocombustíveis.

O mapa tecnológico do desenvolvimento das nanotecnologias aplicadas ao setor de energia no mundo mostra que vários dos tópicos já se encontram em um estágio de interface entre P&D e inovação, produção e mesmo comercialização, no período entre 2008 e 2010. Isto é justificado pela expressiva participação de vários países desenvolvidos, na publicação de artigos e patentes, tendo como autores centros de pesquisas, várias das mais importantes e produtivas universidades do mundo e número expressivo de participação de empresas⁸.

No período 2008-2010, encontram-se em etapa de P&D as “células solares orgânicas”, que integram o tópico “células orgânicas e inorgânicas” (**T5a**). Os estudos referentes às células solares orgânicas enfatizam o aumento de eficiência e estabilidade dos componentes orgânicos. Pesquisas recentes e muito promissoras permitirão, provavelmente, levar esta tecnologia para a etapa de inovação antes de 2010. Encontram-se também em fase de P&D as “células a combustível de óxido sólido” (**T5c**). Genericamente, ainda há vários fenômenos a serem contornados com relação aos materiais utilizados na fabricação das mesmas, processamento dos componentes e interfaceamento dos mesmos no dispositivo, além de aspectos de engenharia ainda por resolver. O emprego de nanotubos e nanofibras de carbono em baterias, capacitores, supercapacitores e células a combustível do tipo PEM encontra como obstáculo a produção em larga escala de nanotubos com propriedades eletrônicas apropriadas para a aplicação. Este fator limitante já está sendo eliminado por alguns países, como o Japão, que afirmam terem aumentado a produção anual de nanotubos e nanofibras para níveis que permitem a sua utilização em diversas aplicações.

“Células a combustível do tipo PEM” (**T5c²**) e “nanocatalisadores” (**T5e**) já se encontram em fase de inovação no mundo. As primeiras ainda

precisam de um aumento de estabilidade e de eficiência para que a sua produção e comercialização sejam viabilizadas em larga escala, de forma economicamente competitiva. Já existem várias empresas no mundo que constroem módulos de células a combustível de diferentes potências. Com relação aos catalisadores, um mercado grande existe atualmente e tende a aumentar em décadas futuras. Entretanto, os catalisadores nanoestruturados ou que utilizam suportes nanoestruturados como nanotubos de carbono e zeólitas se encontram ainda em fase de P&D. “LEDs inorgânicos para iluminação” (T5f1) já são fabricados e comercializados até em lojas populares. As tecnologias de células a combustível de ácido fosfórico e alcalinas encontram-se estagnadas e não são consideradas competitivas economicamente em relação às fontes de energia usuais.

No período de 2011 a 2015, prevê-se que em nível mundial, algumas tecnologias como células a combustível de óxido sólido e a aplicação de nanotubos nos dispositivos de geração e armazenamento de energia estejam na etapa de inovação. Já outras como células solares orgânicas, nanocatalisadores (nanoestruturados), células a combustível do tipo PEM e baterias e capacitores com compostos orgânicos e compósitos estejam em etapa de produção. Em etapa de comercialização neste período, deverão estar as células solares (tecnologia do silício), assim como LEDs inorgânicos e orgânicos para iluminação. Para o período de 2016 a 2025, com uma consequente evolução das tecnologias, projetam-se na etapa de comercialização ambos os tipos de células solares, baterias e capacitores com materiais nanoestruturados ou nanocompósitos, ambos os tipos de células a combustível, nanotubos de carbono em supercapacitores e nanocatalisadores.

Os resultados da construção do mapa tecnológico do desenvolvimento de nanoenergia no Brasil, compreendendo as trajetórias projetadas para cada um dos tópicos, nos períodos entre 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025, indicam que a nanotecnologia terá economicamente um grande impacto no setor de geração, distribuição e armazenamento de



energia, com participação decisiva em diversos dispositivos. Inicialmente, seu impacto poderá ser percebido em um uso mais racional das fontes de energia existentes e na evolução do uso de fontes alternativas.

No Brasil, o tema nanoenergia traduz-se em inúmeras oportunidades estratégicas, como aplicações no refino de petróleo, no aumento da eficiência em processos industriais e na produção e utilização de etanol. Os processos de geração de biodiesel podem utilizar catalisadores heterogêneos nanoparticulados e/ou nanoestruturados, em substituição aos catalisadores homogêneos, atualmente empregados. Esses geram grande quantidade de rejeitos, dificultando a separação e a purificação dos produtos, o que leva a um aumento do custo de produção. No caso da produção do etanol, os nanocatalisadores podem competir ou até mesmo substituir os catalisadores enzimáticos, que são os mais promissores para este processo.

A análise do *portfolio* tecnológico estratégico do tema “Nanoenergia” confirma a análise de posicionamento estratégico obtida pela leitura comparada dos mapas tecnológicos (Brasil e mundo), particularmente no que tange às “células solares: poliméricas e de pequenas moléculas”, que integram o tópico “células solares orgânicas e inorgânicas (T5a)”; às “células a combustível: óxido sólido” (T5c¹); aos “nanocatalisadores” (T5e) e a “nanofibras, nanotubos de carbono e outros inorgânicos” (T5d). Esses tópicos, pelo seu grau de avanço tecnológico do Brasil em relação ao mundo – em ambos os contextos se encontram em estágio de P&D, e pelos impactos econômicos e socioambientais altos, são considerados como “*apostas*” estratégicas e situam-se no quadrante superior direito do *portfolio* tecnológico estratégico.

Na posição “*desejável*” do *portfolio* tecnológico estratégico, situam-se aqueles tópicos de alta sustentabilidade que requerem um grau médio

de esforço, pelo estágio de desenvolvimento em que se encontram. São eles: “células a combustível: PEM” (**T5c²**); “baterias e capacitores” (**T5b**); “LEDs orgânicos para iluminação” (**T5f¹**) e “LEDs inorgânicos para iluminação” (**T5f²**).

Nanoambiente

A definição de nanoambiente, segundo relatório da Science-Metrix de 2008⁹, refere-se às interações entre nanoestruturas e o meio ambiente, tendo em vista o desenvolvimento de dispositivos e processos para controle de poluição, remediação, tratamento de resíduos e gestão ambiental, bem como estudos de toxicidade e bioacumulação para avaliar os riscos advindos do uso de nanotecnologias.

No Brasil, o escopo da área de nanoambiente pode ser expandido para abranger as oportunidades inerentes à nossa biodiversidade e à agropecuária, que vão desde o uso de insumos agrícolas e produção de alimentos até a inclusão do conceito de biorrefinaria, explorando-se também o uso da nanotecnologia para a produção de novos materiais (plásticos, resinas, fibras, elastômeros e possivelmente outros produtos) de fontes renováveis, complementarmente ao que tem sido feito para bioenergia. Para assegurar o uso adequado dos materiais nanoestruturados desenvolvidos e uma atuação responsável no país recomenda-se um estudo mais abrangente na literatura desse tema, incluindo a análise de todo o ciclo de vida dos novos materiais nanotecnológicos produzidos.

O Quadro RE-9 apresenta os tópicos do tema nanoambiente e uma descrição sucinta de cada um dos tópicos selecionados para o estudo prospectivo e os respectivos setores da economia que deverão ser impactados pelo desenvolvimento das respectivas nanotecnologias.



Quadro RE-9. Tópicos associados ao tema nanoambiente e setores mais impactados

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Setores impactados
T6a	Nanossensores para aplicação ambiental	Compreendem sensores nanoestruturados para detecção e/ou quantificação de pesticidas nutrientes e metais; biossensores baseados em enzimas e material genético para detecção e/ou quantificação de contaminantes ou nutrientes orgânicos de origem agrícola, industrial e natural presentes em água, em solos, atmosfera e nos produtos agrícolas.	Agroindústrias; biocombustíveis; e meio ambiente
T6b	Membranas e filtros para uso ambiental	Referem-se às membranas e filtros nanoestruturados com a propriedade de permitir o transporte seletivo de componentes de uma mistura em seus componentes líquidos ou em fase gasosa. Nota: para efeito da construção do <i>portfolio</i> tecnológico estratégico, esse tópico foi desdobrado em: T6b¹ – Membranas e filtros para gases e T6b² – Membranas e filtros para líquidos orgânicos.	Setores industriais em geral; agroindústrias; e meio ambiente
T6c	Nanomateriais para controle microbiano em meio ambiente, alimentos e bioprocessos	Desenvolvimento de nanomateriais bioativos para controle e/ou eliminação de contaminação microbiana.	Agroindústrias; alimentos; têxtil; medicina e saúde; higiene, perfumaria e cosméticos; plásticos e meio ambiente
T6d	Nanodispositivos para tratamento de água e resíduos	Referem-se às interações entre nanoestruturas e o meio ambiente, tendo em vista o desenvolvimento de dispositivos e processos para separação, tratamento e remediação de resíduos.	Setores industriais em geral; agroindústrias; e meio ambiente
T6e	Nanomateriais com atividade catalítica para meio ambiente	Desenvolvimento de catalisadores para gás natural e biocombustíveis. Nota: para efeito da construção do <i>portfolio</i> tecnológico estratégico, esse tópico foi desdobrado em: T6e¹ – atividade catalítica: biocombustíveis e gás natural (gaseificação e dessulfurização de carvão) e T6e² – atividade catalítica: consolidação da tecnologia.	Automotivo; petróleo, gás natural e petroquímica; e meio ambiente
T6f	Técnicas de monitoramento e diagnóstico de nanomateriais	Compreendem técnicas e sensores para detecção, monitoramento e diagnóstico de nanopartículas em, alimentos, no meio ambiente e em seres vivos.	Medicina e saúde

continua...

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Setores impactados
T6g	Sistemas nanoestruturados para liberação controlada de nutrientes, pesticidas e fármacos	Referem-se ao desenvolvimento de sistemas nanoestruturados para liberação controlada de nutrientes, pesticidas e fármacos, para otimizar a dosagem e minimizar os impactos ambientais.	Agroindústrias; medicina e saúde; fabricação de fármacos; e meio ambiente
T6h	Nanomateriais de fontes renováveis e/ou biodegradáveis	Referem-se ao desenvolvimento de processos para produção de materiais de fonte renovável e/ou biodegradável com impactos reduzidos no meio ambiente.	Petróleo, gás natural e petroquímica; agroindústrias; indústria química; cosméticos; biocombustíveis; e meio ambiente
T6i	Análise de ciclo de vida de nanomateriais	Compreende o desenvolvimento de metodologias para análise de ciclo de vida, análises toxicológicas, reprocessamento e reciclagem; e aspectos de legislação e regulamentação para emissão de relatórios de impacto ambiental.	Nanometrologia; sociedade; educação; meio ambiente

Fonte: CGEE (2008)

A construção do mapa tecnológico abordando os tópicos associados ao tema nanoambiente no mundo indicou que no mundo já existe uma série de aplicações decorrentes destas tecnologias, situando-se em diferentes fases do mapa tecnológico – P&D, inovação/implantação; produção/processo; ou estágio de comercialização. Dentre as aplicações mais importantes, destacam-se: nanossensores; sensores eletroquímicos; biossensores e sensores fotônicos; membranas e filtros para líquidos orgânicos; análise de ciclo de vida; atendimento ao marco regulatório e à legislação; desenvolvimento de processo de produção de nanomateriais de fontes renováveis; sistemas de liberação controlada; nanopartículas de metais e óxidos metálicos para controle microbiano, para tratamento de águas e resíduos; atividade catalítica e membranas e filtros para purificação de água.

Vale ressaltar a importância que vem sendo dada, em nível mundial, à realização da análise do ciclo de vida de produtos nanotecnológicos desde a

fase de produção industrial, por exemplo, de nanopartículas com propriedades bactericidas para uso em embalagens com a finalidade de aumentar o tempo de prateleira e a segurança de produtos alimentícios, até a avaliação de não contaminação dos alimentos por essas partículas e/ou eventual análise toxicológica dessas nanopartículas na saúde humana (**T6i1** e **T6i2**). A análise, que esses novos materiais podem vir a ter, deve ser realizada nas diferentes etapas de contato com o ser humano e com o meio ambiente, desde a sua produção até o descarte final no meio ambiente.

No Brasil, o mapa tecnológico de nanoambiente aponta que existem grandes possibilidades e inúmeras oportunidades de utilizar a nanotecnologia para minimizar o uso de insumos poluentes, monitorar a quantidade destes na agricultura e no meio ambiente, amenizar a poluição possivelmente causada no meio ambiente e, finalmente, possibilitar o desenvolvimento de novos produtos de fonte renovável e biodegradáveis. No entanto, é de extrema importância o desenvolvimento de técnicas de monitoramento e diagnóstico de nanomateriais, para investir na avaliação nanotoxicológica e análise do ciclo de vida de produtos nanotecnológicos e determinar as formas apropriadas e seguras de produção, manejo de produtos nanotecnológicos gerados pelos mais diferentes setores, assim como de possíveis resíduos de nanopartículas gerados durante o processo de produção, de descarte industrial, ou uso do produto final, que devem ser adequadamente gerenciados.

Com múltiplas oportunidades, é essencial que o país avance nos nove tópicos abordados para aproveitar da melhor forma possível todo o potencial de benefícios que a nanotecnologia oferece para a área ambiental. Nesse sentido, a análise do *portfolio* tecnológico estratégico do tema nanoambiente auxilia na identificação das aplicações mais promissoras, por classificar os tópicos associados a esse tema segundo dois critérios: (i) sustentabilidade e (ii) grau de esforço para atingir o posicionamento desenhado no mapa tecnológico de nanoambiente do Brasil.

A análise do *portfolio* tecnológico revela que as aplicações para o meio ambiente consideradas como “apostas” são aquelas referentes aos seguintes tópicos: nanossensores para aplicação ambiental (**T6a**); membranas e filtros para gases (**T6b¹**); membranas e filtros para líquidos orgânicos (**T6b²**); nanomateriais com atividade catalítica para biocombustíveis e gás natural (**T6e¹**); nanomateriais com atividade catalítica; consolidação da tecnologia (**T6e²**); técnicas de monitoramento e diagnóstico de nanomateriais (**T6f**); e sistemas de entrega e liberação controlada de nutrientes e defensivos agrícolas (**T6g**).

Os tópicos “nanodispositivos para tratamento de água e resíduos” (**T6d**); “nanomateriais de fontes renováveis ou biodegradáveis” (**T6h**) e “análise do ciclo de vida de nanomateriais (**T6i**)” situam-se no quadrante “*desejável*” do *portfolio* tecnológico estratégico, significando que esses tópicos são de alta sustentabilidade, porém suas trajetórias, como preconizadas no mapa tecnológico, poderão ser viabilizadas com menor grau de esforço, quando comparadas com as dos tópicos anteriores. Já o tópico “nanomateriais para controle microbiano em meio ambiente, alimentos e bioprocessos” (**T6c**) foi situado na posição “*ideal*” do *portfolio*, pois com menor grau de esforço consegue-se atingir as metas tecnológicas e de produção prospectadas no referido mapa.

A Agenda INI-Nanotecnologia

A Agenda é ampla e está em total alinhamento com trabalhos em curso no âmbito do Programa Nacional de Nanotecnologia e em consonância com a linha de ação # 7 da prioridade estratégica III do Plano de Ação em CT&I (PACTI), cujas ações vêm sendo executadas de forma articulada e coordenada por diversos ministérios, tendo à frente o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT).

No Estudo Prospectivo, os mapas estratégicos enfatizam *ações e diretrizes vinculadas diretamente aos tópicos tecnológicos e suas trajetórias*



em cada tema, com a indicação dos estágios em que estes se encontram nos respectivos mapas tecnológicos. Um capítulo específico do Estudo Prospectivo detalha as ações de suporte ao desenvolvimento dos tópicos tecnológicos em cada um dos seis temas, por dimensão da INI e nos três horizontes temporais considerados. Para cada um dos seis temas, comentam-se, a seguir, as questões referentes às dimensões – recursos humanos (**RH**), infraestrutura física (**IE**), investimentos (**INV**), marco regulatório (**MR**), aspectos éticos e de aceitação pela sociedade (**AE**) e aspectos mercadológicos (**AM**), que nortearam as proposições de ações para a Agenda INI-Nanotecnologia.

Nanomateriais

Dentre as dimensões da Agenda INI-Nanotecnologia para nanomateriais, a mais importante é o marco regulatório (**MR**). O uso e a manipulação de nanopartículas e nanobjetos têm implicações nas relações de trabalho, mais especificamente na segurança e na saúde do trabalhador, no risco ambiental e na saúde do consumidor, impactos esses específicos de nanomateriais. Ao lado de questões mais gerais, como propriedade intelectual e definição de padrões metrológicos, a regulamentação técnica com certeza terá um papel decisivo para o crescimento do mercado de nanomateriais no país.

Outro ponto importante é a questão de recursos humanos (**RH**) nos mais diferentes níveis, técnico, superior e pós-graduação. Mesmo para uma previsão conservadora para o mercado de nanomateriais no Brasil, como apresentado pelo estudo do The Freedonia Group (2007)¹⁰, antecipam-se carências de pessoal nos referidos níveis. Embora os recursos humanos sejam de alta qualificação, encontram-se em quantidades insuficientes, especialmente de nível técnico, mestres e doutores. Tal situação constitui um gargalo crítico no horizonte de curto prazo, no qual recursos e mecanismos devem ser acionados na formação de recursos humanos em

Nanociência e Nanotecnologia em todos os níveis, técnicos, graduados, mestres e doutores.

A dimensão infraestrutura (**IE**) encontra-se em situação favorável, embora ainda carente de facilidades nacionais abertas com equipamentos de grande porte. Torna-se fundamental a alocação de recursos para a aquisição de equipamentos de grande porte para laboratórios nacionais ou regionais e para a modernização do parque laboratorial das universidades e dos institutos de pesquisa brasileiros. Com a dimensão recursos humanos (**RH**), a infraestrutura (**IE**) deverá constituir prioridade no horizonte de curto prazo.

Em um horizonte de médio prazo, quando, para a maioria das tecnologias o país estará no momento de passar do estágio de implantação dos novos produtos e processos à produção em larga escala, o principal gargalo será a inexistência de capital de risco e a necessidade de maior volume de investimentos (**INV**). Nesse momento, será necessária a ação do Estado, por meio de mecanismos como compras governamentais e programas de financiamento de longo prazo. Já no período de 2016 a 2025, quando se espera que ocorram quebras de paradigmas com a introdução de novos materiais e nanobjetos e quando as inovações trazidas pela nanociência não serão mais de caráter incremental, mais uma vez investimentos na formação de recursos humanos (**RH**) e na nova infraestrutura compatível com essas áreas de fronteira (**IE**) serão necessários para que o país possa aproveitar suas vantagens competitivas em relação ao campo de avanço do conhecimento em nanomateriais.

Nanoeletrônica

Face ao estágio de desenvolvimento da nanoeletrônica no mundo, é necessário um intenso trabalho de pesquisa e formação de recursos humanos (**RH**) para que o Brasil venha a ocupar uma posição de destaque nessa área.



Apesar desse cenário adverso, o Brasil poderá ocupar espaços em nichos tecnológicos, nos quais suas capacidades de P&D e de inovação indicam grande potencial a ser explorado estrategicamente. Alguns exemplos dessas aplicações são: sensores baseados em nanotubos de carbono; células solares; tecnologia *roll to roll*; *displays* OLEDs; dispositivos para aplicações em condições extremas (potência, voltagem, temperatura etc.). No estágio de P&D do mapa, indicam-se as necessidades de consolidação e expansão da infraestrutura física atual das instituições públicas e privadas (**IE**), dando-se continuidade, por exemplo, às iniciativas em curso no âmbito do Programa Nacional de Nanotecnologia¹¹, no que tange à nanoeletrônica.

Os gargalos relacionados às demais dimensões (**MR**, **INV** e **AM**) localizam-se no estágio de produção representado no mapa tecnológico e estratégico, dependendo da capacidade nacional em cada um dos tópicos estudados.

Nanofotônica

Sendo a nanofotônica uma área emergente no mundo, o Brasil pode ser um importante *player*, se conseguir formar recursos humanos especializados (**RH**); consolidar a infraestrutura existente (**IE**) e o marco regulatório (**MR**); agregar o setor empresarial e atrair articulações internacionais industriais já no curto prazo (**INV** e **AM**).

No período 2008-2010, as ações propostas para compor a Agenda INI-Nanotecnologia, com foco em aplicações de nanofotônica, visam impulsionar os esforços de P&D associados aos tópicos “LEDs inorgânicos” (**T3c**), “aplicações de nanofotônica em dados e telecomunicações” (**T3d**), “outros dispositivos optoeletrônicos” (**T3e**) e “sensores fotônicos: sensores plasmônicos” (**T3g1**). Ainda nesse mesmo período, as ações impactarão as iniciativas de inovação referentes aos tópicos “*displays*” (**T3a**),

“LEDs orgânicos” (**T3b**) e “células solares: *quantum dots* e heterojunção” (**T3f¹**).

No médio prazo (2011-2015), as ações propostas visam suportar os esforços de P&D referentes aos tópicos “LEDs inorgânicos” (**T3c**), “células solares: poliméricas e pequenas moléculas” (**T3f²**) e “sensores fotônicos: nanopartículas unimoleculares fluorescentes” (**T3g²**), além das iniciativas de inovação referentes aos tópicos “sensores fotônicos: sensores plasmônicos” (**T3g¹**), “aplicações de nanofotônica em dados e telecomunicações” (**T3d**) e “outros dispositivos optoeletrônicos” (**T3e**). Ainda nesse período, são propostas ações de suporte à produção de “*displays*” (**T3a**), “LEDs orgânicos” (**T3b**) e “células solares: *quantum dots* e heterojunção” (**T3f¹**).

Finalmente, no longo prazo, as ações propostas têm como foco as iniciativas brasileiras em nanofotônica, de acordo com o seguinte espectro: (i) P&D referente ao tópico “LEDs inorgânicos” (**T3c**); (ii) *inovação tecnológica* associada ao tópico “sensores fotônicos: nanopartículas unimoleculares fluorescentes” (**T3g²**); (iii) *produção* baseada nos tópicos “células solares: poliméricas e pequenas moléculas” (**T3f²**), “aplicações de nanofotônica em dados e telecomunicações” (**T3d**), “outros dispositivos optoeletrônicos” (**T3e**) e “sensores fotônicos: sensores plasmônicos” (**T3g¹**); e (iv) *comercialização* dos produtos e serviços baseados em “*displays*” (**T3a**), “células solares: *quantum dots* e heterojunção” (**T3f¹**) e “LEDs orgânicos” (**T3b**).

Nanobiotecnologia

O quadro atual aponta para os gargalos econômicos e políticos, sendo que os mais críticos no curto prazo (2008-2011) referem-se a investimentos em formação de recursos humanos (**RH**) e infraestrutura (**IE**). No médio prazo (2011-2015), os aspectos mercadológicos (**AM**),



em conjunto com regulamentação (**MR**), passam a ser determinantes e imprescindíveis para a plena inserção de empresas nacionais no mercado externo.

Dentre as prioridades de longo prazo (2016-2025), destacam-se os aspectos éticos (**AE**), considerando-se desde estudos das implicações da nanobiotecnologia até o esclarecimento e a informação da sociedade. Inserem-se como prioridades de longo prazo no mapa estratégico o equacionamento de aspectos mercadológicos (**AM**) e de regulamentação (**MR**), principalmente no que tange aos objetivos legítimos de saúde, segurança e meio ambiente.

Em síntese, o desenvolvimento e completa sedimentação dos setores envolvidos em nanobiotecnologia dependem de ações estratégicas e da criação de políticas específicas para fomento, gestão e comercialização de bens, produtos e processos relacionados ao tema. Ações vinculadas à regulamentação (**MR**) abrangem os três períodos e aquelas associadas aos aspectos mercadológicos (**AM**), éticos e sociais (**AE**) deverão ser priorizadas no médio e longo prazo, notadamente nos estágios de inovação, produção e comercialização.

Nanoenergia

Neste tema, todas as trajetórias tecnológicas abordadas apresentam como prioridade nos três intervalos de tempo considerados a formação de recursos humanos (**RH**). Esta deverá ocorrer em nível de ensino médio técnico, graduação e pós-graduação, para viabilizar desenvolvimento, inovação, produção e comercialização de todas as tecnologias. Também é essencial criar marcos regulatórios (**MR**) para todas as tecnologias e períodos abordados. Estes não existem ainda e é essencial realizar ações para aprimorar a legislação e os marcos regulatórios com impactos diretos sobre o desenvolvimento das nanotecnologias que im-

pactarão o setor de energia, de forma a facilitar a entrada competitiva de produtos e processos, baseados nas novas tecnologias, no mercado nacional e internacional.

São consideradas fundamentais várias ações no sentido de garantir e fomentar a implementação de infraestrutura física (**IE**), para praticamente todas as tecnologias entre 2008 e 2015, com foco no desenvolvimento das etapas de P&D e inovação. Exceção para os LEDs inorgânicos (**T5f¹**), já em comercialização empregando componentes importados. Ações na implementação de infraestrutura física ainda serão requeridas na etapa de produção de “células a combustível do tipo PEM” (**T5c²**).

Ações de investimento (**INV**) serão requeridas entre 2008 e 2010 para viabilizar a formação de empresas ou de rede de empresas inovadoras para a fabricação de “LEDs inorgânicos” (**T5f¹**). No intervalo entre 2010 e 2015, todas as outras tecnologias, exceto a de “células de óxido sólido” (**T5c¹**), deverão ser apoiadas por ações em investimento, de modo a viabilizar a etapa de inovação e produção. No caso das “células de óxido sólido” (**T5c¹**), projeta-se que no período de 2015 a 2025, sejam necessários investimentos para viabilizar a inovação e produção dessas células.

Ações relacionadas aos aspectos de mercado (**AM**), focalizando elementos essenciais para a inserção competitiva das inovações brasileiras no mercado nacional e internacional, cadeias produtivas, redução das barreiras de entrada em mercados e outros aspectos mercadológicos serão necessárias em diferentes períodos. Entre 2011 e 2015, para as tecnologias de “célula a combustível do tipo PEM” (**T5c²**), “baterias e capacitores” (**T5b**) e “células solares orgânicas e inorgânicas” (**T5a**), de modo a viabilizar a etapa de produção. Entre 2016 e 2025, para viabilizar a comercialização desses dispositivos.



Nanoambiente

É importante ressaltar que, nos próximos anos, existe uma necessidade premente de ações de incentivo à formação e capacitação de recursos humanos (**RH**), para que o país possa expandir sua capacidade de atuação e de inovação e efetivamente garantir o desenvolvimento de CT&I em nanotecnologia, em geral, e em especial das aplicações voltadas para a preservação do meio ambiente. As ações propostas associam-se a investimentos para consolidar e expandir a infraestrutura física (**IE**) das instituições públicas e privadas, com o objetivo de promover condições para que elas concentrem esforços em desenvolvimentos voltados para o tema nanoambiente, inclusive apoiando o surgimento de novas empresas de base tecnológica. Esses investimentos devem também abranger ações de fomento (**INV**), utilizando os diversos mecanismos de apoio disponíveis, de modo a prover fontes adequadas de financiamento, inclusive de natureza não reembolsável, o que é de extrema importância para a formação de empresas ou rede de empresas inovadoras em nanoambiente.

O sucesso da inovação de produtos nanotecnológicos, assim como ocorre para outros produtos, depende fundamentalmente de aspectos mercadológicos (**AM**). Outro ponto chave é a influência de aspectos éticos e socioculturais (**AE**), geralmente relacionados à incorporação responsável de novas tecnologias e sua aceitação pela sociedade. No caso da geração de nanopartículas, invisíveis ao olho nu, e cujos impactos ainda precisam ser mais bem avaliados, a definição de marcos regulatórios é essencial (**MR**) para que certas aplicações da nanotecnologia possam chegar até o mercado de forma responsável, com riscos avaliados e medidas de segurança devidamente definidas e regulamentadas, especialmente na área de meio ambiente.

Conclusões e recomendações

O Estudo Prospectivo atingiu seu objetivo maior, que foi fornecer as bases para a estruturação de uma Agenda INI-Nanotecnologia robusta, contemplando diretrizes e ações de curto, médio e longo prazos vinculadas diretamente ao desenvolvimento das aplicações de nanotecnologia apontadas como as mais promissoras para o Brasil. De fato, os resultados gerados pelas análises prospectivas dos seis temas de nanotecnologia abordados no Estudo Prospectivo e resumidos no corpo deste Resumo Executivo indicaram inúmeras oportunidades de inovação tecnológica, produção e comercialização no Brasil de importantes aplicações de nanotecnologia. O objeto dessas análises compreendeu 49 tópicos associados aos seis temas principais.

O Quadro RE-10 apresenta uma síntese geral das conclusões do Estudo Prospectivo, incluindo dados comparativos sobre o estágio de desenvolvimento em que se encontram os 49 tópicos no mundo e no Brasil, no período 2008-2010. O horizonte de curto prazo foi o escolhido para integrar esse quadro-resumo, pelo fato de que grande parte das ações de suporte deverá ser mobilizada nesse período, para que o país possa aproveitar efetivamente as vantagens potenciais referentes a tópicos que hoje se encontram em estágio pré-competitivo, em nível mundial. Isso porque um elevado percentual das aplicações classificadas como “apostas” encontram-se na situação pré-competitiva e com grau de maturidade embrionária (primeiro nível do Quadro RE-10).

A partir das análises prospectivas, os 49 tópicos foram distribuídos segundo o modelo conceitual de *portfolio* tecnológico estratégico em três níveis de posicionamento para a tomada de decisão: “apostas” (22 tópicos), “situação desejável” (25 tópicos) e “situação ideal” (2 tópicos). Um *portfolio* estratégico com essas características favorece significativamente o cumprimento das ações e metas tecnológicas e de mercado propostas na Agenda INI-Nanotecnologia e o engajamento oportuno e em tempo hábil dos di-



versos atores sugeridos na Agenda, em torno das trajetórias preconizadas nos respectivos mapas tecnológicos integrantes do Estudo Prospectivo.

Apresentam-se, a seguir, as recomendações do Estudo Prospectivo:

- Divulgar e difundir os resultados do Estudo Prospectivo da INI-Nanotecnologia, de forma a obter uma avaliação mais ampla das indicações estratégicas junto aos órgãos governamentais, à academia, às empresas e à sociedade em geral;
- Possibilitar a efetiva incorporação dos resultados nos processos decisórios associados ao cumprimento das metas estabelecidas no Programa Mobilizador em Nanotecnologia que integra a Política de Desenvolvimento Produtivo – PDP;
- Possibilitar o efetivo alinhamento e incorporação das proposições de ações que integram a Agenda INI-Nanotecnologia às iniciativas em curso e previstas no Programa Mobilizador em Nanotecnologia que integra a Política de Desenvolvimento Produtivo – PDP;
- Aprofundar a análise sociotécnica dos tópicos abordados, de modo a identificar mecanismos de gestão tecnológica, de investimentos em CT&I e regulamentação adequados a estes, considerando as incertezas e os riscos inerentes ao estágio de desenvolvimento das nanotecnologias;
- Monitorar de forma sistemática o desenvolvimento, em nível mundial e nacional, dos tópicos abordados, especialmente os 22 tópicos considerados como “apostas” no *portfolio* tecnológico estratégico.

Finalmente, cabe ressaltar que o Estudo Prospectivo congregou os resultados de um esforço coletivo, envolvendo cerca de 60 representantes de instituições acadêmicas, de centros de P&D, da indústria e do governo, que atuam diretamente nos campos da nanociência e da nanotecnologia. Consolidou-se dessa forma, com o comprometimento de todos, a Agenda que servirá de base para as etapas posteriores de implantação da INI-Nanotecnologia.

Quadro RE-10. Síntese geral do estudo prospectivo: base estratégica para a Agenda INI-Nanotecnologia

Posicionamento estratégico	Referência	Tópicos	Mundo: 2008-2010	Brasil: 2008-2010
Apostas: 22 tópicos Nanomateriais: 4 Nanoeletrônica: 3 Nanofotônica: 3 Nanobiotecnologia: 2 Nanoenergia: 4 Nanoambiente: 7	T1b¹	Nanofios e nanotubos	P&D e inovação/implantação	P&D
	T1b³	Nanobjetos replicando a natureza	P&D iniciando em 2011-2015	P&D iniciando em 2016-2026
	T1c²	Nanomateriais além da tecnologia do silício	P&D	P&D iniciando em 2011-2015
	T1e	Nanomateriais funcionais	P&D	P&D
	T2a¹	Dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com incorporação de nanomateriais	P&D	P&D
	T2c³	Nanodispositivos: integração de tecnologias <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i>	P&D	P&D iniciando em 2011-2015
	T2d	Dispositivos convencionais à base de materiais nanoestruturados e suas arquiteturas	P&D	P&D
	T3g¹	Sensores fotônicos: plasmônicos	P&D	P&D
	T3g²	Sensores fotônicos: nanopartículas unimoleculares fluorescentes	P&D iniciando em 2011-2015	P&D iniciando em 2011-2015
	T4d	Imageamento molecular	P&D	P&D
	T4g	Nanorrobôs	P&D	P&D iniciando em 2016-2025
	T5a e T3f²	Células solares: poliméricas e de pequenas moléculas	P&D e inovação/implantação em 2011-2015	P&D iniciando em 2011-2015
	T5c¹	Células a combustível: óxido sólido	P&D	P&D
	T5d	Nanofibras, nanotubos de carbono com aplicações em energia	P&D	P&D

continua



Continuação do Quadro RE-10

Posicionamento estratégico	Referência	Tópicos	Mundo: 2008-2010	Brasil: 2008-2010
Apostas: 22 tópicos (continuação)	T5d	Nanofibras, nanotubos de carbono com aplicações em energia	P&D	P&D
	T5e	Nanocatalisadores	Inovação/implantação	P&D
	T6a	Nanossensores para aplicações ambientais	P&D	P&D iniciando em 2011-2015
	T6b¹	Membranas e filtros para gases	P&D	P&D iniciando em 2011-2015
	T6b²	Membranas e filtros para líquidos orgânicos	P&D	P&D iniciando em 2011-2015
	T6e¹	Nanomateriais com atividade catalítica para biocombustíveis e gás natural	P&D	P&D iniciando em 2011-2015
	T6e²	Nanomateriais com atividade catalítica: consolidação da tecnologia	P&D	Inovação/implantação iniciando em 2011-2015
	T6f	Técnicas de monitoramento e diagnóstico de nanomateriais	P&D	P&D
	T6g	Sistemas de entrega e liberação controlada de nutrientes e defensivos agrícolas	P&D	P&D
Ideal: 2 tópicos Nanobiotecnologia: 1 Nanoambiente: 1	T4f	Revestimentos e filmes biofuncionais	Inovação/implantação	Produção/processo
	T6c	Nanomateriais para controle microbiano em meio ambiente, alimentos e bioprocessos	Produção e comercialização	P&D e inovação/implantação
Desejável: 25 tópicos Nanomateriais: 4 Nanoeletrônica: 6 Nanofotônica: 6 Nanobiotecnologia: 5 Nanoenergia: 4 Nanoambiente: 3	T1a	Nanomateriais estruturais	Produção/processo	P&D
	T1a	Nanomateriais estruturais	Produção/processo	P&D
	T1a	Nanomateriais estruturais	Produção/processo	P&D
	T1a	Nanomateriais estruturais	Produção/processo	P&D
	T1a	Nanomateriais estruturais	Produção/processo	P&D
	T1b²	Nanopartículas	Produção/processo	Inovação incremental

continua...

Posicionamento estratégico	Referência	Tópicos	Mundo: 2008-2010	Brasil: 2008-2010
Desejável: 25 tópicos (continuação)	T1b²	Nanopartículas	Produção/processo	Inovação incremental
	T1c¹	Nanomateriais semicondutores e magnéticos	Comercialização	Inovação incremental iniciando em 2011-2015
	T1d	Revestimentos nanoestruturados	Produção/processo	P&D e inovação incremental
	T2a²	<i>Vacuum microeletronics</i> com nanotubos	Inovação/implantação	P&D
	T2a³	Células solares com nanocompósitos e <i>displays</i> OLEDs com nanodispositivos	Inovação/implantação e produção/processo	Inovação
	T2b	NEMS e atuadores	Inovação/implantação	P&D
	T2c¹	Nanodispositivos: tecnologias <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i>	Comercialização	P&D
	T2c²	Nanodispositivos: tecnologias <i>roll-to-roll</i>	Inovação/implantação	Inovação
	T3a	<i>Displays</i>	Produção/processo	Inovação/implantação
	T3b e T5f²	LEDs orgânicos	Produção/processo	P&D e inovação
	T3c e T5f¹	LEDs inorgânicos	Comercialização	P&D e comercialização via importação
	T3d	Aplicações de nanofotônica em dados e telecomunicações	Produção/processo	P&D
	T3e	Outros dispositivos optoeletrônicos	Inovação/implantação	P&D
	T4a	Materiais nanoestruturados biocompatíveis	Produção/processo	P&D
	T4b¹	Sistemas de entrega e liberação controlada de fármacos	Inovação/implantação	Inovação/implantação
	T4b²	Sistemas de entrega e liberação controlada de cosméticos	Inovação/implantação	Produção/processo

continua...

Posicionamento estratégico	Referência	Tópicos	Mundo: 2008-2010	Brasil: 2008-2010
Desejável: 25 tópicos (continuação)	T4c	Biossensores	Inovação/implantação	Inovação/implantação
	T4e	Materiais nanoestruturados para aplicação em agricultura	Produção/processo	Inovação/implantação
	T3f ¹	Células solares: <i>quantum dots</i> e heterojunção	Inovação/implantação	P&D e inovação
	T5b	Baterias e capacitores	Inovação/implantação e produção	P&D
	T5c ²	Células a combustível: PEM	Produção/processo	Inovação/implantação
	T6d	Nanodispositivos para tratamento de água e resíduos	Produção/processo	P&D iniciando em 2016-2025
	T6i	Análise do ciclo de vida de nanomateriais	Inovação/implantação	P&D iniciando em 2011-2015
	T6h	Nanomateriais de fontes renováveis ou biodegradáveis	Inovação/implantação	P&D

Referências bibliográficas

AZAD, N. & ROJANASAKUL, Y. Nanobiotechnology in Drug Delivery. **American Journal of Drug Delivery**, 4, 79, 2006.

CGEE (2005). **Consulta Delphi em Nanociência e Nanotecnologia: NanoDelphi**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Mimeo. Brasília, fev 2005.

CGEE (2008). **Relatório intermediário INI-Nanotecnologia**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Mimeo. Brasília, fev 2008.

ESPICON BUSINESS INTELLIGENCE (2007). **Nanotechnology**: Players, products & prospects to 2015. Nov 2007.

MCT (2006). **Relatório Nanotecnologia**: investimentos, resultados e demandas. Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília, jun de 2006. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: 10 jul 2008.

MCT (2006). **Programa Nacional de Nanotecnologia**. Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: jul 2008.

MCT (2007). **Documento Resumo do PNN**. Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília, nov 2007. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: 10 jul 2008.

SCIENCE-METRIX (2008). **Nanotechnology World R&D Report 2008**. Serie R&D Reports Examining Science and Technology. Montreal: Science-Metrix Inc.

THE FREEDONIA GROUP (2007). **World Nanomaterials to 2011**. Study # 2215. Cleveland, OH: The Freedonia Group. Aug 2007.

Notas

- ¹ CGEE (2005). **Consulta Delphi em Nanociência e Nanotecnologia: NanoDelphi**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.
- ² CGEE (2008). **Relatório intermediário INI-Nanotecnologia**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Fev 2008.
- ³ SCIENCE-METRIX (2008). **World R&D Nanotechnology**; RNCOS (2008). **Nanotechnology Market Forecast till 2011**; MONA CONSORTIUM (2008). **A European Roadmap for Photonics and Nanotechnology**; NANO2LIFE (2006). **Enviosioned Developments in Nanobiotechnology**: expert survey. Battelle. Memorial Institute and Foresight Nanotech Institute (2007). Productive Nanosytems; technology roadmap.
- ⁴ PHAAL, FARRUKH and PROBERT (2004). Customizing Roadmapping. **Research Technology Management**, Mar-Abr 2004, pp. 26-37.

- ⁵ Para a definição das técnicas *bottom-up* e *top-down*, ver: MELO, C. M. e PIMENTA, M. Nanociências e nanotecnologia. **Parcerias Estratégicas**, nº 18, p. 16. CGEE. Brasília, ago de 2004.
- ⁶ ESPICON BUSINESS INTELLIGENCE. **Nanotechnology**: Players, products & prospects to 2015. Nov, 2007.
- ⁷ AZAD, N.; ROJANASAKUL, Y. (2006). Nanobiotechnology in Drug delivery. **American Journal of Drug Delivery**, 4, 79.
- ⁸ SCIENCE-METRIX (2008). **Nanotechnology World R&D Report 2008**. Serie R&D Reports Examining Science and Technology. Montreal: Science-Metrix Inc., p. 185.
- ⁹ SCIENCE-METRIX (2008). **Nanotechnology World R&D Report 2008**. Serie R&D Reports Examining Science and Technology. Montreal: Science-Metrix Inc., p. 185.
- ¹⁰ THE FREEDONIA GROUP (2007). **World Nanomaterials to 2011**. Study #2215. Cleveland, OH: The Freedonia Group. Aug 2007, p. 473.
- ¹¹ MCT (2006). **Programa Nacional de Nanotecnologia**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: jul 2008.

1. Introdução :

A nanotecnologia tem atraído grande interesse em diversos setores industriais e acadêmicos devido aos benefícios e diversificação que podem ser alcançados no desenvolvimento tecnológico e econômico. Nos últimos 20 anos, tornou-se possível não apenas a visualização, mas também a manipulação direta de átomos e moléculas. Com isso, tanto a nanociência quanto a nanotecnologia, ou seja, a investigação da natureza e o desenvolvimento de aplicações na escala do nanômetro (o bilionésimo de metro), tornaram-se factíveis. Sendo antes uma questão de domínio de uma dimensão espacial do que o avanço do conhecimento em uma área específica, a nanociência e a nanotecnologia (N&N), em sua convergência com áreas como a biotecnologia, materiais e instrumentação, por exemplo, têm dado origem, desde já, a novos processos industriais e novos produtos, com o surgimento de novas indústrias e novos mercados.

Podem ser criados novos materiais e produtos com base na capacidade de manipular átomos e moléculas. O grande diferencial desses materiais é potencializar propriedades físicas e químicas em concentrações extremamente reduzidas e conferir características antes não apresentadas por um dado produto. Esse alcance de propriedades se deve basicamente ao fato de tais estruturas possuírem dimensões nanométricas, que resultam em uma área superficial elevada, maior grau de dispersão e funcionalidades que são dependentes do tamanho da estrutura. Atualmente, em países mais desenvolvidos, são altos os investimentos e programas em nanotecnologia, considerada uma das principais áreas de fomento à P&D&I, ao lado da biotecnologia, tecnologias da informação e comunicação (TIC) e meio ambiente. Todos os programas estão vinculados às estratégias nacionais de desenvolvimento econômico e competitividade, com alvos bem definidos e compatíveis com as características industriais do país.

De fato, cresce a cada dia o número de nanoestruturas, devido à redução das dimensões de estruturas maiores ou à formação de estruturas

supramoleculares bem definidas e de alta complexidade, capazes de desempenhar funções igualmente complexas, como indicam dados sobre o mercado global para as aplicações de nanotecnologia. Conforme estudo recente da BCC Research¹², o mercado global de nanotecnologia atingiu patamares da ordem de US\$ 11,6 bilhões em 2007 e de US\$ 12,7 bilhões em 2008. Estima-se, que em 2013, o mercado alcance cifras da ordem de US\$ 27 bilhões, baseando-se em uma taxa de crescimento anual média de 16,3%.

A percepção de que a nanotecnologia e a nanociência representam um novo patamar de conhecimento, com imensos e ainda não devidamente mensurados impactos científicos e econômicos, levou os países líderes, como os EUA, o Japão e os da Comunidade Europeia, a desenhar iniciativas nacionais ou regionais de incentivo e de financiamento privilegiado para a área, visando a novos patamares de competitividade de suas empresas¹³. Com financiamentos mais modestos, vários países em desenvolvimento também descobriram o grande potencial da N&N e, em função disso, constituíram suas iniciativas nacionais que poderão reverter em significativas melhorias da qualidade de vida de suas populações. Como exemplos de bons focos podem ser citados agricultura, energia, tratamento de água (potabilidade), saúde pública, entre tantos outros¹⁴.

Os EUA são os maiores investidores nesse campo e vêm mobilizando recursos para a criação de diversas agências federais destinadas à pesquisa e ao desenvolvimento em nanotecnologia. A partir de 2006, o valor total dos investimentos nos EUA por parte do governo atingiram valores acima de US\$ 1 bilhão por ano, sendo destinados principalmente para as áreas de processo/fenômenos em nanoescala e sistemas/dispositivos nanométricos.

Nos países da Comunidade Europeia, programas especiais para projetos de pesquisa e desenvolvimento em nanotecnologia têm como objetivo aumentar a competitividade das empresas europeias e dos estabeleci-



mentos de parcerias internacionais. No período de 2002 a 2006, foi investido US\$1,6 bilhão em projetos relacionados com a nanotecnologia. Já para os próximos quatro anos, serão destinados US\$ 5 bilhões, um aumento em três vezes no orçamento para P&D em nanotecnologia em relação ao programa anterior. No Japão, foram destinados 850 milhões à área de nanotecnologia em 2005.

A China já investiu entre US\$ 250 milhões e US\$ 300 milhões no período de 2002 a 2005. Os produtos chineses concentram-se no segmento de pós-nanoestruturados, e diversas empresas que comercializam produtos baseados em nanotecnologia são provenientes de centros e institutos de pesquisas.

Em síntese, os investimentos mundiais em pesquisa e desenvolvimento nessa área cresceram de US\$ 1 bilhão em 2000 para US\$ 12,4 bilhões em 2006, com estimativa de crescimento a taxas expressivas nos próximos anos¹⁵. No Brasil, os maiores investimentos em nanotecnologia são provenientes de iniciativas do governo, um total de US\$ 170 milhões até 2006. Por parte das empresas privadas, estima-se algo próximo de R\$ 30 milhões. Os progressos nesse ramo direcionam-se para os setores de eletrônica, ótica, comunicações, materiais, transportes aéreo e naval, biotecnologia, engenharia de produção e agronegócios, com diversas pesquisas de ponta, tanto básicas quanto aplicadas.

Além da necessidade de financiamentos importantes e continuados, por um lado, a N&N necessita, por outro lado, de uma população de especialistas que domine o substrato teórico-experimental das disciplinas conexas e afins. Soma-se a isso a “construção” de estratégias de compartilhamento de *expertises*, trocas de informações, facilidades laboratoriais e instrumentais, segundo o modelo consagrado de redes cooperativas de pesquisa¹⁶. A partir do desenho dos mapas tecnológicos referentes a seis grandes temas de N&N no mundo e no Brasil, mostra-se no presente estudo que o Brasil já possui uma competência científica já estabelecida

em diversas áreas que, devidamente apoiada e dentro de um concertado plano estratégico de desenvolvimento das aplicações promissoras, pode ser mobilizada para permitir que novos produtos e processos com base em N&N possam vir a ser criados. Isso permitirá, em bases realistas, tanto o desenvolvimento de oportunidades no mercado interno, quanto a inserção competitiva das empresas brasileiras em mercados globais.

Com relação ao mercado brasileiro, estima-se que a introdução no mercado de alguns resultados dos esforços de P&D em N&N no país poderão ocorrer dentro de poucos anos, mas em outros casos serão mais remotos, como apontado nos mapas tecnológicos do Brasil e do mundo apresentados nos Capítulos 4 a 9 e, também, na síntese apresentada ao final do Capítulo 11. Algumas atividades como a nanofabricação, apesar de apresentarem grandes perspectivas de geração de produtos e aplicações, estão atualmente limitadas ao meio acadêmico, em algumas universidades e centros de pesquisa que realizam pesquisa e desenvolvimento de técnicas de fabricação, análise e aplicações em dispositivos eletrônicos, sensores, peneiras, canais para fluídica e membranas. Um levantamento recente no Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil¹⁷ confirma que há somente quatro grupos de pesquisa nessa área, a saber: “Tecnologias de micro e nanofabricação” da Unicamp (SP); “Nanofabricação” do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (RJ); Laboratório de Nanociência e Nanofabricação da USP (SP) e Laboratório de Microanálises do Consórcio Física-Geologia Química da UFMG (MG).

No setor de energia, o Brasil favorece-se de sua extensão territorial, por possuir recursos como luz solar intensa em grande parte de seu território e uma comunidade científica atuando há vários anos na área de desenvolvimento de novos materiais e dispositivos. Prevê-se que o país poderá atuar e competir fortemente nesse setor no mercado internacional, empregando os nanofibras, nanotubos de carbono e outros inorgânicos nos dispositivos funcionais de geração, armazenamento e transporte de



energia. Tais dispositivos representam uma alternativa ambientalmente correta para o setor de energia, em especial para o segmento de combustíveis baseados em fontes renováveis e que não envolvem geração de subprodutos, além de corrente elétrica e calor.

Três outros mercados, nos quais o Brasil tem interesse estratégico, são: produtos farmacêuticos, químicos e cosméticos, seja pelas dimensões e demanda de seu mercado interno (setor quimiofarmacêutico), seja pela existência de grandes grupos empresariais nacionais (setores químico e de petróleo e gás natural) ou ainda pela sua megabiodiversidade (setores farmacêutico e de higiene e cosméticos). Nesses mercados, a N&N pode contribuir com importantes inovações a serem incorporadas durante as próximas décadas.

Outra área de grande relevância para o Brasil refere-se às agroindústrias. O potencial de produtos e processos nanotecnológicos e nanobiotecnológicos nesse campo é vasto, cobrindo desde materiais nanoestruturados para aplicação em agricultura, sistemas de entrega e liberação controlada de nutrientes e defensivos agrícolas, com menor impacto ao meio ambiente, até embalagens “inteligentes” que informam o consumidor sobre o estado do produto.

Com relação à nanobiotecnologia, em geral, prevê-se que o Brasil possa ocupar no médio prazo uma posição competitiva bastante favorável em tópicos específicos, como as já citadas aplicações em agricultura; imageamento molecular e materiais nanoestruturados biocompatíveis para aplicações em diversos campos da medicina.

Deve-se notar, porém, que os produtos nanotecnológicos não se limitam à gama dos chamados produtos de alta tecnologia, mas compreendem todos aqueles em que novas propriedades estão associadas aos materiais

com dimensões críticas que se situam na faixa de dezenas de nanômetros. Assim, no Brasil, já são hoje comercializados produtos de uso cotidiano, como tecidos resistentes a manchas, protetores solares, vidros autolimpantes e vários tipos de revestimentos baseados em processos nanotecnológicos. Essa característica tem significado especial para os países em desenvolvimento, ao contrário da revolução da microeletrônica, na qual os países em desenvolvimento podiam contemplar a possibilidade de exportar *commodities* e importar computadores e celulares.

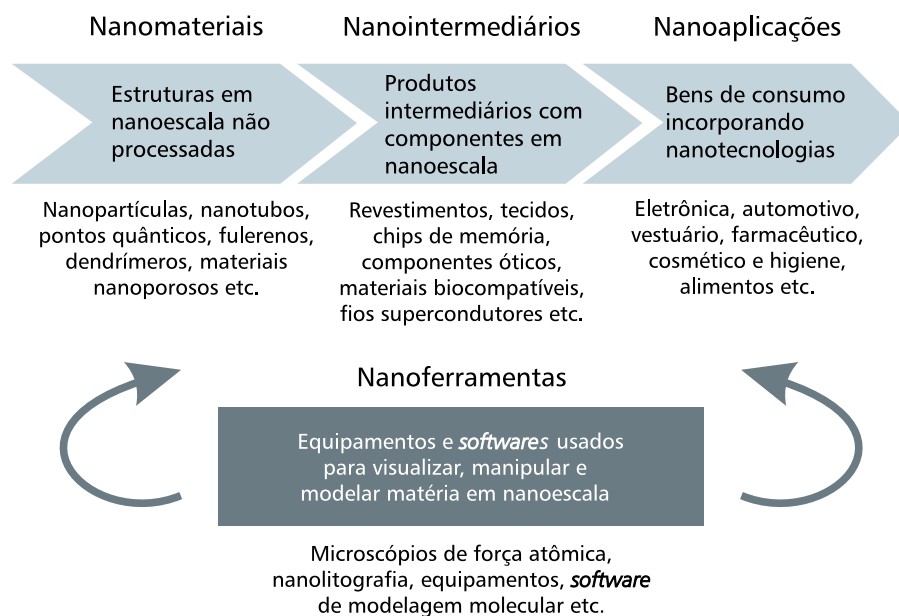
Prevê-se que a nanotecnologia estará presente mesmo nas indústrias mais tradicionais, tornando processos de produção mais baratos, menos agressivos ao meio ambiente e de menor consumo de energia, além de oferecer produtos mais funcionais e de maior valor agregado. Por outro lado, o alto grau de inovação associado a futuras mudanças em produtos e processos industriais geradas pelo avanço das nanotecnologias identificadas como “apostas” neste estudo poderá causar a obsolescência de diversos produtos e processos que hoje estão em uso. Como área portadora de futuro, espera-se que a nanotecnologia contribua de forma significativa para o desenvolvimento industrial do Brasil, o que significa avaliar e antecipar sua participação futura em todos os estágios da cadeia de valor, mostrada adiante, na Figura 1.1. Tais contribuições vão desde inovações radicais em áreas emergentes do conhecimento, abrindo-se espaços para um posicionamento futuro de destaque para o país, quanto inovações incrementais voltadas para setores tradicionais da indústria brasileira, tornando-os mais sustentáveis do ponto de vista econômico, social e ambiental.

Segundo a Lux Research, não existe um mercado de nanotecnologia, e sim uma cadeia de valor, que vai desde os nanomateriais (por exemplo, nanopartículas de argila), passando por nanointermediários (nesse exemplo, materiais compósitos produzidos a partir de nanopartículas de argila), até as chamadas nanoaplicações (na sequência, bens de consumo



incorporando nanocompósitos). A Figura 1.1 mostra esquematicamente a representação da cadeia de valor da nanotecnologia.

Figura 1.1 Cadeia de valor da nanotecnologia



Fonte: Lux Research (2004).

Além da conceituação da cadeia de valor e sua importância para a identificação de oportunidades de mercado em nanotecnologia, a Lux Research ressalta a questão da inovação tecnológica em nanotecnologia, argumentando que nem toda nanotecnologia é uma nova tecnologia. Enquanto nanotecnologias emergentes estão sendo desenvolvidas no momento, outras tecnologias, ditas conhecidas ou estabelecidas, já estão no mercado há anos, como é o caso das zeólitas sintéticas.

Frente ao largo espectro de oportunidades e desafios e em consonância às metas estabelecidas no Programa Mobilizador em Nanotecnologia que

integra a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP), o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), por solicitação da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), desenvolveu o presente estudo prospectivo com o objetivo de identificar as aplicações de N&N mais promissoras e estratégicas para o país no período 2008-2025 e propor um conjunto de diretrizes e ações para compor a Agenda INI-Nanotecnologia.

Finalmente, cabe destacar que este estudo baseou-se em um esforço coletivo de construção de mapas tecnológicos e *portfolios* estratégicos referentes a seis temas de nanotecnologia, que envolveu 65 representantes de instituições acadêmicas, de centros de P&D, da indústria e do governo (Anexos I e II).

1.1 Antecedentes

No início do século XXI, mais especificamente no final de 2000, o governo brasileiro atentou para o rápido desenvolvimento das nanociências e nanotecnologias que estava ocorrendo em vários outros países. Em 2001, reconheceu mais significativamente a importância da nanotecnologia para o país, com a percepção de que uma janela de oportunidade para ciência, tecnologia e inovação, com potencial para produtos brasileiros, perderiam competitividade no mercado externo, tanto em termos de atualização tecnológica, como em termos de preço, à medida que os avanços em nanotecnologia fossem se consolidando. Frente a esse desafio, o CNPq estruturou naquele ano, por meio de um processo competitivo de apresentação de projetos, quatro redes de pesquisa em N&N, nas seguintes áreas: (i) materiais nanoestruturados; (ii) interfaces e nanotecnologia molecular; (iii) nanobiotecnologia; e (iv) nanodispositivos semicondutores¹⁸.

Dois anos depois, o apoio governamental a essas quatro redes já havia alcançado R\$ 5 milhões, equivalente a quase o dobro dos recursos que elas receberam desde a sua criação, em 2001. Ainda em 2003, o apoio



dos Fundos Setoriais, CT-Petro, CT-Energ e Fundo Verde e Amarelo, em editais que incluíram a nanotecnologia, chegou a um montante de R\$ 2,2 milhões. No final daquele ano, o Programa “Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia” foi aprovado pelo Congresso Nacional no âmbito do PPA 2004-2007, com o objetivo de promover o desenvolvimento de novos produtos e processos em nanotecnologia visando ao aumento da competitividade da indústria nacional.

Em 2004, com a implementação das ações do referido Programa e sua integração no âmbito do PPA 2004-2007, assegurou-se o apoio à pesquisa básica, à pesquisa entre as instituições de Ciência & Tecnologia (ICT) e empresas, fortalecendo-se as redes existentes e a infraestrutura laboratorial. Essas ações focalizaram a geração de patentes, produtos e processos na área de nanotecnologia. Como resultado, entre 2002 e 2005 as quatro redes mobilizaram e envolveram 300 pesquisadores, 77 instituições de ensino e pesquisa, 13 empresas, além de publicar mais de 1000 artigos científicos e depositar mais de 90 patentes.

No ano seguinte, foi lançada a Política Industrial, Tecnológica e do Comércio Exterior (PITCE) e criada a Ação Transversal de Nanotecnologia dos Fundos Setoriais, passando-se a novos patamares de investimentos. Ainda em 2005, foi lançado o Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN) como parte integrante do Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a PITCE. Desde sua criação, o PNN é gerido pela Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias (CGNT) do MCT. No início, seu escopo compreendia cinco ações, porém, com as subseqüentes reformulações na política de ciência e tecnologia do MCT, o PNN passou a contar com quatro ações, descritas a seguir:

- Apoio a redes e laboratórios de nanotecnologia;
- Implantação de laboratórios e redes de micro e de nanotecnologia;

- Fomento a projetos de pesquisa e desenvolvimento em micro e nanotecnologia;
- Fomento a projetos institucionais de pesquisa e desenvolvimento em nanociência e nanotecnologia.

As três primeiras ações estão sob a execução do MCT e a última sob a execução do FNDCT. O conjunto das ações suporta o objetivo geral do referido Programa, que é apoiar projetos e atividades sobre infraestrutura para pesquisa, geração de conhecimentos, produtos e processos micro e nanotecnológicos. Como consequência da implantação do PNN, os investimentos em 2005 até o 1º semestre de 2006 ultrapassaram R\$70 milhões. Nesse período, foram criadas dez novas redes de pesquisa e disponibilizados recursos para o fortalecimento de três laboratórios estratégicos em nanotecnologia (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF, Embrapa Instrumentação e Centro Estratégico de Tecnologia do Nordeste – Cetene). Adicionalmente, destaca-se o apoio a mais de 28 projetos, compreendendo a pesquisa básica e a pesquisa entre ICT e empresas. No campo da cooperação internacional, foram implementadas missões exploratórias à África do Sul, Austrália, Japão, Reino Unido. Nesse contexto institucional favorável, foi assinado ainda em 2005 o Protocolo de Intenções entre Brasil e Argentina na área de Nanotecnologia e criado o Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia (CBAN) naquele mesmo ano¹⁹. Mais recentemente, em março de 2008, a indústria nacional e as comunidades científicas brasileira e internacional passaram a contar com uma das mais avançadas unidades de pesquisa na área de ciência, tecnologia e inovação em N&N. Trata-se do Centro de Nanociência e Nanotecnologia Cesar Lattes, construído no campus do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), instituição de pesquisa do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) localizada em Campinas, interior paulista²⁰.

Desde então, o Brasil tem avançado consistentemente no desenvolvimento de ações de muita importância em Ciência, Tecnologia e Inovação



(CT&I), com resultados concretos na produção científica, tecnológica e formação de recursos humanos em áreas consideradas estratégicas. Em novembro de 2007, foi lançado o Plano de Ação em CT&I (PACTI), cujas ações vêm sendo executadas de forma articulada e coordenada por diversos ministérios, tendo à frente o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). O Plano conta com recursos assegurados para o período 2007-2010. A linha de ação #7 da prioridade estratégica III, descrita no citado Plano de Ação,²¹ identifica duas áreas de máxima relevância, a biotecnologia e a nanotecnologia. O plano tem como objetivos:

- Fortalecer a gestão e o planejamento das atividades governamentais nas áreas de biotecnologia, nanociências e nanotecnologia, de modo a melhor identificar os grandes desafios e as oportunidades para o país;
- Estabelecer prioridades e criar as condições institucionais, materiais e de recursos humanos para um maior estímulo à inovação por meio da agilização do processo de transferência de conhecimento;
- Gerar produtos e processos que utilizem biotecnologia e nanotecnologia;
- Favorecer o aumento da competitividade das empresas nacionais, conforme estabelece a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior – PITCE, pela incorporação da biotecnologia e nanotecnologia no desenvolvimento de novos produtos e processos.

Mais recentemente, em maio de 2008, foi lançada a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP)²² pelo Governo Federal, inspirada pelo objetivo de contribuir para o crescimento sustentável de longo prazo da economia brasileira, em continuidade às conquistas alcançadas no âmbito da PITCE. A nova política industrial vem beneficiando 24 setores da economia e tem foco na redução da dependência externa, na descentralização da produção e nos investimentos em avanço tecnológico e prevê investimentos de R\$ 251,6 bilhões, entre 2008 e 2010. Dentre as metas previstas está a ampliação da taxa de investimento da economia e o incentivo ao aumen-

to dos gastos do setor privado com pesquisa e desenvolvimento, visando alcançar em 2010 o equivalente a R\$ 18,2 bilhões em P&D.

A PDP busca potencializar as conquistas alcançadas, avançando, principalmente, em cinco direções, a saber: *(i)* focalização de metas específicas e adequadas ao atual estágio de desenvolvimento da economia brasileira; *(ii)* proposição de iniciativas e programas que reconhecem a diversidade e a complexidade da estrutura produtiva do país; *(iii)* construção de alianças público-privadas; *(iv)* incorporação de mecanismos aptos a assegurar sua implementação eficiente ao longo do tempo; e *(v)* construção de uma estrutura de governança que defina responsabilidades pela execução e gestão de cada programa e indique a necessidade de fortalecer mecanismos de coordenação intra-governamental.

Cabe destacar que a configuração dos diversos programas propostos na PDP, no que tange aos instrumentos disponíveis (incentivos, regulação, poder de compra, apoio técnico), buscou uma adequação às especificidades e necessidades de cada sistema. Em alguns casos, o foco do programa está na criação de incentivos ao investimento fixo; em outras situações, no estímulo ao comportamento inovador; e, em outros, no fomento ao adensamento de cadeias produtivas.

Em função dessa diversidade, definiram-se três categorias de programas: *(i)* programas mobilizadores em áreas estratégicas; *(ii)* programas para fortalecer a competitividade focados na ajuda aos setores da economia brasileira com potencial de desenvolvimento e crescimento; e *(iii)* programas para consolidar e expandir a liderança de setores em que o Brasil já é forte internacionalmente.

A sustentabilidade do crescimento do país em uma visão de longo prazo está fortemente relacionada à superação de desafios científicos e tecnológicos para a inovação, requerendo o compartilhamento de metas



entre o setor privado, institutos tecnológicos e comunidade científica. Em todas as três categorias de programas da PDP, torna-se fundamental a articulação de uma grande diversidade de instrumentos, concedendo-se especial atenção à disponibilização de recursos para todas as etapas do ciclo de inovação.

A Figura 1.2 mostra de forma sistêmica os elementos fundamentais dessa Política, com destaque para os Programas Mobilizadores em Áreas Estratégicas. A nanotecnologia, com as tecnologias de informação e comunicação – TIC, a biotecnologia e outras áreas estratégicas para o país, constituem alvos desses programas mobilizadores.

Figura 1.2 Política de Desenvolvimento Produtivo em três níveis



Fonte: MDIC, 2008

Focalizam-se a seguir os programas mobilizadores em áreas estratégicas, categoria na qual o presente estudo se integra. Esses programas têm como foco as seguintes áreas: nanotecnologia; biotecnologia; tecnologias de in-

formação e comunicação (TIC); o complexo industrial da defesa; o complexo industrial da energia nuclear; e o complexo industrial da saúde.

Particularmente, o Programa Mobilizador em Nanotecnologia tem como objetivos: (i) desenvolver nichos de mercado com potencial de competitividade em materiais, eletrônicos, médico e farmacêutico, equipamentos e ferramentas e tecidos nanoestruturados; e (ii) ampliar o acesso da indústria aos desenvolvimentos da nanotecnologia. São destacados no Programa quatro desafios: (i) incentivo a empresas de base tecnológica; (ii) expansão da formação de recursos humanos especializados; (iii) atração de investimentos em P&D; e (iv) adequação do marco legal. No sentido de vencer esses desafios e atingir os objetivos propostos, o Programa estabelece as seguintes metas para 2010: (i) investir R\$70 milhões em PD&I; e (ii) alcançar 100% dos investimentos privados previstos no Plano de Ação de Ciência, Tecnologia e Inovação.

O Quadro 1.1 resume os principais marcos institucionais do desenvolvimento da nanotecnologia no país.

Quadro 1.1 Marcos institucionais do desenvolvimento da nanotecnologia no país

Ano	Marcos institucionais
1987	Investimento do CNPq em equipamentos para técnicas de crescimento epitaxial de semicondutores.
2000	Reunião seminal do CNPq/MCT sobre o desenvolvimento futuro da N&N no país.
2001	Criadas quatro redes de nanotecnologia CNPq/MCT e apoiados quatro Institutos do Milênio na área.
2003	Criado o Grupo de Trabalho de Nanotecnologia para elaboração do Programa de Nanotecnologia.
2003	Criada a Coordenação-Geral de Políticas e Programas de Nanotecnologia. Atualmente Coordenação de Micro e Nanotecnologias.
2004	Início do Programa Desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia no âmbito do PPA – 2007.
2004	Criado do GT para estudo sobre a implantação do Laboratório Nacional de Micro e nanotecnologia.
2004	Criada a Ação Transversal de Nanotecnologia nos Fundos Setoriais.
2004	Instituída a Rede BrasilNano e seu Comitê Diretor.

continua...



Continuação do Quadro 1.1

2005	Designados os membros do Conselho Diretor da Rede BrasilNano.
2005	Lançado o Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN).
2005	Assinado o Protocolo de Intenções entre Brasil e Argentina criando o Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia (CBAN).
2005	Selecionadas 10 Redes Nacionais de Nanotecnologia, com atuação prevista para o período 2006-2009.
2007	Lançamento do Plano de Ação em CT&I (PACTI), cujas ações são executadas de forma articulada e coordenada por diversos ministérios, tendo à frente o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT).
2008	Inauguração do Centro de Nanociência e Nanotecnologia Cesar Lattes, construído no campus do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), em março de 2008.
2008	Lançamento pelo Governo Federal da Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP) em maio de 2008. Integra a PDP o Programa Mobilizador em Nanotecnologia, cuja gestão está a cargo do MCT.

Em consonância às metas estabelecidas no Programa Mobilizador em Nanotecnologia que integra a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP), a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) encomendou ao Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) um estudo prospectivo para servir de base à formulação de uma agenda que contemple ações de curto, médio e longo prazos em total alinhamento aos objetivos do Plano de Ação em CT&I (PACTI) e com foco em aplicações estratégicas para o país. Nesse contexto institucional, foi concebida a INI-Nanotecnologia, como apresentada a seguir.

1.2 Objetivos e escopo

O objetivo geral do estudo prospectivo é fornecer as bases para a estruturação de uma agenda com diretrizes e ações de curto, médio e longo prazos vinculadas ao desenvolvimento das aplicações de nanotecnologias apontadas como as mais promissoras para o Brasil.

Em termos específicos, o estudo busca:

- Analisar documentos de referência sobre políticas e estratégias nacionais de inovação em nanotecnologia, bem como relatórios internacionais e nacionais sobre o mercado, marco legal e regulatório, entre outros que se fizerem necessários;
- Construir a visão de futuro do desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil, a partir do desenho e da análise de mapas tecnológicos e estratégicos que permitam a indicação das aplicações mais promissoras e prioridades para as ações de suporte (Agenda INI-Nanotecnologia);
- Definir o marco atual e o da visão de futuro, nas dimensões de análise consideradas na INI-Nanotecnologia;
- Elaborar e validar propostas de diretrizes e ações que irão compor a Agenda INI-Nanotecnologia;
- Analisar as competências nacionais e a produção científica e tecnológica na área de nanotecnologia, que possibilitem a identificação das áreas mais promissoras e dos gargalos na dimensão “Recursos Humanos” da referida Agenda.

Do ponto de vista da dinâmica metodológica, as ações seguem as mesmas linhas definidas de forma geral para a Iniciativa Nacional de Inovação, a saber:

- formação de equipe;
- elaboração do relatório intermediário “Panorama da Nanotecnologia no Mundo e no Brasil”, consolidando as informações oriundas de trabalhos de prospecção previamente realizados pelo CGEE e por instituições internacionais sobre nanotecnologia, sob as óticas dos setores acadêmico, empresarial e governamental;
- realização de oficina de trabalho para validação do relatório intermediário;
- construção da “Visão de Futuro da Nanotecnologia”, em duas oficinas de trabalho com convidados da indústria, da academia e do



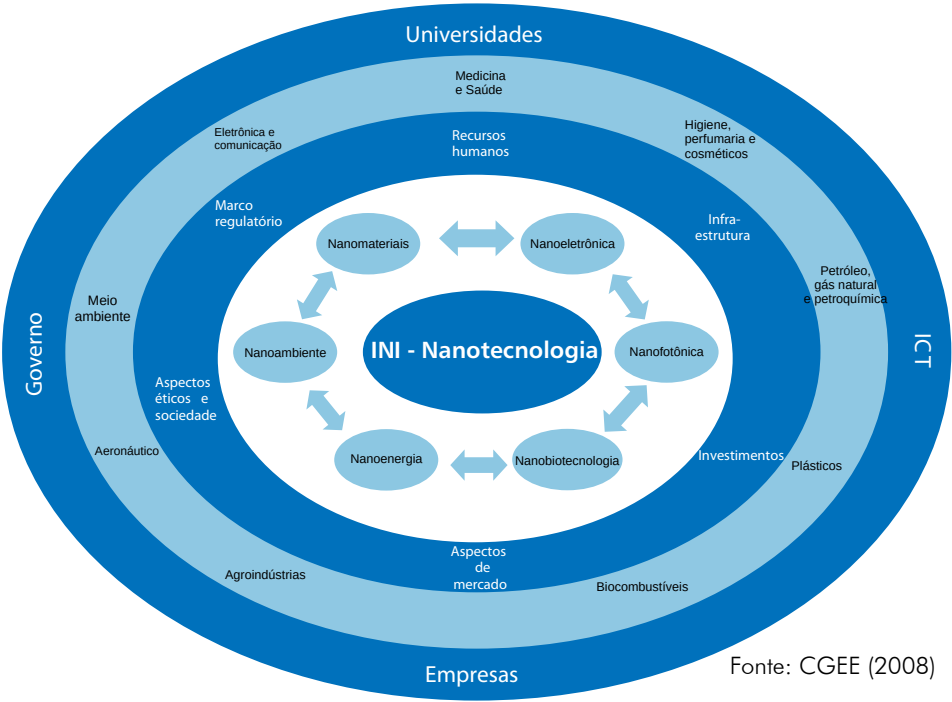
governo e dos principais atores envolvidos no projeto, abrangendo o seguinte escopo:

- Definição dos tópicos a serem estudados, com base em análise detalhada de relatórios do CGEE sobre nanotecnologia e referenciais externos;
- Consulta estruturada presencial sobre os setores produtivos com maior potencial de incorporação de nanotecnologias, os temas tecnológicos de maior impacto e os condicionantes de futuro do desenvolvimento das aplicações consideradas as mais promissoras para o país em três períodos: 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025;
- Elaboração dos mapas tecnológicos e estratégicos por tema, com indicação das aplicações mais promissoras e prioridades para as ações de suporte (Agenda INI-Nanotecnologia);
- Proposição de diretrizes e ações de curto, médio e longo prazos para o alcance da visão de futuro preconizada no mapa tecnológico de cada tema;
- Discussão do documento com a ABDI e incorporação de modificações sugeridas no documento final do projeto, contemplando as informações e recomendações para apoiar na construção de ações estratégicas de forma a potencializar os negócios em nanotecnologia.

A Figura 1.3 representa esquematicamente o escopo definido para o estudo prospectivo, a partir da análise detalhada de documentos de referência sobre políticas e estratégias nacionais em nanotecnologia, bem como relatórios internacionais sobre o mercado, marco legal e regulatório.

Conforme apresentado na Figura 1.3 e segundo o enfoque sociotécnico, o estudo prospectivo compreende seis temas estratégicos, seis dimensões da Agenda INI-Nanotecnologia, definidas a seguir, e a mobilização de diversos atores de universidades, governo, empresas e instituições de Ciência e Tecnologia (ICT) brasileiras.

Figura 1.3 Escopo do estudo prospectivo da INI-Nanotecnologia



O Quadro 1.2 apresenta os seis temas abordados neste estudo prospectivo e seus descritivos formulados pelos integrantes das Oficinas de Trabalho, realizadas em julho e em setembro de 2008.

Quadro 1.2 Temas estratégicos de nanotecnologia

Tema	Descrição
Nanomateriais	Compreendem os materiais com componentes estruturados menores que 100 nm, tais como nanofios, nanotubos, nanopartículas (coloides e pontos quânticos, p. ex.), materiais nanocristalinos e grãos nanométricos.
Nanoeletrônica	Inclui dispositivos eletrônicos, <i>spintronics</i> , eletrônica molecular, estruturas de poços quânticos e dispositivos de computação quântica. Abrange também dispositivos em nanoescala que agem como sensores ou atuadores em diversas aplicações como nanofluidos, motores moleculares, espelhos e interruptores óticos.
Nanofotônica	Refere-se aos estudos das interações entre as nanoestruturas e a luz e pesquisas sobre a manipulação e detecção de estruturas em nanoescalas tais como células solares estruturas optoeletrônicas baseadas em poços quânticos e litografias em UV ou raios-X.

continua

Continuação do Quadro 1.2

Tema	Descrição
Nanofotônica	Refere-se aos estudos das interações entre as nanoestruturas e a luz e pesquisas sobre a manipulação e detecção de estruturas em nanoescalas tais como células solares estruturas optoeletrônicas baseadas em poços quânticos e litografias em UV ou raios-X.
Nanobiotecnologia	Refere-se à pesquisa com organismos vivos, dispositivos em nanoescala e processos usados em sistemas de liberação controlada de pesticidas, medicamentos e cosméticos, diagnósticos de doenças e imageamento molecular.
Nanoenergia	Compreende o estudo de dispositivos em nanoescala ou processos que agem sobre energia em suas várias formas (térmica, química, elétrica, radiante, nuclear etc.) para geração de energia, transmissão, uso e armazenamento em aplicações baseadas em elétrica, hidrogênio, solar ou biocombustíveis.
Nanoambiente	Engloba pesquisa sobre as interações entre nanoestruturas e o meio ambiente, tendo em vista o desenvolvimento de dispositivos e processos para controle de poluição, remediação, tratamento de resíduos e gestão ambiental.

Fonte: CGEE (2008)

O Quadro 1.3 apresenta as seis dimensões da INI-Nanotecnologia com as descrições definidas no âmbito global do Projeto INI da ABDI.

Quadro 1.3 Dimensões da Agenda INI-Nanotecnologia

Ref.	Dimensão	Descrição
RH	Recursos Humanos	Ações de incentivo à formação e capacitação de recursos humanos para o desenvolvimento de C&T e inovação nas áreas da INI.
IE	Infraestrutura	Ações para consolidar e expandir a infraestrutura física das instituições públicas e privadas que tenham com missão o desenvolvimento de PD&I com foco na indústria; induzir a formação de ambiente favorável a uma maior interação entre o meio empresarial e os centros geradores de conhecimento e estimular o surgimento de novas empresas de base tecnológica.
INV	Investimentos	Ações de fomento, utilizando os diversos mecanismos de apoio disponíveis, de modo a: (i) prover fontes adequadas de financiamento, inclusive de natureza não reembolsável, bem como fortalecimento do aporte de capital de risco, para a formação de empresas ou rede de empresas inovadoras; (ii) avaliar a utilização de instrumentos de desoneração tributária para a modernização industrial, inovação e exportação nos segmentos da INI.
MR	Marco regulatório	Ações para aprimorar a legislação e o marco regulatório com impactos diretos sobre o desenvolvimento da indústria, de forma a facilitar a entrada competitiva de produtos e processos, baseados nas novas tecnologias, nos mercados nacional e internacional.
AE	Aspectos éticos e aceitação pela sociedade	Ações voltadas para os aspectos éticos e socioculturais na dimensão da inovação relacionados à incorporação de novas tecnologias em produtos, serviços e processos e sua aceitação pela sociedade.
AM	Aspectos de mercado	Ações focalizando elementos essenciais para a inserção competitiva das inovações brasileiras no mercado nacional e internacional, cadeias produtivas, redução das barreiras de entrada em mercados e outros aspectos mercadológicos.

Fonte: CGEE (2008)

1.3 Estrutura do estudo prospectivo

O estudo prospectivo foi estruturado em dez capítulos, compreendendo esta introdução, um capítulo sobre as bases da construção da visão de futuro, sete capítulos correspondentes às visões de futuro e à Agenda INI-Nanotecnologia para os temas selecionados e o último capítulo contendo as conclusões do estudo e recomendações.

Na sequência, o Capítulo 2 sintetiza as bases da construção da visão de futuro, iniciando com uma breve descrição da metodologia de prospecção adotada e as especificidades do contexto de sua aplicação, no caso a nanotecnologia. A seção final desse capítulo constitui uma introdução à visão de futuro a ser apresentada nos capítulos específicos que se seguem, contemplando os resultados da consulta estruturada presencial sobre os impactos e condicionantes do futuro do desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil em três períodos distintos: 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025.

Os Capítulos 3 a 8 consubstanciam a “Visão de futuro da Nanotecnologia: 2008-2025” por tema selecionado. Para os seis temas, apresentam-se:

- Os tópicos associados ao tema, seus descritivos e setores mais impactados pelo seu desenvolvimento;
- O mapa tecnológico do tema no mundo, no período 2008-2025, com representação das trajetórias tecnológicas e de mercado dos tópicos associados ao tema;
- O mapa tecnológico do tema no Brasil, no período 2008-2025, com representação das trajetórias tecnológicas e de mercado dos tópicos associados, bem como a indicação das aplicações mais promissoras para o país;
- O mapa estratégico do setor no Brasil, apontando-se os condicionantes de futuro e as prioridades da Agenda INI-Nanotecnologia.



logia para aquele tema nos três períodos considerados no estudo prospectivo.

Finalmente, no Capítulo 9, apresenta-se a “Agenda INI-Nanotecnologia”, composta de seis partes, focalizando as aplicações promissoras de cada tema, com proposição de diretrizes e ações de suporte ao seu desenvolvimento.

Notas

- ¹³ BCC Research (2008). **Nanotechnology**: A Realistic Market Assessment. Report ID: NANO31C. Wellesley, MA: BCC Research Ltd. Maio 2008, p. 254.
- ¹⁴ GALEMBECK, F. e RIPPEL, M. M. (2005). Estratégias institucionais e de empresas. In: **Estudos estratégicos. Nanotecnologia**. NAE. CGEE. Brasília, 2004-2005.
- ¹⁵ ALVES, O. L. (s/d). **Nanotecnologia e Desenvolvimento**. Disponível em: <http://lqes.iqm.unicamp.br/images/pontos_vista_artigo_divulgacao_35_1_nanotecnologia_desenvolvimento.pdf>. Acesso em: 10 jul 2008. RNCOS (2008). **Nanotechnology Market Forecast till 2011**. Delhi: RNCOS E-Services Pvt. Ltd. p. 36.
- ¹⁶ ALVES, O. L. (2004). **Nanotecnologia e Desenvolvimento**. Disponível em: <http://lqes.iqm.unicamp.br/images/pontos_vista_artigo_divulgacao_35_1_nanotecnologia_desenvolvimento.pdf>. Acesso em: 10 jul 2008.
- ¹⁷ CNPQ (2008). **Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil**. Disponível em: <<http://dgp.cnpq.br/buscaoperacional>>. Acesso e pesquisa em dez 2008.
- ¹⁸ MCT (2006). **Relatório Nanotecnologia**: investimentos, resultados e demandas. Ministério da Ciência e da Tecnologia. Brasília, jun 2006. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: 10 jul 2008.
- ¹⁹ ALVES, O. L. (2005). **Nanociência e Nanotecnologia**: um bom motivo para a Cooperação Científica Brasil-Argentina e a gestão do Centro Brasileiro Argentino de Nanotecnologia.
- ²⁰ AGÊNCIA CT (2008). **Centro de Nanociência e Nanotecnologia Cesar Lattes (C2Nano) será inaugurado hoje**. Disponível em: <http://inovabrasil.blogspot.com/2008/03/centro-de-nanociencia-e-nanotecnologia.html>. Mar 2008.
- ²¹ Baseado em MCT (2007). **Documento Resumo do PNN**. Ministério da Ciência e da Tecnologia. Brasília, nov 2007.
- ²² MDIC (2008). **Política de Desenvolvimento Produtivo**. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Brasília, maio de 2008. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/pdp/arquivos.destswf1212125941.pdf>>. Acesso em: nov 2008.

2. Construindo a visão de futuro: 2008-2025

A eficácia de um estudo prospectivo está diretamente ligada a um desenho metodológico definido a partir de uma delimitação precisa das questões a serem respondidas, da sistematização do processo, da escolha criteriosa dos participantes e especialistas envolvidos e da avaliação e gestão do processo que permita realizar ajustes e correções de rumo com vistas à sua melhoria como um todo. Apresenta-se neste capítulo uma breve descrição da metodologia de prospecção adotada na construção da visão de futuro, discutindo-se inclusive as abordagens conceituais selecionadas para o desenho dos mapas tecnológicos e estratégicos, bem com sua representação gráfica. Finalmente, apresentam-se os resultados da análise dos condicionantes e impactos do desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil em três períodos distintos: 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025.

Para efeito da construção dos mapas tecnológicos da INI-Nanotecnologia, torna-se fundamental definir inovação tecnológica. Conforme o Manual de Oslo da OCDE,²³ inovações tecnológicas compreendem a implantação de produtos e processos tecnologicamente novos ou substanciais melhorias tecnológicas em produtos e processos. Uma inovação é considerada implantada se tiver sido introduzida no mercado (inovação de produto) ou usada no processo de produção (inovação de processo). Uma inovação envolve uma série de atividades científicas, tecnológicas, organizacionais, financeiras e comerciais. Uma empresa é inovadora em tecnologias de produto ou de processo se tiver implantado produtos ou processos tecnologicamente novos ou com substancial melhoria tecnológica durante o período de análise.

Segundo o Manual, inovações tecnológicas de produto ou de processo abrangem: (i) a introdução de um novo produto ou mudança qualitativa em produto existente; (ii) a inovação de processo que seja novidade para uma indústria; (iii) a abertura de um novo mercado; (iv) o desenvolvimento de novas fontes de suprimento de matéria-prima ou outros insumos; e (v) mudanças na organização industrial.

De acordo com o Decreto nº 5.563, de 11 de outubro de 2005, que regulamenta a Lei da Inovação²⁴ de 2004, o conceito de inovação tecnológica segue a mesma abordagem do Manual de Oslo, porém é definida de forma mais simples como “a introdução de novidade no ambiente produtivo, seja ela produto ou processo, que traga melhoria significativa ou crie algo novo”. Essa foi a definição adotada ao longo do desenvolvimento deste estudo prospectivo.

2.1 Metodologia de prospecção adotada

A metodologia de prospecção contemplou as seguintes etapas:

- Definição dos tópicos a serem estudados, com base na análise detalhada de relatórios do CGEE sobre nanotecnologia^{25,26} e referenciais externos selecionados²⁷;
- Consulta estruturada presencial para as questões gerais sobre o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil, com foco nos seis temas selecionados;
- Construção coletiva da visão de futuro, compreendendo o desenho dos mapas tecnológicos e estratégicos dos seis temas, com indicação das aplicações mais promissoras (Capítulo 1 – Seção 1.2);
- Proposição de ações que integrarão a Agenda INI-Nanotecnologia, conforme as seis dimensões apresentadas no Capítulo 1 – Seção 1.2.

Em particular para a etapa 3 – construção coletiva da visão de futuro –, utilizou-se o modelo conceitual proposto por Phaal *et al.*,²⁸ para orientar os desenhos dos mapas tecnológicos e estratégicos apresentados nos Capítulos 3 a 8 deste documento.

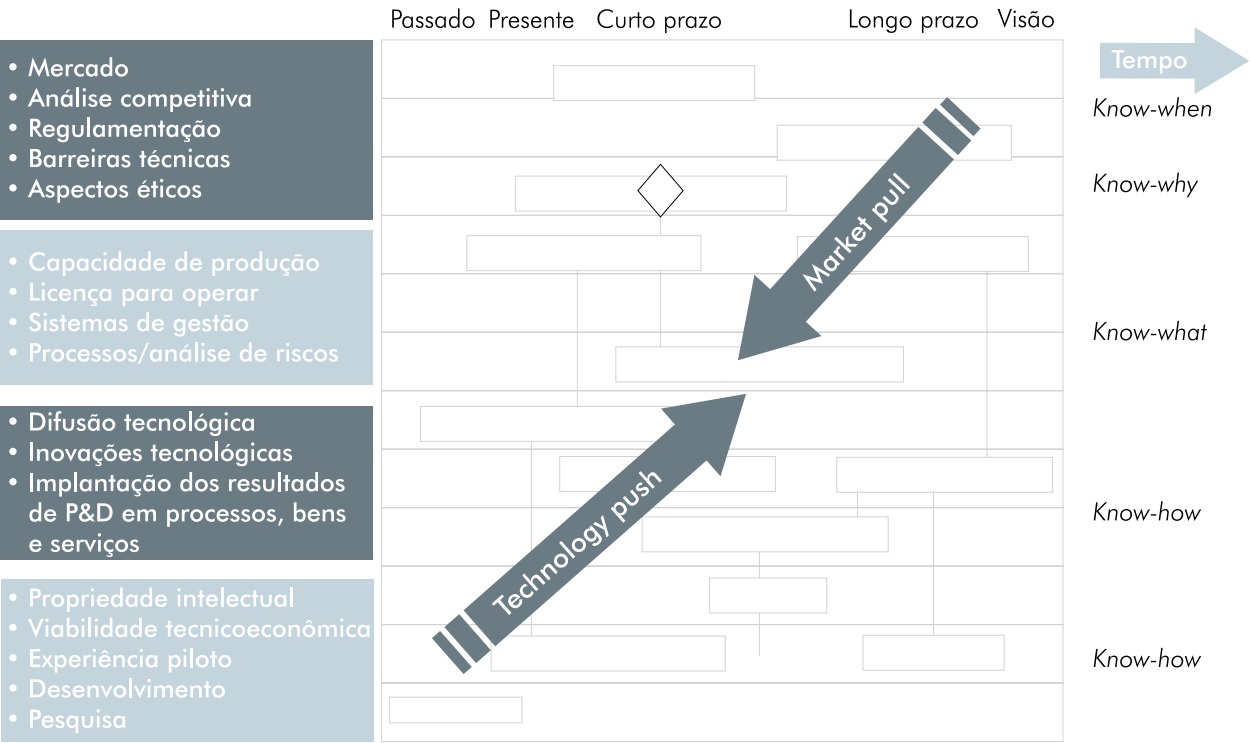
O método de construção de mapas tecnológicos foi introduzido há mais de vinte anos pela Motorola, como uma ferramenta de suporte ao processo de gestão tecnológica e desenvolvimento de novos produtos. Sua utilização visava garantir que os investimentos em P&D na empresa esti-

vessem alinhados às estratégias de negócio de médio e, principalmente, de longo prazo. Em particular, buscava-se definir metas de P&D e de inovação, atrelando-as à estratégia da empresa, a novas demandas mercadológicas e aos custos de desenvolvimento tecnológico²⁹.

Ao longo do tempo, porém, a aplicação do método foi difundida entre inúmeras empresas, de forma que hoje ele é utilizado inclusive no auxílio à formulação de políticas públicas. A ampla utilização dos mapas tecnológicos deve-se principalmente à flexibilidade no uso, tanto em termos de arquitetura do mapa, quanto do processo de construção em si. A construção do mapa, por meio de uma sequência de oficinas de trabalho, permite que os diversos atores capturem um conhecimento organizacional sobre as questões estratégicas em tela, bem como sinais de mudança no ambiente tecnológico externo que possam impactar tanto os negócios atuais quanto a criação de negócios e mercados futuros. O processo de construção permite também que se estruture esse conhecimento, sob os aspectos de *know-why*, *know-what*, *know-how* e *know-when*, facilitando posteriormente a identificação de gargalos e áreas críticas de decisão ao longo das trajetórias desenhadas nos mapas tecnológicos.

A Figura 2.1 representa esquematicamente um modelo genérico de mapa tecnológico em suas diversas camadas: mercado, produção, inovação e P&D.

Figura 2.1 Modelo genérico de mapa tecnológico



Fonte: PHAAL et al. (2004).

A construção do mapa, por meio de oficinas de trabalho, permite que os diversos atores capturem um conhecimento organizacional sobre as questões estratégicas em tela, bem como sinais de mudança no ambiente científico e tecnológico que possam impactar tanto os negócios atuais quanto a criação de negócios e mercados futuros.

O processo de construção permite também que se estruture esse conhecimento, sob os aspectos de *know-why*, *know-what*, *know-how* e *know-when*, facilitando posteriormente a identificação de gargalos e áreas críticas de decisão ao longo das trajetórias desenhadas nos mapas tecnológicos, conforme representado na Figura 2.1.

Ressalte-se que uma das premissas norteadoras da construção dos mapas tecnológicos deste estudo prospectivo foi a adoção da abordagem *technology-push*, em detrimento da abordagem mais adotada nesse tipo de exercício, que é a opção *market-pull*, conforme justificado a seguir.

Em geral, inicia-se o processo de construção dos mapas com uma oficina de trabalho voltada para as camadas superiores da Figura 2.1 – mercado e produtos/serviços, buscando-se responder que tecnologias e ações de suporte serão necessárias para apoiar o desenvolvimento de novos processos, produtos e mercados. No caso da prospecção para nanotecnologia, a abordagem *technology-push* tem sido a opção de escolha e tem orientado estudos prospectivos nessa área, como nos trabalhos recentes conduzidos pelo consórcio MONA (*Merging Optics and Nanotechnologies*) da Comunidade Europeia³⁰ e pela iniciativa conjunta do Battelle Memorial Institute e do Foresight Nanotech Institute (EUA)³¹. A alternativa *market-pull* não seria adequada, pela dificuldade de prever mercados para tecnologias que não foram ainda testadas nos estágios de inovação/implantação em diante, conforme o esquema apresentado na Figura 2.1.

2.2 Representação dos mapas tecnológicos e estratégicos

A Figura 2.2 mostra a representação dos mapas tecnológicos e estratégicos apresentados nos capítulos seguintes.

Figura 2.2 Modelo conceitual de construção dos mapas tecnológicos e estratégicos

	Estágio	Desenvolvimento das aplicações de nanotecnologia relativas ao tema		
		2008-2010	2011-2015	2016-2025
Mercado ↕ C&T	Comercialização	Capacidade de comercialização em larga escala no horizonte de tempo considerado.		
	Produção/processos	Produção em larga escala, com incorporação da tecnologia em questão no horizonte de tempo considerado.		
	Inovação/implantação	Capacidade de setor produtivo de incorporar os resultados de P&D em novos processos, produtos e serviços a serem postos no mercado no período considerado.		
	Pesquisas & Desenvolvimento	Capacidade de desenvolvimento científico e tecnológico no período considerado.		

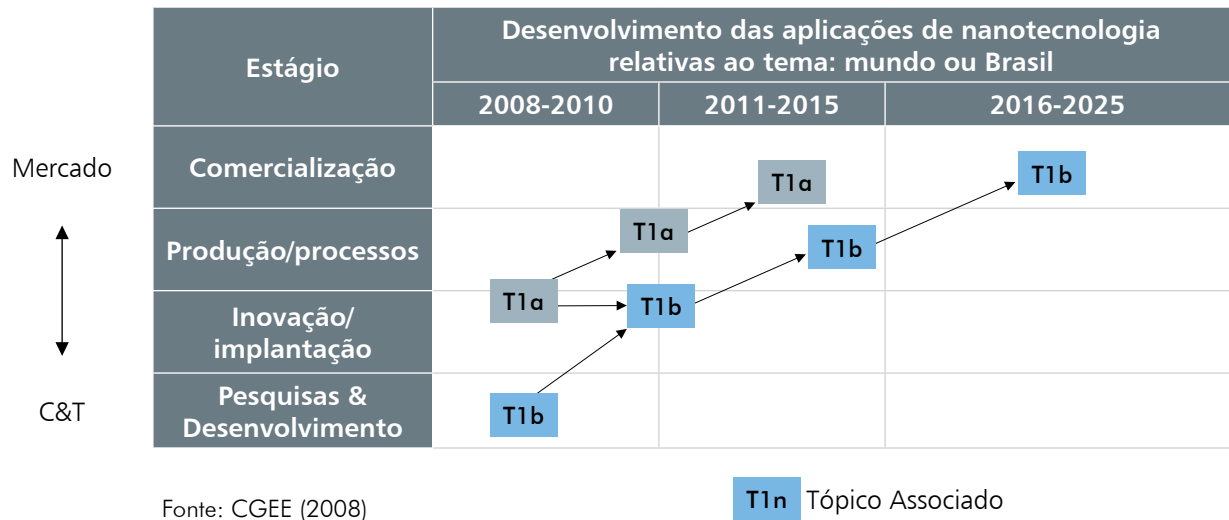
Fonte: CGEE (2008)

Esses capítulos referem-se à visão de futuro das aplicações da nanotecnologia referentes aos seis temas selecionados. Destaca-se que, na fase de desenho da metodologia, algumas adaptações tiveram que ser feitas em relação ao modelo genérico representado na Figura 2.1, para atender aspectos relevantes do contexto específico do projeto da Iniciativa Nacional de Inovação da ABDI.

Na sequência, apresenta-se na Figura 2.3 a representação do mapa tecnológico (Brasil ou mundo), no qual devem ser posicionados os tópicos associados a um determinado tema. Os tópicos são indicados na Figura 2.3 com referências alfanuméricas, e suas trajetórias tecnológicas e de mercado são desenhadas durante o exercício prospectivo, conforme a evolução esperada ao longo do tempo.

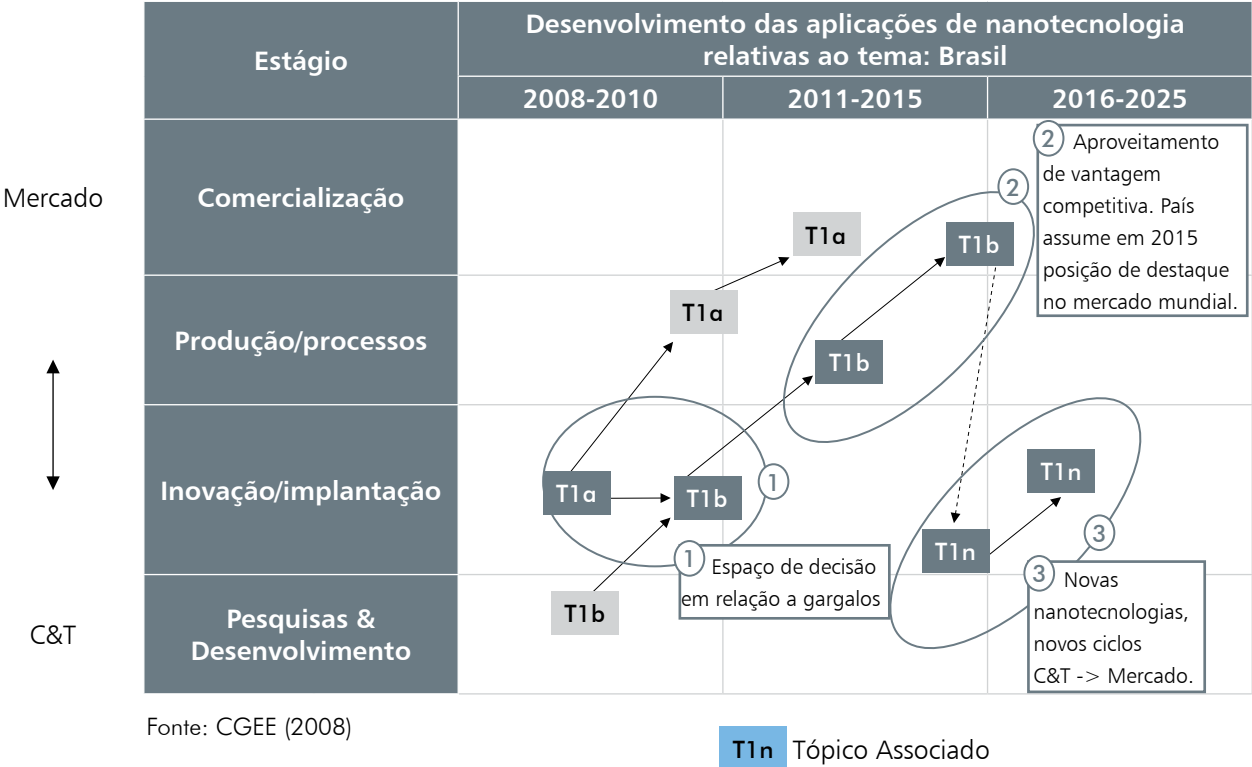


Figura 2.3 Representação dos mapas tecnológicos: Brasil e mundo



Particularmente no mapa tecnológico do Brasil, devem ser indicados diretamente no mapa os espaços para tomadas de decisão em relação a gargalos ou aproveitamento de oportunidades tecnológicas e de mercado para o país. A Figura 2.4 mostra alguns exemplos ilustrativos em vermelho. A partir dessas indicações, o mapa estratégico é construído e o exercício prospectivo prevê a indicação naquele mapa dos pontos, nos quais serão necessárias ações de suporte à concretização da visão de futuro representada pelas trajetórias dos tópicos em análise. Esses pontos são representados por hexágonos em cores, correspondentes a cada uma das dimensões da INI-Nanotecnologia.

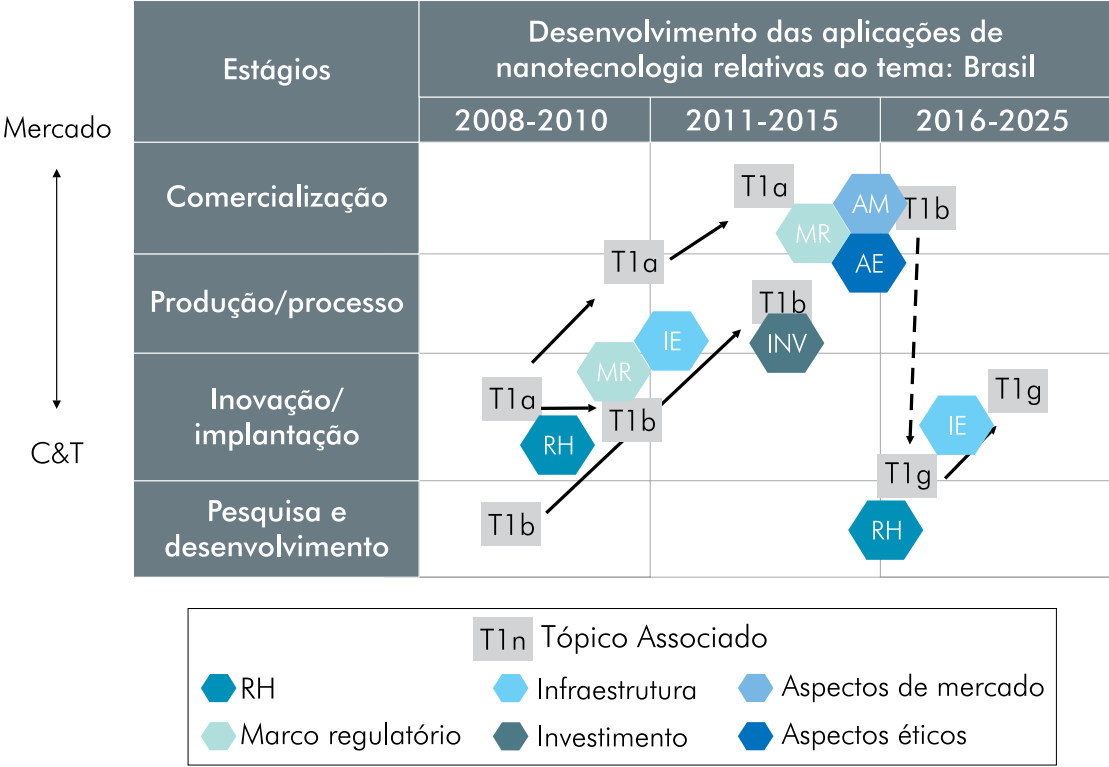
Figura 2.4 Representação dos mapas tecnológicos: espaços de decisão



Na Figura 2.5, mostra-se a representação do mapa estratégico com a indicação das prioridades de ações que deverão integrar a Agenda INI-Nanotecnologia em cada período da análise: 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025.

Vale destacar que os gargalos e respectivos hexágonos que indicam a necessidade de uma ação de suporte referem-se às seis dimensões da INI-Nanotecnologia: recursos humanos, infraestrutura física, investimentos, marco regulatório, aspectos éticos e de aceitação social e aspectos mercadológicos.

Figura 2.5 Representação dos mapas estratégicos: prioridades de ações de suporte



Fonte: CGEE (2008)

Buscou-se nesta seção mostrar como os mapas tecnológicos e estratégicos apresentados nos Capítulos 3 a 8 foram construídos e desenhados. Na próxima seção, apresentam-se os resultados da consulta estruturada focalizando questões gerais sobre o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil. Essa consulta foi conduzida junto aos participantes da 1ª Oficina de Trabalho realizada em Brasília, nos dias 2 e 3 de julho de 2008 (Anexo I). Compreende a indicação dos setores mais impactados pelas nanotecnologias em questão, das nanotecnologias de maior impacto e dos principais condicionantes do desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil em três períodos distintos: 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025.

2.3 Condicionantes do desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil: 2008-2025

Como ponto de partida, foram apresentados aos participantes da 1ª Oficina de Trabalho (2 e 3 de julho de 2008) uma lista com vinte e três setores, os seis temas de nanotecnologia e uma relação de condicionantes políticos, econômicos, sociais, ambientais e tecnológicos, compreendendo um total de vinte e quatro condicionantes (Anexo II). Destaca-se que a consulta estruturada presencial incluiu um espaço para inclusão de novos setores, temas e condicionantes ao final de cada tabela, caso os respondentes julgassem relevante sua inclusão. O Quadro 2.1 apresenta os setores mais impactados pelas aplicações da Nanotecnologia e os períodos nos quais os impactos das nanotecnologias serão percebidos com maior intensidade. O setor de fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações foi considerado o mais impactado dentre os 23 setores apresentados aos participantes (Anexo II). A ele, seguiram-se os setores de medicina e saúde e de higiene, perfumaria e cosméticos.

Quadro 2.1 Setores mais impactados pelas aplicações da nanotecnologia no Brasil

Setor	Horizonte temporal
Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações	2011-2015
Medicina e saúde	2011-2015
Higiene, perfumaria e cosméticos	2008-2010
Petróleo, gás natural e petroquímica	2011-2015
Aeronáutico	2011-2015
Biocombustíveis	3 períodos: empate
Plásticos	2011-2015
Meio ambiente	2011-2015
Agroindústrias	2008-2010

Fonte: CGEE (2008)



Para a maioria dos setores analisados, observa-se que os impactos da nanotecnologia serão mais fortemente percebidos no período 2011-2015.

Na sequência, o Quadro 2.2 apresenta as nanotecnologias de maior impacto para cada setor apontado no quadro anterior, por ordem de importância.

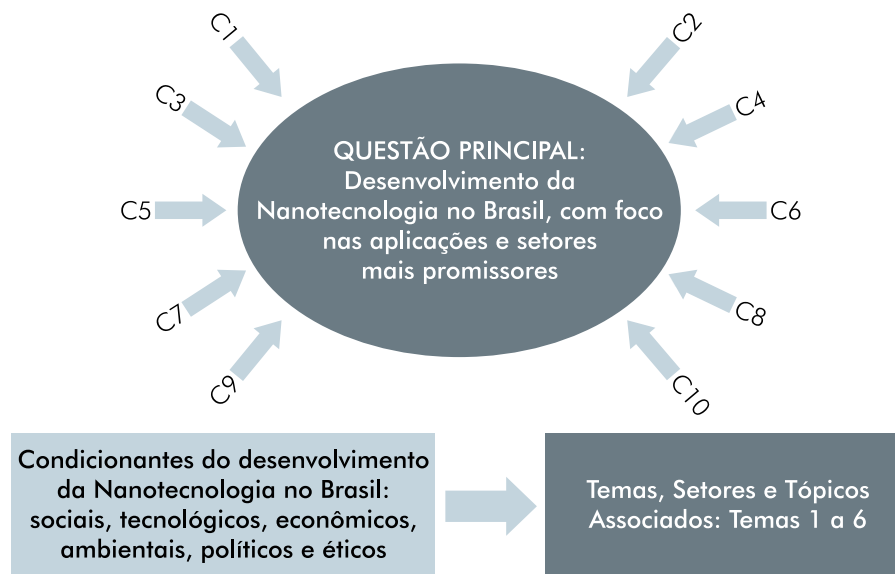
Quadro 2.2 Nanotecnologias de maior impacto no Brasil, por ordem de importância

Setores, por ordem de impacto	Nanotecnologias de maior impacto, por ordem de importância
Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações	Nanoeletrônica, nanofotônica, nanomateriais, nanoenergia e nanobiotecnologia
Medicina e saúde	Nanobiotecnologia, nanomateriais, nanofotônica e nanoeletrônica
Higiene, perfumaria e cosméticos	Nanobiotecnologia, nanomateriais, nanoambiente e nanofotônica
Petróleo, gás natural e petroquímica	Nanomateriais, nanoambiente, nanoenergia, nanoeletrônica e nanobiotecnologia
Aeronáutico	Nanomateriais, nanoeletrônica, nanoenergia, nanofotônica e nanoambiente
Biocombustíveis	Nanobiotecnologia, nanoambiente, nanoenergia, nanomateriais e nanoeletrônica
Plásticos	Nanomateriais, nanoambiente, nanobiotecnologia e nanoeletrônica
Meio ambiente	Nanobiotecnologia, nanoambiente, nanomateriais e nanoenergia
Agroindústrias	Nanobiotecnologia e nanoambiente

Fonte: CGEE (2008)

A Figura 2.6 resume esquematicamente a questão sobre os condicionantes sociais, tecnológicos, econômicos, ambientais, políticos e éticos que mais influenciarão o futuro da Nanotecnologia no Brasil nos períodos 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025.

Figura 2.6 Condicionantes de futuro do desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil



Fonte: CGEE (2008)

Em função do potencial de aplicações da nanotecnologia e da identificação dos gargalos existentes e previstos nos próximos anos, aponta-se para cada período um conjunto diferenciado de condicionantes por ordem de importância (Quadro 2.3).

Quadro 2.3 Condicionantes do futuro das aplicações de nanotecnologia no Brasil no curto, médio e longo prazos

Condicionantes do futuro do desenvolvimento das aplicações da nanotecnologia no Brasil		
2008-2010	2011-2015	2016-2025
• Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • Educação em todos os níveis. • Continuidade da nanotecnologia como prioridade do estado (CT&I e política industrial). • RH em nível técnico e graduado. • Maior volume de capital de risco. • Insumos básicos para P&D. • Parcerias público-privadas. • Impactos da nanotecnologia (estado da arte mundial). • Difusão científica. • Regulamentação técnica e metrologia vinculadas à nanotecnologia. • Percepção da sociedade quanto ao valor das nanotecnologias.	• Educação em todos os níveis. • RH em nível técnico e graduado. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • Lançamento de produtos com características únicas impulsionando novas indústrias. • Parcerias público-privadas. • Difusão científica. • Insumos básicos para P&D. • Nanoética (legislação, <i>risk assessment</i> institucionalizado, valores em relação ao uso das nanotecnologias). • Exigência de escala de produção. • Impactos da nanotecnologia (estado da arte mundial). • Maior volume de capital de risco. • Continuidade da nanotecnologia como prioridade do estado (CT&I e política industrial). • Regulamentação técnica e metrologia vinculadas à nanotecnologia.	• Lançamento de produtos com características únicas impulsionando novas indústrias. • Educação em todos os níveis. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • Insumos básicos para P&D. • Exigência de escala de produção. • Uso de energias limpas. • Impactos da nanotecnologia (estado da arte mundial). • Maior volume de capital de risco. • RH em nível técnico e graduado. • Continuidade da nanotecnologia como prioridade do Estado (CT&I e política industrial).

Fonte: CGEE (2008)

Observa-se, no Quadro 2.3, que alguns condicionantes foram considerados relevantes nos três períodos, o que reflete sua importância e o caráter mobilizador desses fatores ao longo de toda a trajetória de desenvolvimento dos temas de nanotecnologias em questão. A título de ilustração, citam-se os seguintes condicionantes comuns aos três períodos: “educação em todos os níveis”; “existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte”; “recursos humanos em nível técnico graduado” e “insumos básicos para P&D”.

A continuidade da nanotecnologia como prioridade do Estado (CT&I e política industrial), embora apareça nos três períodos, deve ser mais intensa no curto e médio prazos, na perspectiva de que no longo prazo o país já tenha consolidado sua base científica e tecnológica e seja capaz de competir em alguns segmentos, como apontado ao longo deste relatório. Refere-se especialmente ao Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN) e ao Plano de Ação em CT&I (PACTI), cujas ações são executadas de forma articulada e coordenada por diversos ministérios, tendo à frente o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT).

Interessante notar que à medida que se avança na linha do tempo, novos condicionantes entram em cena como, por exemplo, “regulamentação técnica e metrologia vinculadas à nanotecnologia”, “lançamento de produtos com características únicas, impulsionando novas indústrias”, “exigência de escala de produção” e “maior volume de capital de risco” e “nanoética”, compreendendo aspectos de legislação, *risk assessment* institucionalizado e valores em relação ao uso das nanotecnologias.

Com relação à nanoética, especificamente, reconhece-se que o desconhecimento atual dos impactos da nanotecnologia sobre o meio ambiente e a saúde humana tem sido uma preocupação muito maior para os cientistas do que para o público em geral. No âmbito internacional, algumas iniciativas importantes vêm explorando os impactos econômicos e sociais de incertezas técnicas, sociais e econômicas ligadas às nanotecnologias, com o objetivo de estabelecer normas e códigos de boas práticas³² e indicar às organizações e às empresas o que podem e devem fazer para demonstrar que geram, de modo responsável, as nanotecnologias, durante o período de avaliação de eventuais regulamentações complementares.



Notas

- ²³ OCDE (1997). **Manual de Oslo**. Proposta de Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados sobre Inovação Tecnológica. Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. 2ª edição. Traduzido em 2004 sob a responsabilidade da Financiadora de Estudos e Projetos – Finep. Rio de Janeiro: Finep, 2004, p. 136.
- ²⁴ **Decreto que regulamenta a Lei nº 10.973**, de 2 de dezembro de 2004, que dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo, e dá outras providências.
- ²⁵ CGEE (2005). **Consulta Delphi em Nanociência e Nanotecnologia: NanoDelphi**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.
- ²⁶ CGEE (2008). **Relatório intermediário INI-Nanotecnologia**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Fev 2008.
- ²⁷ SCIENCE-METRIX (2008). **World R&D Nanotechnology**; RNCOS (2008). **Nanotechnology Market Forecast till 2011**; MONA CONSORTIUM (2008). **A European Roadmap for Photonics and Nanotechnology**; NANO2LIFE (2006). **Envisioned Developments in Nanobiotechnology**: expert survey. BATTELLE MEMORIAL INSTITUTE AND FORESIGHT NANOTECH INSTITUTE (2007). **Productive Nanosystems**: technology roadmap.
- ²⁸ PHAAL, FARRUKH and PROBERT (2004). Customizing Roadmapping. **Research Technology Management**, mar-abr 2004, pp. 26-37.
- ²⁹ WILLYARD, C. H.; MCCLEES, C. W. (1987). Motorola's technology roadmap process. **Research Management**, set-out 1987, pp. 13-19.
- ³⁰ MONA CONSORTIUM (2008). **A European Roadmap for Photonics and Nanotechnology**. Disponível em: <http://www.ist-mona.org/pdf/MONA_v15_190308.pdf>. Acesso em: jul 2008.
- ³¹ BATTELLE MEMORIAL INSTITUTE AND FORESIGHT NANOTECH INSTITUTE (2007). **Productive Nanosystems**: technology roadmap.
- ³² HATTO (2007). **An introduction to standards and standardization for nanotechnologies**. Chairman UK NTI/1 and ISO TC 229 Nanotechnologies Standardization committees. Disponível em: <www.bsi-global.com>. Acesso em: jul 2008.

3. Nanomaterials :

Neste capítulo, descrevem-se os resultados das análises prospectivas realizadas para o tema nanomateriais, em três períodos: 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025. Antes, porém, com o objetivo de fornecer a linha de base dessas análises, no que se refere à produção científica e à propriedade intelectual em nível mundial, apresentam-se os resultados do estudo bibliométrico da Science-Metrix³³, contemplando artigos e patentes publicados e indexados na base de dados internacional Scopus sobre o referido tema, no período 1996-2006.

Na sequência, apresentam-se os tópicos associados ao tema nanomateriais e os condicionantes de futuro de seu desenvolvimento, nos três períodos mencionados. Em seguida, discutem-se os mapas tecnológicos desse tema em dois níveis de abrangência (mundo e Brasil) e o *portfolio* tecnológico estratégico. Apresentam-se os resultados da análise conjunta dos mapas e do *portfolio* com indicação objetiva das aplicações mais promissoras para o país nesse campo. Complementando-se as análises, apontam-se os gargalos e as prioridades de ações de suporte para a consecução da visão de futuro construída a partir dos respectivos mapas e *portfolio* tecnológicos. Finalmente, propõem-se as ações de suporte que deverão compor a Agenda INI-Nanotecnologia no curto, médio e longo prazos referentes ao tema.

Definem-se nanomateriais como os materiais com componentes estruturados menores que 100 nm, tais como nanofios, nanotubos, nanopartículas (como coloides e pontos quânticos), materiais nanocristalinos e grãos nanométricos. Tais materiais apresentam propriedades físicas e químicas completamente diferentes das apresentadas por sólidos macroscópicos e mesmo microscópicos. A investigação dessas novas propriedades e das aplicações associadas constitui uma das áreas de pesquisa mais promissoras da atualidade. As nanociências e as nanotecnologias, de fato, poderão ser usadas para tornar os materiais mais resistentes, fortes e leves. Uma análise mais detalhada revela que tanto os diferentes metais quanto as cerâmicas são constituídos por um ajuntamento estrutural específico de grãos de tamanhos microscópi-

cos e nanoscópicos³⁴. As propriedades mecânicas desses materiais dependem significativamente do tamanho e da disposição espacial desses grãos.

Consideram-se fatores positivos para a efetiva difusão tecnológica de nanomateriais o aumento da compreensão da relação estrutura-propriedade resultante do avanço das técnicas de nanociências e a possibilidade de maior controle na preparação de materiais nanoestruturados, particularmente os nanotubos de carbono que se notabilizam por suas propriedades mecânicas especiais, como resistência e leveza maiores do que as do aço. Não obstante o grande interesse pelos sistemas nanoscópicos, a sua fabricação controlada, caracterização, compreensão e aplicação representam um desafio para a comunidade científica e tecnológica. Por estarem em uma situação intermediária entre átomos/moléculas e sólidos, metodologias bem estabelecidas em investigação – síntese, caracterização, modelagem – de átomos/moléculas e da matéria condensada, na maioria das vezes, são inadequados para esses sistemas. Assim sendo, ferramentas específicas para sistemas na escala nanométrica ainda estão sendo desenvolvidos mediante abordagens necessariamente multidisciplinares.

Os nanomateriais podem ser reunidos em cinco grandes classes: (i) nanomateriais estruturais, que incluem os nanocompósitos; (ii) nanobjetos (nanotubos, nanofios, nanopartículas e outros); (iii) nanomateriais semicondutores e magnéticos; (iv) revestimentos nanoestruturados, que além da engenharia de superfícies e interfaces, incluem filmes finos para otimização de propriedades superficiais; e (v) nanomateriais funcionais, dentre os quais materiais para aplicações biológicas ocupam lugar de destaque na forma de compósitos, filmes e sistemas auto-organizados.

3.1 Produção científica em nanomateriais: 1996-2006

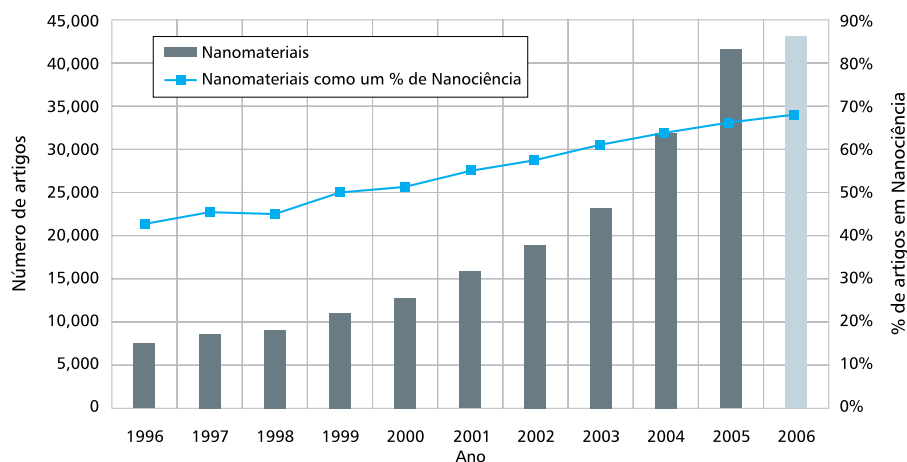
Na Figura 3.1, apresenta-se a evolução da produção científica em nanomateriais, medida pelo número de trabalhos científicos nessa área do conheci-



mento e a posição relativa desse tema em relação à produção científica em nanociência indexada na base de dados Scopus, no período 1996-2006.

Conforme a Figura 3.1, o número de contribuições científicas para o domínio de nanomateriais tem crescido exponencialmente no período considerado, com uma taxa de crescimento anual (CAGR) de 22%, o que corresponde a dobrar a cada 3,6 anos. A produção científica em nanomateriais tem crescido de forma estável em relação ao campo da nanociência, e respondem por 59% dos trabalhos científicos publicados no campo da nanociência, ao longo de todo o período da análise, com mais de 43.000 trabalhos somente em 2006.

Figura 3.1 Evolução da produção científica em nanomateriais e posição relativa do tema em relação à produção científica em nanociência: 1996-2006



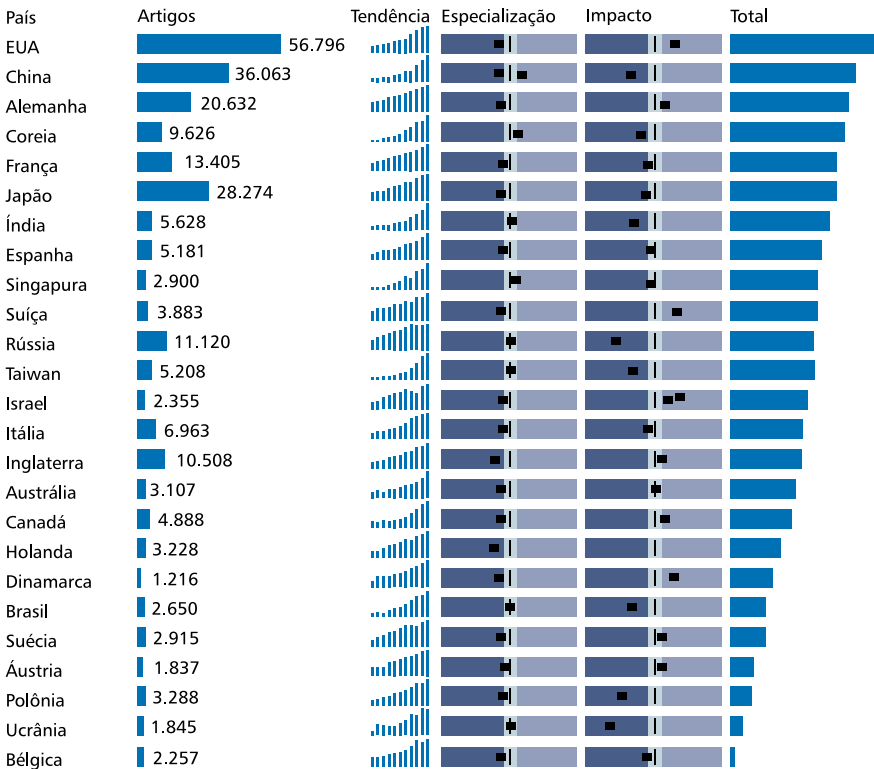
Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.29. Base de dados Scopus.

Apresenta-se na Figura 3.2, a seguir, o posicionamento dos países líderes e do Brasil, em termos do número de publicações em nanomateriais no período, seu impacto científico e o grau de especialização de cada país nesse domínio.

De acordo com a Figura 3.2, os EUA lideram o *ranking* mundial da produção científica nesse domínio, com 25% do total de 223.800 trabalhos em nanomateriais. Em segundo lugar no *ranking*, encontra-se a Suíça pelo seu alto grau de especialização (1,48). Em termos absolutos, os EUA lideram um grande número de países: China com 36.000 artigos publicados, Japão com 28.300, Alemanha com 20.600, França com 13.400, Rússia com 11.100 e Reino Unido com 10.500 artigos nesse domínio.

O Brasil ocupa a 20ª posição no *ranking* mundial da produção científica em nanomateriais, com 2.650 trabalhos publicados, no período de 1996-2006.

Figura 3.2 Países líderes em produção científica em nanomateriais: 1996-2006

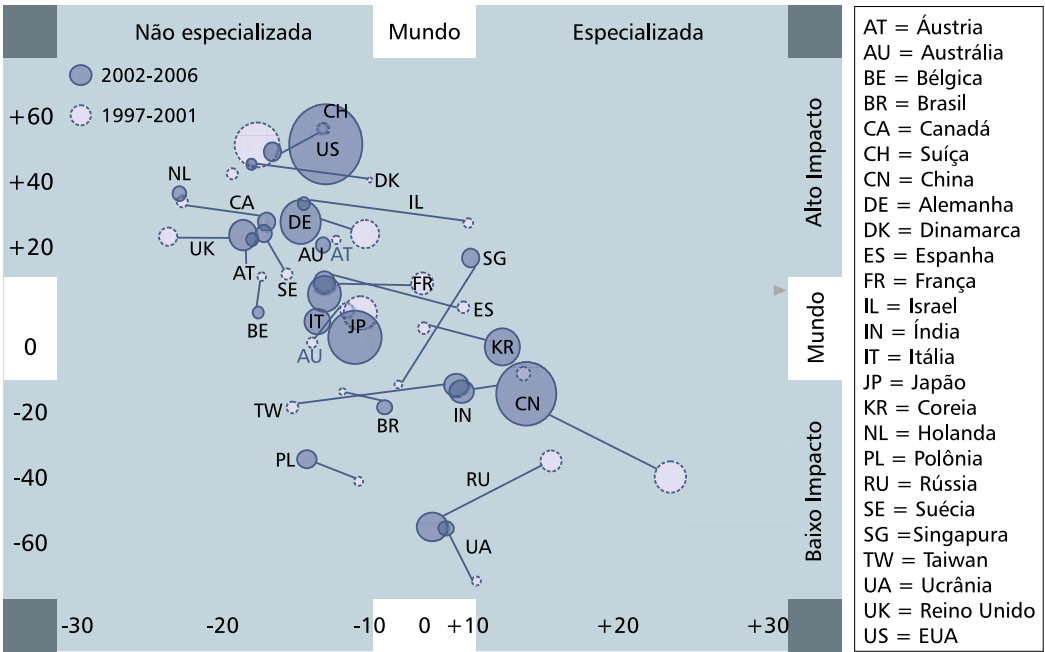


Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.30. Base de dados Scopus.

A Figura 3.3 mostra em outro formato o mapeamento dos países líderes em publicações científicas sobre nanomateriais, em relação a dois índices: (i) grau de especialização (SI); e (ii) impacto científico (ARC). Revela-se nesse mapa que os EUA lideram o *ranking* como um dos países mais especializados nesse campo e cuja produção científica em nanomateriais é a de maior impacto, quando comparada às dos demais países. Na apresentação dos resultados do estudo, são considerados dois períodos de análise: 1997-2001 e 2002-2006.

Observa-se na Figura 3.3 que, no período 1997-2001, no contexto mundial, o Brasil esteve em posição mais favorável do que no período seguinte (2002-2006), pois embora estivesse no quadrante dos países de baixo impacto, seu grau de especialização foi considerado mais alto do que no período 2002-2006, no qual o país aproximou-se da média mundial.

Figura 3.3 Posição dos países em relação à produção científica em nanomateriais: 1997-2001 e 2002-2006



Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.46. Base de dados Scopus.

Nas Tabelas 3.1 e 3.2, a seguir, listam-se as empresas e as universidades com atuação importante em nanomateriais, em nível mundial. Nessas tabelas, as colunas “especialização” referem-se, respectivamente, à produção científica em nanomateriais, comparada com a produção científica da universidade ou da empresa em relação às respectivas produções científicas em N&N.

No caso das empresas (Tabela 3.1), a IBM destaca-se pelo volume de sua produção, sendo seguida pela Samsung e Sumitomo. Outras empresas como a Dupont, a Fujitsu, a NTT (Japão) e a Hewlett-Packard também ocupam posições relevantes no *ranking* de publicações científicas em nanomateriais. Chama a atenção o fato de nenhuma empresa chinesa ocupar lugar de destaque na produção em nanomateriais, situação oposta à verificada entre as universidades.

Tabela 3.1 Empresas com produção científica de destaque em nanomateriais: 1996-2006

Empresa	País	Artigos	Especialização
Eloret	EUA	71	1,89
Rhodia	França	66	1,62
DuPont	EUA	198	1,53
Dow Chemical	EUA	95	1,50
Samsung	Coreia	575	1,32
LG	Coreia	143	1,32
GE	EUA	140	1,31
CSEM	Suécia	70	1,28
Fujitsu	Japão	293	1,25
Seagate	EUA	132	1,25
Sony	Japão	175	1,23
Eastman Kodak	EUA	72	1,23
BASF	Alemanha	89	1,23
Sumitomo	Japão	664	1,23
Toyota	Japão	216	1,22
Corning	EUA	86	1,15
IBM	EUA	918	1,08

Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.47. Base de dados Scopus.



Na Tabela 3.1, sete universidades chinesas estão listadas, sendo que a Tsinghua University está junto da Georgia Tech e da Tohoku University (Japão) como uma das três com atuação mais relevante no domínio de nanomateriais. Além delas, o MIT (USA), a National University of Singapore e a Peking University também ocupam lugar de destaque no cenário mundial. Nenhuma empresa ou universidade brasileira mereceu destaque no cenário mundial na área de nanomateriais apresentado pela Science-Metrix.

Tabela 3.2 Universidades com atuação de destaque em nanomateriais: 1996-2006

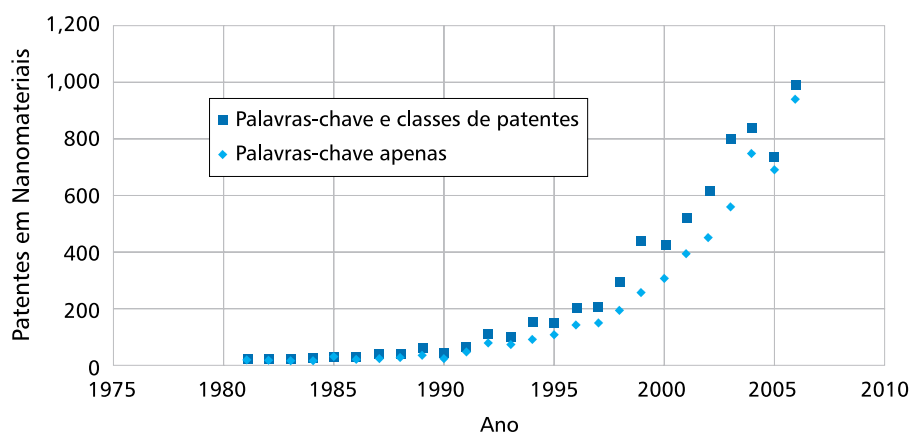
Universidade	País	Artigos	Especialização
Rice	EUA	835	1,33
Hanyang U	Coreia	930	1,29
Zhejiang U	China	1.289	1,28
Shanghai Jiao Tong U	China	951	1,26
Natl Tsing Hua U	Taiwan	941	1,25
Nanjing U	China	1.610	1,25
Tsinghua U	China	2.223	1,22
Peking U	China	1.692	1,18
Georgia Tech	EUA	1.417	1,17
Indian Inst of Tech	Índia	1.181	1,15
Natl U of Singapore	Singapura	1.625	1,14
Fudan U	China	1.009	1,13
Penn State	EUA	1.285	1,12
Tohoku U	Japão	2.633	1,11
Jilin U	China	1.110	1,11
UC Davis	EUA	814	1,11
Moscow State U	Rússia	1.307	1,10
Natl Chiao Tung U	Taiwan	783	1,09
U of Tsukuba	Japão	818	1,09

Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.46. Base de dados Scopus.

3.2 Propriedade intelectual em nanomateriais: 1996-2006

A distribuição de patentes entre os diferentes domínios da nanotecnologia mostra claramente a importância dos nanomateriais, responsáveis por 37% do número total de patentes, como mostrado anteriormente. De fato, o número de patentes em nanomateriais cresce a um ritmo mais acelerado do que o número total de patentes em nanotecnologia, sendo hoje o domínio que tem registrado o maior número de depósitos, seguido de perto pela nanoeletrônica. A Figura 3.4 mostra o crescimento do número de patentes em nanomateriais no USPTO.

Figura 3.4 Evolução do número de patentes americanas em nanomateriais: 1981-2006



Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.153. Base de dados USPTO.

Nas Tabelas 3.3, 3.4 e 3.5 encontram-se, respectivamente, os países, as empresas e as universidades com o maior número de patentes em nanomateriais. Nelas não se encontra qualquer empresa ou universidade brasileira. Esse fato não surpreende, já que o Brasil apesar da boa posição no cenário mundial no que diz respeito à produção cien-

tífica está apenas no 27º lugar em uma classificação de países com patentes no USPTO.

Como esperado, as empresas americanas são aquelas que detêm o maior número de patentes no USPTO. As empresas asiáticas certamente ocupam outra posição, quando se trata do escritório japonês de patentes. O mesmo é esperado para empresas europeias no escritório de patentes da Comunidade Europeia.

Tabela 3.3 Número de patentes americanas em nanomateriais, por país: 1982-2006

	1982-1986	1987-1991		1992-1996		1997-2001		2002-2006		Total
	Patentes	Patentes	Cresc.	Patentes	Cresc.	Patentes	Cresc.	Patentes	Cresc.	Patentes
EUA	122	190	56%	542	185%	1.302	140%	2.625	102%	4.781
Japão	15	33	120%	115	248%	176	53%	423	140%	762
Alemanha	11	11	0%	24	118%	88	267%	170	93%	304
França	4	4	0%	24	500%	95	296%	79	-17%	206
Coreia	-	-	-	1	-	20	1.900%	173	765%	194
Taiwan	1	-	-100%	-	-	15		156	940%	172
Canadá	3	4	33%	17	325%	51	200%	64	25%	139
Inglaterra	2	16	700%	2	-88%	33	1.550%	41	24%	94
Holanda	6	4	-33%	3	-25%	17	467%	41	141%	71
Suíça	4	3	-25%	7	133%	13	86%	14	8%	41
China	-	-	-	-	-	5	-	34	580%	39
Israel	1	-	-100%	4	-	11	175%	21	91%	37
Austrália	-	-	-	4	-	6	50%	25	317%	35
Bélgica	2	4	100%	1	-75%	10	900%	18	80%	35
Suécia	1	5	400%	2	-60%	9	350%	17	89%	34
Itália	-	1	-	3	200%	6	100%	23	283%	33
Total	172	274	59%	755	176%	1.906	152%	3.996	110%	7.103

Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.153. Base de dados USPTO.

Tabela 3.4 Número de patentes americanas e especialização em nanomateriais, por empresa: 1987-2006

Empresa	País	Patentes Ativas	Especialização
NanoProducts	EUA	36	2,76
Nanosphere	EUA	36	2,76
NanoSystems	EUA	29	2,76
Leibniz-INM	Alemanha	27	2,76
Hyperion Catalysis	EUA	38	2,69
Dow Corning	EUA	26	2,66
NanoGram	EUA	20	2,40
Honeywell	EUA	65	2,39
Rohm and Hass	EUA	27	2,26
Hon Hai Precision	Taiwan	17	2,23
GE	EUA	51	2,04
Eastman Kodak	EUA	96	2,02
Élan	Irlanda	17	1,95
Fuji Xerox	Japão	15	1,80
Freescall	EUA	13	1,79
Battele	EUA	25	1,77
3M	EUA	74	1,75
L'Oreal	França	47	1,73
Samsung	Coreia	85	1,70
UT-Battele	EUA	20	1,67
Nantero	EUA	16	1,64
BASF	Alemanha	27	1,59
Kimberly-Clark	EUA	19	1,50
Dow Chemical	EUA	21	1,49
Procter & Gamble	EUA	31	1,45
DuPont	EUA	31	1,43
Sanofi-Aventis	Alemanha	17	1,42
Shin-Etsu Hondotai	Japão	10	1,38

continua...



Continuação da Tabela 3.4

Hewllet-Packard	EUA	87	1,36
Micron	EUA	77	1,31
Xerox	EUA	58	1,29
Seagate	EUA	20	1,28
Bayer	Alemanha	15	1,15
Fuji Eletronic	Japão	30	1,09
Corning	EUA	16	1,08
Lockheed Martin	EUA	19	1,07
General Motors	EUA	23	1,06
Intel	EUA	38	1,04
Toshiba	Japão	39	1,03

Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.156. Base de dados USPTO.

Tabela 3.5 Número de patentes americanas e especialização em nanomateriais, por universidade: 1987-2006

Empresa	País	Patentes Ativas	Especialização
NanoProducts	EUA	36	2,76
Nanosphere	EUA	36	2,76
NanoSystems	EUA	29	2,76
Leibniz-INM	Alemanha	27	2,76
Hyperion Catalysis	EUA	38	2,69
Dow Corning	EUA	26	2,66
NanoGram	EUA	20	2,40
Honeywell	EUA	65	2,39
Rohm and Hass	EUA	27	2,26
Hon Hai Precision	Taiwan	17	2,23
GE	EUA	51	2,04
Eastman Kodak	EUA	96	2,02
Élan	Irlanda	17	1,95

continua...

Continuação da Tabela 3.5

Empresa	País	Patentes Ativas	Especialização
Fuji Xerox	Japão	15	1,80
Freescale	EUA	13	1,79
Battele	EUA	25	1,77
3M	EUA	74	1,75
L'Oreal	França	47	1,73
Samsung	Coreia	85	1,70
UT-Battele	EUA	20	1,67
Nantero	EUA	16	1,64
BASF	Alemanha	27	1,59
Kimberly-Clark	EUA	19	1,50
Dow Chemical	EUA	21	1,49
Procter & Gamble	EUA	31	1,45
DuPont	EUA	31	1,43
Sanofi-Aventis	Alemanha	17	1,42
Shin-Etsu Hondotai	Japão	10	1,38
Hewllet-Packard	EUA	87	1,36
Micron	EUA	77	1,31
Xerox	EUA	58	1,29
Seagate	EUA	20	1,28
Bayer	Alemanha	15	1,15
Fuji Eletronic	Japão	30	1,09
Corning	EUA	16	1,08
Lockheed Martin	EUA	19	1,07
General Motors	EUA	23	1,06
Intel	EUA	38	1,04
Toshiba	Japão	39	1,03

Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.158. Base de dados USPTO.

As universidades americanas também dominam o cenário de patentes no USPTO, como pode ser observado na Tabela 3.5.



3.3 Tópicos associados ao tema nanomateriais

O Quadro 3.1 apresenta os tópicos tecnológicos associados ao tema nanomateriais que irão integrar os mapas tecnológicos mundiais e do Brasil. Inclui seus descritivos e os setores que serão mais impactados pelo desenvolvimento dos nanomateriais em questão. As referências alfanuméricas, na primeira coluna do Quadro 3.1, são adotadas ao longo da construção dos mapas tecnológicos e do mapa estratégico deste tema.

Os nanomateriais estão presentes em quase todos os setores dinâmicos da economia mundial, da eletrônica à indústria aeroespacial, dos fármacos ao setor petroquímico. De fato, nanoestruturas semicondutoras e magnéticas estão em todos os computadores pessoais comercializados hoje em dia. Nanoestruturas semicondutoras (poços e pontos quânticos) são responsáveis por *lasers* e dispositivos emissores de luz (LEDs), enquanto que os semicondutores orgânicos estão nos *displays* de aparelhos celulares. Ao mesmo tempo, já estão no mercado tintas (pigmentos), cosméticos (nanopartículas), automóveis com partes feitas de nanocompósitos, vidros autolimpantes, assim como revestimentos nanoestruturados aplicados em ferramentas de corte com amplo uso na indústria metal-mecânica, dentre muitos outros exemplos.

Quadro 3.1 Tópicos associados ao tema nanomateriais e setores mais impactados

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Setores impactados
T1a	Nanomateriais estruturais	Compreendem uma ampla classe de nanomateriais criados, por exemplo, pela introdução de nanopartículas e outros nanobjetos (fillers) em um meio macroscópico (matriz). A estrutura em nanoescala altera as propriedades dos meios macroscópicos.	Aeronáutico; automotivo; têxtil; couro e calçados; plásticos; celulose e papel; petróleo; construção civil e defesa

continua...

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Setores impactados
T1b	Nanobjetos e materiais nanoestruturados (nanofios, nanotubos, nanopartículas etc.)	Referem-se a objetos construídos em nanoescala que podem ser funcionalizados para aplicações específicas. Nota: esse tópico foi subdividido em T1b¹ – nanofios e nanotubos; T1b² – nanopartículas, T1b³ – nanobjetos replicando a natureza.	Fabricação de produtos químicos (insumos nanotecnológicos); energia solar; aeronáutico; fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; medicina e saúde e plásticos
T1c	Nanomateriais semicondutores e magnéticos	Incluem semicondutores orgânicos e inorgânicos. Nota: esse tópico foi subdividido em T1c¹ – nanomateriais semicondutores e magnéticos; T1c² – nanomateriais além da tecnologia do silício.	Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; aeronáutico; automotivo; energia solar; instrumentação e automação
T1d	Revestimentos nanoestruturados	Incluem engenharia de superfícies e interfaces, filmes finos para otimização de propriedades superficiais.	Aeronáutico; automotivo; defesa; construção civil; indústria naval; biocombustíveis; petróleo e energia
T1e	Nanomateriais funcionais	Incluem nanocompósitos, filmes finos e materiais moleculares. A estrutura em nanoescala confere uma nova funcionalidade ao produto final.	Aeronáutico; energia; meio ambiente; medicina e saúde; higiene e cosméticos; defesa; instrumentação e automação; petróleo; fármacos e fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações

Fonte: CGEE (2008)

Os nanomateriais utilizam diversas técnicas de preparação, *bottom-up* e *top-down*³⁵, rotas químicas ou processos físicos, assim como uma enorme gama de técnicas de caracterização e diversar aplicações, incluindo sua utilização como insumos básicos para nanotecnologia.

A primeira abordagem, chamada de procedimento “*bottom-up*”, consiste em construir o material a partir de seus componentes básicos, ou seja, seus átomos e moléculas, da mesma forma que uma criança monta uma estrutura ao conectar as peças de um Lego. Por outro lado, também é possível fabricar um objeto nanométrico através da eliminação do excesso de material existente em uma amostra maior do



material, como um artista trabalha os pequenos detalhes em uma escultura, fazendo cuidadoso desbaste do supérfluo ou excedente de um grande bloco de pedra ou madeira. Este procedimento normalmente se vale das chamadas técnicas de litografia, que correspondem a uma série de etapas de corrosão química seletiva e extremamente precisa para a preparação final do objeto nanométrico a partir de um bloco macroscópico do material. Em um esquema “top-down”, é possível construir um nanoobjeto pela deposição lenta e controlada de átomos sobre uma superfície bastante polida e regular. Muitas vezes, os átomos depositados se organizam espontaneamente, formando estruturas bem definidas de tamanho nanométrico. Isto ocorre, por exemplo, quando átomos de germânio são evaporados sobre uma superfície de silício. Como a distância entre os átomos é diferente nos cristais destes dois materiais, os átomos de germânio se organizam na forma de uma pirâmide, em vez de simplesmente formarem uma camada regular de átomos sobre a superfície do silício. Este é um exemplo do chamado processo de auto-organização, ou autoagrupamento. É também possível construir objetos nanométricos a partir de reações químicas controladas. Nanopartículas de materiais metálicos, como a prata, são obtidas em reações químicas em meios aquosos, nas quais os átomos de prata dissolvidos na solução se juntam para formar agregados de tamanho nanométrico.

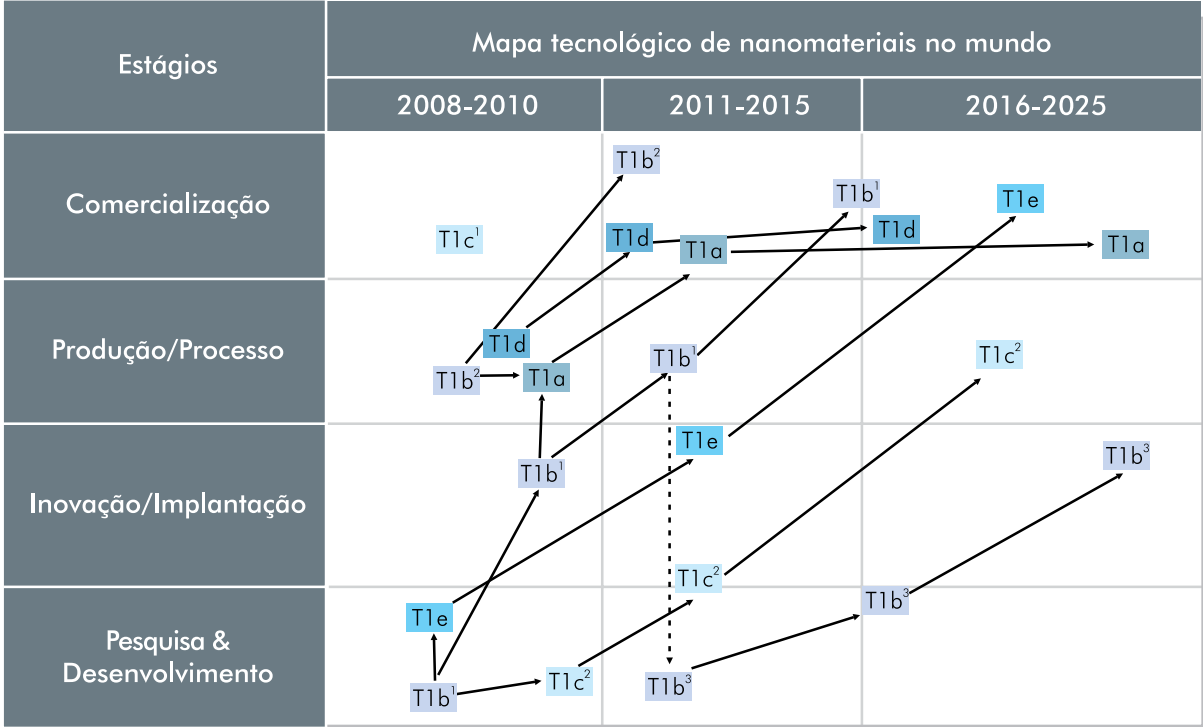
3.4 Mapa tecnológico no mundo: 2008-2025

A Figura 3.5 representa o mapa tecnológico do desenvolvimento de nanomateriais no mundo, o que permitirá comparar as trajetórias dos tópicos estudados no Brasil às trajetórias mundiais.

As trajetórias dos tópicos estudados em seus diversos estágios já estão atingindo um estágio de maturidade no mundo. Nanomateriais semicondutores inorgânicos (silício) e magnéticos (**T1c¹**) já estão em fase de

comercialização em larga escala. Ao contrário, os revestimentos nanoestruturados (**T1d**) estão entrando na fase de produção em larga escala e, para todos os demais, a perspectiva é de que isso também aconteça no médio prazo, ficando a comercialização em larga escala de nanomateriais funcionais (**T1e**) para um prazo mais longo. Esse fato não impede que novos materiais e novas tecnologias surjam nesse horizonte de pouco mais de quinze anos. De fato, novos materiais semicondutores, como grafeno, nanofios, nanotubos e pontos quânticos, devem ser capazes de substituir o silício no horizonte considerado, ao passo que novos materiais (novas ideias e funcionalidades) surgirão como materiais capazes de, em certos aspectos, replicar a natureza (**T1b³**).

Figura 3.5 Mapa tecnológico de nanomateriais no mundo (2008-2025)



Notação: **T1a** – nanomateriais estruturais; **T1b¹** – nanofios e nanotubos; **T1b²** – nanopartículas; **T1b³** – nanobjetos replicando a natureza; **T1c¹** – nanomateriais semicondutores e magnéticos; **T1c²** – nanomateriais: além da tecnologia do silício; **T1d** – revestimentos nanoestruturados; **T1e** – nanomateriais funcionais.

Fonte: CGEE (2008)



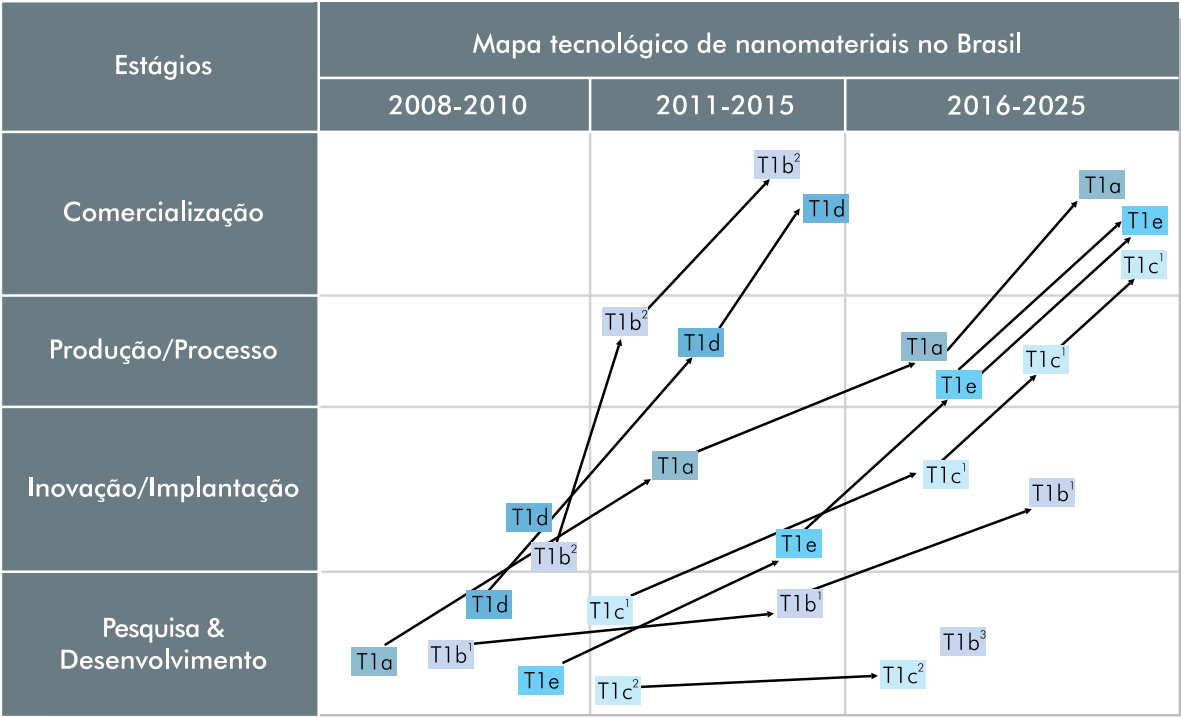
3.5 Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2008-2025

A Figura 3.6 mostra os resultados da construção do mapa tecnológico do desenvolvimento de nanomateriais no Brasil, compreendendo as trajetórias projetadas para cada um dos tópicos, nos períodos entre 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025.

O Brasil tem uma base científico-tecnológica que permite acompanhar com relativo sucesso a fronteira do conhecimento em nanomateriais. O país desenvolve pesquisas básicas de alta qualidade em todos os tópicos analisados, especialmente em nanopartículas e revestimentos.

No cenário nacional, destacam-se algumas empresas de base tecnológica, *spin-offs* de laboratórios de pesquisa, como a Nanox, que oferece soluções de proteção antimicrobiana para superfícies e materiais diversos e anticorrosivos para metais que são submetidos a altas temperaturas. A CVD Clorovale e a Plasma LIT, que atuam na área de revestimentos nanoestruturados e engenharia de superfícies, são outros dois casos de inovação em nanomateriais que merecem destaque. Em um cenário de médio prazo, as tecnologias de maior potencialidade para inovações são os nanomateriais estruturais (**T1a**), compósitos que em alguns casos já estão entrando no mercado, e os nanomateriais funcionais (**T1e**). No período 2016-2025, espera-se que, além de nanomateriais estruturais (**T1a**), os setores ligados a compósitos, revestimentos e nanopartículas, além de pigmentos para aplicações diversas, atingirão maturidade e estarão nos estágios de produção em larga escala e comercialização. Espera-se, adicionalmente, o desenvolvimento de alguns nichos no mercado de semicondutores e magnéticos (**T1c'**).

Figura 3.6 Mapa tecnológico de nanomateriais no Brasil (2008-2025)



Notação: **T1a** – nanomateriais estruturais; **T1b¹** – nanofios e nanotubos; **T1b²** – nanopartículas; **T1b³** – nanobjetos replicando a natureza; **T1c¹** – nanomateriais semicondutores e magnéticos; **T1c²** – nanomateriais: além da tecnologia do silício; **T1d** – revestimentos nanoestruturados; **T1e** – nanomateriais funcionais.
Fonte: CGEE (2008)

A Figura 3.7 representa o *portfolio* tecnológico estratégico do tema nanomateriais, no qual os principais tópicos associados a esse tema foram classificados segundo dois critérios: (i) sustentabilidade, calculada em função do impacto econômico e socioambiental das aplicações potenciais do tópico; (ii) grau de esforço para atingir o posicionamento desenhado no mapa tecnológico (Figura 3.6).



Figura 3.7 *Portfolio* tecnológico estratégico de nanomateriais no Brasil (2008-2025)



Notação: **T1a** – nanomateriais estruturais; **T1b¹** – nanofios e nanotubos; **T1b²** – nanopartículas; **T1b³** – nanobjetos replicando a natureza; **T1c¹** – nanomateriais semicondutores e magnéticos; **T1c²** – nanomateriais: além da tecnologia do silício; **T1d** – revestimentos nanoestruturados; **T1e** – nanomateriais funcionais.
Fonte: CGEE (2008)

Comparando-se o mapa tecnológico de nanomateriais no Brasil com o mapa mundial representado na Figura 3.5, e, analisando-se as áreas promissoras do *portfolio* tecnológico da Figura 3.7, identificam-se diversas oportunidades em nanomateriais, como detalhado a seguir.

Observa-se que, por um lado, no que diz respeito aos nanomateriais funcionais (**T1e**) e aos revestimentos de todos os tipos (**T1d**), algumas de suas aplicações podem ser consideradas maduras e já estão sendo comercializadas em larga escala no Brasil. Por outro lado, como pode ser visto no mapa tecnológico da Figura 3.6, o país encontra-se no estágio de P&D para inovação em relação à diversas aplicações promissoras referentes a esses mesmos tópicos (**T1e** e **T1d**, respectivamente), com uma excelente perspectiva no médio prazo (2011-2015) de revestimentos nanoestruturados (**T1d**) atingirem um estágio de produção/comercialização e, certamente, consolidar um posicionamento favorável em um horizonte de longo prazo. Antecipa-se que os nanomateriais funcionais (**T1e**) atingirão o estágio de produção e comercialização no período de 2016-2025.

A Figura 3.7 mostra que as oportunidades consideradas “apostas” situam-se no quadrante superior direito e referem-se a nanomateriais funcionais (**T1e**), nanofios e nanotubos (**T1b¹**), nanobjetos replicando a natureza (**T1b³**) e nanomateriais semicondutores e magnéticos (**T1c²**). Esses tópicos encontram-se no estágio de P&D no mundo, como pode ser visto no mapa tecnológico mundial da Figura 3.5. Esse fato, aliado à expectativa de benefícios econômicos e socioambientais significativos para o país (alta sustentabilidade), confere o *status* de “apostas” no *portfolio* tecnológico, o que significa a necessidade de um grande esforço para se alcançar a trajetória traçada no mapa tecnológico no Brasil (Figura 3.6), porém com um grande potencial de recompensas.

A projeção do mercado de nanomateriais no Brasil para os próximos anos indica claramente o crescimento da oferta de materiais para eletrônica, ainda que basicamente à custa de importações para os parques industriais instalados em Manaus e São Paulo. Ainda nesse aspecto, os materiais semicondutores orgânicos para uso em televisores e *displays*



terão um papel importante e poderão vir a ser uma oportunidade para o Brasil (**T1c¹**). Pela solidez de seu sistema de pesquisa e pela particularidade de sua situação no campo dos semicondutores orgânicos, o Brasil ainda pode lutar neste campo por alguns nichos de mercado, o que vai exigir, porém, um alto grau de esforço para acompanhar a evolução dos avanços neste campo no mundo e ser capaz de se posicionar competitivamente nos mercados nacional e internacional. A posição do tópico “nanomateriais semicondutores e magnéticos” (**T1c¹**) no *portfolio* tecnológico está na parte superior “desejável”, porém é o tópico mais próximo do quadrante “apostas”, o que confirma seu alto potencial de vantagens competitivas. Os demais tópicos (**T1a**, **T1b²** e **T1d**), embora com menores vantagens competitivas em relação aos tópicos anteriores, encontram-se no mesmo quadrante de “nanomateriais semicondutores e magnéticos” (**T1c¹**). Requerem, porém, um grau de esforço menor em termos comparativos (grau de esforço médio e sustentabilidade alta). Destacam-se nessa categoria alguns produtos como tintas, compósitos poliméricos para uso na indústria automobilística, revestimentos nanoestruturados para uso na indústria do petróleo e gás, revestimentos e compósitos biocompatíveis (próteses), materiais biocompatíveis.

Adicionalmente a essas oportunidades, o Brasil pode estar em situação de comercialização de nanopartículas (**T1b²**) no médio prazo, sendo a produção de nanopartículas com distribuição de tamanho e forma controlada um insumo básico para vários dos produtos descritos acima.

Vale destacar que o setor de produtos de higiene, perfumaria e cosméticos já vem demandando o desenvolvimento de novos nanomateriais no Brasil: nesse setor, o país tem empresas com porte suficiente para ocupar espaço no mercado mundial, demandando novos nanomateriais para suas linhas de produção, como nanopartículas (**T1b²**) e revestimentos funcionais (**T1e**).

3.6 Mapa estratégico no Brasil: condicionantes de futuro e prioridades da Agenda INI-Nanotecnologia

Inicialmente, são apontados os condicionantes do desenvolvimento das aplicações de nanomateriais no Brasil em três períodos distintos, para em seguida apresentar-se o mapa estratégico com as indicações de prioridades, segundo as seis dimensões da Agenda INI-Nanotecnologia para o tema em questão. A visão de futuro construída para o Brasil no que se refere aos nanomateriais estará sujeita a vários condicionantes como mostrado no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 Condicionantes do futuro do desenvolvimento de nanomateriais no Brasil

Condicionantes do futuro do desenvolvimento de nanomateriais no Brasil		
2008-2010	2011-2015	2016-2025
• Educação em todos os níveis. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • Parcerias público-privadas. • Insumos básicos para P&D. • Inserção na linha da cadeia produtiva. • Impactos da nanotecnologia (estado da arte mundial). • Maior volume de capital de risco. • Regulamentação técnica e metrologia vinculadas à nanotecnologia.	• Educação em todos os níveis. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte, escala protótipo. • Insumos básicos para P&D. • Inserção na linha da cadeia produtiva. • Maior financiamento governamental (ex.: subvenção). • Impactos da nanotecnologia (estado da arte mundial). • Maior volume de capital de risco. • Regulamentação técnica e metrologia vinculadas à nanotecnologia.	• Educação em todos os níveis. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • RH em nível técnico e graduado. • Maior financiamento governamental (ex.: subvenção). • Impactos da nanotecnologia (estado da arte mundial). • Legislação ambiental mais restritiva. • Exigência de escala de produção. • Lançamento de produtos com características únicas impulsionando novas indústrias.

Fonte: CGEE (2008)

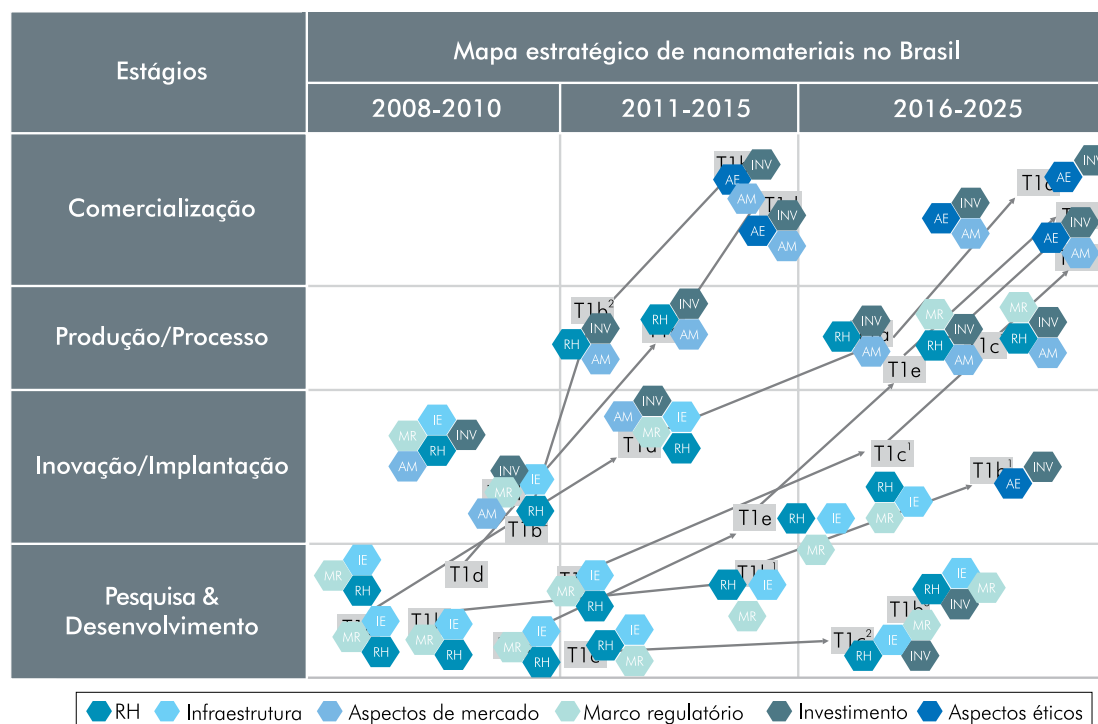
Como pode ser observado, alguns dos condicionantes listados são importantes para os três períodos, como, por exemplo, “educação em todos os níveis”, “existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da



arte”, “recursos humanos em nível técnico e graduado” e a “continuidade da nanotecnologia como prioridade do Estado (CT&I e política industrial)”. Novos condicionantes entram em cena a partir de 2011, quando se espera que alguns gargalos e necessidades já estejam equacionados, como é o caso do “lançamento de produtos com características únicas, impulsionando novas indústrias”. A análise dos condicionantes de futuro do desenvolvimento dos nanomateriais no país, desde a fase de P&D até a comercialização em larga escala, mostrou-se de fundamental importância para a posterior definição das prioridades da Agenda INI-Nanotecnologia referentes ao tema, em cada um dos períodos analisados.

Para se chegar aos posicionamentos estratégicos pretendidos em relação a cada um dos tópicos analisados de nanomateriais, são vários os gargalos que precisam ser superados e que estão apresentados de modo esquemático na Figura 3.8, a seguir.

Figura 3.8 Mapa estratégico de nanomateriais no Brasil (2008-2025)



Fonte: CGEE (2008)

Notação 1: **T1a** – nanomateriais estruturais; **T1b¹** – nanofios e nanotubos; **T1b²** – nanopartículas; **T1b³** – nanobjetos replicando a natureza; **T1c¹** – nanomateriais semicondutores e magnéticos; **T1c²** – nanomateriais: além da tecnologia do silício; **T1d** – revestimentos nanoestruturados; **T1e** – nanomateriais funcionais.

Notação 2: **RH** – recursos humanos; **IE** – infraestrutura; **INV** – investimentos; **MR** – marco regulatório; **AE** – aspectos éticos e aceitação pela sociedade; **AM** – aspectos de mercado.

Os gargalos indicam a importância e o grau de urgência de ações de suporte dentro de cada uma das dimensões da Agenda INI-Nanotecnologia, representadas pelos hexágonos em cores distintas, conforme descrição no Quadro 1.3 e notação na própria Figura 3.8.

Dentre as dimensões da Agenda INI-Nanotecnologia para nanomateriais a mais importante é o marco regulatório (**MR**). O uso e manipulação de nanopartículas e nanobjetos têm implicações nas relações de trabalho, mais especificamente na segurança e saúde do trabalhador, no risco ambiental e na saúde do consumidor, impactos específicos de nanomateriais. Ao lado de questões mais gerais, como propriedade intelectual e a definição de padrões metrológicos, a regulamentação técnica com certeza terá um papel decisivo para o crescimento do mercado de nanomateriais no país.

Outro ponto importante é a questão de recursos humanos (**RH**) nos mais diferentes níveis, técnico, superior e pós-graduação. Mesmo em uma previsão conservadora para o mercado de nanomateriais no Brasil, como apresentado pelo estudo do *The Freedonia Group* (2007)³⁶, antecipam-se carências de pessoal nos referidos níveis. Embora os recursos humanos possuam uma alta qualificação, encontram-se em quantidades insuficientes, especialmente de nível técnico, mestres e doutores. Tal situação constitui um gargalo crítico no horizonte de curto prazo, no qual recursos e mecanismos devem ser acionados na formação de recursos humanos em Nanociência e Nanotecnologia em todos os níveis, técnicos, graduados, mestres e doutores.

Observa-se na Figura 3.8 que a dimensão infraestrutura (**IE**) se encontra em situação favorável, embora ainda carente de instalações nacionais abertas com equipamentos de grande porte. Torna-se fundamental a alocação de recursos para a aquisição de equipamentos de grande porte para laboratórios nacionais ou regionais e para a modernização do parque laboratorial das universidades e institutos de pesquisa brasileiros. Juntamente com a dimensão recursos humanos (**RH**), a infraestrutura (**IE**) deverá constituir prioridade no horizonte de curto prazo.

Em um horizonte de médio prazo, quando, para a maioria das tecnologias o país estará no momento de passar do estágio de implantação dos novos produtos e processos à produção em larga escala, o principal gargalo será a inexistência de capital de risco e a necessidade de maior volume de investimentos (**INV**). Nesse momento, será necessária a ação do Estado, por meio de mecanismos como compras governamentais e programas de financiamento de longo prazo. Já no período de 2016 a 2025, quando se espera que ocorram quebras de paradigmas com a introdução de novos materiais e nanobjetos e as inovações trazidas pela nanociência não serão mais de caráter incremental, mais uma vez investimentos na formação de recursos humanos (**RH**) e na nova infraestrutura compatível com essas áreas de fronteira (**IE**), serão necessários para que o país possa aproveitar suas vantagens competitivas em relação ao campo de avanço do conhecimento em nanomateriais.

Notas

- ³² SCIENCE-METRIX (2008). **Nanotechnology World R&D Report 2008**. Serie R&D Reports Examining Science and Technology. Montreal: Science-Metrix Inc., p. 185.
- ³³ SCIENCE-METRIX (2008). **Nanotechnology World R&D Report 2008**. Serie R&D Reports Examining Science and Technology. Montreal: Science-Metrix Inc., p. 185.
- ³⁴ MELO, C. M. e PIMENTA, M. (2004). Nanociências e nanotecnologia. **Parcerias Estratégicas**, nº 18, p. 16. CGEE. Brasília, ago 2004.
- ³⁵ Para a definição das técnicas *bottom-up* e *top-down*, ver: MELO, C. M. e PIMENTA, M. (2004). Nanociências e nanotecnologia. **Parcerias Estratégicas**, nº 18, p. 16. CGEE. Brasília, ago 2004.
- ³⁶ THE FREEDONIA GROUP (2007). **World Nanomaterials to 2011**. Study #2215. Cleveland, OH: The Freedonia Group. Ago 2007, p. 473.

4. Nanoeletrônica :

Define-se nanoeletrônica como a aplicação de nanotecnologia a dispositivos eletrônicos. Tal área envolve dispositivos eletrônicos, optoeletrônicos, spintrônicos, eletrônica molecular, bem como as técnicas de nanofabricação dessas estruturas, sua integração em microsistemas e seu empacotamento. Abrange também dispositivos em nanoescala que agem como sensores e atuadores em aplicações como nanofluidos e motores moleculares, dentre outras. Esforços de P&D na área de nanoeletrônica visam ao aperfeiçoamento de dispositivos já existentes e à criação de sistemas inovadores baseados em princípios físicos até então não explorados.

Neste capítulo, são descritos os resultados das análises prospectivas realizadas para o tema nanoeletrônica, em três períodos: 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025. Antes, porém, com o objetivo de fornecer a linha de base dessas análises, no que se refere à produção científica e à propriedade intelectual em nível mundial, apresentam-se os resultados do estudo bibliométrico da Science-Metrix³⁷, contemplando artigos e patentes publicados e indexados na base de dados internacional Scopus sobre o referido tema, no período 1996-2006.

Na sequência, apresentam-se os tópicos associados ao tema nanoeletrônica e os condicionantes de futuro de seu desenvolvimento, nos três períodos mencionados. Em seguida, discutem-se os mapas tecnológicos desse tema em dois níveis de abrangência (mundo e Brasil) e o *portfolio* tecnológico estratégico. São apresentados os resultados da análise conjunta dos mapas e do *portfolio* com indicação objetiva das aplicações mais promissoras para o país nesse campo. Como complementos para as análises, são apontados gargalos e prioridades de ações de suporte para a consecução da visão de futuro construída a partir dos respectivos mapas e *portfolio* tecnológicos. Por fim, são propostas ações de suporte que deverão compor a Agenda INI-Nanotecnologia no curto, médio e longo prazos referentes ao tema.

A indústria eletrônica cresceu rapidamente nas últimas cinco décadas. Esse crescimento deve-se, em grande parte, a uma verdadeira revolução ocorrida no ramo de microeletrônica. No início da década de sessenta, colocar mais de um transistor (unidade básica de um circuito integrado) sobre um pedaço de semicondutor era considerado tecnologia de ponta. Circuitos integrados contendo dezenas de dispositivos simplesmente não existiam. Computadores digitais eram grandes, lentos e extremamente caros. Atualmente, computadores extremamente rápidos e baratos são fabricados baseados em circuitos contendo bilhões de transistores. Além desse fato, circuitos eletrônicos incorporaram-se no nosso cotidiano, sendo encontrados em carros, uso doméstico, meios de comunicação e tantas outras aplicações.

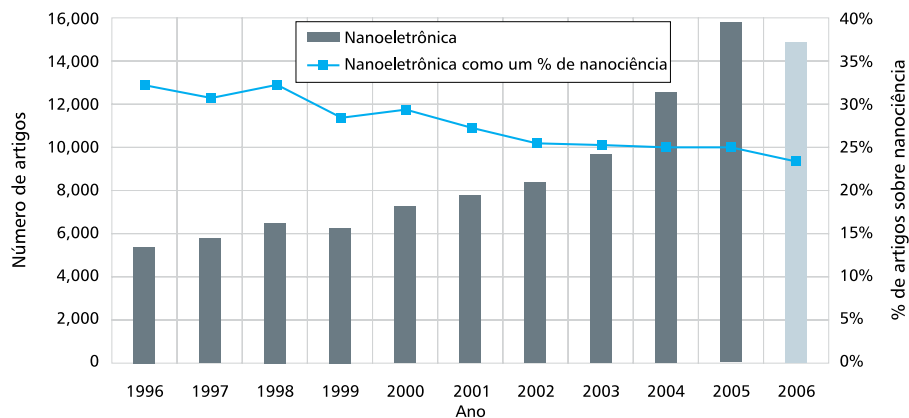
Os tamanhos envolvidos na tecnologia atual e futura correspondem a algumas camadas atômicas. Sendo assim, grande parte da função do dispositivo será determinada por processos físicos que ocorrem em algumas camadas atômicas adjacentes a interfaces. Dispositivos com dimensões nanométricas estarão cada vez mais presentes em nosso cotidiano. Além das aplicações diretamente ligadas a processadores, a nanoeletrônica desempenhará papel decisivo em dispositivos eletrônicos utilizados em aplicações específicas como transmissão de energia, controles eletrônicos, dispositivos de potência, LEDs baseados em nanocristais, para citar alguns exemplos.

4.1 Produção científica em nanoeletrônica: 1996-2006

É apresentada, na Figura 4.1, a evolução da produção científica em nanoeletrônica, medida pelo número de trabalhos científicos nesta área do conhecimento e pela sua importância em relação a todos os trabalhos em N&N indexados na base de dados Scopus, no período 1996-2006.



Figura 4.1 Evolução da produção científica em nanoeletrônica e posição relativa do tema em relação à produção científica em nanociência: 1996-2006

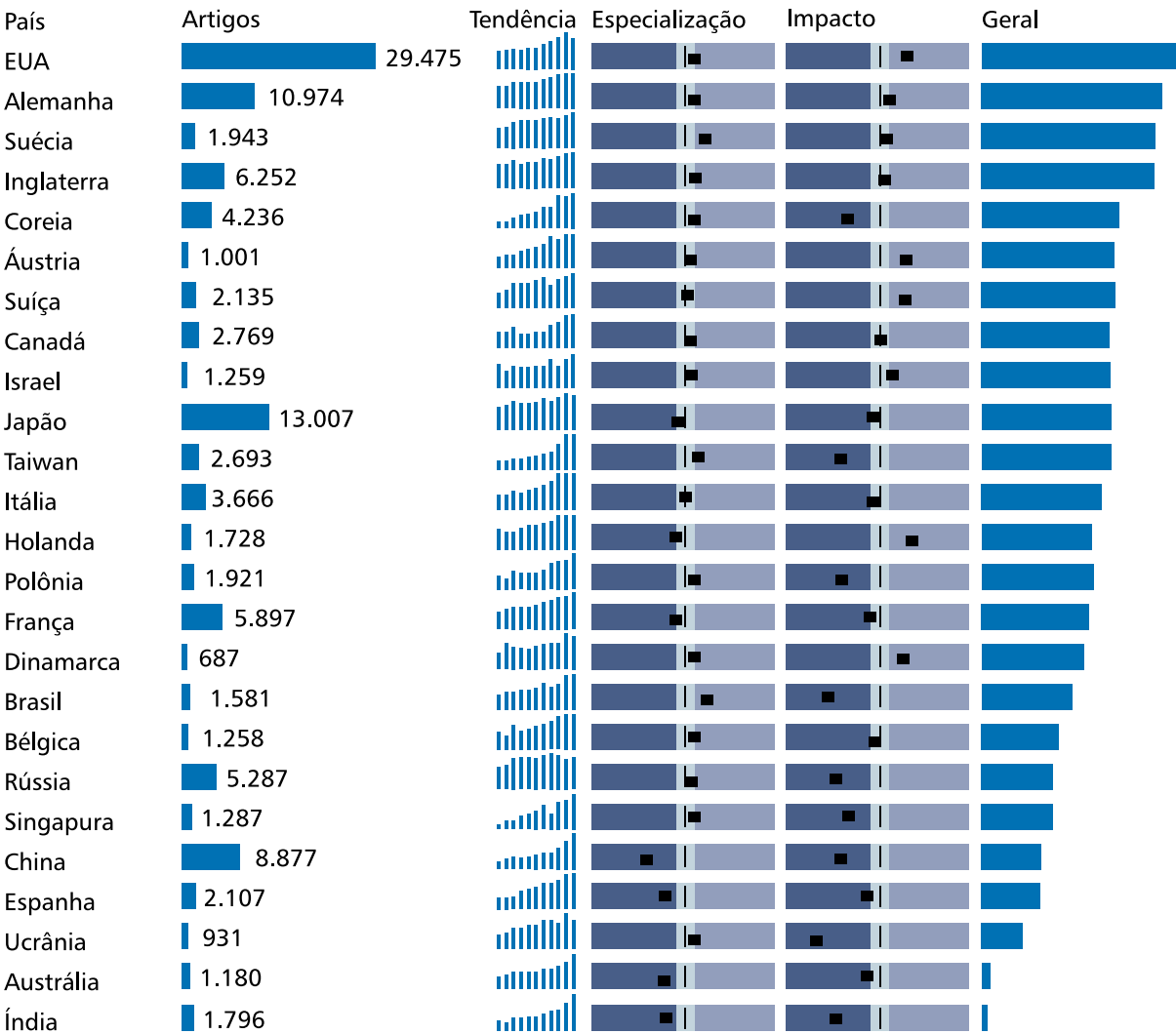


Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.43. Base de dados Scopus.

Pode-se observar que a produção científica em nanoeletrônica tem crescido exponencialmente durante essa década, a uma taxa acumulada de crescimento anual (CGAR) de 12% no período de 1996-2005. Isso significa dobrar o número de trabalhos a cada seis anos. Entretanto, quando se analisa a produção científica em termos do percentual de trabalhos científicos em nanoeletrônica em relação ao total de artigos em N&N, o índice decresce em nove pontos percentuais, tendo como ponto inicial da curva o percentual de 32% em 1996 até o percentual de 23% em 2006. Não obstante essa queda relativa na produção científica, o campo da nanoeletrônica, em termos absolutos, representa ainda uma parcela significativa de trabalhos publicados em nanociência, com cerca de 16.000 trabalhos indexados na referida base em 2005.

A seguir, apresenta-se na Figura 4.2 o posicionamento dos países líderes e do Brasil, no que se refere ao impacto e grau de especialização de suas produções científicas em nanoeletrônica, em relação à média mundial.

Figura 4.2 Países líderes em produção científica em nanoeletrônica: 1996-2006

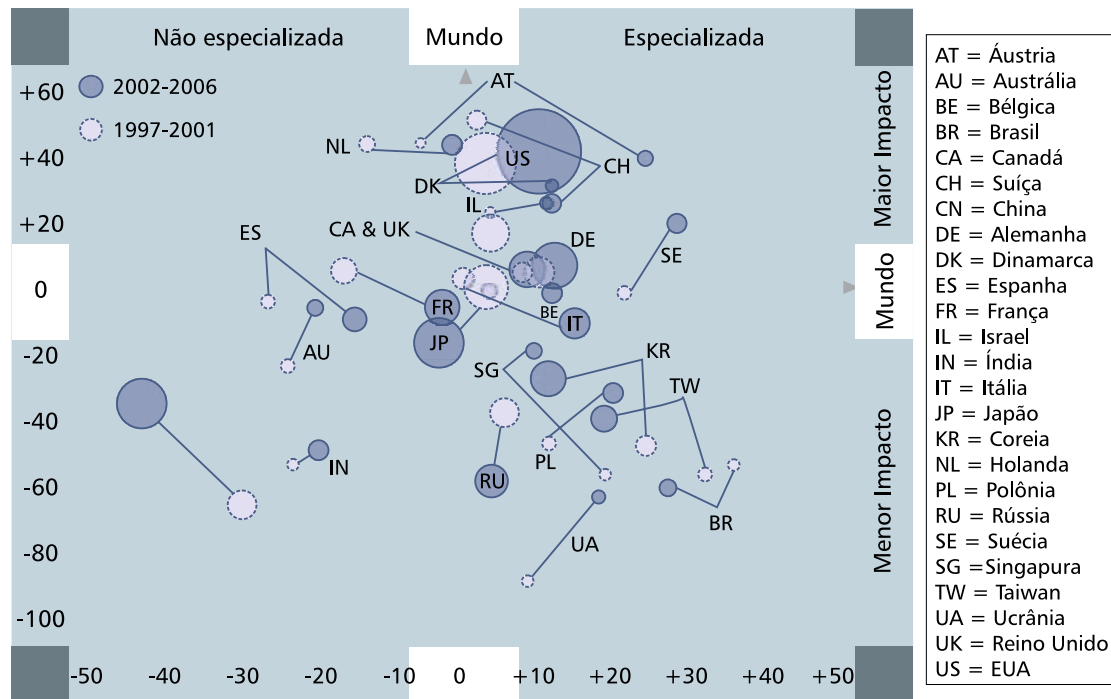


Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.44. Base de dados Scopus.

A Figura 4.3 mostra em outro formato o mapeamento dos países líderes em publicações científicas sobre nanoeletrônica, em relação a dois índices: grau de especialização (SI) e impacto (ARC).



Figura 4.3 Posição dos países em relação à produção científica em nanoeletrônica: 1997-2001 e 2002-2006



Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.46. Base de dados Scopus.

De acordo com a Figura 4.3, os EUA lideram o *ranking* mundial da produção científica nesta área, seguido por Japão e Alemanha com, respectivamente 13% e 11% da produção científica mundial em nanoeletrônica. A China segue logo atrás da Alemanha com 8.900 trabalhos científicos publicados no período de 1996-2006. Pelo índice que reflete o critério múltiplo, o Brasil aparece em 17º lugar na lista dos 25 países com maior produção científica em nanoeletrônica, em nível mundial. Em número de publicações, aparece em 18º lugar na mesma lista, estando um pouco acima da média em especialização e abaixo da média em impacto. A Figura 4.3 destaca ainda que o número de trabalhos científicos publicados por Taiwan, China e Índia têm crescido exponencialmente durante essa

década, a uma taxa acumulada de crescimento anual (CGAR) de 20%, 19% e 20%, respectivamente.

Adicionalmente, apresenta-se a tendência de cada país, no que diz respeito à evolução de sua produção científica neste tema.

A Figura 4.3 confirma a posição de liderança dos EUA na produção científica em nanoeletrônica, sendo o país de maior impacto e um dos mais especializados. Na apresentação dos resultados do estudo da Science-Metrix, são considerados dois períodos de análise: 1997-2001 e 2002-2006. Observa-se ainda nesta mesma Figura que no período 1997-2001, no contexto mundial, o Brasil esteve em posição mais favorável do que no período seguinte (2002-2006), pois embora estivesse no quadrante dos países de baixo impacto, seu grau de especialização foi considerado mais alto do que no período 2002-2006, no qual o país aproximou-se da média mundial.

Na Tabela 4.1, as empresas são listadas de acordo com o grau de especialização em nanoeletrônica,³⁸ em nível mundial.

Tabela 4.1 Empresas com produção científica de destaque em nanoeletrônica: 1996-2006

Universidade	País	Artigos	Especialização
Rice	EUA	835	1,33
Hanyang U	Coreia	930	1,29
Zhejiang U	China	1.289	1,28
Shanghai Jiao Tong U	China	951	1,26
Natl Tsing Hua U	Taiwan	941	1,25
Nanjing U	China	1.610	1,25
Tsinghua U	China	2.223	1,22



Continuação da Tabela 4.1

Universidade	País	Artigos	Especialização
Peking U	China	1.692	1,18
Georgia Tech	EUA	1.417	1,17
Indian Inst of Tech	Índia	1.181	1,15
Natl U of Singapore	Singapura	1.625	1,14
Fudan U	China	1.009	1,13
Penn State	EUA	1.285	1,12
Tohoku U	Japão	2.633	1,11
Jilin U	China	1.110	1,11
UC Davis	EUA	814	1,11
Moscow State U	Rússia	1.307	1,10
Natl Chiao Tung U	Taiwan	783	1,09
U of Tsukuba	Japão	818	1,09

Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.47. Base de dados Scopus.

Em relação às organizações líderes, a empresa Nichia (Japão) publicou 157 trabalhos no período de 1996 a 2006 e apresenta o maior grau de especialização (1,99) em relação a sua produção científica em nanoeletrônica. Esse índice é muito elevado, considerando-se que a produção científica mundial em nanoeletrônica representa 26% dos trabalhos publicados sobre N&N. Dentre as 25 empresas líderes, não há nenhuma empresa brasileira, embora a maioria das empresas listadas tenha operações no país, como por exemplo Sharp, Motorola, Xerox, Siemens, dentre outras. Observa-se também que, embora a IBM, dos EUA, tenha uma produção relevante em nanoeletrônica com 886 artigos publicados (2ª posição em volume), essa empresa encontra-se na 25ª posição quanto à sua especialização no tema em questão.

Na Tabela 4.2, apresentam-se as universidades líderes em nanoeletrônica no mundo, conforme o grau de especialização neste campo.

Tabela 4.2 Universidades com atuação de destaque em nanoeletrônica: 1996-2006

Universidade	País	Artigos	Especialização
Rice	EUA	835	1,33
Hanyang U	Coreia	930	1,29
Zhejiang U	China	1.289	1,28
Shanghai Jiao Tong U	China	951	1,26
Natl Tsing Hua U	Taiwan	941	1,25
Nanjing U	China	1.610	1,25
Tsinghua U	China	2.223	1,22
Peking U	China	1.692	1,18
Georgia Tech	EUA	1.417	1,17
Indian Inst of Tech	Índia	1.181	1,15
Natl U of Singapore	Singapura	1.625	1,14
Fudan U	China	1.009	1,13
Penn State	EUA	1.285	1,12
Tohoku U	Japão	2.633	1,11
Jilin U	China	1.110	1,11
UC Davis	EUA	814	1,11
Moscow State U	Rússia	1.307	1,10
Natl Chiao Tung U	Taiwan	783	1,09
U of Tsukuba	Japão	818	1,09

Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.50. Base de dados Scopus.

Na Tabela 4.2, a University of Wurzburg (Alemanha) é a mais especializada em nanoeletrônica, com uma produção científica duas vezes mais intensa que as demais universidades que também publicam em N&N. A National Chiao Tung University (Taiwan), a University of Califórnia Santa Barbara (EUA) e a University of Sheffield (Inglaterra) também são bastante especializadas nessa área, comparando-se com as demais universidades. Em volume, a University

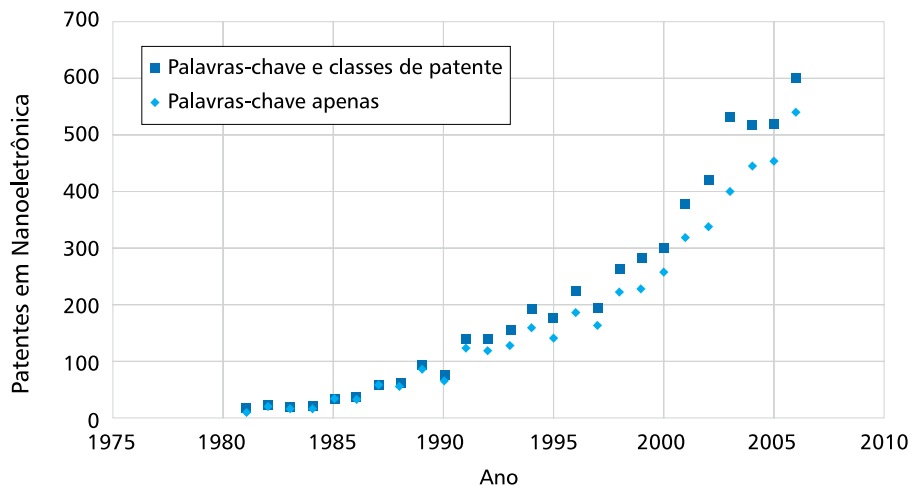


of Tokio (Japão) é a primeira do *ranking* com 1633 trabalhos publicados, seguida da University of Califórnia Santa Barbara com 1269 trabalhos. Dentre as universidades líderes no *ranking* mundial, não há nenhuma instituição brasileira, embora o país esteja entre os 25 países mais importantes em termos de produção científica mundial em nanoeletrônica.

4.2 Propriedade intelectual em nanoeletrônica: 1996-2006

A Figura 4.4 mostra o crescimento do número de patentes em nanoeletrônica na base dados do USPTO. Os dados da Figura 4.4 revelam que, em termos de propriedade intelectual, a nanoeletrônica tem crescido a uma taxa anual acumulada de cerca de 16,5%, o que significa que o número de patentes concedidas dobrou a cada 4,5 anos. Isso representa 3 vezes mais que o crescimento da taxa geral do USPTO.

Figura 4.4 Evolução do número de patentes americanas em nanoeletrônica: 1981-2006



Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.163. Base de dados USPTO.

A Tabela 4.3 apresenta a evolução da nanoeletrônica em relação ao número de patentes concedidas pelo USPTO, por país, nos últimos 25 anos. No início dos anos 80, o único país que teve uma expressão significativa em propriedade intelectual nesse campo foram os EUA. Em 1982, o Japão entra nessa área, quase alcançando os EUA nos anos seguintes (1987-1991). No período de 1992 a 1996, o Japão continuou tendo um crescimento sólido, enquanto os EUA adicionaram 200 novas patentes ao seu *portfolio*, o que corresponde a 65% de crescimento para esse país. Ainda nesse período, a França obteve 28 patentes, o que corresponde a 300% de crescimento para esse país. Coreia, Taiwan e Alemanha se destacam nessa área no período de 1997 a 2001 com taxa de crescimento relativa ao período anterior de 231%, 500% e 640%, respectivamente.

Tabela 4.3 Número de patentes americanas em nanoeletrônica, por país: 1982-2006

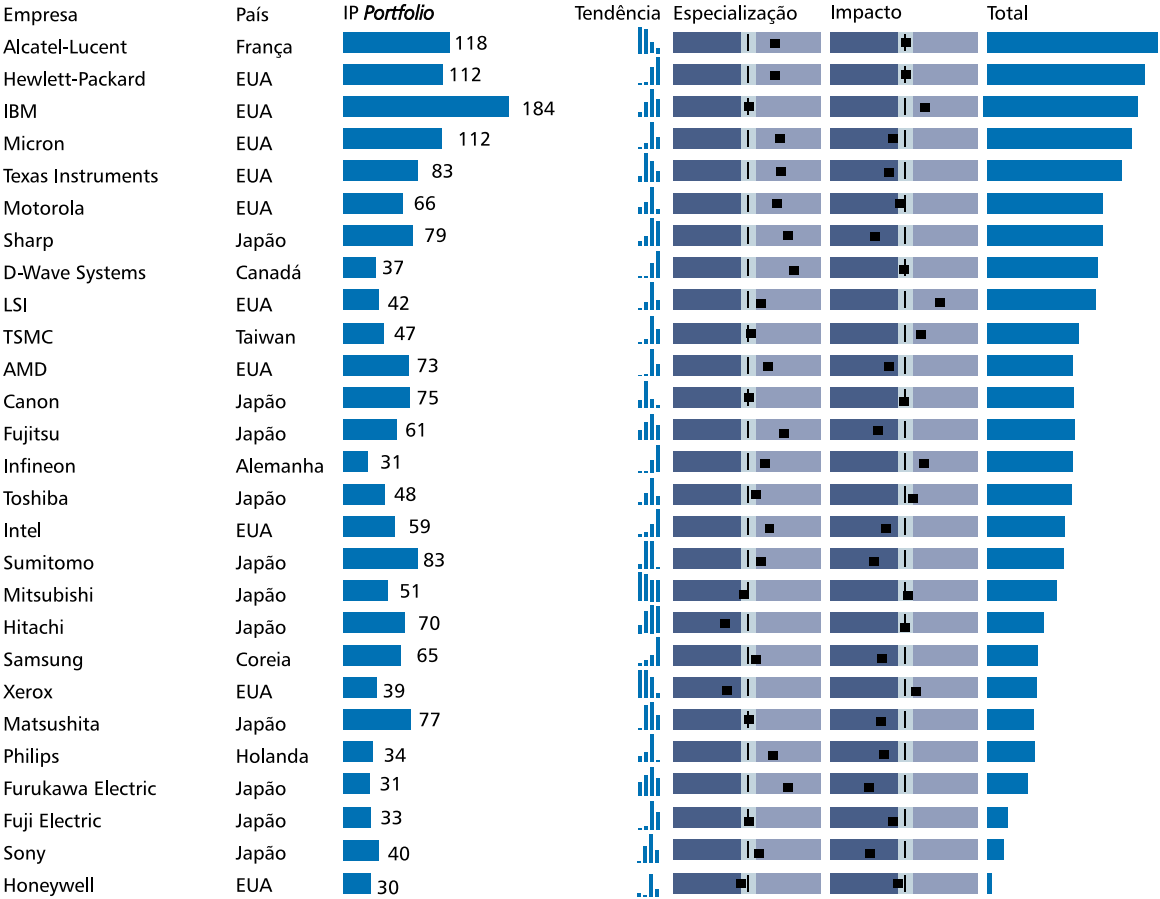
Universidade	País	Artigos	Especialização
Rice	EUA	835	1,33
Hanyang U	Coreia	930	1,29
Zhejiang U	China	1.289	1,28
Shanghai Jiao Tong U	China	951	1,26
Natl Tsing Hua U	Taiwan	941	1,25
Nanjing U	China	1.610	1,25
Tsinghua U	China	2.223	1,22
Peking U	China	1.692	1,18
Georgia Tech	EUA	1.417	1,17
Indian Inst of Tech	Índia	1.181	1,15
Natl U of Singapore	Singapura	1.625	1,14
Fudan U	China	1.009	1,13
Penn State	EUA	1.285	1,12
Tohoku U	Japão	2.633	1,11
Jilin U	China	1.110	1,11
UC Davis	EUA	814	1,11
Moscow State U	Rússia	1.307	1,10
Natl Chiao Tung U	Taiwan	783	1,09
U of Tsukuba	Japão	818	1,09

Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.164. Base de dados USPTO.



A Figura 4.5 apresenta as empresas líderes no *ranking* de patentes em nanoeletrônica no USPTO, de acordo com seus *portfolios* de patentes ativas e conforme seu grau de especialização. A empresa Alcatel-Lucent lidera o *ranking* mundial com grande número de patentes e alto grau de especialização (SI), seguida por cinco empresas americanas e uma japonesa: Hewlett-Packard, IBM, Micron, Texas Instruments, Motorola e Sharp. A IBM, dos EUA, que possui o maior número de patentes em termos absolutos (184 patentes) encontra-se na 3ª posição no *ranking* mundial, considerando os três critérios: número de patentes ativas; especialização e impacto tecnológico.

Figura 4.5 *Portfolio de propriedade intelectual em nanoeletrônica das empresas líderes: 1987-2006*



Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.167. Base de dados USPTO.

A Tabela 4.4 apresenta o *portfolio* de patentes ativas e o grau de especialização (SI) das universidades líderes em nanoeletrônica no *ranking* mundial.

Tabela 4.4 Número de patentes americanas e especialização em nanoeletrônica, por universidade: 1987-2006

Universidade	País	Patentes Ativas	Especialização
Harvard	EUA	26	1,95
U of Connecticut	EUA	20	1,74
Caltech	EUA	49	1,66
U of Minnesota	EUA	10	1,53
Cornell	EUA	28	1,43
Georgia Tech	EUA	11	1,42
U of Wisconsin	EUA	17	1,40
Northwestern	EUA	11	1,22
U of Illinois	EUA	14	1,19
U of California	EUA	99	1,01

Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.168. Base de dados USPTO.

A University of California destaca-se com o maior número de patentes ativas em nanoeletrônica (99 documentos), seguida de Caltech (49 documentos). Todas as universidades selecionadas são especializadas em nanofotônica, porém a Harvard e a University of Connecticut são as mais especializadas nesse campo.

4.3 Tópicos associados ao tema nanoeletrônica

O Quadro 4.1 apresenta os tópicos tecnológicos associados ao tema nanoeletrônica que foram considerados na construção do mapa tecnológico mundial e do Brasil. Inclui seus descritivos e os setores que serão mais impactados pelo desenvolvimento das nanotecnologias em questão. As referências na primeira coluna do quadro foram adotadas



ao longo da construção dos mapas tecnológicos e do mapa estratégico de deste tema.

Quadro 4.1 Tópicos associados ao tema nanoeletrônica e setores mais impactados

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Setores impactados
T2a	Dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos à base de materiais nanoestruturados e suas arquiteturas	Compreendem dispositivos de memória, processadores, sensores, moduladores, fotodetectores, <i>displays</i> , células solares, dispositivos de micro-ondas etc. Abrange também desenvolvimento de arquiteturas compatíveis e ferramentas computacionais. Nota: esse tópico foi subdividido em: T2a¹ – dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com incorporação de nanomateriais: arquiteturas que incorporem nanodispositivos; T2a² – <i>vacuum microelectronics</i> com nanotubos; T2a³ – células solares com nanocompósitos e <i>displays</i> OLEDs com nano.	Aeroespacial; automotivo; defesa; fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; instrumentação e automação; energia; petróleo, gás natural e petroquímica
T2b	NEMS e atuadores	Referem-se a objetos construídos em nanoescala que podem ser funcionalizados para aplicações específicas.	Aeroespacial; defesa; fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; instrumentação e automação; petróleo, gás natural e petroquímica
T2c	Fabricação de nanodispositivos	Incluem semicondutores orgânicos e inorgânicos. Nota: esse tópico foi subdividido em: T2c¹ – nanodispositivos: tecnologias <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i> ; T2c² – nanodispositivos: tecnologias <i>roll-to-roll</i> ; T2c³ – nanodispositivos: integração <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i> .	Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; aeronáutico; automotivo; energia solar; instrumentação e automação
T2d	Dispositivos não convencionais à base de materiais nanoestruturados e suas arquiteturas	Incluem engenharia de superfícies e interfaces, filmes finos para otimização de propriedades superficiais. Nota: esse tópico foi subdividido em: T2d¹ – spintrônica, nanotubos, grafeno: transporte; dispositivos moleculares; T2d² – dispositivos spintrônicos para memória.	Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações

Fonte: CGEE (2008)

A evolução da nanoeletrônica se dará basicamente segundo duas vertentes. A primeira consiste em continuar a evolução da integração de dispositivos, com a utilização de novos materiais. Nessa vertente, destacam-se duas classes de materiais: (i) FETs fabricados com nanotubos de carbono e nanofios e heteroestruturas de nanofios. Nessa categoria também são incluídos dispositivos à base de grafeno; (ii) MOSFETs com nanocamadas de GE e semicondutores do tipo III-V.

Em uma segunda etapa, serão necessários dispositivos inovadores que explorem outras características além da carga do elétron. Para tanto, será necessário um intenso trabalho de pesquisa para adaptar as técnicas de fabricação desses dispositivos à escala de fabricação atual de estruturas C-MOS. As principais abordagens emergentes nessa categoria são: dispositivos de um elétron SETs; dispositivos moleculares; dispositivos ferromagnéticos lógicos e dispositivos spintrônicos.

4.4 Mapa tecnológico no mundo: 2008-2025

A Figura 4.6 representa o mapa tecnológico do desenvolvimento de nanoeletrônica no mundo, permitindo a comparação das trajetórias dos tópicos estudados no Brasil com as trajetórias mundiais.

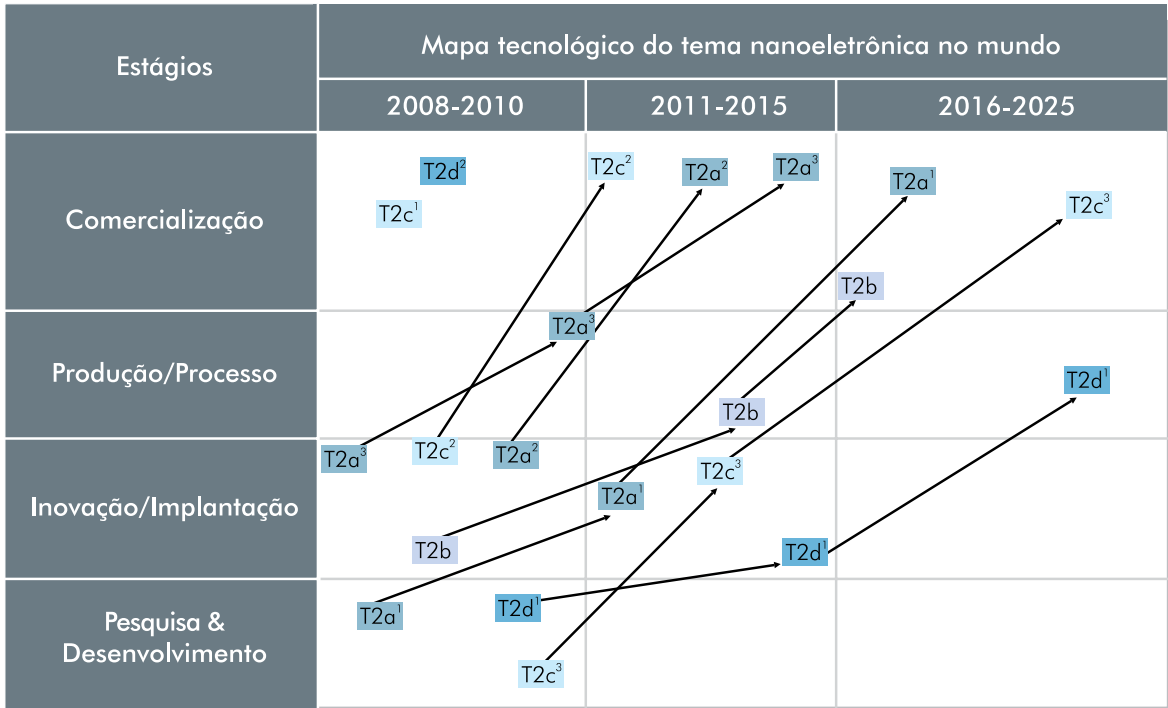
Como pode ser observado no mapa tecnológico mundial de nanoeletrônica, as aplicações *top-down* e *bottom-up* referentes a nanodispositivos (**T2c¹**) e os dispositivos spintrônicos para memória (**T2d²**) já se encontram em fase de comercialização em larga escala.

Por outro lado, situam-se em estágio de P&D no mundo os dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com incorporação de nanomateriais (**T2a¹**), os nanodispositivos baseados em tecnologias integradas *top-down* e *bottom-up* (**T2c³**), bem como spintrônica, nanotubos e grafeno (**T1d¹**).



No estágio de inovação, encontram-se os seguintes tópicos: células solares com nanocompósitos e *displays* OLEDs com nano (**T2a³**); *vacuum microelectronics* com nanotubos (**T2a²**); NEMS e atuadores (**T2b**) e nanodispositivos baseados em tecnologias *roll-to-roll* (**T2c²**). Essas informações permitirão comparar as trajetórias dos tópicos estudados no Brasil às trajetórias mundiais.

Figura 4.6 Mapa tecnológico de nanoeletrônica no mundo (2008-2025)



Notação: **T2a¹** – dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com incorporação de nanomateriais: arquiteturas que incorporem nanodispositivos; **T2a²** – *vacuum microelectronics* com nanotubos; **T2a³** – células solares com nanocompósitos e *displays* OLEDs com nano; **T2b** – NEMS e atuadores; **T2c¹** – nanodispositivos: tecnologias *top-down* e *bottom-up*; **T2c²** – nanodispositivos: tecnologias *roll-to-roll*; **T2c³** – nanodispositivos: integração *top-down* e *bottom-up*; **T2d¹** – spintrônica, nanotubos, grafeno: transporte; dispositivos moleculares; **T2d²** – dispositivos spintrônicos para memória.

Fonte: CGEE (2008)

4.5 Mapa tecnológico no Brasil: oportunidades estratégicas no período 2008-2025

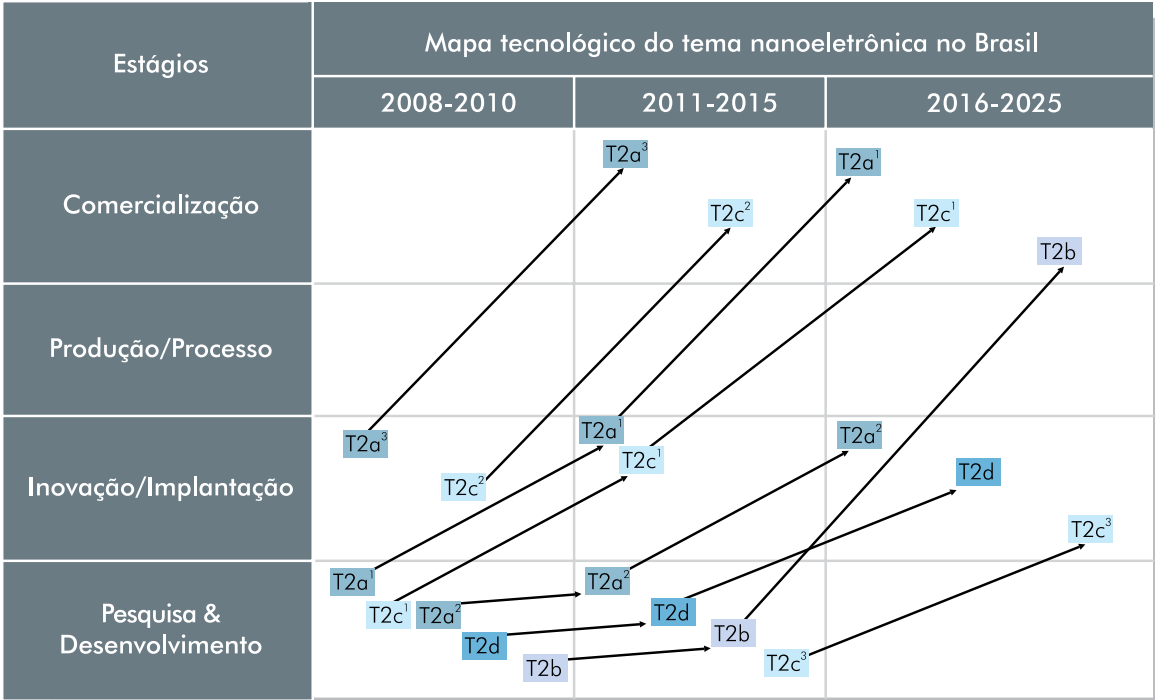
A Figura 4.7 mostra os resultados da construção do mapa tecnológico do desenvolvimento de nanoeletrônica no Brasil, compreendendo as trajetórias projetadas para cada um dos tópicos, nos períodos entre 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025.

No mapa representado na Figura 4.7, observa-se que o Brasil encontra-se no estágio de inovação em relação a células solares com nanocompósitos; *displays* OLEDs com nano (**T2a³**) e à tecnologia *roll-to-roll* para nanocompósitos (**T2c²**), podendo chegar a uma posição competitiva desejável no médio prazo, aproveitando alguns nichos estratégicos de mercado.

Vale destacar, para efeito do desenho do *portfolio* tecnológico estratégico representado na Figura 4.8, aqueles tópicos de nanoeletrônica que se encontram em estágio de P&D no Brasil e no mundo. São eles: “dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com incorporação de nanomateriais”, isto é, arquiteturas que incorporem nanodispositivos (**T2a¹**), os “nanodispositivos baseados em tecnologias integradas *top-down* e *bottom-up*” (**T2c³**) e os “dispositivos convencionais à base de materiais nanoestruturados e suas arquiteturas” (**T2d**).



Figura 4.7 Mapa tecnológico de nanoeletrônica no Brasil (2008-2025)



Notação: **T2a¹** – dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com incorporação de nanomateriais: arquiteturas que incorporem nanodispositivos; **T2a²** – *vacuum microelectronics* com nanotubos; **T2a³** – células solares com nanocompósitos; *displays* OLEDs com nano; **T2b** – NEMS e atuadores; **T2c¹** – nanodispositivos: tecnologias *top-down* e *bottom-up*; **T2c²** – nanodispositivos: *roll-to-roll* para nanocompósitos; **T2c³** – nanodispositivos: integração *top-down* e *bottom-up*; **T2d** – dispositivos não convencionais à base de materiais nanoestruturados e suas arquiteturas.

Fonte: CGEE (2008)

Com relação aos demais tópicos, o país será seguidor, considerando-se o atual estágio de avanço da nanoeletrônica nos países desenvolvidos.

A Figura 4.8 representa o *portfolio* tecnológico estratégico do tema nanoeletrônica, no qual os tópicos associados a esse tema foram classificados segundo dois critérios: (i) sustentabilidade, calculada em função do impacto econômico e socioambiental das aplicações potenciais do tópico; (ii) grau de esforço para atingir o posicionamento desenhado no mapa tecnológico no Brasil (Figura 4.7).

Ao se analisar o *portfolio* tecnológico da Figura 4.8, confirma-se a análise de posicionamento estratégico obtida pela leitura do mapa tecnológico (Figura 4.7), particularmente no que tange os tópicos “dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com incorporação de nanomateriais” (T2a¹), “nanodispositivos baseados na integração de tecnologias *top-down* e *bottom-up*” (T2c³) e “dispositivos não convencionais à base de materiais nanoestruturados e suas arquiteturas” (T2d). Esses tópicos são apontados aqui como as “apostas” estratégicas do tema para o Brasil, considerando que os mesmos encontram-se em estágio de P&D no mapa tecnológico do mundo (Figura 4.6), requerendo um alto grau de esforço para atingir os estágios de produção e comercialização no Brasil. Por serem considerados de alto impacto econômico e socioambiental para o país, encontram-se no quadrante de “apostas” do *portfolio* tecnológico estratégico.

Figura 4.8 *Portfolio* tecnológico estratégico de nanoeletrônica no Brasil (2008-2025)



Notação: **T2a¹** – dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com incorporação de nanomateriais: arquiteturas que incorporem nanodispositivos; **T2a²** – *vacuum microelectronics* com nanotubos; **T2a³** – células solares com nanocompósitos; *displays* OLEDs com nano; **T2b** – NEMS e atuadores; **T2c¹** – nanodispositivos: tecnologias *top-down* e *bottom-up*; **T2c²** – nanodispositivos: *roll-to-roll* para nanocompósitos; **T2c³** – nanodispositivos: integração *top-down* e *bottom-up*; **T2d** – dispositivos não convencionais à base de materiais nanoestruturados e suas arquiteturas.

Fonte: CGEE (2008)

No mapa representado na Figura 4.7, observa-se que o Brasil encontra-se no estágio de inovação em relação a dois tópicos: “células solares com nanocompósitos; *displays* OLEDs com nano” (**T2a³**) e “tecnologia *roll-to-roll* para nanocompósitos” (**T2c²**), podendo chegar a uma posição competitiva favorável no médio prazo, se aproveitar alguns nichos estratégicos de mercado. Esses tópicos se encontram no quadrante que representa a situação “desejável”.

Para os demais tópicos, que se situam também no quadrante que representa a situação “desejável”, a análise dos mapas tecnológicos apontou que o Brasil será seguidor. Por outro lado, os resultados da análise de sustentabilidade indicaram que esses tópicos são de alto impacto econômico e sociambiental para o país. Por isso, é recomendável a identificação de oportunidades estratégicas que mereçam investimentos por parte do governo e de empresas aqui localizadas, com um grau de esforço médio para concretização de suas trajetórias, conforme indicado no *portfolio* tecnológico.

4.6 Mapa estratégico no Brasil: condicionantes de futuro e prioridades da Agenda INI-Nanotecnologia

Inicialmente, são analisados os condicionantes do desenvolvimento das aplicações de nanoeletrônica no Brasil em três períodos distintos, para em seguida apresentar-se o mapa estratégico com as indicações de prio-

ridades, segundo as seis dimensões da Agenda INI-Nanotecnologia para o tema em questão. A visão de futuro construída para o Brasil no que se refere às aplicações de nanoeletrônica estará sujeita a vários condicionantes como mostrado no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 Condicionantes do futuro do desenvolvimento das aplicações de nanoeletrônica no Brasil

Condicionantes do futuro do desenvolvimento das aplicações de nanoeletrônica no Brasil		
2008-2010	2011-2015	2016-2025
• Educação em todos os níveis. • Difusão científica. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • RH em nível técnico e graduado • Impactos da nanotecnologia (estado da arte mundial). • Maior volume de capital de risco. • Parcerias público-privadas. • Continuidade da nanotecnologia como prioridade do Estado (CT&I e política industrial). • Percepção da sociedade quanto ao valor das nanotecnologias. • Integração da cadeia produtiva (insumos, serviços, bens de capital etc.) com os esforços de P&D.	• Educação em todos os níveis. • Difusão científica. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • RH em nível técnico e graduado. • Impactos da nanotecnologia (estado da arte mundial). • Maior volume de capital de risco. • Parcerias público-privadas. • Lançamento de produtos com características únicas impulsionando novas indústrias. • Continuidade da nanotecnologia como prioridade do Estado (CT&I e política industrial). • Integração da cadeia produtiva (insumos, serviços, bens de capital etc.) com os esforços de P&D.	• Educação em todos os níveis. • Regulamentação técnica e metrologia vinculadas nanotecnologia. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • RH em nível técnico e graduado. • Impactos da nanotecnologia (estado da arte mundial). • Maior volume de capital de risco. • Parcerias público-privadas. • Lançamento de produtos com características únicas impulsionando novas indústrias. • Continuidade da nanotecnologia como prioridade do Estado (CT&I e política industrial). • Integração da cadeia produtiva (insumos, serviços, bens de capital etc.) com os esforços de P&D.

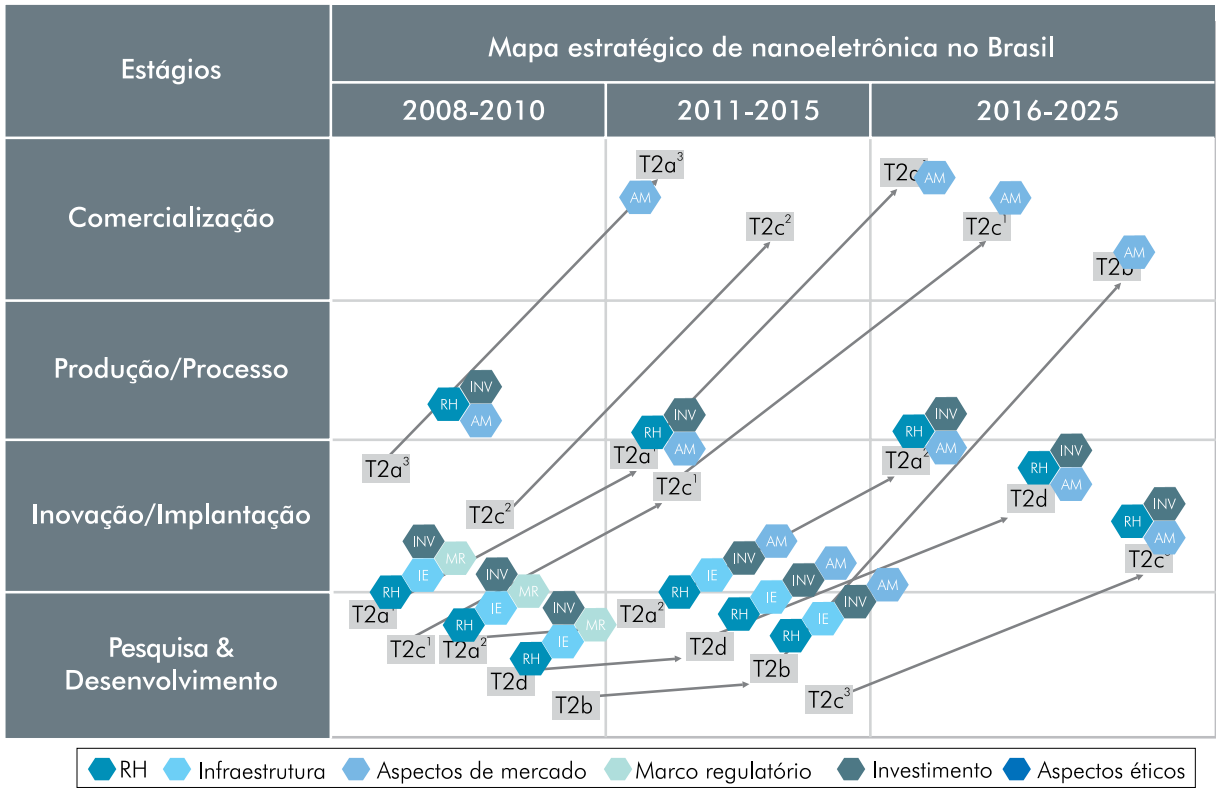
Fonte: CGEE (2008)

Observa-se no Quadro 4.2 que alguns dos condicionantes listados são considerados nos três períodos, por exemplo, “educação em todos os níveis”, “existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte”, “recursos humanos em nível técnico e graduado” e a “continuidade da nanotecnologia como prioridade do Estado (CT&I e política industrial)”. Constata-se também que a partir de 2011, novos condicionantes entram em cena como é o caso do “lançamento de produtos com características únicas, impulsionando novas indústrias”.



Para se alcançar a visão de futuro projetada no mapa tecnológico representado na Figura 4.7 e aproveitar os nichos estratégicos que se apresentam, o país se depara com uma série de gargalos que precisam ser superados e que estão representados de modo esquemático na Figura 4.9, a seguir. Tais gargalos indicam a importância e o grau de urgência de ações de suporte dentro de cada uma das dimensões da Agenda INI-Nanotecnologia, representadas pelos hexágonos em cores distintas, conforme descrição no Quadro 1.2, na Seção 1.2, e a notação da Figura 4.9.

Figura 4.9 Mapa estratégico de nanoeletrônica no Brasil (2008-2025)



Notação: **T2a¹** – dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com incorporação de nanomateriais: arquiteturas que incorporem nanodispositivos; **T2a²** – *vacuum microelectronics* com nanotubos; **T2a³** – células solares com nanocompósitos; *displays* OLEDs com nano; **T2b** – NEMS e atuadores; **T2c¹** – nanodispositivos: tecnologias *top-down* e *bottom-up*; **T2c²** – nanodispositivos: *roll-to-roll* para nanocompósitos; **T2c³** – nanodispositivos: integração *top-down* e *bottom-up*; **T2d** – dispositivos não convencionais à base de materiais nanoestruturados e suas arquiteturas.

Notação 2: **RH** – recursos humanos; **IE** – infraestrutura; **INV** – investimentos; **MR** – marco regulatório; **AE** – aspectos éticos e aceitação pela sociedade; **AM** – aspectos de mercado.

Fonte: CGEE (2008)

Devido ao estágio de desenvolvimento da nanoeletrônica no mundo, é necessário um intenso trabalho de pesquisa e formação de recursos humanos (RH) para que o Brasil venha a ocupar uma posição de destaque nessa área.

Apesar desse cenário adverso, o Brasil poderá ocupar espaços em nichos tecnológicos, nos quais suas capacidades de P&D e de inovação indicam grande potencial a ser explorado estrategicamente. Alguns exemplos dessas aplicações são: sensores baseados em nanotubos de carbono; células solares; tecnologia *roll to roll*; *displays* OLEDs; dispositivos para aplicações em condições extremas (potência, voltagem, temperatura etc.). No estágio de P&D do mapa, são indicadas as necessidades de consolidação e expansão da infraestrutura física atual das instituições públicas e privadas (IE), dando-se continuidade, por exemplo, às iniciativas em curso no âmbito do Programa Nacional de Nanotecnologia³⁹, no que tange à nanoeletrônica.

Os gargalos relacionados às demais dimensões (MR, INV e AM) localizam-se no estágio de produção do mapa estratégico, dependendo da capacidade nacional em cada um dos tópicos estudados, como pode ser observado na Figura 4.9.

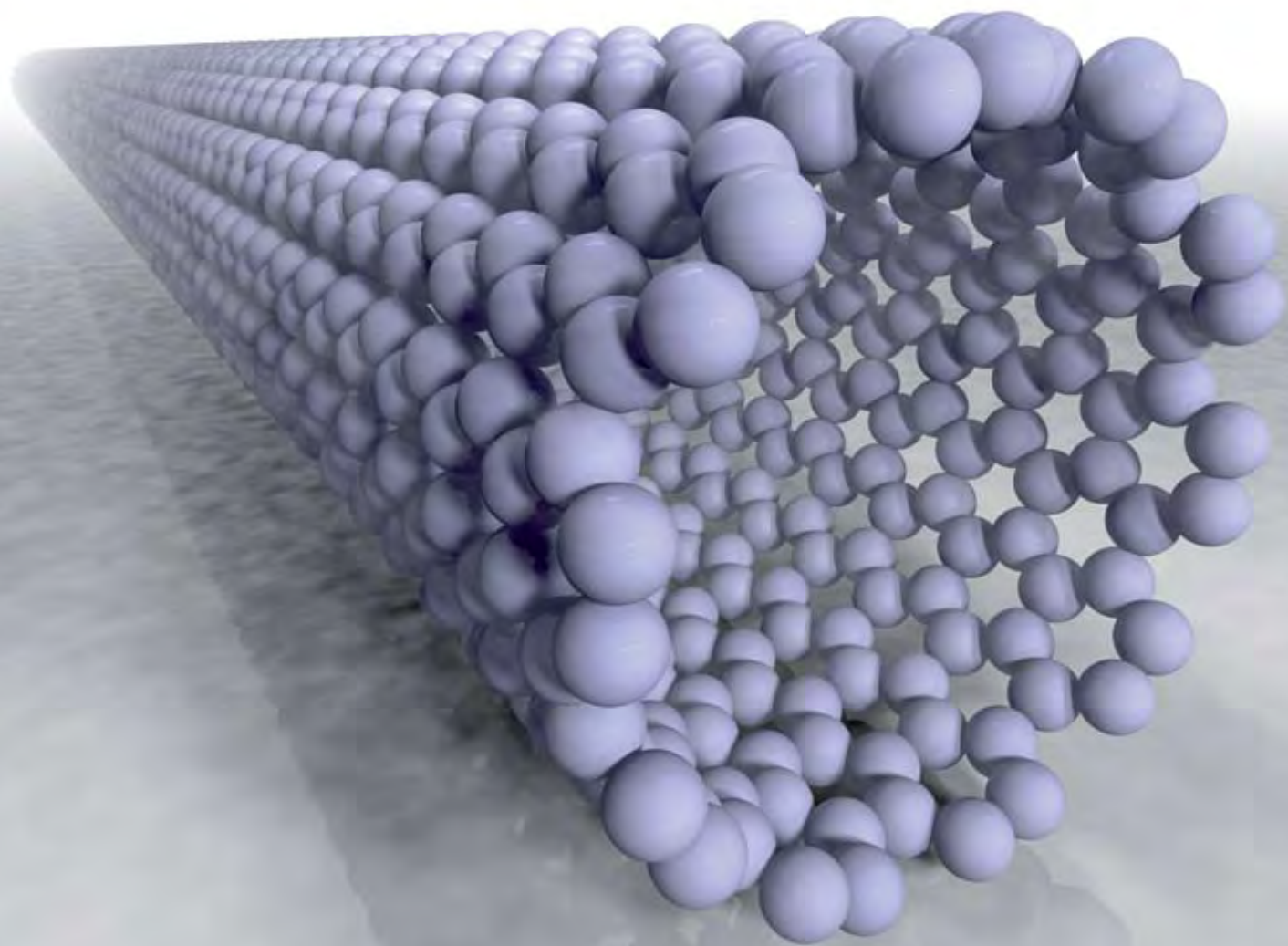
Notas

³⁷ SCIENCE-METRIX (2008). **Nanotechnology World R&D Report 2008**. Serie R&D Reports Examining Science and Technology. Montreal: Science-Metrix Inc., p. 185.

³⁸ Nesta tabela, a coluna “especialização” refere-se à produção científica em nanoeletrônica comparada com a produção científica da instituição em relação à respectiva produção científica em N&N.

³⁹ MCT (2006). **Programa Nacional de Nanotecnologia**. Disponível em: <http://www.mct.gov.br>. Acesso em: jul 2008.





5. Nanofotônica :

A nanofotônica é uma das fronteiras da nanociência e da nanotecnologia (N&N), que lida com a interação da luz com a matéria em escala nanométrica. Também denominada ou referida como nanoóptica, do ponto de vista da nanociência examina como a luz interage com objetos em nanoescala, e explora o uso da fotônica para manipular e detectar estruturas em nanoescala. Do ponto de vista da nanotecnologia, a nanofotônica inclui aplicações em células solares, *displays*, estruturas optoeletrônicas orgânicas e inorgânicas e fotolitografia no ultravioleta ou raios-X. Tem também implicações importantes em nanobiofotônica, tanto em diagnóstico como em tratamento em setores da saúde. Da mesma forma que a fotônica, a nanofotônica pode ser considerada uma tecnologia habilitadora.

Neste capítulo, descrevem-se os resultados das análises prospectivas realizadas para o tema nanofotônica, em três períodos: 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025. Antes, porém, com o objetivo de fornecer a linha de base dessas análises, no que se refere à produção científica e à propriedade intelectual em nível mundial, apresentam-se os resultados do estudo bibliométrico da Science-Metrix,⁴⁰ contemplando artigos e patentes publicados e indexados na base de dados internacional Scopus sobre o referido tema, no período 1996-2006.

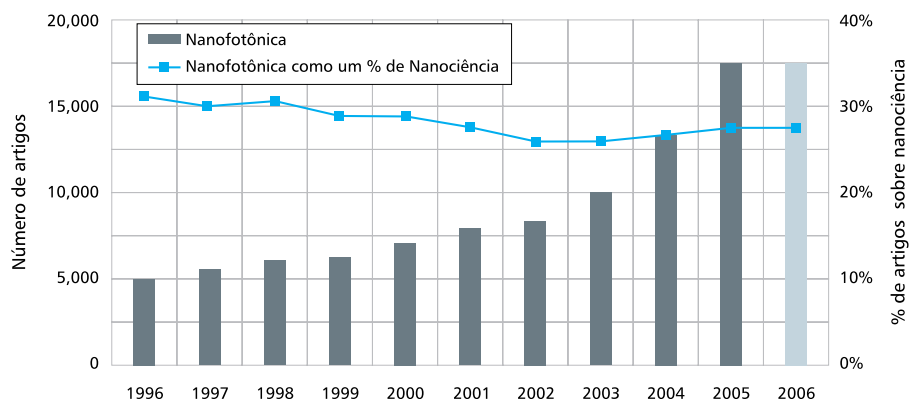
Na sequência, apresentam-se os tópicos associados ao tema nanofotônica e os condicionantes de futuro de seu desenvolvimento, nos três períodos mencionados. Em seguida, discutem-se os mapas tecnológicos desse tema em dois níveis de abrangência (mundo e Brasil) e o *portfolio* tecnológico estratégico. Apresentam-se os resultados da análise conjunta dos mapas e do *portfolio* com indicação objetiva das aplicações mais promissoras para o país nesse campo.

Para complementar as análises, são apontados gargalos e prioridades de ações de suporte para a consecução da visão de futuro construída a partir dos respectivos mapas e *portfolio* tecnológicos. Finalmente, propõem-se as ações de suporte que deverão compor a Agenda INI-Nanotecnologia no curto, médio e longo prazos referentes ao tema.

5.1 Produção científica em nanofotônica: 1996-2006

Apresenta-se na Figura 5.1 a evolução da produção científica em nanofotônica, medida pelo número de trabalhos científicos nesta área do conhecimento e a posição relativa desse tema em relação a todos os trabalhos em nanociência indexados na base de dados Scopus nos últimos 10 anos. Pode-se observar que a produção científica em nanofotônica tem crescido exponencialmente durante essa década, a uma taxa acumulada de crescimento anual (CGAR) de 13,8%. Isso significa dobrar o número de trabalhos a cada 5,4 anos. Entretanto, quando se analisa a produção científica em termos do percentual de trabalhos científicos em nanofotônica em relação ao total de artigos em nanociência, o índice decresce em 3,5 pontos percentuais, tendo como ponto inicial da curva o percentual de 31% em 1996. Não obstante essa queda relativa na produção científica, o campo da nanofotônica, em termos absolutos, representa ainda uma parcela significativa de trabalhos publicados em nanociência, com cerca de 17.400 trabalhos indexados na referida base em 2006.

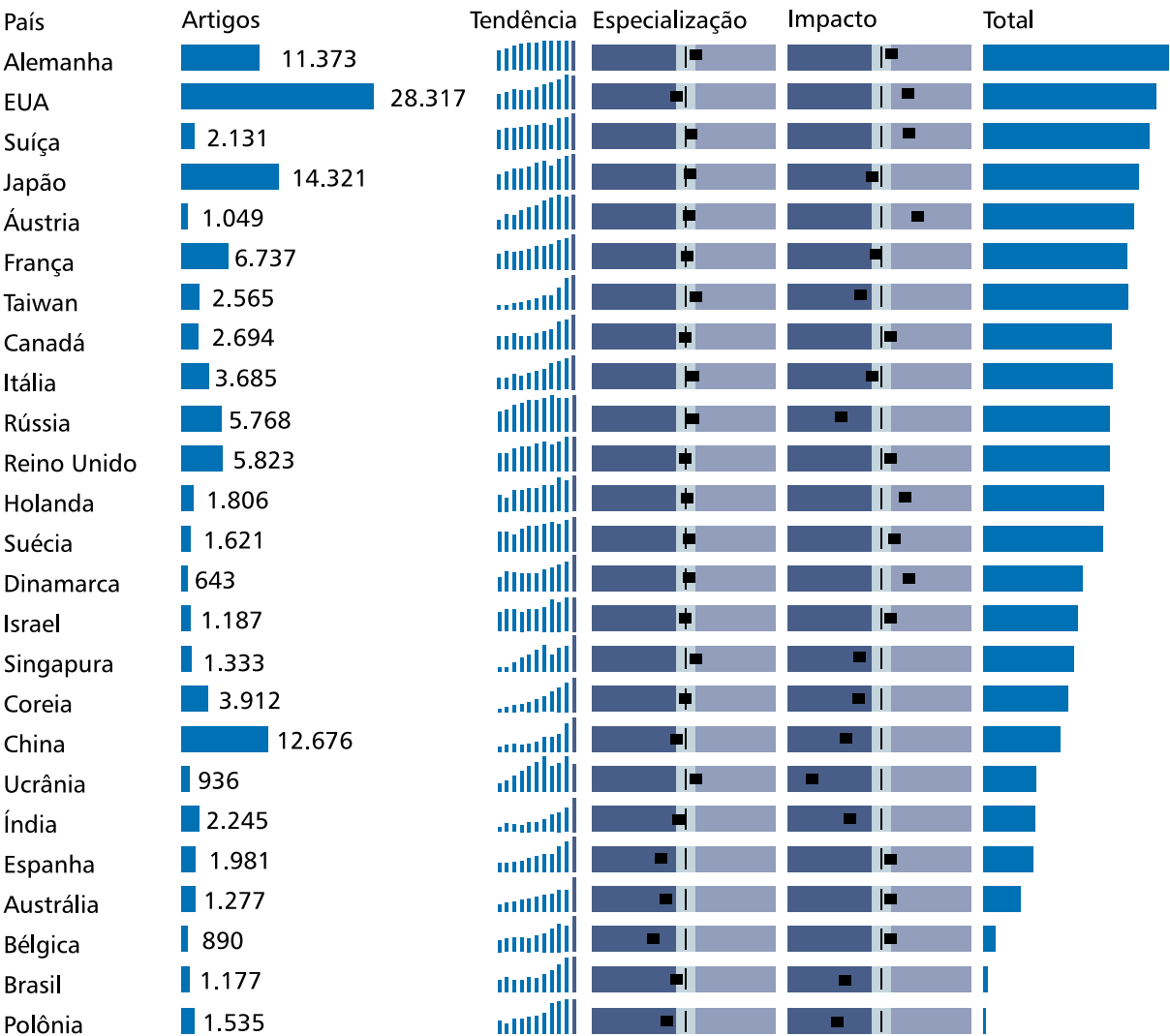
Figura 5.1 Evolução da produção científica em nanofotônica e posição relativa do tema em relação à produção científica em nanociência: 1996-2006



Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.59. Base de dados Scopus.

Apresenta-se na Figura 5.2 o posicionamento dos países líderes e do Brasil, ordenado de acordo com critérios múltiplos que incluem o número de artigos publicados, grau de especialização (SI) e a média relativa de citações (ARC), considerando-se o período de 1996 a 2006.

Figura 5.2 Países líderes em produção científica em nanofotônica: 1996-2006



Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.60. Base de dados Scopus.

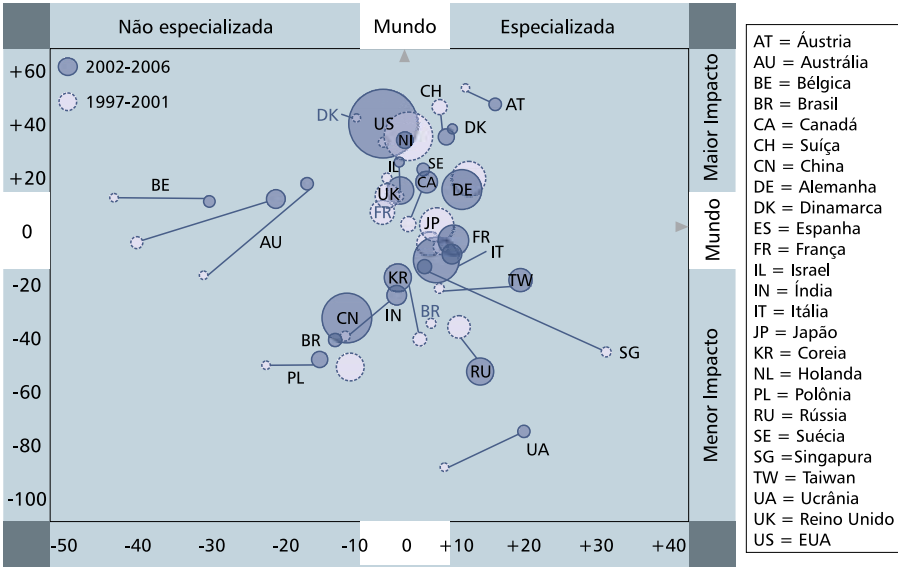
De acordo com a Figura 5.2, a Alemanha lidera o *ranking* mundial da produção científica nesta área, considerando os três critérios de análise, com mais de 11.000 trabalhos científicos (ou 11%) de um total de 105.000 trabalhos científicos indexados na base de dados no período 1996-2006. Considerando apenas o critério “nº de publicações”, os EUA, o Japão e a China publicaram mais que a Alemanha, respectivamente 27%, 14% e 12% da produção científica mundial em nanofotônica.

Pelo índice que reflete o critério múltiplo, o Brasil aparece em 24º lugar na lista dos 25 países com maior produção científica em nanofotônica, em nível mundial. Em número de publicações, aparece em 21º lugar na mesma lista, estando um pouco abaixo da média em especialização e abaixo da média em impacto. A Figura 5.2 destaca ainda que o número de trabalhos científicos publicados por Taiwan tem crescido exponencialmente durante essa década, a uma taxa acumulada de crescimento anual (CGAR) de 26%. Adicionalmente, a Figura também apresenta a tendência de cada país no que diz respeito a esse tema.

A Figura 5.3 mostra em outro formato o posicionamento dos países líderes em publicações sobre nanofotônica em relação a dois índices: SI e ARC, considerando-se dois períodos de análise: 1997-2001 e 2002-2006. A Figura 5.3 revela que nos últimos cinco anos, a Áustria foi o país de maior impacto e um dos mais especializados (SI = 1,14 no período 2002-2006).



Figura 5.3 Posição dos países em relação à produção científica em nanofotônica: 1997-2001 e 2002-2006



Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.61. Base de dados Scopus.

Observa-se na Figura 5.3 que, no período 1997-2001, no contexto mundial o Brasil esteve em posição mais favorável do que no período seguinte (2002 -2006), pois embora estivesse no quadrante dos países de baixo impacto, seu grau de especialização foi considerado mais alto do que no período 2002 -2006, no qual o país afastou-se da média mundial.

A seguir, nas Tabelas 5.1 e 5.2, são listadas as empresas e universidades com importante atuação em nanofotônica, em nível mundial. Nessas tabelas, a coluna especialização refere-se respectivamente à produção científica em nanofotônica comparada à produção científica da instituição ou empresa em relação às respectivas produções científicas em nanociência. Em relação às organizações líderes, a Nichia publicou 157 trabalhos no período de 1996 a 2006 e apresenta o maior grau de especialização (2,8) em relação a sua produção científica em nanociência.

Esse índice é muito elevado, considerando-se que a produção científica mundial em nanofotônica representa 28% dos trabalhos publicados sobre nanociência. Dentre as 25 empresas líderes, não há nenhuma empresa brasileira, embora a maioria tenha operações no país.

Tabela 5.1 Empresas com produção científica de destaque em nanofotônica: 1996-2006

Empresa	País	Artigos	Especialização
Nichia	Japão	157	2,80
Nortel	Canadá	86	2,80
Furukawa Electric	Japão	57	2,56
Chunghwa Telecom	Taiwan	49	2,42
Sarnoff	EUA	81	2,40
France Telecom	França	127	2,11
Thales	França	182	2,06
Corning	EUA	88	1,68
Alcatel-Lucent	França	603	1,49
Fujitsu	Japão	238	1,45
Matsushita	Japão	139	1,44
Xerox	EUA	105	1,42
Lockheed Martin	EUA	61	1,41
Sematech	EUA	62	1,36
Eastman Kodak	EUA	56	1,36
Sharp	Japão	47	1,35
Agilent	EUA	77	1,35
Mitsubishi	Japão	224	1,33
NTT	Japão	562	1,21
Veeco	EUA	51	1,21
Siemens	Alemanha	70	1,21
LG	Coreia	91	1,19
Toshiba	Japão	186	1,13
Philips	Holanda	208	1,09
Sumitomo	Japão	394	1,04

Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.62. Base de dados Scopus.



Na Tabela 5.2, são apresentadas as universidades líderes em nanofotônica no mundo, classificadas pelo número total de trabalhos publicados sobre o tema e grau de especialização (SI).

Tabela 5.2 Universidades com atuação de destaque em nanofotônica: 1996-2006

Universidade	País	Artigos	Especialização
U of Wurzburg	Alemanha	448	1,71
U of Sheffield	Reino Unido	469	1,54
UC Santa Barbara	EUA	932	1,42
Caltech	EUA	632	1,42
Natl Taiwan U	Taiwan	702	1,37
U of Michigan	EUA	723	1,30
Natl Chiao Tung U	Taiwan	445	1,31
U of Toronto	Canadá	483	1,26
Tech U of Munich	Alemanha	449	1,22
U of Tsukuba	Japão	429	1,20
Imperial College London	Reino Unido	500	1,20
ETH Zurich	Suíça	825	1,19
Nanyang Tech U	Singapura	499	1,17
U of Wisconsin-Madison	EUA	435	1,16
Stanford	Eua	645	1,14
Moscow State U	Rússia	615	1,09
Osaka U	Japão	1.232	1,08
Jilin U	China	510	1,07
U of Texas Austin	EUA	505	1,07
U Pierre et Marie Curie	França	432	1,06
UC Berkeley	EUA	769	1,06
Tokyo Tech	Japão	896	1,04
U Paris-Sud	França	480	1,04
MIT	EUA	860	1,04
U of Tokyo	Japão	1.377	1,01
Northwestern	EUA	503	1,01
Fudan U	China	431	1,01
UCLA	EUA	480	1,01
Natl U of Singapore	Singapura	682	1,01

Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.65. Base de dados Scopus.

Assim como no campo da nanoeletrônica, a University of Wurzburg é a mais especializada em nanofotônica, com uma produção científica duas vezes mais intensa que as demais universidades que também publicam em nanociência. A alta produtividade científica da Osaka University e da University of Tokyo, do Japão, são destaques nessa Tabela, embora elas não sejam as mais importantes em termos de especialização em nanofotônica, são consideradas entre os mais importantes *players* científicos nesse campo. Dentre as 25 universidades líderes no *ranking* mundial, não há nenhuma instituição brasileira, embora o país esteja entre os 25 países mais importantes em termos de produção científica mundial em nanofotônica (Figura 5.2). Certamente existem outras instituições que se destacam na cena internacional e que não aparecem na Tabela 5.2. É possível citar pelo menos duas delas: a Cornell University e University at Buffalo, State University of New York, ambas nos EUA. Ainda do ponto de vista de produção científica, pelo menos dois livros destacam-se pelo pioneirismo e, ao mesmo tempo, pela visão de futuro nesse campo: *Nanophotonics* (P. N. Prasad, Wiley, 2004) e *Nanooptics* (Novotny, Cambridge, 2006).

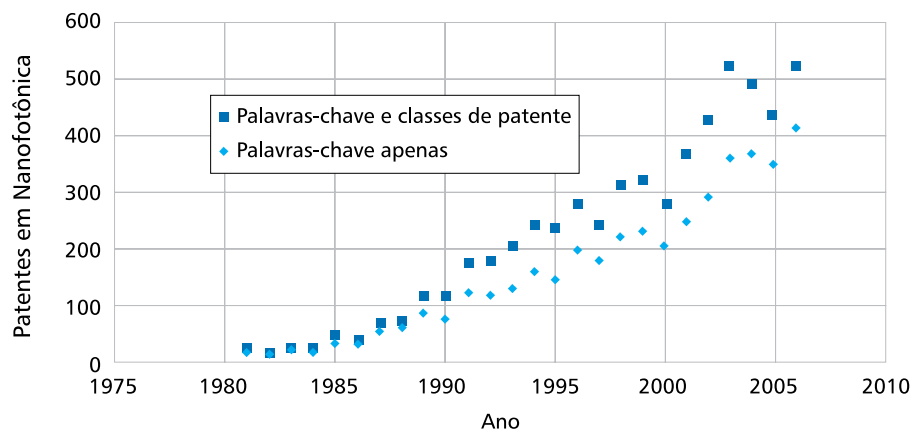
5.2 Propriedade intelectual em nanofotônica: 1996-2006

Como já definido anteriormente, o campo da nanofotônica compreende dispositivos em nanoescala que respondem pelo permanente crescimento e pela elevada demanda das indústrias de dispositivos e equipamentos optoeletrônicos por dispositivos nessa escala. Avanços em nanotecnologia têm sido cruciais para a evolução tecnológica da miniaturização e do desempenho de componentes optoeletrônicos, como por exemplo *lasers* e células PV, mas também para o desenvolvimento de tecnologias híbridas, mais recentes, como *displays* baseados em polímeros e *quantum well emitters* e sensores. Foi concedida uma atenção especial a essa parte do estudo da Science-Metrix, no sentido de garantir que as patentes dos referidos dispositivos e das futuras aplicações da optoeletrônica



fossem devidamente incluídas no conjunto de dados analisados e apresentados na Figura 5.4 e nas Tabelas 5.3 e 5.4.

Figura 5.4 Evolução do número de patentes americanas em nanofotônica: 1981-2006



Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.173. Base de dados USPTO.

A distribuição de patentes entre os diferentes domínios da nanotecnologia mostra a importância da nanofotônica, responsável por 30% do número total de patentes, como mostrado anteriormente.

A Figura 5.4 mostra o crescimento do número de patentes em nanofotônica no USPTO. Os dados revelam que em termos de propriedade intelectual, a nanofotônica tem crescido a uma taxa anual acumulada de cerca de 14%, o que significa que o número de patentes concedidas dobrou a cada 5,3 anos. Isso representa três vezes mais que o crescimento da taxa geral do USPTO.

Na sequência, as Tabelas 5.3 e 5.4 mostram respectivamente os países e as instituições acadêmicas que mais se destacaram em termos de propriedade intelectual no campo da nanofotônica, considerando-se o perí-

odo de 1982 a 2006. A base de dados utilizada na pesquisa da Science-Metrix foi a do USPTO.

A Tabela 5.3 apresenta a evolução da nanofotônica no que diz respeito ao número de patentes concedidas pelo USPTO, por país, nos últimos 25 anos. No início dos anos 80, o único país com uma expressão significativa em propriedade intelectual nesse campo foram os EUA, com cerca de 85% de todas as patentes em nanofotônica no mundo. Esse país praticamente triplicou sua contribuição para a nanofotônica no segundo período, enquanto o Japão entrava nessa área com 132 patentes. O interesse dos EUA em patentear desenvolvimento em nanofotônica diminuiu por volta de 1992, enquanto o Japão continuava crescendo, com cerca de 180% mais patentes concedidas em relação ao período anterior.

A França surge como um dos países líderes em nanofotônica com 28 patentes. No período entre 1997 e 2001, emergiram também nesse campo a Alemanha, o Canadá e o Reino Unido, conforme mostram os dados da Tabela 5.3.

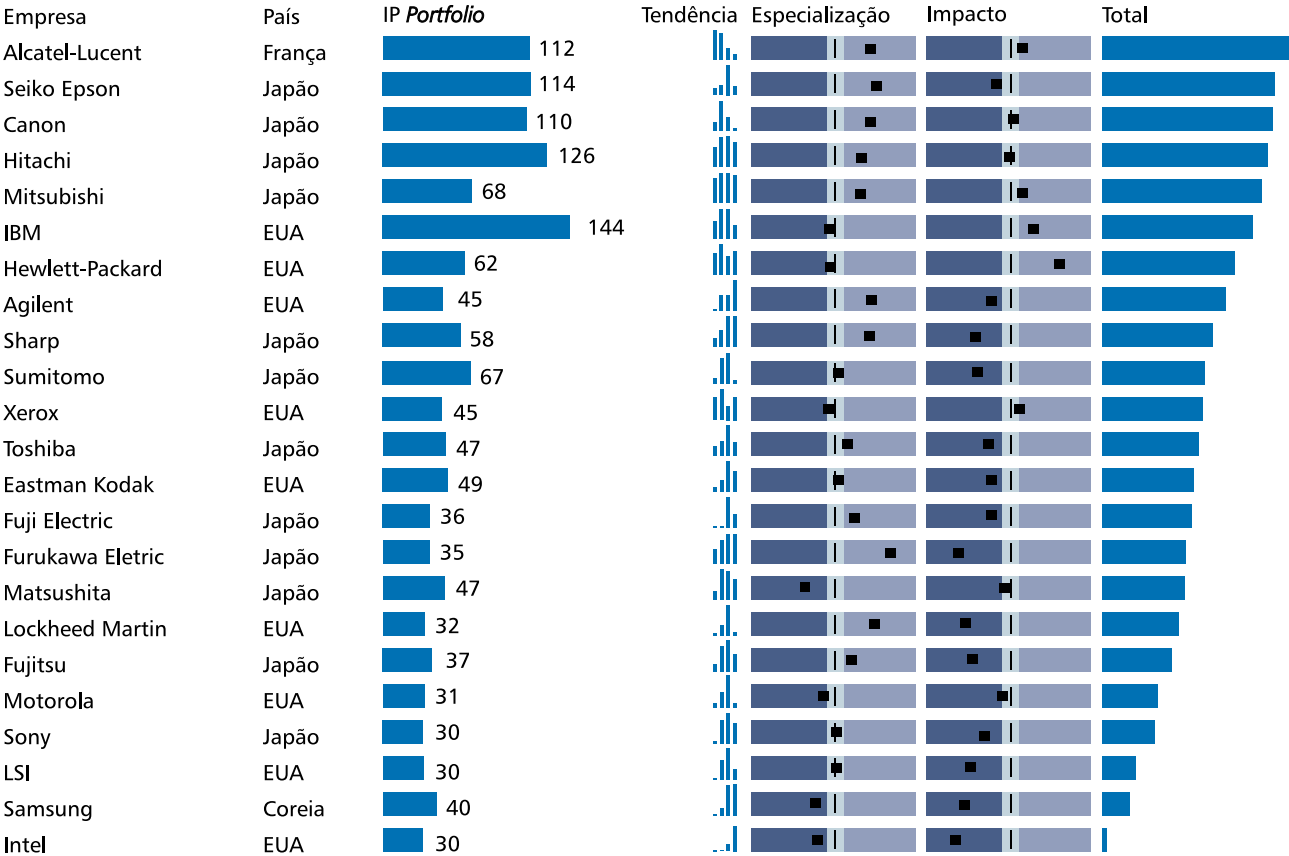
Tabela 5.3 Número de patentes americanas em nanofotônica, por país: 1982-2006

	1982-1986 Patentes	1987-1991 Cresc. de Patentes		1992-1996 Cresc. de Patentes		1997-2001 Cresc. de Patentes		2002-2006 Cresc. de Patentes		Total Patentes
EUA	128	381	198%	666	75%	951	43%	1.458	53%	3.584
Japão	8	132	1.550%	370	180%	346	-6%	482	39%	1.338
Alemanha	8	14		23		38	65%	64	68%	147
Coreia	8	14	75%	11	-21%	31	182%	95	206%	137
Taiwan	-	-	-	2	-	26	1.200%	97	273%	125
Canadá	2	3	50%	12	300%	27	125%	43	59%	87
França	-	4		28	600%	33	18%	22	-33%	87
Reino Unido	2	12	500%	14	17%	28	100%	30	7%	86
Holanda	1	1	0%	5	-	7	40%	17	143%	31
Israel	1	1	0%	3	200%	3	0%	23	667%	30
Total	151	548	263%	1.142	108%	1.530	34%	2.405	57%	5.776

Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.173. Base de dados USPTO.

A Figura 5.5 apresenta as empresas líderes no *ranking* de patentes em nanofotônica no USPTO, de acordo com seus *portfolios* de patentes ativas e conforme seu grau de especialização. Como mencionado anteriormente, o Japão é muito especializado nesse campo e várias empresas japonesas ocupam as posições mais altas do *ranking*, a saber: Furukawa Electric, JTEKT, JEOL e Olympus encontram-se entre as mais especializadas em nanofotônica, tendo recentemente direcionado seus esforços em nanotecnologia para esse campo.

Figura 5.5 *Portfolio de propriedade intelectual em nanofotônica das empresas líderes: 1987-2006*



Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.176. Base de dados USPTO

A Tabela 5.4 mostra as instituições acadêmicas que mais se destacaram em termos de propriedade intelectual no campo da nanofotônica, considerando-se o período de 1982 a 2006.

Tabela 5.4 Número de patentes americanas e especialização em nanofotônica, por universidade: 1987-2006

Universidade	País	Patentes Ativas	Especialização
Caltech	EUA	54	1,81
Northwestern	EUA	16	1,76
Stanford	EUA	47	1,67
U of Utah	EUA	14	1,65
U of Connecticut	EUA	14	1,21
U of Texas System	EUA	26	1,20
U of Califórnia	EUA	111	1,12
U of Wisconsin	EUA	13	1,06

Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.176. Base de dados USPTO

5.3 Tópicos associados ao tema nanofotônica

O Quadro 5.1 apresenta os tópicos tecnológicos associados ao tema nanofotônica que foram selecionados para compor o mapa tecnológico mundial e do Brasil. As referências na primeira coluna do quadro foram adotadas ao longo da construção dos mapas tecnológicos e do mapa estratégico deste tema.



Quadro 5.1 Tópicos associados ao tema nanofotônica e setores mais impactados

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Setores impactados
T3a	<i>Displays</i>	Compreendem uma das mais importantes aplicações da fotônica, presente em uma grande variedade de dispositivos.	Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; automotivo; aeronáutico, instrumentação e automação; e medicina e saúde
T3b	LEDs orgânicos	Referem-se aos dispositivos emissores de luz com base em materiais orgânicos.	Energia; fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; automotivo; aeronáutico, instrumentação e automação; e medicina e saúde
T3c	LEDs inorgânicos	Referem-se aos dispositivos emissores de luz com base em materiais inorgânicos.	Energia; fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; automotivo; aeronáutico, instrumentação e automação; e medicina e saúde
T3d	Aplicações de nanofotônica em dados e telecomunicações	Compreende os <i>lasers</i> , fotodetectores, chaveadores, dispositivos fotônicos e tecnologias voltadas para a transmissão, processamento, armazenamento de dados de natureza clássica e quântica.	Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; segurança; defesa; aeronáutico; automotivo; indústria naval; instrumentação e automação; energia; petróleo, gás natural e petroquímica; e medicina e saúde
T3e	Outros dispositivos optoeletrônicos	Compreendem os <i>lasers</i> , fotodetectores, chaveadores, atuadores, comando e controle, e outros nanodispositivos que usam luz e eletrônica em nanoescala.	Construção civil; defesa; fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; automotivo; aeronáutico, instrumentação e automação; e medicina e saúde; indústria naval; instrumentação e automação; energia; petróleo, gás natural e petroquímica
T3f	Células solares	Compreendem dispositivos com aplicação específica na captação e transformação de energia solar em energia elétrica. Nota: esse tópico foi desdobrado em: T3f¹ – células solares: <i>quantum dots</i> e heterojunção; T3f² – células solares: poliméricas e pequenas moléculas.	Energia; automotivo; aeronáutico; e construção civil
T3g	Sensores fotônicos	Compreendem dispositivos com propriedades fotônicas que são alteradas por parâmetros externos a serem monitorados. Nota: esse tópico foi desdobrado em: T3g¹ – sensores fotônicos: sensores plasmônicos; T3g² – sensores fotônicos: nanopartículas unimoleculares fluorescentes.	Alimentos (embalagens); aeronáutico; automotivo; indústria naval; instrumentação e automação; energia; meio ambiente; petróleo, gás natural e petroquímica; e medicina e saúde

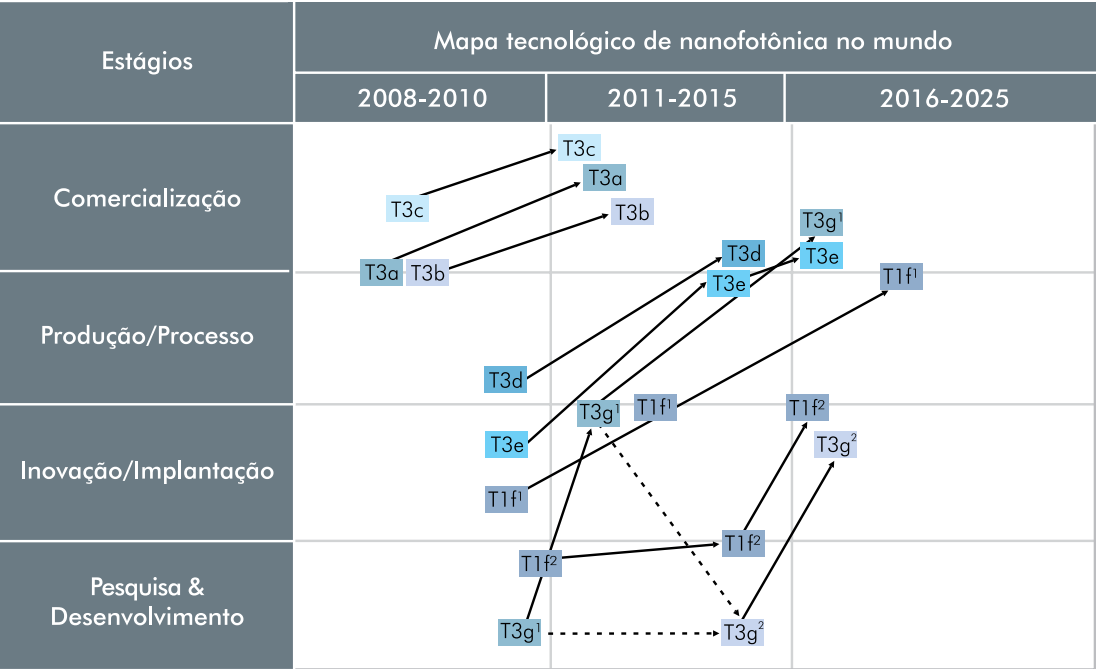
Fonte: CGEE (2008)

Das aplicações mais promissoras de nanofotônica, destacaram-se para a construção dos mapas tecnológicos: *displays*, LEDs orgânicos e inorgânicos, dispositivos optoeletrônicos voltados para a transmissão, processamento, armazenamento de dados de natureza clássica e quântica; outros dispositivos optoeletrônicos, compreendendo os *lasers*, fotodetectores, chaveadores, atuadores, e outros nanodispositivos que usam luz e eletrônica em nanoescala; células eletrônicas e sensores fotônicos.

5.4 Mapa tecnológico no mundo: 2008-2025

A Figura 5.6 representa o mapa tecnológico do desenvolvimento de nanofotônica no mundo, permitindo que as trajetórias dos tópicos estudados no Brasil possam ser comparadas às trajetórias mundiais, tendo em vista a definição da estratégica tecnológica a ser seguida em nível nacional e o estabelecimento das prioridades da Agenda INI-Nanotecnologia no que se refere a esse tema.

Figura 5.6 Mapa tecnológico de nanofotônica no mundo (2008-2025)



Notação: **T3a** – *displays*; **T3b** – LEDs orgânicos: *displays* e iluminação; **T3c** – LEDs inorgânicos: sinalização, *displays* e iluminação; **T3d** – dados e telecomunicações: *lasers*, fotodetectores, fibras microestruturadas e dispositivos fotônicos; **T3e** – outros dispositivos optoeletrônicos: optoeletrônica de consumo; **T3f¹** – células solares: *quantum dots* e heterojunção; **T3f²** – células solares: poliméricas e de pequenas moléculas; **T3g¹** – sensores fotônicos: sensores plasmônicos; **T3g²** – sensores fotônicos: nanopartículas unimoleculares fluorescentes.

Fonte: CGEE (2008)

As trajetórias de alguns tópicos, como “*displays*” (**T3a**), “LEDs orgânicos: *displays* e iluminação” (**T3b**) e “LEDs inorgânicos: sinalização, *displays* e iluminação” (**T3c**) já estão atingindo um grau de maturidade no mundo, ocupando no período 2008-2010 o estágio de produção e comercialização em larga escala.

Nesse mesmo período, encontram-se em produção os fotodetectores, *lasers*, fibras microestruturadas e dispositivos fotônicos para telecomunicações e transmissão de dados (**T3d**). Já em estágio de inovação, situam-se os tópicos “dispositivos optoeletrônicos de consumo” (**T3e**) e “células solares: *quantum dots* e heterojunção” (**T3f¹**).

Os sensores fotônicos do tipo plasmônico (**T3g¹**) estão ainda na fase de P&D, chegando à fase de inovação nos períodos 2011-2015. Nesse período, novas pesquisas em torno de nanopartículas unimoleculares fluorescentes (**T3g²**) levarão à uma perspectiva de inovações disruptivas por volta de 2018. Os demais tópicos encontram-se situados no centro do mapa, mas precisamente nos estágios de inovação ou de produção em larga escala, com comercialização prevista para o médio ou longo prazo, respectivamente.

5.5 Mapa tecnológico do Brasil: oportunidades estratégicas no período 2008-2025

A área de nanofotônica começou a se desenvolver de forma mais coordenada e com visibilidade a partir de 2006, com a formação da Rede

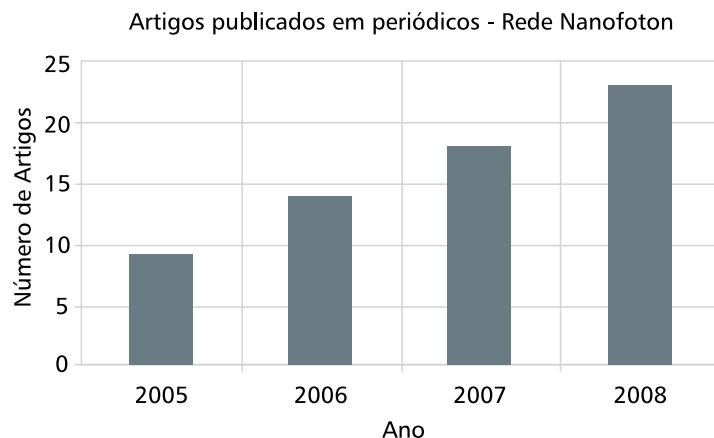
Cooperativa de Nanofotônica – Nanofoton, com sede na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). A Rede Nanofoton foi um projeto aprovado entre as 10 redes cooperativas de nanotecnologias apoiadas pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). Outras redes e mesmo Institutos do Milênio atuam, de forma direta ou indireta, usando técnicas ou processos da nanofotônica, como por exemplo, as atividades desenvolvidas na Rede de Nanotubos, com sede na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), o Instituto do Milênio de Matérias Poliméricas, com sede na Universidade de São Paulo – São Carlos, o Instituto de Nanociências, com sede também na UFMG, e o Instituto de Óptica Não Linear, Fotônica e Biofotônica, com sede na UFPE. Vale ressaltar, porém, que antes de 2006 já existiam vários grupos atuando em nanofotônica, mesmo não utilizando esse termo para suas atividades.

A Rede Nanofoton iniciou efetivamente suas atividades em janeiro de 2006 e contará com apoio do MCT até o final de 2009. Conta atualmente com grupos de 10 instituições (UFPE, Univasf, Ufal, UFS, Fatec-SP, Unesp-Araraquara, Ipen, Unesp-Bauru, Mackenzie e PUC-Rio), tem atividades em 07 temas de pesquisa, conta com 105 participantes, sendo 29 docentes, 06 pós-docs, 20 doutorandos, 28 mestrandos e 22 estudantes de iniciação científica.

A Figura 5.7 mostra a evolução da produção científica da Rede Nanofoton desde 2005. Destacam-se ainda três pedidos, em andamento, de depósito de patente no Brasil.



Figura 5.7 Evolução da produção científica da Rede Nanofoton desde 2005



Fonte: CGEE (2008)

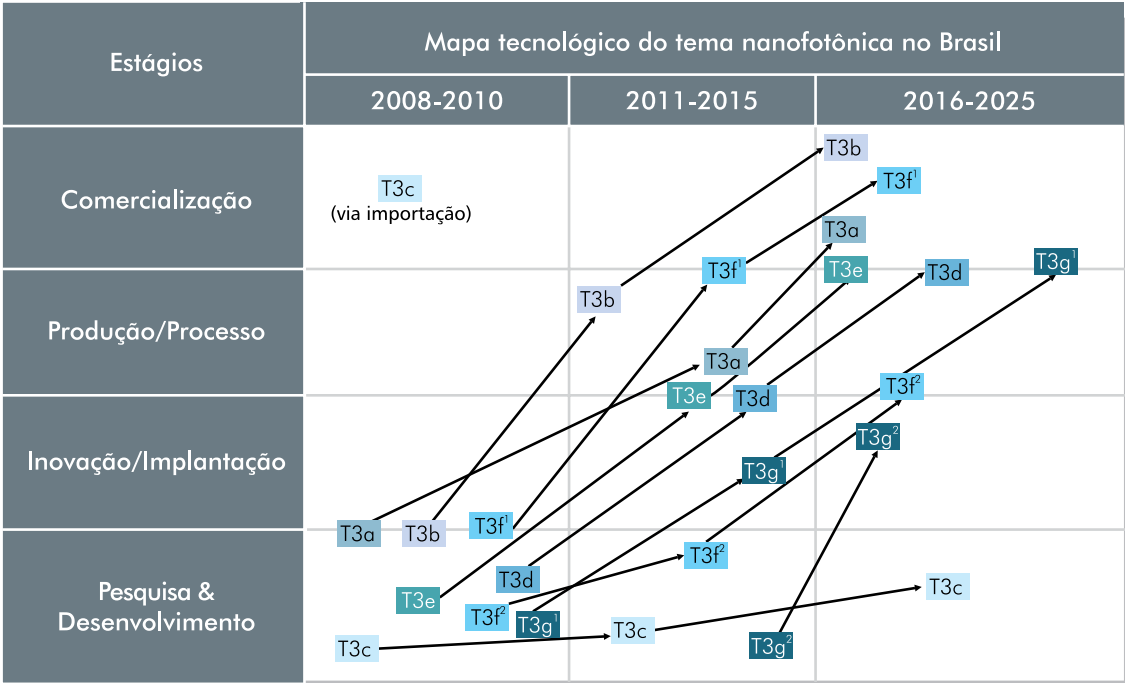
A Figura 5.8 apresenta os resultados da construção do mapa tecnológico do desenvolvimento de nanofotônica no Brasil, compreendendo as trajetórias projetadas para cada um dos tópicos, nos períodos entre 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025.

No período 2008-2010, encontram-se em estágio de P&D avançado, quase chegando à inovação/implantação os seguintes tópicos de nanofotônica: “*displays*” (**T3a**); “LEDs orgânicos, compreendendo *displays* e iluminação” (**T3b**); e “células solares: *quantum dots* e heterojunção” (**T3f**¹).

No mesmo período, os tópicos “LEDs inorgânicos: sinalização, *displays* e iluminação” (**T3c**); “fotodetectores, *lasers*, fibras microestruturadas e dispositivos fotônicos para telecomunicações e transmissão de dados” (**T3d**); “dispositivos optoeletrônicos de consumo” (**T3d**) e “sensores plasmônicos” (**T3g**¹) encontram-se no estágio de P&D. Vale destacar, para efeito da análise de *portfolio* (Figura 5.9, a seguir), que os tópicos “sensores plasmônicos” (**T3g**¹) e “sensores fotônicos: nanopartículas unimoleculares fluorescentes” (**T3g**²) encontram-se ambos no estágio de

P&D no mundo, como indicado na Figura 5.5, indicando que há espaço para o Brasil avançar suas pesquisas e inovar com competitividade em patamares internacionais.

Figura 5.8 Mapa tecnológico de nanofotônica no Brasil (2008-2025)



Notação: T3a – displays; T3b – LEDs orgânicos: displays e iluminação; T3c – LEDs inorgânicos: sinalização, displays e iluminação; T3d – dados e telecomunicações: lasers, fotodetectores, fibras microestruturadas e dispositivos fotônicos; T3e – outros dispositivos optoeletrônicos: optoeletrônica de consumo; T3f¹ – células solares: quantum dots e heterojunção; T3f² – células solares: poliméricas e pequenas moléculas; T3g¹ – sensores fotônicos: sensores plasmônicos; T3g² – sensores fotônicos: nanopartículas unimoleculares fluorescentes.

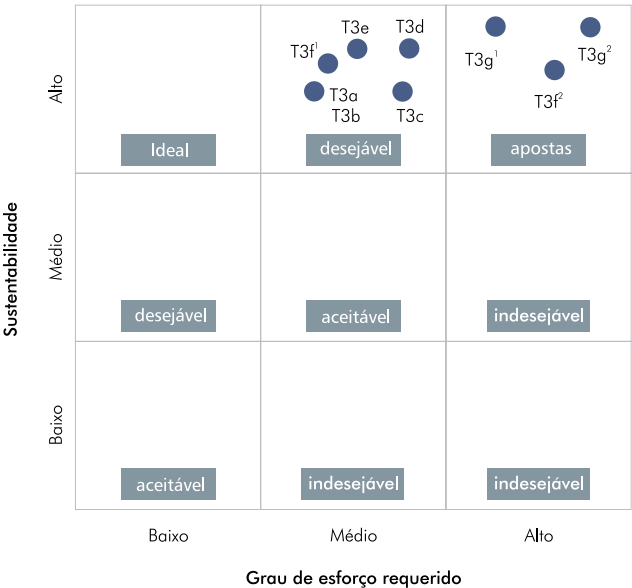
Fonte: CGEE (2008)

Com base no mapa tecnológico representado na Figura 5.8, e comparando-se as trajetórias tecnológicas no Brasil com as desenhadas no mapa tecnológico mundial, identificam-se para o país as tecnologias com maior potencial competitivo, nas quais um bom número de pesquisadores já tem uma competência demonstrada e reconhecida internacionalmente.

A Figura 5.8 representa o *portfolio* tecnológico estratégico do tema Nanofotônica, no qual os tópicos associados a esse tema foram classificados segundo dois critérios: (i) sustentabilidade, calculada em função do impacto econômico e socioambiental das aplicações potenciais do tópico; (ii) grau de esforço para atingir o posicionamento desenhado no mapa tecnológico (Figura 5.8).

A análise do *portfolio* tecnológico estratégico do tema nanofotônica, representado na Figura 5.9, aponta como aplicações promissoras consideradas como “apostas” os tópicos “sensores plasmônicos” (**T3g¹**), “sensores fotônicos: nanopartículas unimoleculares fluorescentes” (**T3g²**) e “células solares: poliméricas e pequenas moléculas” (**T3f²**). São tópicos que irão exigir um alto grau de esforço para atingir os patamares desenhados no mapa tecnológico do Brasil, mas que uma vez atingidos, seus resultados inovadores serão de alto impacto econômico e socioambiental (alta sustentabilidade).

Figura 5.9 *Portfolio* tecnológico estratégico de nanofotônica no Brasil (2008-2025)



Notação: **T3a** – *displays*; **T3b** – LEDs orgânicos: *displays* e iluminação; **T3c** – LEDs inorgânicos: sinalização, *displays* e iluminação; **T3d** – dados e telecomunicações: *lasers*, fotodetectores, fibras microestruturadas e dispositivos fotônicos; **T3e** – outros dispositivos optoeletrônicos: optoeletrônica de consumo; **T3f¹** – células solares: *quantum dots* e heterojunção; **T3f²** – células solares: poliméricas e pequenas moléculas; **T3g¹** – sensores fotônicos: sensores plasmônicos; **T3g²** – sensores fotônicos: nanopartículas unimoleculares fluorescentes.
Fonte: CGEE (2008)

Particularmente na área superior do *portfolio* considerada como desejável, situam-se os tópicos “*displays*” (**T3a**);– “LEDs orgânicos: *displays* e iluminação” (**T3b**); “LEDs inorgânicos: sinalização, *displays* e iluminação” (**T3c**); “fotodetectores, *lasers*, fibras microestruturadas e dispositivos fotônicos para transmissão de dados e telecomunicações” (**T3d**); “dispositivos optoeletrônicos de consumo” (**T3e**); e “células solares: *quantum dots* e heterojunção” (**T3f¹**).

Comparativamente aos três primeiros tópicos, esses apresentam menor vantagem tecnológica competitiva, porém, considerando-se que o tema nanofotônica é área de fronteira tecnológica no mundo, o Brasil poderá ser um importante *player*, aproveitando suas vantagens competitivas – tamanho do mercado e massa crítica de P&D atual – e implementando ações com foco em formação de recursos humanos especializados, fortalecimento da infraestrutura física de P&D e de certificação e cooperação internacional já no curto prazo.

5.6 Mapa estratégico no Brasil: condicionantes de futuro e prioridades da Agenda INI-Nanotecnologia

Analisa-se, inicialmente, os condicionantes do desenvolvimento das aplicações de nanofotônica no Brasil, para em seguida apresentar-se o mapa estratégico com as indicações de prioridades, segundo as seis dimensões da Agenda INI-Nanotecnologia para o tema em questão.



Em função do potencial de aplicações da nanofotônica no país e da identificação dos gargalos existentes e previstos nos próximos anos, apontam-se para cada período um conjunto diferenciado de condicionantes por ordem de importância. A visão de futuro construída para o Brasil, no que se refere às aplicações de nanofotônica, estará sujeita, portanto, a esses condicionantes, como mostrado no Quadro 5.2.

Observa-se, porém, no Quadro 5.2, que alguns condicionantes foram indicados nos três períodos, indicando sua relevância e o caráter mobilizador desses fatores. A título de ilustração, citam-se os seguintes condicionantes comuns aos três períodos: “educação em todos os níveis” e “lançamento de produtos com características únicas impulsionando novas indústrias”. As questões de regulamentação e metrologia para nanotecnologia foram apontadas como relevantes no médio e longo prazos, devido à característica emergente da maioria dos tópicos da nanofotônica. No curto e médio prazos, destacam-se o “acesso a insumos básicos para P&D”, a “difusão científica” e a “ênfase na adoção de mecanismos de propriedade intelectual”.

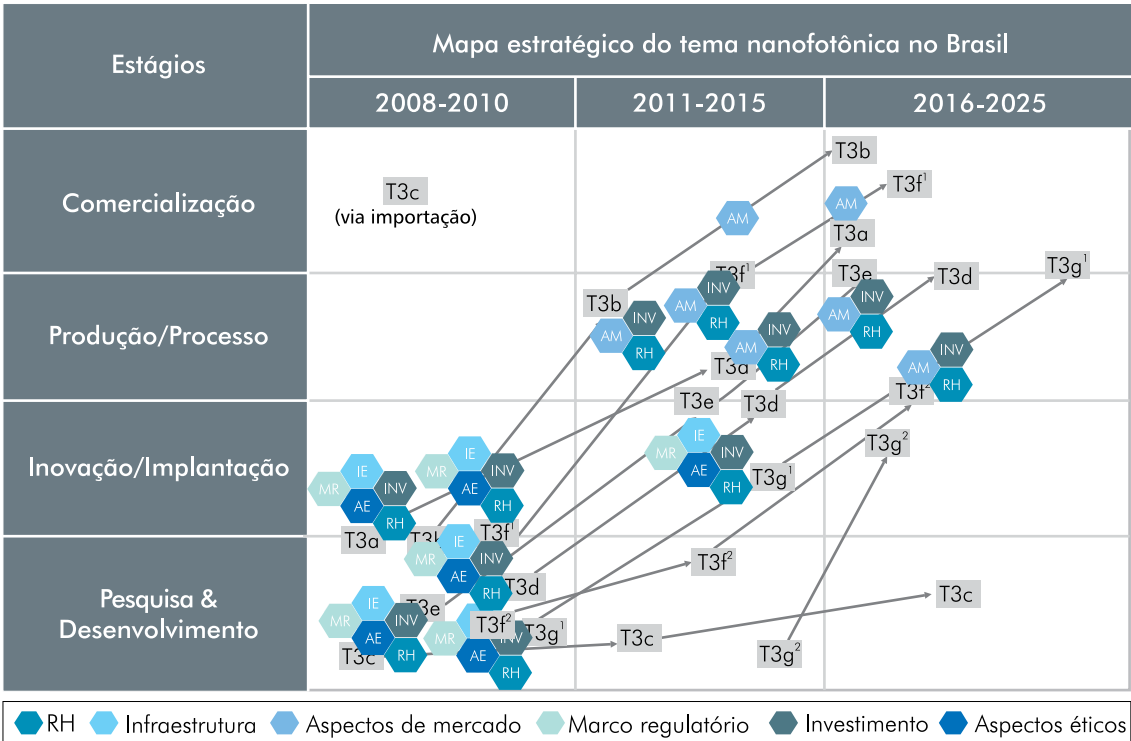
Quadro 5.2 Condicionantes do futuro do desenvolvimento de nanofotônica no Brasil

Condicionantes do futuro do desenvolvimento das aplicações de nanofotônica no Brasil		
2008-2010	2011-2015	2016-2025
• Educação em todos os níveis. • Difusão científica. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • Insumos básicos para P&D. • Ênfase na adoção de mecanismos da propriedade intelectual. • RH em nível técnico e graduado. • Impactos na nanotecnologia (estado da arte mundial). • Lançamento de produtos com características únicas impulsionando novas indústrias.	• Educação em todos os níveis. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • Insumos básicos para P&D. • Ênfase na adoção de mecanismos da propriedade intelectual. • RH em nível técnico e graduado. • Impactos na nanotecnologia (estado da arte mundial). • Impactos na nanotecnologia (estado da arte mundial). • Continuidade da nanotecnologia como prioridade do Estado (CT&I e política industrial).	• Exigência de escala de produção. • Continuidade da nanotecnologia como prioridade do Estado (CT&I e política industrial). • Lançamento de produtos com características únicas impulsionando novas indústrias. • Insumos básicos para P&D. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • Consumidores mais conscientes de seus direitos.

Fonte: CGEE (2008)

A Figura 5.10 apresenta o mapa estratégico da nanofotônica no país, com a indicação das ações de suporte que serão necessárias em cada período para o alcance da visão de futuro desenhada na Figura 5.8. Os hexágonos em cores distintas dispostos no mapa estratégico representam as seis dimensões da Agenda INI-Nanotecnologia, conforme descrição no Capítulo 1 – Seção 1.2.

Figura 5.10 Mapa estratégico de nanofotônica no Brasil (2008-2025)



Notação 1: **T3a** – displays; **T3b** – LEDs orgânicos: displays e iluminação; **T3c** – LEDs inorgânicos: sinalização, displays e iluminação; **T3d** – aplicações de nanofotônica em dados e telecomunicações: lasers, fotodetectores, fibras microestruturadas e dispositivos fotônicos; **T3e** – outros dispositivos optoeletrônicos: optoeletrônica de consumo; **T3f¹** – células solares: quantum dots e heterojunção; **T3f²** – células solares: poliméricas e pequenas moléculas; **T3g¹** – sensores fotônicos: sensores plasmônicos; **T3g²** – sensores fotônicos: nanopartículas unimoleculares fluorescentes.

Notação 2: **RH** – recursos humanos; **IE** – infraestrutura; **INV** – investimentos; **MR** – marco regulatório; **AE** – aspectos éticos e aceitação pela sociedade; **AM** – aspectos de mercado.

Fonte: CGEE (2008)

Sendo a nanofotônica uma área emergente no mundo, o Brasil pode ser um importante *player*, se conseguir formar recursos humanos especializados (**RH**); consolidar a infraestrutura existente (**IE**) e o marco regulatório (**MR**); agregar o setor empresarial e atrair articulações internacionais industriais já no curto prazo (**INV** e **AM**).

No período 2008-2010, as ações propostas para compor a Agenda INI-Nanotecnologia, com foco em aplicações de nanofotônica, visam impulsionar os esforços de P&D associados aos tópicos “LEDs inorgânicos” (**T3c**), “aplicações de nanofotônica em dados e telecomunicações” (**T3d**), “outros dispositivos optoeletrônicos” (**T3e**) e “sensores fotônicos: sensores plasmônicos” (**T3g¹**). Ainda nesse período, as ações irão impactar as iniciativas de inovação referentes aos tópicos: “*displays*” (**T3a**), “LEDs orgânicos” (**T3b**) e “células solares: *quantum dots* e heterojunção” (**T3f¹**).

No médio prazo (2011-2015), as ações propostas visam suportar os esforços de P&D referentes aos tópicos “LEDs inorgânicos” (**T3c**), “células solares: poliméricas e pequenas moléculas” (**T3f²**) e “sensores fotônicos: nanopartículas unimoleculares fluorescentes” (**T3g²**), além das iniciativas de inovação referentes aos tópicos “sensores fotônicos: sensores plasmônicos” (**T3g¹**), “aplicações de nanofotônica em dados e telecomunicações” (**T3d**) e “outros dispositivos optoeletrônicos” (**T3e**). Ainda nesse período, são propostas ações de suporte à produção de “*displays*” (**T3a**), “LEDs orgânicos” (**T3b**) e “células solares: *quantum dots* e heterojunção” (**T3f¹**).

Finalmente, no longo prazo, as ações propostas têm como foco as iniciativas brasileiras em nanofotônica, de acordo com o seguinte espectro: (i) P&D referente ao tópico “LEDs inorgânicos” (**T3c**); (ii) *inovação tecnológica* associada ao tópico “sensores fotônicos: nanopartículas

unimoleculares fluorescentes" (**T3g²**); (iii) *produção* baseada nos tópicos "células solares: poliméricas e pequenas moléculas" (**T3f²**), "aplicações de nanofotônica em dados e telecomunicações" (**T3d**), "outros dispositivos optoeletrônicos" (**T3e**) e "sensores fotônicos: sensores plasmônicos" (**T3g¹**); e (iv) *comercialização* dos produtos e serviços baseados em "*displays*" (**T3a**), "células solares: *quantum dots* e heterojunção" (**T3f¹**) e "LEDs orgânicos" (**T3b**).

Notas

⁴⁰ SCIENCE-METRIX (2008). **Nanotechnology World R&D Report 2008**. Serie R&D Reports Examining Science and Technology. Montreal: Science-Metrix Inc., p. 185.





6. Nanobiotecnologia :

Nanobiotecnologia é a área de fronteira entre nanotecnologia e biotecnologia. Envolve nanofabricação e processos de auto-organização e metrologia no desenvolvimento de motores moleculares, engenharia de tecidos e dispositivos celulares. Refere-se ao processamento e aplicação de biomoléculas conjugadas com nanoestruturas (nanopartículas, *quantum-dots*, nanotubos etc.) para aplicação em liberação controlada de substâncias, sensoriamento e imageamento molecular, dispositivos para diagnóstico etc. Compreende também o desenvolvimento de plataformas e dispositivos em escala nano e submicrométrica integrados com biomoléculas para aplicação em biologia, agricultura, farmacologia, cosmetologia e medicina.

Os termos nanobiociência e nanobiotecnologia são gerais e inerentemente interdisciplinares, utilizados para descrever várias atividades de pesquisa e de transferência de tecnologia, cujas potencialidades nas ciências biológicas e da saúde são enormes⁴¹. As atividades de pesquisa e desenvolvimento em nanociência e nanobiotecnologia permitem a utilização de materiais no corpo humano, em escala nanométrica, o que os torna específicos e seletivos para cumprir variadas funções. Propriedades como diâmetro subcelular, capacidade de liberação controlada, susceptibilidade de ativação externa, entre outras, fazem dos sistemas e dispositivos nanobioestruturados, elementos portadores de futuro nas ciências médicas, especialmente na área farmacêutica.

Neste capítulo, descrevem-se os resultados das análises prospectivas realizadas para o tema nanobiotecnologia, em três períodos: 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025. Antes, porém, com o objetivo de fornecer a linha de base dessas análises, no que se refere à produção científica e à propriedade intelectual em nível mundial, apresentam-se os resultados do estudo bibliométrico da Science-Metrix,⁴² contemplando artigos e patentes publicados e indexados na base de dados internacional Scopus sobre o referido tema, no período 1996-2006.

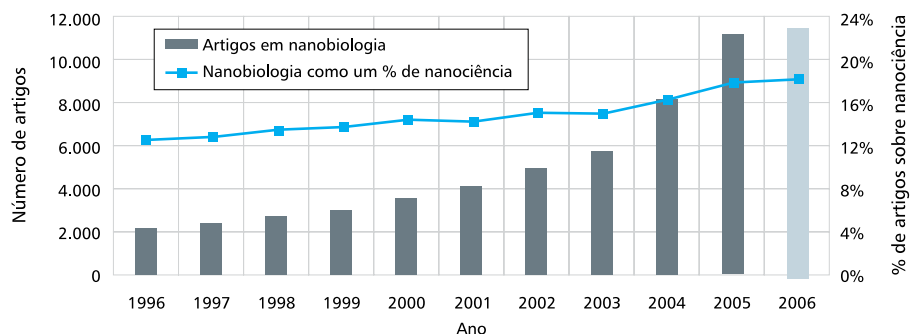
Na sequência, apresentam-se os tópicos associados ao tema nanobiotecnologia e os condicionantes de futuro de seu desenvolvimento, nos três períodos mencionados. Em seguida, discutem-se os mapas tecnológicos desse tema em dois níveis de abrangência (mundo e Brasil) e o *portfolio* tecnológico estratégico. Apresentam-se os resultados da análise conjunta dos mapas e do *portfolio* com indicação objetiva das aplicações mais promissoras para o país nesse campo. Complementando-se as análises, apontam-se os gargalos e prioridades de ações de suporte para a consecução da visão de futuro construída a partir dos respectivos mapas e *portfolio* tecnológicos. Finalmente, propõem-se as ações de suporte que deverão compor a Agenda INI-Nanotecnologia no curto, médio e longo prazos referentes ao tema.

6.1 Produção científica em nanobiotecnologia: 1996-2006

Apresenta-se na Figura 6.1 a evolução da produção científica em nanobiotecnologia, medida pelo número de trabalhos científicos nesta área do conhecimento e pelo que representa em termos percentuais em relação a todos os trabalhos em nanociência indexados na base de dados Scopus nos últimos 10 anos. Pode-se observar que a produção científica em nanobiotecnologia tem crescido exponencialmente durante essa década, a uma taxa acumulada de crescimento anual (CGAR) de 20%. Isso significa dobrar o número de trabalhos a cada 3,8 anos. Entretanto, quando se analisa a produção científica em termos do percentual de trabalhos científicos em nanobiotecnologia em relação ao total de artigos em nanociência, o índice decresce em 5,7 pontos percentuais, tendo como ponto inicial da curva o percentual de 12,4% em 1996.



Figura 6.1 Evolução da produção científica em nanobiotecnologia e posição relativa do tema em relação à produção científica em nanociência: 1996-2006

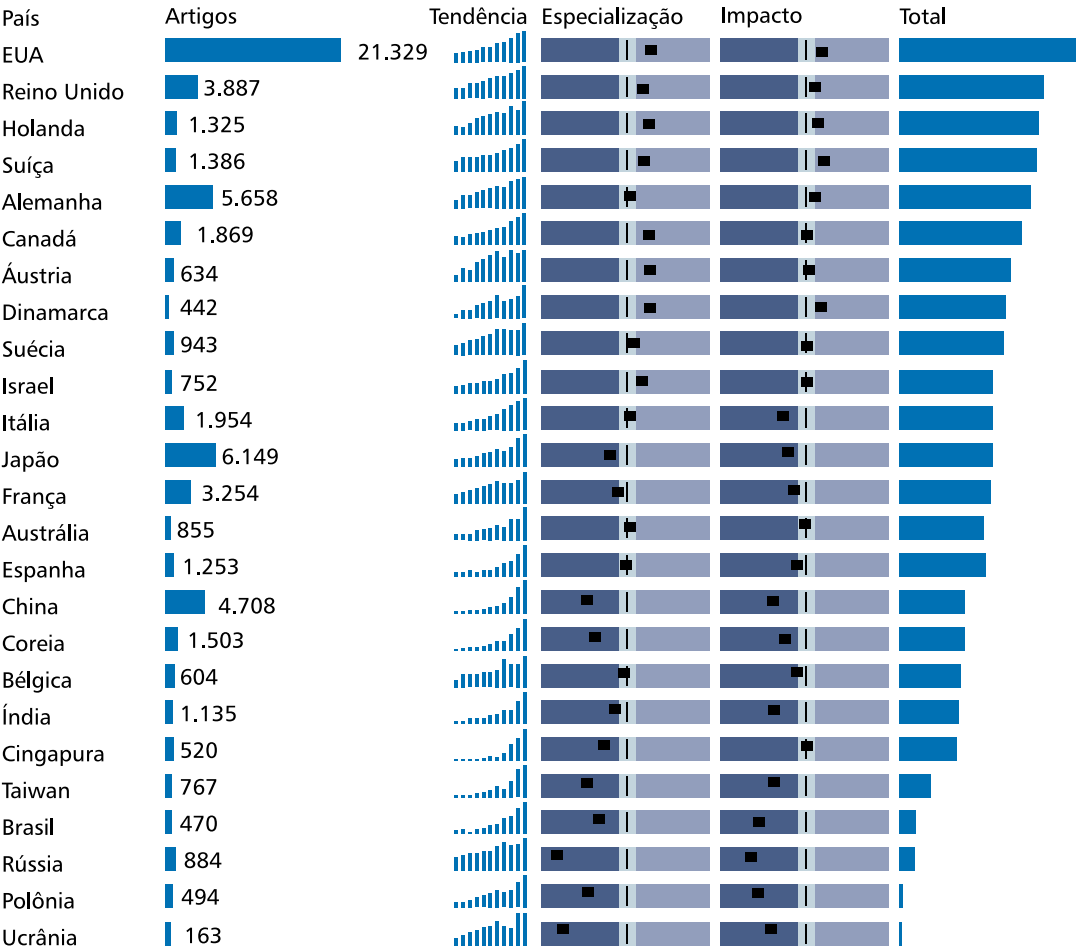


Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.83. Base de dados Scopus.

Não obstante essa queda relativa na produção científica, o campo da nanobiotecnologia, em termos absolutos, representa ainda uma parcela significativa de trabalhos publicados em nanociência, com cerca de 11.500 trabalhos indexados na referida base em 2006.

Apresenta-se na Figura 6.2 o posicionamento dos países líderes e do Brasil, ordenado de acordo com critérios múltiplos que incluem o número de artigos publicados, o grau de especialização (SI) e a média relativa de citações (ARC), considerando-se o período de 1996 a 2006.

Figura 6.2 Países líderes em produção científica em nanobiotecnologia: 1996-2006



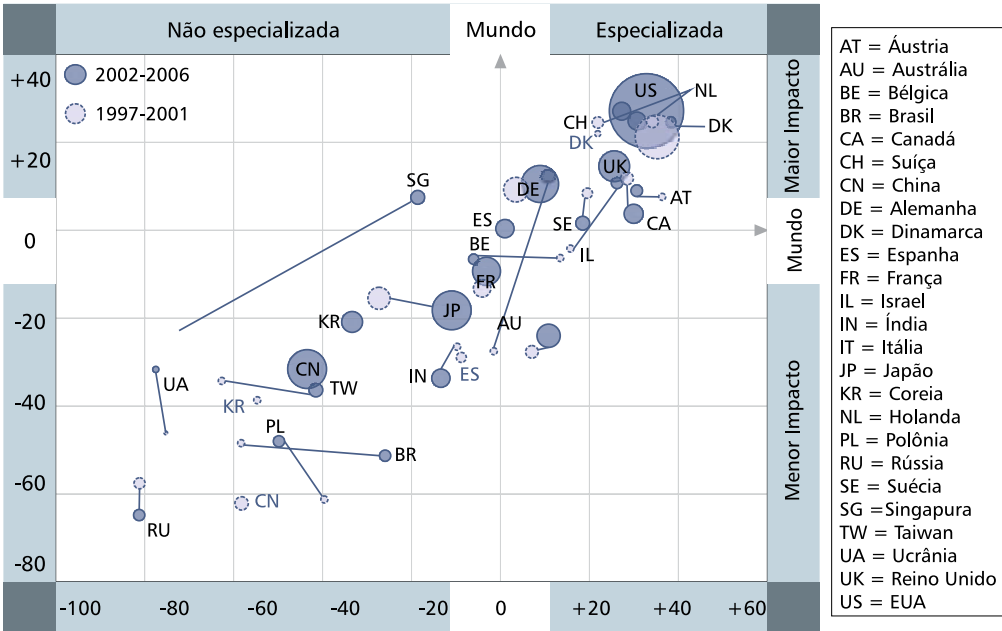
Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.84. Base de dados Scopus.

De acordo com a Figura 6.2, os EUA lideram o *ranking* mundial da produção científica nesta área, considerando os três critérios de análise, com mais de 21.300 trabalhos científicos de um total de trabalhos científicos indexados na base de dados no período 1996-2006. Os mais especializados países em nanobiotecnologia são EUA, Dinamarca, Áustria, Holanda, Canadá, Reino Unido, Suíça e Israel, com critérios de ARC em 1,38, 1,37, 1,37, 1,35, 1,27, 1,26 e 1,24, respectivamente.

Pelo índice que reflete o critério múltiplo, o Brasil aparece em 22º lugar na lista dos 25 países com maior produção científica em nanobiotecnologia, em nível mundial. Em número de publicações, aparece em 23º lugar na mesma lista, estando um pouco abaixo da média em especialização e abaixo da média em impacto.

A Figura 6.3 mostra em outro formato o posicionamento dos países líderes em publicações sobre nanobiotecnologia em relação a dois índices: SI e ARC. São considerados dois períodos de análise: 1997-2001 e 2002-2006. A Figura 6.3 revela que países especializados em nanobiotecnologia publicam, também, trabalhos científicos que geram mais impacto no mundo. Por sua vez, países com seus trabalhos científicos menos impactantes tendem a não se especializarem em nanobiotecnologia.

Figura 6.3 Posição dos países em relação à produção científica em nanobiotecnologia: 1997-2001 e 2002-2006



Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.85. Base de dados Scopus

Observa-se na Figura 6.3 que, no período 1997-2001, no contexto mundial o Brasil esteve em posição menos favorável do que no período seguinte (2002-2006), pois, embora esteja no quadrante dos países de baixo impacto, seu grau de especialização foi considerado mais alto no período 2002-2006, no qual o país aproximou-se da média mundial.

Nas Tabelas 6.1 e 6.2, a seguir, listam-se as empresas e universidades com atuação importante em nanobiotecnologia, em nível mundial. Nessas tabelas, a coluna especialização refere-se, respectivamente, à produção científica em nanobiotecnologia comparada com a produção científica da instituição ou empresa em relação às respectivas produções científicas em nanociência. Em relação às organizações líderes, Abbot Laboratories publicou 83% de seus trabalhos sobre nanociência no período de 1996 a 2006 e apresenta o maior grau de especialização (9,3) em relação à sua produção científica em nanociência. Dentre as 25 empresas líderes, não há nenhuma empresa brasileira, embora a maioria tenha operações no país.

Tabela 6.1 Empresas com produção científica de destaque em nanobiotecnologia: 1996-2006

Empresa	País	Artigos	Especialização
Abbott Laboratories	EUA	35	9,30
Bristol-Myers Squibb	EUA	39	8,88
Roche	Suíça	82	8,80
Amgen	EUA	28	8,68
Novartis	Suíça	151	8,55
Pfizer	EUA	131	8,35
GlaxoSmithKline	Reino Unido	123	8,17
Eli Lilly and Company	EUA	35	7,97
AstraZeneca	Reino Unido	76	7,19
Johnson & Johnson	EUA	41	6,83
Merck & Co.	EUA	85	6,16
SAIC	EUA	43	5,64

continua...



Continuação da Tabela 6.1

Empresa	País	Artigos	Especialização
Sanofi-Aventis	Alemanha	63	5,53
Bayer	Alemanha	49	5,36
Agilent	EUA	56	3,70
DuPont	EUA	43	1,78
GE	EUA	35	1,76
Matsushita	Japão	38	1,48

Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.86. Base de dados Scopus

Na Tabela 6.2 apresentam-se as universidades líderes em nanobiotecnologia no mundo, classificadas segundo dois critérios: número total de trabalhos publicados sobre o tema e grau de especialização (SI).

Tabela 6.2 Universidades com atuação de destaque em nanobiotecnologia: 1996-2006

Universidade	País	Artigos	Especialização
UC San Francisco	EUA	341	4,86
Duke	EUA	295	2,88
Harvard	EUA	716	2,56
U of Pennsylvania	EUA	417	2,52
Johns Hopkins	EUA	321	2,34
Purdue	EUA	395	1,78
UC San Diego	EUA	308	1,69
U of Toronto	Canadá	328	1,62
U of Wisconsin-Madison	EUA	317	1,61
U of Michigan	EUA	459	1,58
UCLA	EUA	396	1,57
Kyushu U	Japão	346	1,49
Cornell	EUA	318	1,46
Stanford	EUA	421	1,41
Northwestern	EUA	341	1,30

continua...

Continuação da Tabela 6.2

Universidade	País	Artigos	Especialização
U of Florida	EUA	255	1,28
U of Oxford	Reino Unido	293	1,26
UC Berkeley	EUA	482	1,26
MIT	EUA	543	1,24
Imperial College London	Reino Unido	271	1,23
U of Minnesota	EUA	252	1,22
U of Kyoto	Japão	507	1,20
U of Texas Austin	EUA	284	1,14
Caltech	EUA	257	1,09
ETH Zurich	Suíça	393	1,07
U of Illinois at U-C	EUA	407	1,07
Cambridge	Reino Unido	364	1,06
Seoul Natl U	Coreia	320	1,03
Nagoya U	Japão	276	1,01

Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.89. Base de dados Scopus

A University of California San Francisco é a mais especializada em nanofotônica, apesar de sua produção não ser tão intensa que universidades, como Harvard e University of Kyoto que também publicam em nanociência. A alta produtividade científica da Osaka University e da University of Tokyo são destaques nesta Tabela, embora elas não sejam as mais importantes em termos de especialização em nanofotônica, são consideradas entre os mais importantes *players* científicos neste campo.

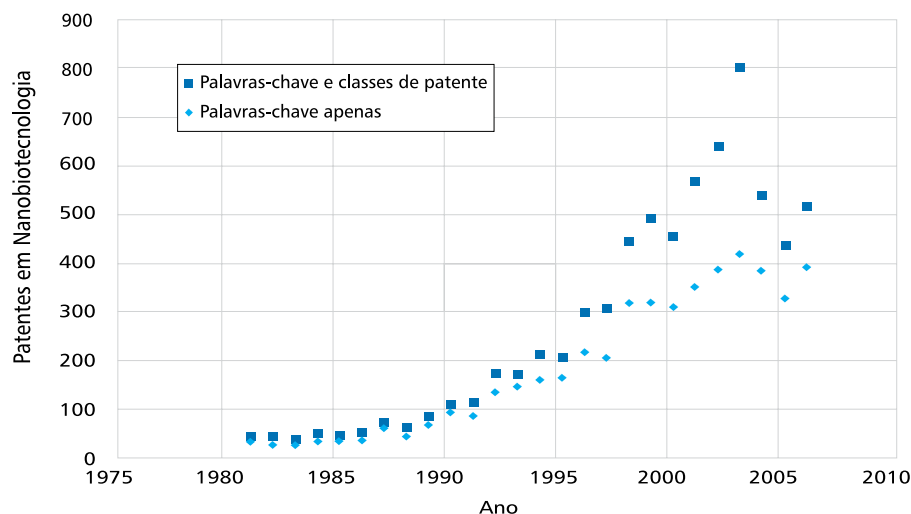
Dentre as 25 universidades líderes no *ranking* mundial, não há nenhuma instituição brasileira, embora o país esteja entre os 25 países mais importantes em termos de produção científica mundial em nanobiotecnologia. Certamente, existem outras instituições que se destacam na cena internacional e que não aparecem na Tabela 6.2. Pode-se citar pelo menos duas delas: a Cornell University e University at Buffalo, State University of New York, ambas nos EUA.



6.2 Propriedade intelectual em nanobiotecnologia: 1996-2006

Os dados da Figura 6.4 mostram que, em termos de propriedade intelectual, a nanobiotecnologia tem crescido a uma taxa anual acumulada de cerca de 12%, o que significa que o número de patentes concedidas dobrou a cada 6 anos. Isso representa 2,7 vezes mais que o crescimento da taxa geral do USPTO.

Figura 6.4 Evolução do número de patentes americanas em nanobiotecnologia: 1981-2006



Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.181. Base de dados USPTO.

As Tabelas 6.3 e 6.4 mostram respectivamente os países e as universidades que mais se destacaram em termos de propriedade intelectual no campo da nanobiotecnologia, considerando-se o período de 1982 a 2006. A base de dados utilizada na pesquisa da Science-Metrix foi a base de dados de patentes do USPTO.

A Tabela 6.3 apresenta a evolução da nanobiotecnologia em termos do número de patentes concedidas pelo USPTO, por país, nos últimos 25 anos. No início dos anos 80, os EUA e o Japão foram os únicos países com uma expressão significativa em propriedade intelectual nesse campo, juntos com cerca de 78% de todas as patentes em nanobiotecnologia no mundo. Esses países praticamente dobraram suas contribuições para a nanobiotecnologia no segundo período, enquanto a Alemanha, a França e o Reino Unido entravam nessa área com 20 patentes cada. O interesse do Japão em patentear desenvolvimento em nanobiotecnologia diminuiu por volta de 1987, enquanto os EUA, o Reino Unido, a França, a Alemanha e o Canadá continuavam crescendo em ritmo acelerado. Pode-se citar, brevemente, o Reino Unido, que cresceu o equivalente a 38% no período de 1992-1996.

Os EUA surgem como um dos países líderes em nanobiotecnologia, pois dobraram nesse período entre 1997 e 2001 o número de patentes concedidas em seu terceiro ano consecutivo. No período entre 1997 e 2001, França, Alemanha e Canadá consolidaram suas posições nesse campo com crescimentos de 272%, 166% e 207%,respectivamente, conforme mostram os dados da Tabela 6.3.

Tabela 6.3 Número de patentes americanas em nanobiotecnologia por país: 1982-2006

	1982-1986 Patentes	1987-1991 Cresc. de Patentes		1992-1996 Cresc. de Patentes		1997-2001 Cresc. de Patentes		2002-2006 Cresc. de Patentes		Total Patentes
EUA	139	288	107%	754	162%	1.551	106%	2.024	30%	4.756
Japão	26	49	88%	91	86%	142	56%	214	51%	522
Alemanha	8	16	100%	38	138%	101	166%	136	35%	299
França	3	16	433%	32	100%	119	272%	72	-39%	242
Canadá	7	9	29%	27	200%	83	207%	66	-20%	192

continua...



Continuação da Tabela 6.3

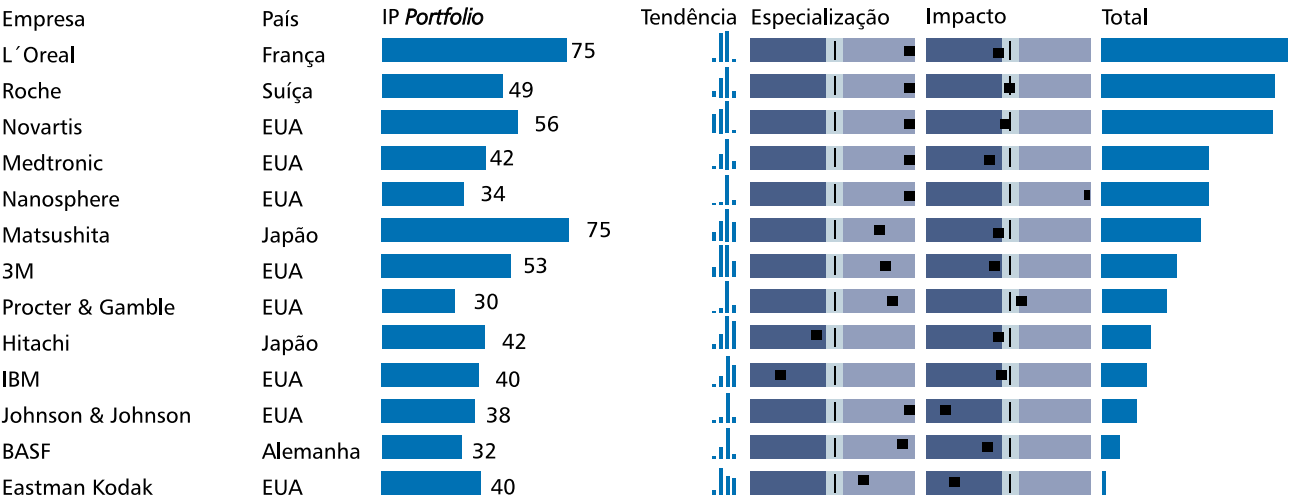
	1982-1986 Patentes	1987-1991 Cresc. de Patentes		1992-1996 Cresc. de Patentes		1997-2001 Cresc. de Patentes		2002-2006 Cresc. de Patentes		Total Patentes
Reino Unido	5	21	320%	29	38%	52	79%	63	21%	170
Coreia	-	-	-	6	-	20	233%	76	280%	102
Suécia	2	6	200%	11	83%	19	73%	35	84%	73
Suíça	6	2	-67%	12	500%	25	108%	23	-8%	68
Israel	2	5	150%	8	60%	15	88%	37	147%	67
Holanda	3	8	167%	8	0%	19	138%	24	26%	62
Austrália	-	-	-	10	-	25	150%	18	-28%	53
Taiwan	-	-	-	1	-	5	400%	39	680%	45
Itália	-	2		3	50%	11	267%	23	109%	39
Bélgica	3	4	33%	5	25%	10	100%	13	30%	35
Total	212	429	102%	1.059	147%	2.268	114%	2.942	30%	6.910

Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.182. Base de dados USPTO.

A Figura 6.5 apresenta as empresas líderes no *ranking* de patentes em nanobiotecnologia no USPTO, de acordo com seus *portfolios* de patentes ativas e conforme seu grau de especialização. Em contraste com os outros campos de nanotecnologia, os EUA não se encontram no primeiro lugar, apesar de ocupar altas posições. A liderança do Reino Unido pode ser explicada por seu alto nível de especialização e impacto, enquanto a França é ainda mais especializada, embora seu nível de impacto tecnológico seja bem menor.

Entre 1997 e 2001, a maioria dos países ativos nesse campo conseguiu ampliar uma parcela significativa em seus *portfolios* de patentes. A maioria dos países recebeu baixo nível de proteção de PI nos últimos 5 anos, apontando ou uma pausa antes do segundo *boom* ou um futuro retrocesso de atividades nesse campo, a longo prazo.

Figura 6.5 *Portfólio de propriedade intelectual em nanobiotecnologia das empresas líderes: 1987-2006*



Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.182. Base de dados USPTO.

A Tabela 6.4 apresenta o *portfolio* de patentes ativas e o grau de especialização (SI) das universidades líderes em nanobiotecnologia no *ranking* mundial. A University of California, embora não tão especializada, destaca-se com o maior nº de patentes ativas em nanofotônica, seguida de MIT e de University of Texas System. Todas as universidades selecionadas são especializadas em nanofotônica, porém a University of Utah e a Johns Hopkins têm os mais altos valores de SI.

Tabela 6.4 *Número de patentes americanas e especialização em nanobiotecnologia, por universidade: 1987-2006*

Universidade	País	Patentes Ativas	Especialização
U of Utah	EUA	21	1,79
Johns Hopkins	EUA	22	1,75
U of Texas System	EUA	48	1,60

continua...

Continuação da Tabela 6.4

Universidade	País	Patentes Ativas	Especialização
U of Florida	EUA	24	1,42
U of Pennsylvania	EUA	16	1,37
U of Michigan	EUA	16	1,32
Rutgers	EUA	16	1,27
Michigan State	EUA	26	1,25
Penn State	EUA	26	1,22
MIT	EUA	94	1,22
Brown	EUA	12	1,20
Harvard	EUA	20	1,07
Northwestern	EUA	13	1,03
U of California	EUA	140	1,02

Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.185. Base de dados USPTO.

6.3 Tópicos associados ao tema nanobiotecnologia

Tópicos de interesse para estudo e aplicação em nanobiociência ou nanobiotecnologia podem ser classificados em seis grandes áreas, doravante definidos como tópicos associados. O Quadro 6.1 apresenta os tópicos que foram selecionados para compor o mapa tecnológico mundial e do Brasil, incluindo um breve descritivo de cada tópico. As referências alfanuméricas foram adotadas ao longo da construção dos mapas tecnológicos e do mapa estratégico deste tema.

Do ponto de vista tecnológico, espera-se que vários setores industriais sejam beneficiados por pesquisas em nanobiotecnologia. Os principais setores produtivos que deverão ser amplamente impactados por essas novas tecnologias são também mostrados no Quadro 6.1, a seguir.

Quadro 6.1 Tópicos associados ao tema nanobiotecnologia e setores mais impactados

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Setores impactados
T4a	Materiais nanoestruturados biocompatíveis	Compreendem materiais (polímeros, cerâmicas, metais etc.), e seus compósitos, estruturados em escala nanométrica e biocompatíveis. Podem ter aplicações em reconstrução de órgãos para transplantes, produção de insumos e próteses etc.	Medicina e saúde; fabricação de produtos químicos e fármacos; higiene, perfumaria e cosméticos; meio ambiente; e madeira e móveis
T4b	Sistemas de entrega e liberação controlada	Refere-se a uma das mais importantes aplicações da bionanotecnologia, explorando nanobiomateriais com propriedades terapêuticas e cosméticas. Nota: esse tópico foi desdobrado em: T4b¹ – sistemas de entrega e liberação controlada (fármacos) e T4b² – sistemas de entrega e liberação controlada (cosméticos).	Medicina e saúde; higiene, perfumaria e cosméticos; nutrientes; e fabricação de fármacos
T4c	Biossensores	Compreendem uma classe de sensores biológicos e sondas inteligentes <i>in vivo</i> e <i>lab-on-a-chip</i> , com base em efeitos na escala molecular, com aplicações em medicina (ex.: diagnóstico), agricultura etc.	Medicina e saúde; higiene, perfumaria e cosméticos; fabricação de fármacos; agroindústrias; e meio ambiente
T4d	Imageamento molecular	Compreende uma nova classe de técnicas e métodos de diagnóstico em nível molecular ou usando sistemas moleculares para geração de imagens.	Medicina e saúde; higiene, perfumaria e cosméticos; e fabricação de fármacos
T4e	Materiais nanoestruturados para aplicação em agricultura	Refere-se ao uso de nanopartículas biodegradáveis para controle e liberação de fertilizantes e defensivos agrícolas.	Agroindústrias, meio ambiente
T4f	Revestimentos e filmes biofuncionais	Referem-se ao uso de nanopartículas com atividades antimicrobianas aplicadas nos setores médico-hospitalar, de embalagens e têxteis.	Alimentos; medicina e saúde; higiene, perfumaria e cosméticos; e têxteis
T4g	Nanorrobôs	Compreendem dispositivos programáveis construídos em nanoescala que podem ser funcionalizados para aplicações médicas e terapêuticas.	Medicina e saúde

Fonte: CGEE (2008)

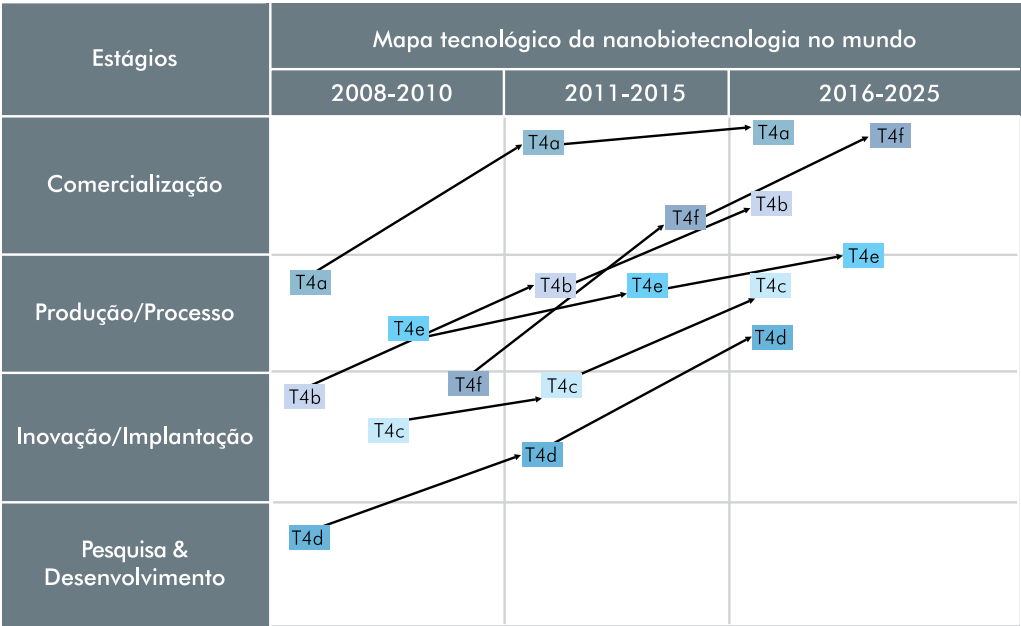


Esse quadro evidencia o amplo espectro de aplicação dos tópicos associados à nanobiotecnologia em vários setores produtivos, desde medicina e saúde até agroindústrias e cosmetologia. No curto e médio prazo, é de se esperar que os setores médico e biomédico sejam os mais impactados pelo desenvolvimento de processos e produtos nanobiotecnológicos. Com relação ao Brasil, no entanto, as áreas de liberação controlada e de nanomateriais para agricultura devem ser particularmente beneficiadas, devido a fatores geográficos, climáticos e de biodiversidade, como será discutido adiante.

6.4 Mapa tecnológico no mundo: 2008-2025

A Figura 6.6 representa o mapa tecnológico do desenvolvimento da nanobiotecnologia no mundo, fornecendo uma base para comparação das trajetórias dos tópicos estudados no Brasil com as trajetórias mundiais, na perspectiva de aproveitamento das vantagens competitivas potenciais identificadas para o país, principalmente no curto e médio prazo. A seguir, comentam-se os destaques e pontos críticos do mapa.

Figura 6.6 Mapa tecnológico da nanobiotecnologia no mundo (2008-2025)



Notação: T4a – Materiais nanoestruturados biocompatíveis; **T4b** – Sistemas de entrega e liberação controlada; **T4c** – Biossensores; **T4d** – Imageamento molecular; **T4e** – Materiais nanoestruturados para aplicação em agricultura; **T4f** – Revestimentos e filmes biofuncionais. Fonte: CGEE (2008)

Com relação aos materiais nanoestruturados biocompatíveis (**T4a**), o gargalo para seu desenvolvimento e posterior introdução no mercado é a questão da segurança e toxicidade, a ser avaliada por meio de testes comprobatórios, tanto do ponto de vista biológico como ambiental. Uma tendência futura na área é o desenvolvimento de novos materiais biocompatíveis e biodegradáveis, atóxicos, e com funcionalização e propriedades específicas e controladas. Muitos novos nanomateriais com potencial aplicação biológica estão sendo propostos na literatura científica, mas são poucos os que estão sendo experimentalmente testados nos laboratórios de pesquisa em nível mundial. Esses materiais poderão no futuro “custo- mizar” os produtos nanotecnológicos aplicados à área da saúde.

As empresas dos setores farmacêutico e cosmético têm adotado diferentes estratégias para melhorar a eficácia terapêutica, biodisponibilidade, solubilidade e redução de doses de vários medicamentos por meio da manipulação física dos fármacos. Em 2015, prospecta-se que os produtos terapêuticos de base nanotecnológica serão responsáveis por vendas que alcançarão US\$ 3,4 bilhões⁴³, incluindo sistemas de entrega de fármacos e liberação controlada (*delivery systems*), nanorrevestimentos biocompatíveis para implantes médicos e odontológicos (**T4b**). Podem ser consideradas como áreas portadoras de futuro em nanotecnologia: *delivery* de vacinas e genes, dispositivos de liberação controlada e para melhoria da biodisponibilidade e solubilidade de fármacos, direcionamento ativo para o cérebro e no tratamento do câncer⁴⁴.

As perspectivas de mercado na área de biossensores (**T4c**) são bastante otimistas, principalmente em relação a sensores minimamente invasivos e aos sensores implantáveis, para monitoramento *in vivo*. Nesse último caso,

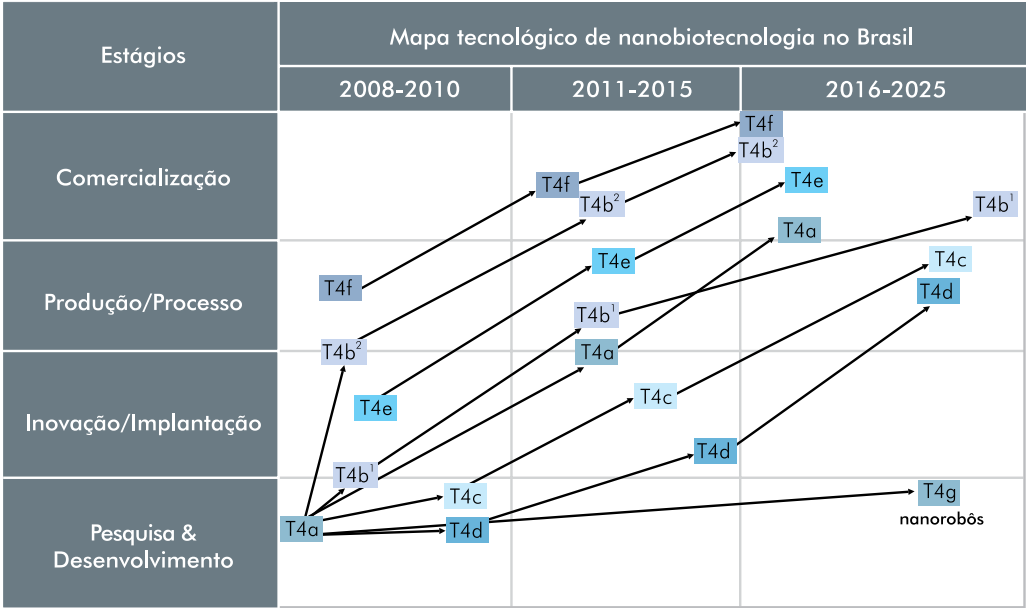


alguns produtos já são disponíveis comercialmente (Minimed Paradigm®, Medtronic), contudo, algumas limitações em termos de estabilidade, calibração e biocompatibilidade ainda representam gargalos tecnológicos importantes a serem equacionados. O interesse no estudo e processamento de revestimentos e filmes biofuncionais (**T4f**) tem aumentado em termos mundiais, com grande potencial de aplicação, principalmente em embalagens funcionais, vestimentas, fabricação de tintas e revestimentos.

6.5 Mapa tecnológico do Brasil: oportunidades estratégicas no período 2008-2025

A Figura 6.7 mostra os resultados da construção do mapa tecnológico do desenvolvimento de nanobiotecnologia no Brasil, compreendendo as trajetórias projetadas para cada um dos tópicos, nos períodos entre 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025. Comentam-se, a seguir, as principais áreas promissoras para o país em relação ao mapa mundial apresentado anteriormente na Figura 6.6.

Figura 6.7 Mapa tecnológico de nanobiotecnologia no Brasil (2008-2025)



Notação: **T4a** – Materiais nanoestruturados biocompatíveis; **T4b¹** – Sistemas de entrega e liberação controlada (fármacos); **T4b²** – Sistemas de entrega e liberação controlada (cosméticos); **T4c** – Biossensores; **T4d** – Imageamento molecular; **T4e** – Materiais nanoestruturados para aplicação em agricultura; **T4f** – Revestimentos e filmes biofuncionais; **T4g** – Nanorrobôs.

Fonte: CGEE (2008)

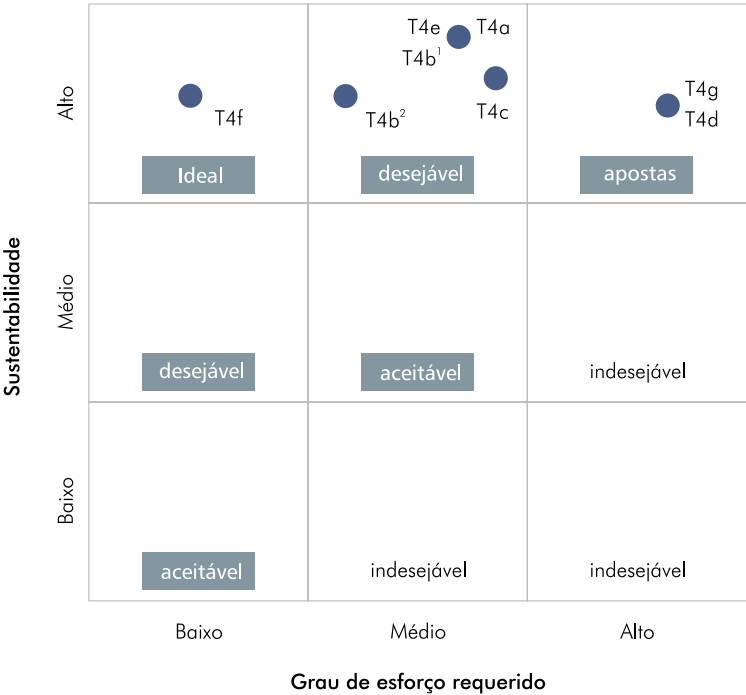
No cenário atual, a maioria dos tópicos associados à nanobiotecnologia encontram-se nos estágios de P&D e inovação, com previsão de alcance de produção efetiva de produtos e processos no médio prazo (2011-2015), com possibilidades do Brasil vir a ocupar posição competitiva desejável em tópicos específicos, como materiais nanoestruturados biocompatíveis (**T4a**), materiais nanoestruturados para aplicação em agricultura (**T4e**), sistemas de entrega e liberação controlada aplicados à área de fármacos (**T4b¹**), sistemas de entrega e liberação controlada aplicados à área de cosméticos (**T4b²**) e biossensores (**T4c**). Em estágio mais embrionário, no Brasil e no mundo, encontram-se os tópicos “nanorrobôs” (**T4g**) e imageamento molecular (**T4d**), cujos desenvolvimentos mais significativos estão previstos para o período 2016-2025.

Apesar de ter instigado a imaginação de cientistas e escritores de ficção científica, prevê-se a concretização do uso de nanorrobôs na terapêutica clínica em horizontes mais longos. Uma das maiores dificuldades, nesse sentido, é a rejeição pelo sistema imunológico de materiais estranhos ao nosso organismo. Mas, uma vez vencido esse desafio, com o desenvolvimento de novos materiais biocompatíveis, a nanobiotecnologia pode ser considerada uma disciplina revolucionária em termos de seu enorme potencial na solução de muitos problemas relacionados à saúde⁴⁵.

A Figura 6.8 representa o *portfolio* tecnológico estratégico do tema nanobiotecnologia, no qual os tópicos associados a esse tema foram classificados segundo dois critérios: (i) sustentabilidade, calculada em função do impacto econômico e socioambiental das aplicações potenciais do

tópico; (ii) grau de esforço para atingir o posicionamento desenhado no mapa tecnológico (Figura 6.7).

Figura 6.8 *Portfolio tecnológico estratégico da nanobiotecnologia no Brasil (2008-2025)*



Notação: **T4a** – Materiais nanoestruturados biocompatíveis; **T4b¹** – Sistemas de entrega e liberação controlada (fármacos); **T4b²** – Sistemas de entrega e liberação controlada (cosméticos); **T4c** – Biossensores; **T4d** – Imageamento molecular; **T4e** – Materiais nanoestruturados para aplicação em agricultura; **T4f** – Revestimentos e filmes biofuncionais; **T4g** – Nanorrobôs.

Comparando-se o mapa tecnológico de nanobiotecnologia no Brasil – Figura 6.7 – com o mapa mundial representado na Figura 6.6 e analisando-se as áreas promissoras do *portfolio* tecnológico da Figura 6.8, identificam-se diversas oportunidades promissoras em nanobiotecnologia, como detalhado a seguir.

Na área do *portfolio* considerada ideal, situam-se os revestimentos e filmes bifuncionais (**T4f**), por ter sido considerado um tópico de alta sustentabilidade e que necessita pouco esforço, em termos comparativos, para atingir a visão de futuro desenhada no mapa tecnológico (Figura 6.7). Deslocando-se mais para a direita do *portfolio*, ainda nos quadrantes superiores, situam-se os sistemas de entrega e liberação controlada para cosmetologia (**T4b²**), área na qual o país poderá aproveitar vantagens competitivas atuais e futuras, devido ao elevado número de empresas já instaladas e à disponibilidade de matérias primas. Outros tópicos situados no quadrante “desejável” são: “materiais nanoestruturados biocompatíveis” (**T4a**), sistemas de entrega e liberação controlada de fármacos (**T4b¹**) e materiais nanoestruturados para aplicação em agricultura (**T4e**). Com relação a esse último tópico, os avanços tecnológicos devem-se, principalmente, à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Destacam-se os filmes e embalagens para uso em alimentos, bioplásticos comestíveis para maior durabilidade de frutas, além de processos que permitem o aproveitamento econômico, social e ambiental de resíduos de cana-de-açúcar, casca de arroz, açaí, entre outros. Como tópicos da área de “aposta” do *portfolio*, apontam-se os biossensores (**T4c**), já com casos de sucesso, como a língua eletrônica que propicia a análise de características físico-químicas e organolépticas de produtos como o vinho e o café.

Os tópicos considerados “apostas” para o Brasil são “imageamento molecular” (**T4d**) e “nanorrobôs” (**T4g**), ambos com aplicações promissoras na área de Medicina e Saúde. Tratam-se de tópicos em estágio tecnológico embrionário, em nível mundial, com alto impacto para o Brasil, especialmente impacto socioambiental, por serem direcionados para a área de Medicina e Saúde.



6.6 Mapa estratégico no Brasil: condicionantes de futuro e prioridades da Agenda INI-Nanotecnologia

Antes da apresentação do mapa estratégico da nanobiotecnologia no Brasil, analisam-se os condicionantes do desenvolvimento das aplicações desse tema no Brasil. Em um contexto de múltiplas aplicações promissoras da nanobiotecnologia, destacam-se os principais condicionantes de seu desenvolvimento no Brasil em três períodos distintos, como apresentado no Quadro 6.2, a seguir.

Como já observado no exercício prospectivo dos temas anteriores, alguns dos condicionantes listados no Quadro 6.2 foram destacados nos três períodos. Como exemplos, podem-se citar: “educação em todos os níveis”, “recursos humanos em nível técnico e graduado”, “impactos da nanotecnologia: estado da arte” e a formação de “parcerias público-privadas”. Questões de nanoética e de regulamentação são destacadas como condicionantes no médio e longo prazo.

Finalmente, vale destacar que a análise dos condicionantes de futuro do desenvolvimento dos nanobiotecnologia no país constitui um dos pilares para a posterior definição das prioridades da Agenda INI-Nanotecnologia referentes ao tema, em cada um dos períodos analisados.

Quadro 6.2 Condicionantes do futuro do desenvolvimento de nanobiotecnologia no Brasil

Condicionantes do futuro do desenvolvimento das aplicações de nanobiotecnologia no Brasil		
2008-2010	2011-2015	2016-2025
• Educação em todos os níveis. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • RH em nível técnico e graduado. • Insumos básicos para P&D. • Impactos da nanotecnologia (estado da arte mundial). • Maior volume de capital de risco. • Difusão científica. • Diminuição das barreiras técnicas e tarifárias e burocráticas (inclusive importação). • Continuidade da nanotecnologia como prioridade do Estado (CT&I e política industrial). • Regulamentação técnica (biossegurança, eficácia e metrologia) vinculadas à nanotecnologia. • Ênfase na adoção de mecanismos de licenciamento e proteção da propriedade intelectual.	• Educação em todos os níveis. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • RH em nível técnico e graduado. • Insumos básicos para P&D. • Impactos da nanotecnologia (estado da arte mundial). • Maior volume de capital de risco. • Exigência de escala de produção. • Continuidade da nanotecnologia como prioridade do Estado (CT&I e política industrial). • Intereção Universidades-Empresas-CTs. • Regulamentação técnica (biossegurança, eficácia e metrologia) vinculadas à nanotecnologia. • Ênfase na adoção de mecanismos de licenciamento e proteção da propriedade intelectual. • Exigência de escala de produção. • Parcerias público-privadas.	• Educação em todos os níveis. • RH em nível técnico e graduado. • Impactos da nanotecnologia (estado da arte mundial). • Maior volume de capital de risco. • Exigência de escala de produção. • Lançamento de produtos com características únicas impulsionando novas indústrias. • Nanoética (legislação, <i>risk assessment</i> institucionalizado, valores em relação ao uso das nanotecnologias). • Continuidade da nanotecnologia como prioridade do Estado (CT&I e política industrial). • Regulamentação técnica (biossegurança, eficácia e metrologia) vinculadas à nanotecnologia. • Interação Universidades-Empresas-ICTs.

Fonte: CGEE (2008)

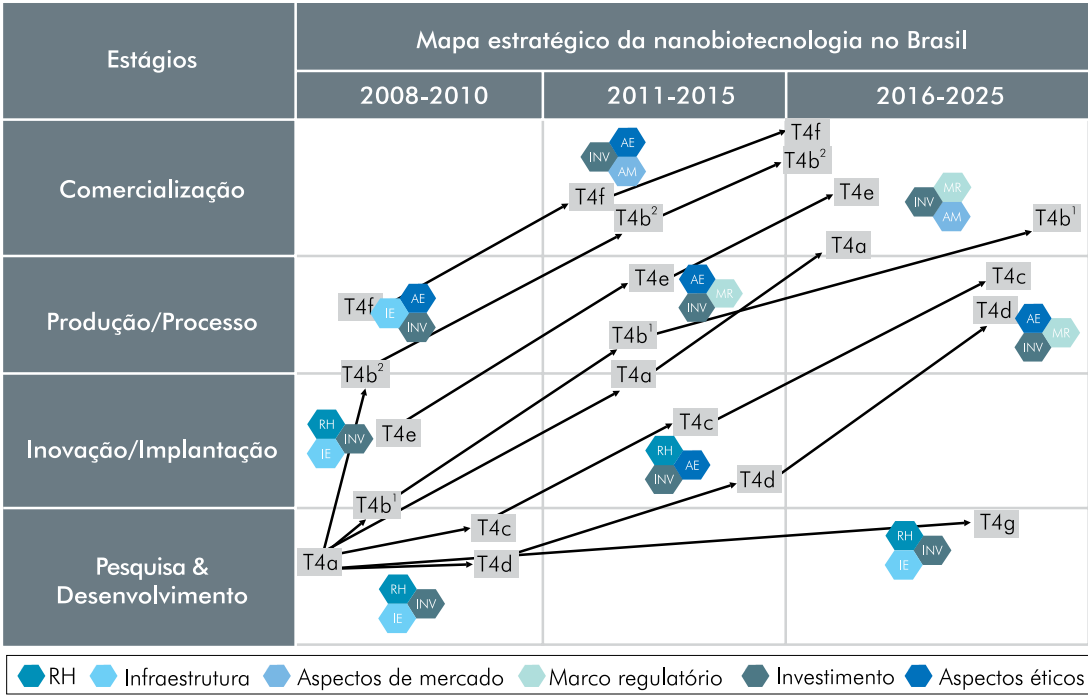
A Figura 6.9 apresenta o mapa estratégico da nanobiotecnologia no país, com a indicação das ações de suporte que serão necessárias em cada período para o alcance da visão de futuro desenhada na Figura 6.8. Os hexágonos em cores distintas dispostos no mapa estratégico representam as seis dimensões da Agenda INI-Nanotecnologia, conforme descrição no Capítulo 1 – Seção 1.2 e notação da Figura 6.9.

O quadro atual aponta para os gargalos econômicos e políticos, sendo que os mais críticos no curto prazo (2008-2011) referem-se a investimentos em formação de recursos humanos (**RH**) e infraestrutura (**IE**). No mé-



dio prazo (2011-2015), os aspectos mercadológicos (**AM**), em conjunto com regulamentação (**MR**), passam a ser determinantes e imprescindíveis para a plena inserção de empresas nacionais no mercado externo.

Figura 6.9 Mapa estratégico da nanobiotecnologia no Brasil (2008-2025)



Notação: **T4a** – Materiais nanoestruturados biocompatíveis; **T4b¹** – Sistemas de entrega e liberação controlada (fármacos); **T4b²** – Sistemas de entrega e liberação controlada (cosméticos); **T4c** – Biossensores; **T4d** – Imageamento molecular; **T4e** – Materiais nanoestruturados para aplicação em agricultura; **T4f** – Revestimentos e filmes biofuncionais; **T4g** – Nanorrobôs.

Notação 2: **RH** – Recursos Humanos; **IE** – Infraestrutura; **INV** – Investimentos; **MR** – Marco regulatório; **AE** – Aspectos éticos e aceitação pela sociedade; **AM** – Aspectos de mercado.

Fonte: CGEE (2008)

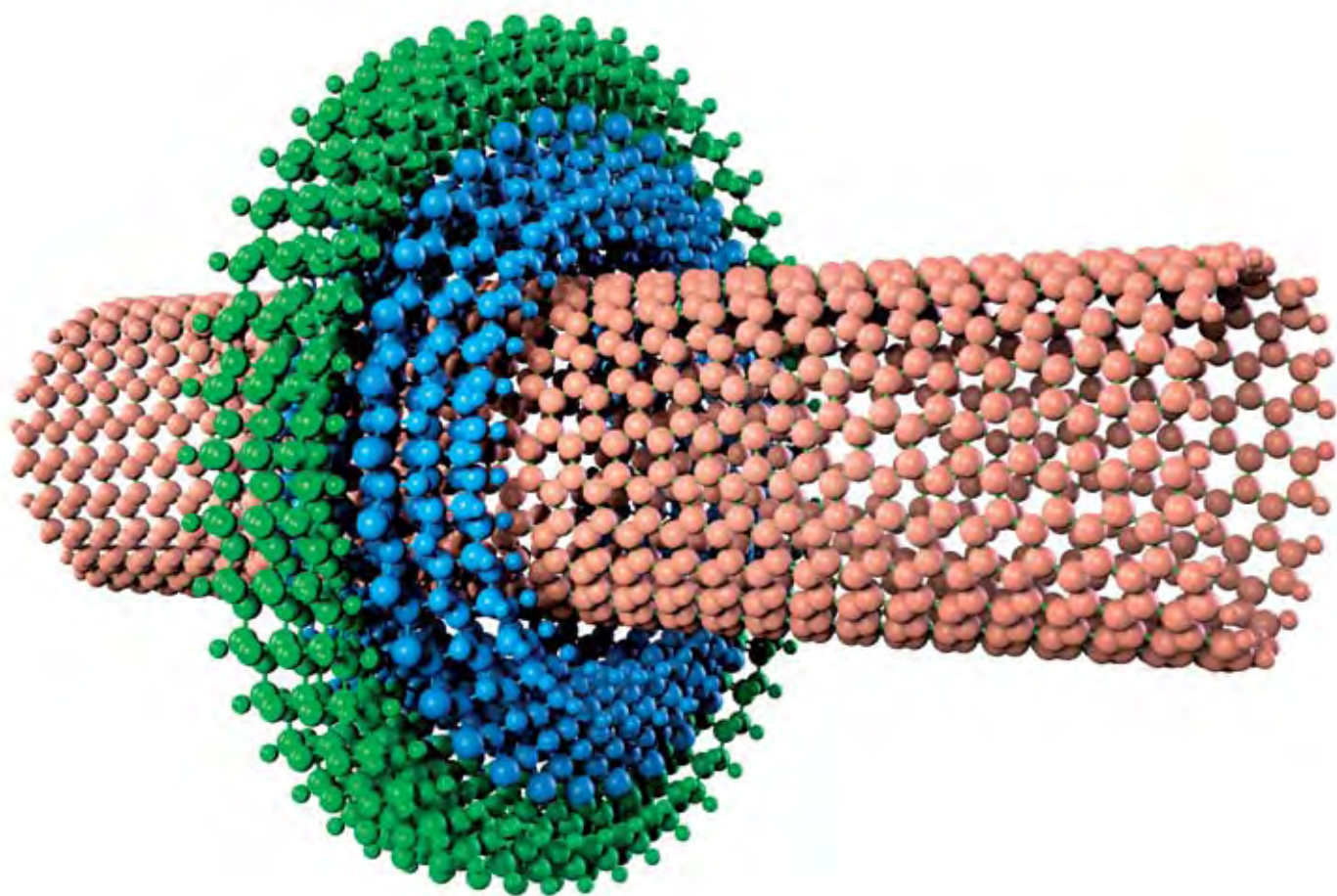
Dentre as prioridades de longo prazo (2016-2025), destacam-se os aspectos éticos (**AE**), considerando-se desde estudos das implicações da nanobiotecnologia até o esclarecimento e informação da sociedade. Inserem-se como prioridades de longo prazo no mapa estratégico o

equacionamento de aspectos mercadológicos (**AM**) e de regulamentação (**MR**), principalmente no que tange aos objetivos legítimos de saúde, segurança e meio ambiente.

Em síntese, o desenvolvimento e a completa sedimentação dos setores envolvidos em nanobiotecnologia dependem de ações estratégicas e da criação de políticas específicas para fomento, gestão e comercialização de bens, produtos e processos relacionados ao tema. Ações vinculadas à regulamentação abrangem os três períodos e aquelas associadas aos aspectos mercadológicos, éticos e sociais deverão ser priorizadas no médio e longo prazo, notadamente nos estágios de inovação, produção até a comercialização.

Notas

- ⁴¹ AZAD, N. & ROJANASAKUL, Y. (2006). Nanobiotechnology in Drug Delivery. **American Journal of Drug Delivery**, 4, 79.
- ⁴² SCIENCE-METRIX (2008). **Nanotechnology World R&D Report 2008**. Serie R&D Reports Examining Science and Technology. Montreal: Science-Metrix Inc., p. 185.
- ⁴³ ESPICON BUSINESS INTELLIGENCE (2007). **Nanotechnology**: Players, products & prospects to 2015. Nov 2007.
- ⁴⁴ AZAD, N. & ROJANASAKUL, Y. (2006). Nanobiotechnology in Drug delivery. **American Journal of Drug Delivery**, 4, 79.
- ⁴⁵ ROSSI-BERGMANN, B. (2008). A Nanotecnologia: da saúde para além do determinismo tecnológico. Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. **Ciência e Cultura**, v. 60, nº 2. São Paulo.



7. Nanoenergia :

O tema nanoenergia compreende o estudo de dispositivos em nanoescala ou processos que agem sobre energia em suas várias formas (térmica, química, elétrica, radiante, nuclear etc.) para geração de energia, transmissão, uso e armazenamento em aplicações baseadas em elétrica, hidrogênio, solar ou biocombustíveis.

A nanoenergia envolve o uso de materiais em nanoescala e/ou nanoestruturados, ferramentas e processos, assim como modelos teóricos empregados para estudar e construir dispositivos. Estes dispositivos de geração ou armazenamento de energia compreendem células a combustível, células solares, baterias, capacitores e LEDs. São desenvolvidos empregando na construção de componentes ou como suporte de catalisador, materiais nanoestruturados de natureza orgânica, inorgânica, nanocompósitos e materiais nanoparticulados como, por exemplo, nanotubos e nanofibras de carbono e nanotubos inorgânicos. Inserem-se ainda no tópico nanoenergia os catalisadores nanoestruturados a serem empregados no processamento de co-produtos associados à cadeia produtiva de biocombustíveis.

O mercado de energia é um dos maiores do mundo. Entretanto, a demanda excede as atuais fontes conhecidas. Grande parte das regiões mundiais ricas em reservas naturais de petróleo e gás são geopoliticamente instáveis. O Brasil é rico em recursos naturais de reservas fósseis, como petróleo e gás, possui programa de energia nuclear e já é mundialmente conhecido por seus biocombustíveis, pela matriz energética variada em comparação a outros países. Entretanto, devido à necessidade de se alcançar uma economia sustentável, deve-se reduzir as emissões de dióxido de carbono e de qualquer subproduto da geração de energia, seja do petróleo, da energia nuclear ou mesmo do processamento para gerar alguns combustíveis renováveis, sobre o planeta.

O Brasil favorece-se de sua extensão territorial, por possuir recursos como luz solar intensa em grande parte de seu território e uma comunidade científica atuando há vários anos na área de desenvolvimento de novos materiais e dispositivos. Nessas condições favoráveis e com as ações de suporte previstas na INI-Nanotecnologia, o país poderá atuar e competir fortemente nesse setor no mercado internacional, empregando os nanomateriais nos dispositivos funcionais de geração e armazenamento de energia. Esses dispositivos representam uma alternativa ambientalmente correta de geração e armazenamento de energia, baseados em fontes renováveis e que não envolvem geração de subprodutos além de corrente elétrica e calor.

Neste capítulo, descrevem-se os resultados das análises prospectivas realizadas para o tema nanoenergia, em três períodos: 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025. Antes, porém, com o objetivo de fornecer a linha de base dessas análises, no que se refere à produção científica e à propriedade intelectual em nível mundial, apresentam-se os resultados do estudo bibliométrico da Science-Metrix⁴⁶, contemplando artigos publicados e indexados na base de dados internacional Scopus sobre o referido tema, no período 1996-2006. Na seção referente à propriedade intelectual, apresentam-se os resultados de estudo bibliométrico realizado pelo CGEE, no final de 2008, sobre propriedade intelectual em nanoenergia em nível mundial. Esse estudo foi realizado por meio de consulta direta às bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*, buscando complementar as análises conduzidas no estudo da Science-Metrix que não cobriram a parte de propriedade intelectual referente a esse tema.

Na sequência, apresentam-se os tópicos associados ao tema nanoenergia e os condicionantes de futuro de seu desenvolvimento, nos três períodos mencionados. Em seguida, discutem-se os mapas tecnológicos desse tema em dois níveis de abrangência (mundo e Brasil) e o *portfolio*

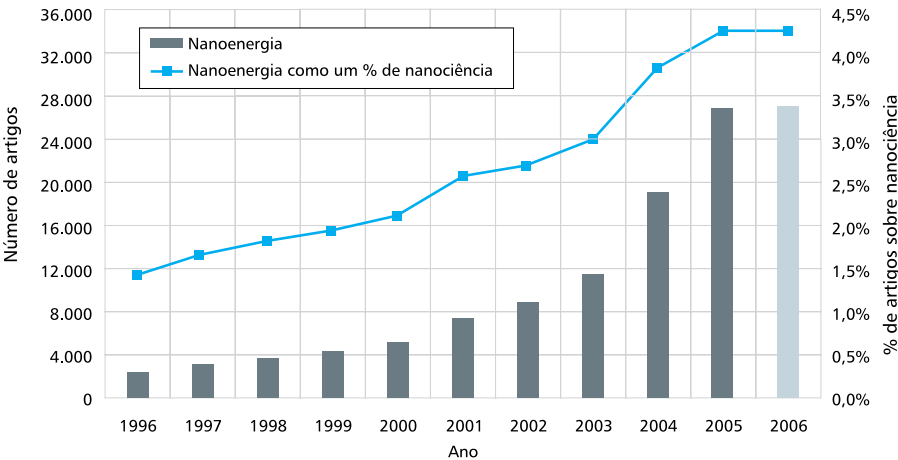


tecnológico estratégico. Apresentam-se os resultados da análise conjunta dos mapas e do *portfolio* com indicação objetiva das aplicações mais promissoras para o país nesse campo. Complementando-se as análises, apontam-se os gargalos e prioridades de ações de suporte para a consecução da visão de futuro construída a partir dos respectivos mapas e *portfolio* tecnológicos. Finalmente, propõem-se as ações de suporte que deverão compor a Agenda INI-Nanotecnologia no curto, médio e longo prazos referentes ao tema.

7.1 Produção científica em nanoenergia: 1996-2006

Apresenta-se na Figura 7.1 a evolução da produção científica em nanoenergia, medida pelo número de trabalhos científicos nesta área do conhecimento e pela posição relativa da produção científica em nanoenergia em relação à produção científica em nanociência indexada na base de dados Scopus nos últimos 10 anos. Pode-se observar que os artigos científicos no domínio de nanoenergia aumentaram a sua participação no número global de artigos em nanociência de 3,0 para 4,3%, no período entre 2003 e 2006, e de 1,4 para 4,3% entre 1996 e 2006. Embora este número seja pequeno frente ao número global de artigos publicados em nanociência, observa-se um crescimento significativo da produção científica nesse campo, expresso por uma taxa composta de crescimento anual (CGAR) de 30%, entre 1999 e 2005. A segunda maior taxa de crescimento entre os seis domínios da nanociência abordados no presente estudo é sete vezes mais rápida que a taxa de crescimento de todos os artigos da base de dados Scopus. Esses números mostram que os artigos em nanoenergia dobraram a cada 2,6 anos e que, nesse domínio da nanociência, a pesquisa está crescendo de forma bastante significativa e acelerada, como poderá ser observado nos próximos dados apresentados.

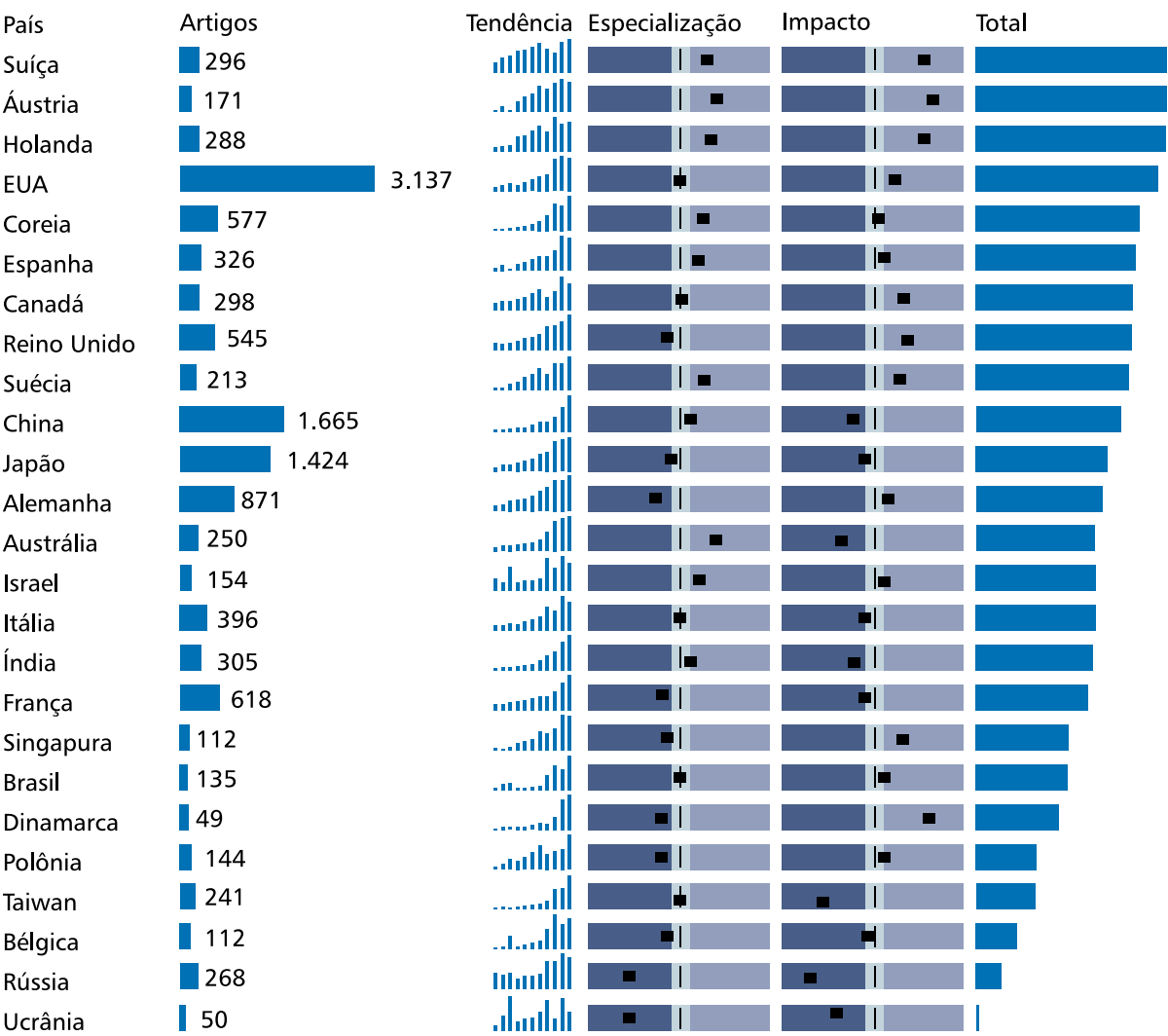
Figura 7.1 Evolução da produção científica em nanoenergia e posição relativa do tema em relação à produção científica em nanociência: 1996-2006



Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.97. Base de dados Scopus.

Apresenta-se na Figura 7.2 o posicionamento dos países líderes e do Brasil, ordenado de acordo com critérios múltiplos que incluem o número de artigos publicados, grau de especialização (SI) e a média relativa de citações (ARC), considerando-se o período de 1996 a 2006.

Figura 7.2 Países líderes em produção científica em nanoenergia: 1996-2006



Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.98. Base de dados Scopus.

De acordo com a Science-Metrix, os EUA são autores da maior parte dos artigos, com 3.100 dos 12.000 trabalhos publicados, respondendo por cerca de 26% do total da produção científica em nanoenergia. São seguidos pela China e Japão, com cerca de 14% e 12%, respectivamente,

da produção científica mundial nesse campo. Suíça, Áustria e Holanda ocupam as posições seguintes, de acordo com o *ranking* da Figura 7.2, fatos que podem ser explicados por sua alta especialização e valores elevados de grau de impacto científico de suas publicações. Eles possuem valores de especialização (SI) de 1,42, 1,56 e 1,49, e valores de impacto científico (ARC) de 1,86, 2,16 e 1,79, respectivamente.

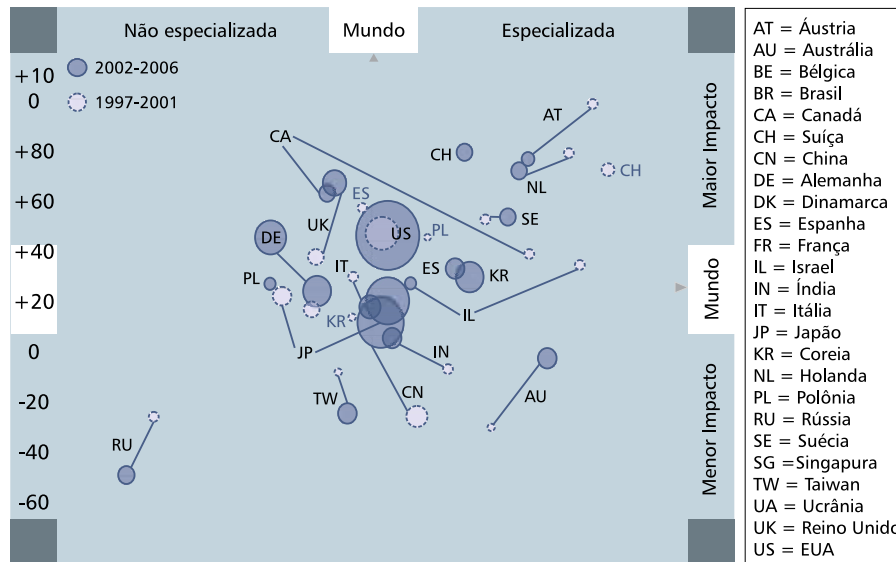
Outros países que vêm se especializando em nanoenergia são a Austrália, a Suécia, a Coreia, Israel e Espanha, os quais publicam cerca de 55%, 33%, 32%, 24% e 19%, respectivamente, a mais do que a média mundial. O Canadá, o Reino Unido e a Suécia têm produção científica similar e valores de impacto de 1,40, 1,48 e 1,35, respectivamente, porém suas posições são mais baixas, porque esses países publicam poucos artigos no total ou são menos especializados no domínio. Outros países com graus de impacto relativamente altos são a Dinamarca e Singapura, com graus de impacto científico de 2,02 e 1,40, respectivamente.

Pelo índice que reflete o critério múltiplo, o Brasil aparece em 19º lugar na lista dos 25 países com maior produção científica em nanoenergia, em nível mundial. Como pode ser observado, encontra-se na frente da Dinamarca, Polônia, Taiwan, Bélgica, Rússia e Ucrânia. Considerando-se o montante de investimentos realizados nos países desenvolvidos e no Brasil, considera-se que essa é uma posição significativa. Ela indica que mediante políticas de fomento governamentais e industriais adequadas esse é um dos domínios em que o Brasil pode alcançar posições de liderança nas próximas décadas.

A Figura 7.3 mostra em outro formato o posicionamento dos países líderes em publicações sobre nanoenergia em relação a dois índices: SI e ARC. São considerados dois períodos de análise: 1997-2001 e 2002-2006.



Figura 7.3 Posição dos países em relação à produção científica em nanoenergia: 1997-2001 e 2002-2006



Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.99. Base de dados Scopus.

Os dados da Figura 7.3 revelam que o número de publicações de vários países cresceu exponencialmente entre 1999 e 2005. Por exemplo, países como China, Índia, Japão e Coreia têm taxas de crescimento anual de 38%, 35%, 32% e 62%, respectivamente. Nos períodos de 1997-2001 e 2002-2006, os EUA ocupam a posição central de sua especialização, com 26% da produção científica em nanoenergia e com artigos que são citados mais frequentemente do que a média mundial. Os três países líderes no geral, identificados na Figura 7.3, mostram impacto significativo e especialização no domínio. Japão, China e Índia ocupam posições similares para o período de 2002-2006, com valores de especialização (SI) similares aos dos EUA, porém com menor grau de impacto científico (ARC). Entre os dois períodos, os valores de especialização da Áustria e da Índia decresceram apreciavelmente, mesmo com o aumento do número de artigos mais elevado do que a média mundial.

A Tabela 7.1 mostra as empresas líderes em nanoenergia, de acordo com seu grau de especialização e seu número total de artigos neste campo.

Tabela 7.1 Empresas com produção científica de destaque em nanoenergia: 1996-2006

Empresa	País	Artigo	Especialização
MVSystem	EUA	10	47,50
US Nanocorp	EUA	11	43,54
Konarka	EUA	21	43,37
ECD Ovonic	EUA	12	33,53
Daimler	Alemanha	14	7,92
3M	EUA	14	6,79
Siemens	Alemanha	18	4,97
Samsung	Coreia	53	2,78
Sony	Japão	15	2,42
Forschungs. Julich	Alemanha	34	2,19
Matsushita	Japão	11	1,83
DuPont	EUA	10	1,77
Toshiba	Japão	18	1,75
Philips	Holanda	17	1,43
Sumitomo	Japão	28	1,18

Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.100. Base de dados Scopus.

Na Tabela 7.1, observa-se que, embora a Samsung da Coreia seja a empresa que mais se destaca em termos do número de artigos publicados, é a MVSystems dos EUA a empresa que lidera o *ranking* de especialização, significando que 47,5% dos artigos que publica são em nanoenergia. A empresa ocupa-se em estabelecer o *design* e construir sistemas de multi-câmara a ultra-alto vácuo para deposição de vapor químico. Possuem ainda patentes para *displays* flexíveis e células solares. As posições seguintes no *ranking* das empresas líderes mais especializadas em nanoenergia são três empresas americanas: a US Nanocorp, a Konarka e



a ECD Ovonic. Três empresas alemãs também se destacam no *ranking* mundial da produção científica em nanoenergia: a Daimler, a Siemens e a Forshungs Jülich, respectivamente na 5ª, na 7ª e na 10ª posição. As empresas japonesas com alto grau de especialização em nanonergia são a Sony (9ª posição), a Matsushita (11ª posição), a Toshiba (13ª posição) e a Sumitomo (15ª posição).

Na Tabela 7.2, apresentam-se as universidades líderes em nanoenergia no mundo, classificadas segundo os mesmos critérios: grau de especialização (SI) em nanoenergia e número total de trabalhos publicados sobre o tema.

A Poznan University of Technology da Polônia é a mais especializada em nanoenergia, apesar de sua produção não ser tão intensa quando comparada a de outras universidades, como a Osaka University, do Japão, com 180 artigos publicados no período, a Tsinghua University, da China, com 170 artigos, e o Imperial College of London, do Reino Unido, com 144 artigos.

Tabela 7.2 Universidades com atuação de destaque em nanoenergia: 1996-2006

Universidade	País	Artigos	Especialização
Poznan U of Tech	Polônia	54	9,90
Johannes Kepler U	Áustria	115	7,84
U of Wollongong	Austrália	55	6,16
U of Groningen	Holanda	86	4,14
Imperial College London	Reino Unido	144	3,35
Uppsala U	Suécia	74	2,94
U of Notre Dame	EUA	73	2,78
Eindhoven U of Tech	Holanda	67	2,55
Nankai U	China	56	2,30
Fudan U	China	86	1,95
Tsinghua U	China	170	1,89

continua...

Universidade	País	Artigos	Especialização
ETH Zurich	Suíça	135	1,88
UCLA	EUA	86	1,75
Delft U of Tech	Holanda	58	1,71
Seoul Natl U	Coreia	95	1,56
Osaka U	Japão	180	1,52
Georgia Tech	EUA	85	1,43
U of Kyoto	Japão	118	1,43
Natl Taiwan U	Taiwan	75	1,42
Zhejiang U	China	68	1,38
Penn State	EUA	77	1,37
MIT	EUA	104	1,21
Indian Inst of Tech	Índia	59	1,17
Kyushu U	Japão	49	1,08
UC Berkeley	EUA	80	1,07
Jilin U	China	52	1,06
Peking U	China	72	1,02

Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.101. Base de dados Scopus

Dentre as 25 universidades líderes no *ranking* mundial, não há nenhuma instituição brasileira, embora o país esteja entre os 19 países mais importantes em termos de produção científica mundial em nanoenergia.

7.2 Propriedade intelectual em nanoenergia: 1996-2006

Nesta seção, descrevem-se os resultados da análise bibliométrica de patentes depositadas no período de 2004 a 2008 e indexadas nas bases de dados *Derwent Innovations Index* e *Web of Science*, abrangendo-se os tópicos associados ao tema nanoenergia, conforme definições apre-



sentadas no Quadro 7.1 da Seção 7.3, mais adiante. Para cada tópico, identificam-se: (i) a evolução do número de patentes no período considerado; (ii) as principais áreas de especialização associadas ao conjunto de patentes (critério “top 10”), conforme indexação das áreas pelas próprias bases de dados; e (iii) o número de depositantes e os destaques, enfatizando-se a presença de empresas (critério “top 10”).

A seção está organizada em seis itens referentes aos tópicos “células solares”, “baterias e capacitores”, “células a combustível”, “nanofibras, nanotubos de carbono e outros inorgânicos”, “nanocatalisadores” e “LEDs para iluminação”, alinhando-se à estruturação em tópicos proposta para o estudo prospectivo.

7.2.1 Células solares

Considerando-se o período 2004-2008 e utilizando-se os termos “solar cell*” ou “photovoltaic cell*”, foram localizadas 8.553 patentes, segundo a busca pelo filtro “título”, recomendado pela abrangência do tema.

A Figura 7.4 mostra a evolução do número de patentes no período 2004-2008, destacando-se o ano de 2008, com 2.656 patentes, quando comparado com o ano anterior, no qual foram indexadas 1.663 patentes.

Figura 7.4 Evolução do nº de patentes em células solares: 2004-2008

Ano de Publicação	Contagem de Registro	% de 8.553	Gráfico de Barras
2004	1.373	16,0528%	
2005	1.512	17,6780%	
2006	1.349	15,7722%	
2007	1.663	19,4435%	
2008	2.556	31,0534%	

Fonte: Adaptada das bases de dados Web of Science e Derwent Innovations Index. Acesso em: dez 2008.

A Figura 7.5 apresenta o conjunto das patentes referentes ao tópico “células solares”, classificadas por área de especialização, conforme sistema de indexação da referida base e considerando o mesmo horizonte temporal.

Observa-se que percentuais significativos referem-se diretamente às áreas de engenharia (97,10%); instrumentação e instrumentos (92,16%), química (55,82%), energia e combustíveis (46,54%), com destaque para as patentes classificadas nas áreas de energia e combustíveis e de transporte.

Figura 7.5 Patentes em células solares, classificadas por área de especialização: 2004-2008 (critério “top 10”)

Área Temática	Contagem de Registro	% de 8.553	Gráfico de Barras
Engenharia	8.305	97,1004%	
Instrumentos e instrumentação	7.883	92,1665%	
Química	4.774	55,8167%	
Energia e combustíveis	3.981	46,5451%	
Ciência dos polímeros	1.903	22,2495%	
Construção e produção de tecnologia	480	5,6121%	
Ciência da computação	350	4,0921%	
Comunicação	273	3,1919%	
Transporte	260	3,0399%	
Metalurgia e engenharia metalúrgica	254	2,9697%	

Fonte: Adaptada das bases de dados Web of Science e Derwent Innovations Idex. Acesso em: dez 2008.

Ao se analisar o mesmo conjunto de patentes em relação a seus depositantes, observa-se que as patentes são em sua maioria depositadas por empresas japonesas, como mostrado na Figura 7.6.



Figura 7.6 Patentes em células solares, classificadas por depositante: 2004-2008 (critério “top 10”)

Autor	Contagem de Registro	% de 8.553	Gráfico de Barras
Sharp KK	565	6,6059%	
Kyocera Corp	493	5,7641%	
Canon KK	193	2,2565%	
Sanyo Electric Co. Ltd.	169	1,9759%	
Mitsubishi Jukogyo KK	155	1,8122%	
Fuji Electric Co. Ltd.	142	1,6602%	
Matsushita Denki Sangyo KK	115	1,3446%	
Dokuritsu Gyosei Hojin Sangyo Gijutsu So	96	1,1224%	
Dainippon Printing Co. Ltd.	85	0,9938%	
Toppan Printing Co. Ltd.	83	0,9704%	

Fonte: Adaptada das bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. Acesso em: dez 2008.

7.2.2 Baterias e capacitores

Considerando-se o período 2004-2008 e utilizando-se os termos “battery” ou “capacitor”, foram localizadas 75.589 patentes, segundo a busca pelo filtro “título”, recomendado pela abrangência do tema. A Figura 7.7 mostra a evolução do número de patentes no período 2004-2008, destacando-se o ano de 2008, com 22.178 patentes indexadas nas referidas bases e também o período de 2004 a 2007, no qual o número de patentes nesse tópico se manteve estável em torno de 13.000 documentos por ano, em média.

Figura 7.7 Evolução do nº de patentes em baterias e capacitores: 2004-2008

Ano de Publicação	Contagem de Registro	% de 8.553	Gráfico de Barras
2004	13.724	18,1561%	
2005	13.138	17,3808%	
2006	12.694	16,7934%	
2007	13.855	18,3294%	
2008	22.178	29,3402%	

Fonte: Adaptada das bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. Acesso em: dez 2008.

Na sequência, a Figura 7.8 apresenta o mesmo conjunto de patentes, aqui classificadas por área de especialização, conforme sistema de indexação das referidas bases.

Figura 7.8 Patentes em baterias e capacitores, classificadas por área de especialização: 2004-2008 (critério “top 10”)

Área Temática	Contagem de Registro	% de 75.589	Gráfico de Barras
Engenharia	73.006	96,5828%	
Instrumentos e instrumentação	49.121	64,9843%	
Energia e combustíveis	38.043	50,3288	
Química	27.777	36,7474%	
Transporte	11.316	14,9704%	
Ciência dos polímeros	9.860	13,0442%	
Ciência da computação	9.523	12,5984%	
Comunicação	9.490	12,5547%	
Metalurgia e engenharia metalúrgica	1.745	2,3085%	
Medicina geral e interna	1.608	2,1273%	

Fonte: Adaptada das bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. Acesso em: dez 2008.

Observa-se que percentuais significativos referem-se às áreas de engenharia (96,58%); instrumentação e instrumentos (64,98%), energia e combustíveis (50,32%); química (36,74%) e transporte (14,97%), com destaque para as patentes classificadas nas áreas de energia e combustíveis e de transporte, mais diretamente ligadas ao tema em questão.

Ao se analisar o mesmo conjunto de patentes em relação a seus depositantes, observa-se que a empresa líder é a Mitsushita do Japão com 3.414 patentes, seguida da Sanyo Electric Co. e da Samsung SDI Co. Ltd. com 2.177 e 1.954 patentes, respectivamente, em um total de 59.990 depositantes no período considerado (Figura 7.9).



As empresas depositantes de patentes são, em sua maioria, do setor automobilístico e de componentes eletrônicos como *notebooks* e celulares.

Figura 7.9 Patentes em baterias e capacitores, classificadas por depositante: 2004-2008 (critério “top 10”)

Autor	Contagem de Registro	% de 75.589	Gráfico de Barras
Matsushita Denki Sangyo KK	3.414	4,5156%	
Sanyo Electric Co. Ltd.	2.177	2,8800%	
Samsung SDI Co. Ltd.	1.954	2,5850%	
Sony Corp	1.654	2,1881%	
Toyota Jidosha KK	1.469	1,9434%	
Samsung Electronics Co. Ltd.	1.192	1,5769%	
Hynix Semiconductor Inc.	1.095	1,4486%	
Nissan Motor Co. Ltd.	1.043	1,3798%	
Tdk Corp	1.005	1,3296%	
Toshiba KK	978	1,2938%	

Fonte: Adaptada das bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. Acesso em: dez 2008.

7.2.3 Células a combustível

Considerando-se o período 2004-2008 e utilizando-se o termo “fuel cell*”, foram localizadas 28.512 patentes, segundo a busca pelo filtro “título”, recomendado pela abrangência do tema.

A Figura 7.10 mostra a evolução do número de patentes nesse tópico no período 2004-2008, destacando-se o ano de 2008, com 7.092 patentes indexadas nas referidas bases.

Figura 7.10 Evolução do nº de patentes em células a combustível: 2004-2008

Ano de Publicação	Contagem de Registro	% de 28.512	Gráfico de Barras
2004	4.795	16,8175%	
2005	5.465	19,1674%	
2006	5.234	18,3572%	
2007	5.926	20,7842%	
2008	7.092	24,8737%	

Fonte: Adaptada das bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. Acesso em: dez 2008.

Na sequência, a Figura 7.11 apresenta o mesmo conjunto de patentes, aqui classificadas por área de especialização, conforme sistema de indexação das referidas bases.

Figura 7.11 Patentes em células a combustível, classificadas por área de especialização: 2004-2008 (critério “top 10”)

Área Temática	Contagem de Registro	% de 28.512	Gráfico de Barras
Engenharia	27.957	98,0535%	
Energia e combustíveis	27.075	94,9600%	
Química	15.207	53,3354%	
Ciência dos polímeros	7.032	24,6633%	
Instrumentos e instrumentação	6.738	23,6322%	
Transporte	5.916	20,7492%	
Ciência da computação	1.621	5,6853%	
Comunicação	834	2,9251%	
Metalurgia e engenharia metalúrgica	653	2,2903%	
Ciência das imagens e tecnologia fotográfica	281	0,9855%	

Fonte: Adaptada das bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. Acesso em: dez 2008.



Observa-se que percentuais significativos referem-se às áreas de engenharia (98,05%); energia e combustíveis (94,96%), química (53,33%) e transporte (20,74%), com destaque para as patentes classificadas nas áreas de energia e combustíveis e de transporte, mais diretamente relacionadas ao tema em questão.

Ao se analisar o mesmo conjunto de patentes em relação a seus depositantes, observa-se que a empresa líder é a Toyota Jidosha KK com 3.693 patentes, seguida da Nissan Motor Co. Ltd. e da Honda Motor com 2.436 e 1.483 patentes, respectivamente, em um total de 20.229 depositantes no período considerado (Figura 7.12).

Figura 7.12 Patentes em células a combustível, classificadas por depositante: 2004-2008 (critério “top 10”)

Autor	Contagem de Registro	% de 28.512	Gráfico de Barras
Toyota Jidosha KK	3.693	12,9524%	
Nissan Motor Co. Ltd.	2.436	8,5438%	
Honda Motor Co. Ltd.	1.483	5,2013%	
Samsung SDI Co. Ltd.	980	3,4371%	
Matsushita Denki Sangyo KK	813	2,8514%	
Toshiba KK	560	1,9641%	
Aisin Seiki KK	402	1,4099%	
Kyocera Corp	382	1,3398%	
Samsung Denkan KK	361	1,2661%	
Hitachi Ltd.	302	1,0592%	

Fonte: Adaptada das bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. Acesso em: dez 2008.

7.2.4 Nanofibras, nanotubos de carbono e outros inorgânicos

Considerando-se o período 2004-2008 e utilizando-se os termos “carbon nanofiber*” ou “carbon nanotube*”, foram localizadas 3.909 patentes, segundo a busca pelo filtro “título”, recomendado pela abrangência do tema. A Figura 7.13 mostra a evolução do número de patentes nesse tópico no período 2004-2008, destacando-se o ano de 2008, com 1.155 patentes indexadas nas referidas bases.

Figura 7.13 Evolução do nº de patentes em nanofibras e nanotubos: 2004-2008

Ano de Publicação	Contagem de Registro	% de 3.909	Gráfico de Barras
2008	1.155	29,5472%	
2007	781	19,9795%	
2006	739	18,9051%	
2005	662	16,9353%	
2004	572	14,6329%	

Fonte: Adaptada das bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. Acesso em: dez 2008.

Na sequência, a Figura 7.14 apresenta o mesmo conjunto de patentes, aqui classificadas por área de especialização, conforme sistema de indexação das referidas bases.



Figura 7.14 Patentes em nanofibras e nanotubos, classificadas por área de especialização: 2004-2008 (critério “top 10”)

Área Temática	Contagem de Registro	% de 3.909	Gráfico de Barras
Química	3.286	84,0624%	
Engenharia	3.263	83,4740%	
Instrumentos e instrumentação	2.894	74,0343%	
Ciência de polímeros	1.187	30,3658%	
Energia e combustíveis	610	15,6050%	
Ciência dos materiais	313	8,072%	
Ciência das imagens e tecnologia fotográfica	239	6,114 1%	
Farmacologia e farmácia	203	5,1931%	
Ciência da computação	200	5,1164%	
Metalurgia e engenharia metalúrgica	190	4,8606%	

Fonte: Adaptada das bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. Acesso em: dez 2008.

Observa-se que percentuais significativos referem-se às áreas de química (84,06%); engenharia (83,47%), instrumentação e instrumentos (74,03%), ciência dos polímeros (30,36%), energia e combustíveis (15,60%), com destaque para as patentes classificadas nas áreas de energia e combustíveis e de transporte, mais diretamente relacionadas ao tema em questão.

Ao se analisar o mesmo conjunto de patentes em relação a seus depositantes, observa-se que em primeiro lugar situa-se a empresa Hon Hai Precision Co. Ltd. com 166 patentes, seguida da University os Qinghua e da Fan S. com 126 e 112 patentes, respectivamente, em um total de 6.648 depositantes no período considerado (Figura 7.15).

Figura 7.15 Patentes em nanofibras e nanotubos, classificadas por depositante: 2004-2008 (critério “top 10”)

Autor	Contagem de Registro	% de 3.909	Gráfico de Barras
Hon Hai Precision Ind Co. Ltd.	166	4,2466	
Univ. Qinghua	126	3,2233	
Fan S	112	2,8652	
Samsung Electronics Co. Ltd.	85	2,1745	
Toray Ind Inc.	82	2,0977	
Dokuritsu Gyosei Hoijin Sangyo Gijutsu Do	81	2,0721	
Samsung Sdi Co. Lts	81	2,0721	
Hongfujin Precision Ind Shenzhen Co. Lts	78	1,9954	
Liu L	73	1,8675	
Fujitsu Ltd.	70	1,7907	

Fonte: Adaptada das bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. Acesso em: dez 2008.

7.2.5 Nanocatalisadores

Considerando-se o período 2004-2008 e utilizando-se os termos “nano*” e “catalyst*” ou zeolit*, foram localizadas 1.857 patentes, segundo a busca pelo filtro “título”, recomendado pela abrangência do tema. A Figura 7.16 mostra a evolução do número de patentes nesse tópico no período 2004-2008, destacando-se o ano de 2008, com 621 patentes indexadas nas referidas bases.

Figura 7.16 Evolução do nº de patentes em nanocatalisadores: 2004-2008

Ano de Publicação	Contagem de Registro	% de 1.857	Gráfico de Barras
2004	256	13,7857%	
2005	288	15,5089%	
2006	337	18,1475%	
2007	351	18,9015%	
2008	621	33,4410%	

Fonte: Adaptada das bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. Acesso em: dez 2008.

Na sequência, a Figura 7.17 apresenta o mesmo conjunto de patentes, aqui classificadas por área de especialização, conforme sistema de indexação das referidas bases.

Figura 7.17 Patentes em nanocatalisadores, classificadas por área de especialização: 2004-2008 (critério “top 10”)

Área Temática	Contagem de Registro	% de 1.857	Gráfico de Barras
Química	1.707	91,9225%	
Engenharia	1.540	82,9295%	
Instrumentos e instrumentação	889	47,8729%	
Energia e combustíveis	496	26,7097%	
Ciência dos polímeros	404	21,7555%	
Metalurgia e engenharia metalúrgica	156	8,4006%	
Ciência dos materiais	126	6,7851%	
Ciência das imagens e tecnologia fotográfica	89	4,7927%	
Farmacologia e farmácia	83	4,4696%	
Agricultura	38	2,0463%	

Fonte: Adaptada das bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. Acesso em: dez 2008.

Observa-se que percentuais significativos referem-se às áreas de química (91,92%); engenharia (82,92%), instrumentação e instrumentos (47,87%), energia e combustíveis (26,71%), com destaque para as patentes classificadas na área de química e de energia e combustíveis, mais diretamente relacionadas ao tema em questão.

Ao se analisar o mesmo conjunto de patentes em relação a seus depositantes, observa-se que em primeiro lugar situa-se a empresa Samsung SDI Co. Ltd. com 40 patentes, seguida da University of Qinghua e a Dokuritsu Gyosei Hojin Sanjyo Gijutsu So. com 39 e 33 patentes, respectivamente, em um total de 4.547 depositantes no período considerado (Figura 7.18).

Figura 7.18 Patentes em nanofibras e nanotubos, classificadas por depositante: 2004-2008 (critério “top 10”)

Autor	Contagem de Registro	% de 1.857	Gráfico de Barras
Samsung SI Co. Ltd.	40	2,1540%	
Univ. Qinghua	39	2,1002%	
Dokuritsu Gyosei Hojin Sangyo Gijutsu So	33	1,7771%	
Wang Y	33	1,7771%	
Hon Hai Precision Ind. Co. Ltd.	30	1,6155%	
Toyota Jidosha KK	28	1,5078%	
Samsung Denkan KK	27	1,4540%	
Dokuritsu Gyosei Hojin Busshitsu Zairyo	26	1,4001%	
Japan Sci & Technology Agency	26	1,4001%	
Zhang X	26	1,4001%	

Fonte: Adaptada das bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. Acesso em: dez 2008.

7.2.6 LEDs para iluminação

Considerando-se o período 2004-2008 e utilizando-se os termos “photo-luminescent device*” ou “OLED*” ou “LED*”, foram localizadas 26.743 patentes, segundo a busca pelo filtro “título”, recomendado pela abrangência do tema. A Figura 7.19 mostra a evolução do número de patentes nesse tópico no período 2004-2008, destacando-se o ano de 2008, com 280 patentes indexadas nas referidas bases.

Figura 7.19 Evolução do nº de patentes em LEDs para iluminação: 2004-2008

Ano de Publicação	Contagem de Registro	% de 26.743	Gráfico de Barras
2004	2.636	9,8568%	
2005	3.256	12,1751%	
2006	3.220	12,0405%	
2007	5.550	20,7531%	
2008	12.075	45,1520%	

Fonte: Adaptada das bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. Acesso em: dez 2008.



Na sequência, a Figura 7.20 apresenta o mesmo conjunto de patentes, aqui classificadas por área de especialização, conforme sistema de indexação das referidas bases.

Figura 7.20 Patentes em LEDs para iluminação, classificadas por área de especialização: 2004-2008 (critério “top 10”)

Área Temática	Contagem de Registro	% de 26.743	Gráfico de Barras
Engenharia	25.078	93,7741%	
Instrumentos e instrumentação	24.571	91,8782%	
Química	6.178	23,1014%	
Ciência da computação	3.585	13,4054%	
Ciência dos polímeros	3.250	12,1527%	
Comunicação	3.019	11,2889%	
Transporte	2.765	10,3392%	
Óptica	2.194	8,2040%	
Ciência da imagem e tecnologia fotográfica	1.406	5,2575%	
Medicina geral e interna	951	3,5561%	

Fonte: Adaptada das bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. Acesso em: dez 2008.

Observa-se que percentuais significativos referem-se às áreas de engenharia (93,77%); instrumentação e instrumentos (91,87%) e química (23,10%).

Ao se analisar o mesmo conjunto de patentes em relação a seus depositantes, observa-se que nos dois primeiros lugares situam-se as empresas Matsushita Denki Sangyo KK e a Sharp KK, com 390 e 384 patentes, seguidas da Matsushita Electric Works Ltd. E da Samsung Eletronics Co. com 355 e 320 patentes, respectivamente, em um total de 29.787 depositantes no período considerado (Figura 7.21).

Figura 7.21 Patentes em LEDs para iluminação, classificadas por depositante: 2004-2008 (critério “top 10”)

Autor	Contagem de Registro	% de 26.743	Gráfico de Barras
Matsushita Denki Sangyo KK	390	1,4583%	█
Sharp KK	384	1,4359%	█
Matsushita Electric Works Ltd.	355	1,3275%	█
Samsung Electronics Co. Ltd.	320	1,1966%	█
Samsung Electro-Mechanics Co.	303	1,1330%	█
Samsung Sdi Co. Ltd.	295	1,1031%	█
Konink Philips Electronics NV	294	1,0994%	█
Lg Electronics Inc.	269	1,0059%	█
Seiko Epson Corp	234	0,8750%	█
Sony Corp	229	0,8563%	█

Fonte: Adaptada das bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. Acesso em: dez 2008.

7.3 Tópicos associados ao tema nanoenergia

O Quadro 7.1 apresenta os tópicos que foram selecionados para compor o mapa tecnológico mundial e do Brasil de nanoenergia, incluindo um breve descritivo de cada tópico e os setores que serão mais impactados pelo desenvolvimento dessas nanotecnologias. As referências alfanuméricas foram adotadas ao longo da construção dos mapas tecnológicos e do mapa estratégico deste tema.

Também chamadas de células fotovoltaicas, as células solares (**T5a**) são dispositivos de conversão de energia que utilizam como fonte primária a luz solar, fornecendo energia elétrica. Dentre os diferentes tipos de células solares encontram-se as de silício cristalino, que apresentam maior participação neste mercado (cerca de 95%) e eficiência de conversão (rendimento) em torno de 17%. Outras tecnologias neste setor compre-

endem a célula solar orgânica e células solares de TiO2/corante (DSSC, do inglês, *dye sensitized solar cells*). Ambas as tecnologias utilizam materiais mais baratos e métodos simples de fabricação.

O setor mais afetado pelo desenvolvimento de células solares certamente é o de geração de energia elétrica, com impacto direto em áreas não atendidas pelas redes de distribuição de energia convencionais. O desenvolvimento dessa tecnologia traz consequências diretas ao meio ambiente. A autonomia energética conquistada pelo seu uso é também imprescindível para a Defesa do país, impactando em setores de instrumentação e automação.

Quadro 7.1 Tópicos associados ao tema nanoenergia e setores mais impactados

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Setores impactados
T5a	Células solares orgânicas e inorgânicas	Compreendem células solares à base de semicondutores orgânicos e inorgânicos.	Energia, instrumentação e automação e meio ambiente
T5b	Baterias e capacitores	Referem-se a microbaterias, supercapacitores e materiais nanoestruturados para eletrólitos sólidos (membrana poliméricas condutoras).	Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de telecomunicações; aeronáutica, automotivo e indústria naval
T5c	Células a combustível	Referem-se também a todos os materiais e dispositivos relativos à economia do hidrogênio, como membranas condutoras protônicas e nanocatalisadores. Nota: para efeito da construção do <i>portfolio</i> tecnológico estratégico, esse tópico foi desdobrado em: T5c¹ – Células a combustível: óxido sólido e T5c² – Células a combustível: PEM.	Energia, automotivo, aeronáutica e indústria naval, defesa, meio ambiente
T5d	Nanofibras e nanotubos de carbono	Referem-se ao desenvolvimento de compósitos para uso em equipamentos do ciclo do combustível nuclear e emprego como suporte de catalisador nos dispositivos de geração e armazenamento de energia, como suporte de catalisador na cadeia produtiva de biocombustíveis e reforma catalítica.	Energia, petróleo, gás natural e petroquímica; defesa, aeronáutica e indústria naval

continua...

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Setores impactados
T5e	Nanocatalisadores	Incluem tanto novos catalisadores nanoestruturados como os já em uso comercial.	Petróleo, gás natural e petroquímica; automotivo, meio ambiente e biocombustíveis
T5f	LEDs para iluminação	Compreendem dispositivos orgânicos e inorgânicos. Nota: para efeito da construção do <i>portfolio</i> tecnológico estratégico, esse tópico foi desdobrado em: T5f¹ – LEDs inorgânicos para iluminação e T5f² – LEDs orgânicos para iluminação.	Energia; automotivo; aeronáutico; e construção civil

Baterias (**T5b**) são dispositivos de conversão de energia eletroquímica recarregáveis, enquanto capacitores são dispositivos de armazenamento de energia. As baterias comumente comercializadas são baseadas em reações de oxirredução, das quais participam metais como chumbo (em baterias para automóveis), níquel, cádmio (em baterias de menor potência para equipamentos portáteis), entre outros. Capacitores (**T5b**) são, às vezes, utilizados em conjunto com baterias, visando um melhor aproveitamento e controle da utilização de energia. Para ambos os dispositivos, há opções comerciais com propriedades variadas, sendo a pesquisa nesta área mais concentrada em obter sistemas otimizados ou que minimizem a utilização de metais potencialmente agressivos ao ambiente. Supercapacitor ou capacitor eletroquímico é um dispositivo cujas características estão entre os capacitores convencionais e as baterias recarregáveis. Para atingir altos valores de capacitância, substituem-se as placas metálicas que constituem os eletrodos por um material com uma grande área superficial, dentre os quais materiais de carbono são especialmente promissores. Além de uma grande área superficial, o carbono é relativamente barato, pouco agressivo ao ambiente, apresenta baixa densidade e alta polarizabilidade. Frequentemente, são usados eletrodos de carbono poroso e a utilização de nanotubos de carbono tem sido uma das novas vertentes



tecnológicas na área. São incluídos ainda nesse tópico **(T5b)** dispositivos como microbaterias, supercapacitores e também materiais nanoestruturados para eletrólitos sólidos (membranas poliméricas condutoras) e para eletrodos de alta densidade de carga como polímeros condutores eletrônicos e condutores moleculares.

A influência do desenvolvimento de baterias e capacitores **(T5b)** vai desde o setor automobilístico (baterias mais leves, mais eficientes e com tempo de vida maior) até o de informática (baterias otimizadas para *notebooks*), passando por sistemas de iluminação de emergência, dispositivos de segurança, entre outros. Em paralelo às células a combustível, células solares e baterias, é necessário para o Brasil desenvolver uma tecnologia de capacitores e supercapacitores que permita integrar sistemas híbridos destes componentes, assim aproveitando suas características complementares. Produtos baseados no conceito de estocagem de energia dos supercapacitores têm sido propostos para diversas aplicações, como celulares, computadores portáteis, terminais de dados sem fio, sistemas automotivos de partida elétrica, veículos híbridos e elétricos. Portanto, este tópico dentro do tema nanoenergia é muito abrangente, incluindo desde a fabricação de material eletrônico até aparelhos e equipamentos de telecomunicações, para a indústria aeronáutica, automotiva e a indústria naval.

Os trabalhos mais recentes publicados na literatura seguem a linha de desenvolvimento de materiais para baterias poliméricas, capacitores (poliméricos ou a base de óxidos) e testes de dispositivos, verificando, em geral, a influência da estrutura, nanoestrutura e propriedades dos materiais sobre a eficiência do dispositivo. Materiais nanoestruturados e nanocompósitos têm sido propostos para o desenvolvimento desses dispositivos e questões fundamentais têm sido avaliadas, nos últimos anos, em relação a fenômenos de transporte, eletroquímica de sólidos e descrição molecular dos materiais envolvidos.

O tópico seguinte (**T5c**) refere-se a células a combustível (*fuel cells*, FC), que são dispositivos de conversão de energia nos quais reações de oxidação e redução consomem um combustível e um oxidante, dando origem a uma corrente elétrica. Nesses dispositivos, as reações são eletrocatalisadas tanto para a oxidação do combustível quanto para a redução do oxidante. As células a combustível são denominadas, em geral, a partir do tipo de eletrólito utilizado: membrana polimérica (PEMFC), ácido fosfórico (PAFC), óxido sólido (SOFC), carbonato fundido (MCFC) ou alcalina (AFC). O desenvolvimento tecnológico de células a combustível está fortemente ligado aos setores automobilístico, de eletrônicos portáteis e de geração e distribuição de energia elétrica, como se pode concluir pelas empresas que depositaram patentes nos últimos cinco anos (Figura 7.12). Da mesma forma que para os dispositivos anteriores, favorece-se o meio ambiente, a indústria automotiva, a aeronáutica e a naval. Ao lado dos fatores econômicos e ambientais, a autonomia energética favorece também a defesa do país.

O impacto do desenvolvimento de células a combustível (**T5c**) no setor de energia elétrica distribuída e, em especial, no residencial no interior do Brasil, abrangerá potencialmente um maior número de pessoas em relação a aplicações em outros setores. No setor automobilístico, este impacto deverá ser proporcional ao custo dos combustíveis fósseis (como por exemplo, gasolina e diesel) que, em sua escalada, passam a tornar atrativas as tecnologias baseadas em células a combustível.

O foco dos recentes avanços na área de células a combustível (**T5c**) divide-se principalmente em: (i) materiais (novos ou modificados) para células a combustível; (ii) estudos de interface, catálise, eletroquímica e eletrocatalise envolvendo materiais, combustíveis e condições operacionais de células a combustível; (iii) produção e armazenamento de combustíveis para células; (iv) eficiência, tempo de vida útil e demais parâmetros macroscópicos dos dispositivos; e (v) modelagem termodinâmica e descrições teóricas dos materiais envolvidos na célula.



Os nanotubos de carbono (**T5d**) são estruturas ordenadas de carbono com geometria molecular cilíndrica (tubos) e que apresentam propriedades estruturais, elétricas, ópticas e mecânicas características e otimizadas com relação a outros materiais conhecidos. Os nanotubos de carbono podem apresentar geometrias (em relação aos átomos de carbono) tipo "armchair", "zig-zag" ou quiral. Podem ainda apresentar paredes simples (SWNT) ou múltiplas (MWNT). Os nanotubos podem ser utilizados em diversos setores: indústria aeroespacial e automobilística (como material estrutural em aeronaves e automóveis); energia (como componente em células a combustível, baterias e capacitores e substituindo fios metálicos para condução elétrica); desenvolvimento de compósitos, processamento de dados (em *chips* baseados em nanotransistores construídos à base de nanotubos), entre outros. No entanto, para que tais aplicações sejam viáveis, sua obtenção e purificação devem ser otimizadas para garantir um custo adequado ao mercado. Alguns países, como o Japão, já apresentam boa capacidade de produção diária de nanotubos de carbono puros.

Os trabalhos publicados sobre desenvolvimentos tecnológicos em nanotubos de carbono (**T5d**) apresentam rotas alternativas de síntese, visando maior rendimento para a reação, métodos de purificação de nanotubos, formulação de compósitos com estes materiais e aplicações. Os artigos que descrevem novas (ou adaptadas) rotas de síntese, assim como aqueles que versam sobre a purificação dos nanotubos, demonstram a necessidade de otimização destes processos, de forma a tornar viável a utilização destes materiais. A partir da utilização de nanotubos com diferentes propriedades e características estruturais, vários pesquisadores propõem materiais compósitos contendo polímeros (convencionais e condutores eletrônicos), cerâmicas e vidros. Os trabalhos envolvendo aplicações vão desde a utilização de nanotubos como nanoeletrodos em estudos fundamentais (por exemplo, processos eletrônicos em moléculas isoladas) até a construção de redes de nanotubos com características elétricas comparáveis, em

algum grau, a de circuitos eletrônicos. Grande parte das aplicações encontradas no setor de energia refere-se ao emprego de NTC em dispositivos de geração e armazenamento de energia como células a combustível, supercapacitores, baterias, geração ou armazenamento de hidrogênio e como suporte de catalisadores empregados nos mais variados setores.

Catalisadores são substâncias que aceleram a velocidade de uma reação química pela diminuição da energia de ativação de um complexo ativado sem, necessariamente, serem consumidos. Os processos de catálise heterogênea ocorrem na superfície do catalisador apresentando, portanto, características em escala nanométrica. Nanocatalisadores (**T5e**) são partículas de catalisadores com dimensões nanométricas ou nanopartículas nanoestruturadas, quando existe ordem estrutural em nível nanométrico, como em suportes de catalisadores baseados em nanotubos de carbono. Sua utilização aumenta a área superficial do sistema e, conseqüentemente, a sua atividade catalítica.

O setor de petróleo apresenta uma estreita relação com o desenvolvimento de catalisadores, dos quais depende em inúmeros processos. O maior impacto no desenvolvimento desta tecnologia seria sentido, provavelmente, no refino de petróleo e na produção de combustíveis especiais. Além do setor de petróleo, outros setores industriais baseados na produção de produtos químicos têm seu desenvolvimento fortemente ligado ao dos catalisadores. Com a produção de células a combustível como fonte alternativa de energia, aumenta o impacto dos nanocatalisadores (1,5 a 2,5 nm) no setor de energia.

A síntese de novos catalisadores com tamanhos de partícula da ordem de poucos nanômetros e a modificação superficial de nanopartículas para atuarem como catalisadores são alguns dos temas mais recor-



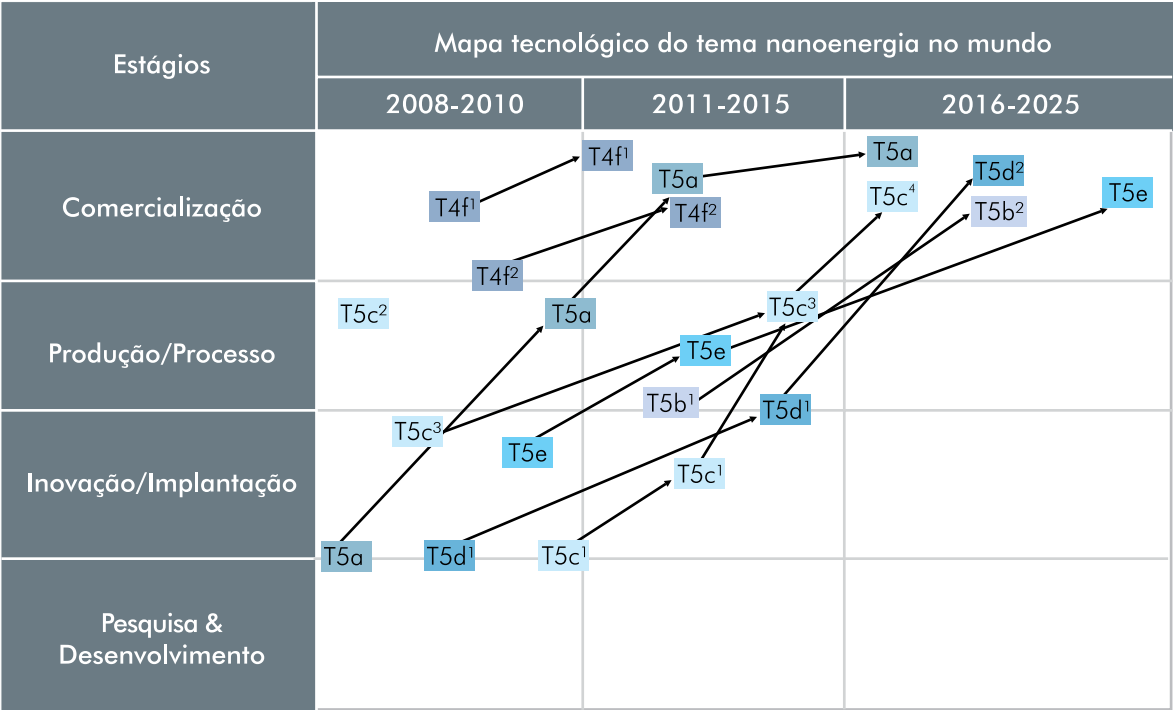
rentes nesta área. Trabalhos com uma abordagem de nanotecnologia apresentam a denominação “nanocatalisador”, a qual envolve catalisadores de dimensões nanométricas clássicas, ou que possuem superfície funcionalizada e ainda, em especial, o emprego de nanopartículas nanoestruturadas, como os nanotubos de carbono e zeólitas como suportes de catalisador. Esses possuem alta área superficial específica e, no caso de nanotubos de carbono, propriedades excepcionais de condução, habilitando-os para utilização em células a combustível nos processos eletrocatalíticos. Propriedades fotocatalíticas otimizadas estão sendo investigadas em sistemas de células solares com nanotubos de óxido de titânio. A imobilização de catalisadores, visando aplicações específicas, é também objeto de estudo de vários pesquisadores, assim como testes catalíticos em sistemas os mais diversos, para aplicações que vão desde o refino de petróleo até a produção de fármacos, passando pelas células a combustível e sistemas de tratamento de água e efluentes industriais. Os catalisadores, portanto, deverão impactar a indústria química, os setores de petróleo e gás natural e a área de meio ambiente.

Diodos emissores de luz (**T5f**) são diodos de material semicondutor que emitem luz em um comprimento de onda específico quando uma corrente é aplicada em uma certa direção. LEDs são largamente utilizados em equipamentos eletrônicos, painéis digitais e *displays* digitais. Mais recentemente, aplicações envolvendo iluminação de grandes áreas têm sido testadas com sucesso. Novas aplicações deste tópico incluem tetos que se iluminam por inteiro, telas planas mais eficientes e lâmpadas planas e transparentes. Essas são apenas algumas das possibilidades abertas pelos LEDs orgânicos, conhecidos por OLEDs (*Organic Light Emitting Diodes*). Pesquisas recentes na área de OLEDs empregando materiais de base nanotecnológica mostram a possibilidade de aumento de até 60% da eficiência desses dispositivos, o que viabilizaria economicamente a sua produção e comercialização em futuro próximo.

7.4 Mapa tecnológico no mundo: 2008-2025

Considerando-se os estágios de P&D, inovação, produção e comercialização, bem como os tópicos abordados no Quadro 7.1, construiu-se o mapa tecnológico do desenvolvimento da nanoenergia no mundo, desenhando-se as trajetórias previstas para os referidos tópicos nos períodos entre 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025 (Figura 7.22).

Figura 7.22 Mapa tecnológico de nanoenergia no mundo (2008-2025)



Notação: **T5a** – Células solares orgânicas e inorgânicas; **T5b¹** – Baterias e capacitores com compostos orgânicos; **T5b²** – Baterias e capacitores, nanocompósitos e nanotubos; **T5c¹** – Células a combustível: óxido sólido; **T5c²** – Células a combustível: alcalinas e ácido fosfórico; **T5c³** – Células a combustível: óxido sólido e PEM; **T5c⁴** – Células a combustível: PEM e SOFC; **T5d¹** – Nanotubos para baterias, supercapacitores, suporte de catalisador de célula a combustível; **T5d²** – Nanotubos de carbono inorgânicos e supercapacitores; **T5e** – Nanocatalisadores; **T5f¹** – LEDs inorgânicos para iluminação; **T5f²** – LEDs orgânicos para iluminação.

Fonte: CGEE (2008)



O mapa tecnológico do desenvolvimento das nanotecnologias aplicadas ao setor de energia no mundo mostra que vários dos tópicos já se encontram em um estágio de interface entre P&D e inovação, produção e mesmo comercialização, no período entre 2008 e 2010. Isto é justificado pela expressiva participação de vários países desenvolvidos, na publicação de artigos e patentes, tendo como autores centros de pesquisas, várias das mais importantes e produtivas universidades do mundo e número expressivo de participação de empresas⁴⁷.

Dentre essas tecnologias, encontram-se em etapa de P&D células solares orgânicas, estas enfatizando estudos para aumento de eficiência e estabilidade dos componentes orgânicos. Estudos recentes muito promissores, provavelmente, permitirão levar esta tecnologia para a etapa de inovação antes de 2010. Encontram-se também em fase de P&D as células a combustível de óxido sólido. Genericamente, ainda há vários fenômenos a serem contornados com relação aos materiais utilizados na fabricação das mesmas, processamento dos componentes e interfaceamento dos mesmos no dispositivo, além de aspectos de engenharia ainda por resolver. O emprego de nanotubos e nanofibras de carbono em baterias, capacitores, supercapacitores e células a combustível do tipo PEM encontra como obstáculo a produção em larga escala de nanotubos com propriedades eletrônicas apropriadas para a aplicação. Este fator limitante já está sendo eliminado por alguns países, como o Japão, que afirmam ter aumentado a produção anual de nanotubos e nanofibras para níveis que permitem a sua utilização em diversas aplicações.

Células a combustível do tipo PEM e nanocatalisadores já se encontram em fase de inovação. As primeiras ainda precisam de um aumento de estabilidade e de eficiência para que a sua produção e comercialização sejam viabilizadas em larga escala, de forma economicamente competitiva. Já existem várias empresas no mundo que constroem módulos de células a combustível de diferentes potências. Com relação aos catalisadores,

um mercado grande existe atualmente e tende a aumentar em décadas futuras. Entretanto, os catalisadores nanoestruturados ou que utilizam suportes nanoestruturados como nanotubos de carbono e zeólitas se encontram ainda em fase de P&D. LEDs inorgânicos para iluminação já são fabricados e comercializados até em lojas populares. As tecnologias de células a combustível de ácido fosfórico e alcalinas encontram-se estagnadas e não são consideradas competitivas economicamente em relação às fontes de energia usuais.

No período de 2011 a 2015, prevê-se que tecnologias como a de célula a combustível de óxido sólido e a aplicação de nanotubos nos dispositivos de geração e armazenamento de energia estejam na etapa de inovação. Já outras como células solares orgânicas, nanocatalisadores (nanoestruturados), células a combustível do tipo PEM e baterias e capacitores com compostos orgânicos e compósitos estejam em etapa de produção. Em etapa de comercialização neste período, projetam-se as células solares (tecnologia do silício), assim como LEDs inorgânicos e orgânicos para iluminação. Para o período de 2016 a 2025, com uma consequente evolução das tecnologias, projetam-se na etapa de comercialização ambos os tipos de células solares, baterias e capacitores com materiais nanoestruturados ou nanocompósitos, ambos os tipos de células a combustível, nanotubos de carbono em supercapacitores e nanocatalisadores.

7.5 Mapa tecnológico do Brasil: oportunidades estratégicas no período 2008-2025

A Figura 7.23 mostra os resultados da construção do mapa tecnológico do desenvolvimento de nanoenergia no Brasil, compreendendo as trajetórias projetadas para cada um dos tópicos, nos períodos entre 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025.

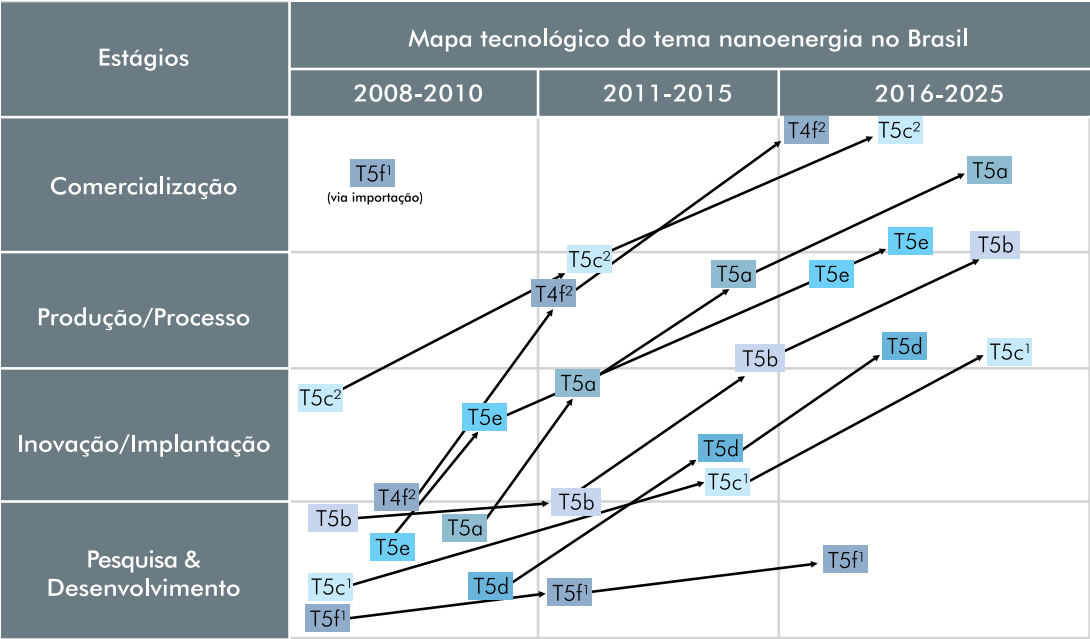


A nanotecnologia terá economicamente um grande impacto no setor de geração, distribuição e armazenamento de energia, com participação decisiva em diversos dispositivos já discutidos. Inicialmente, seu impacto poderá ser percebido em um uso mais racional das fontes de energia existentes e na evolução do uso de fontes alternativas.

No Brasil, o tema nanoenergia traduz-se em inúmeras oportunidades estratégicas, como aplicações no refino de petróleo, no aumento da eficiência em processos industriais e na produção e utilização de etanol. Os processos de geração de biodiesel podem utilizar catalisadores heterogêneos nanoparticulados e/ou nanoestruturados, em substituição aos catalisadores homogêneos, atualmente empregados. Esses geram grande quantidade de rejeitos, dificultando a separação e a purificação dos produtos, o que leva a um aumento do custo de produção. No caso da produção do etanol, os nanocatalisadores podem competir ou até mesmo substituir os catalisadores enzimáticos, que são os mais promissores para este processo.

No caso da produção do etanol a partir de material lignino-celulósico, ou mais conhecido como etanol celulósico, os nanocatalisadores podem competir ou até mesmo substituir os catalisadores enzimáticos, que são os mais promissores para este novo processo. A principal vantagem dos catalisadores heterogêneos (nanoparticulados) na quebra da celulose pode se dar na possibilidade de utilização de maiores temperaturas, gerando uma maior quantidade de açúcar num menor espaço de tempo. Estes são setores onde se espera um grande impacto econômico e sociambiental da nanoenergia em curto prazo. Portanto, entre 2008 e 2010 a viabilidade de comercialização no Brasil dos catalisadores heterogêneos (nanoparticulados) estará relacionada aos setores de petróleo, gás natural e petroquímica; automotivo; meio ambiente e biocombustíveis.

Figura 7.23 Mapa tecnológico de nanoenergia no Brasil (2008-2025)



Notação: **T5a** – Células solares orgânicas e inorgânicas; **T5b** – Baterias e capacitores; **T5c¹** – Células a combustível: óxido sólido; **T5c²** – Células a combustível: PEM; **T5d** – Nanotubos; **T5e** – Nanocatalisadores; **T5f¹** – LEDs inorgânicos para iluminação; **T5f²** – LEDs orgânicos para iluminação.
Fonte: CGEE (2008)

Projeta-se que, entre 2011-2015 e 2016-2025, o emprego de nanocatalisadores tenha alto impacto sociambiental e econômico e alta sustentabilidade. Entretanto, existem ainda barreiras à sua implementação, dentre elas, interesses econômicos no emprego de tecnologias já existentes e em desenvolvimento. Já existe capacidade científica e tecnológica no país, que poderá viabilizar inovações na área entre 2011 e 2015, capacidade de produção em larga escala entre 2016 e 2025 e comercialização a partir de 2025. Como o Brasil já é referência em pesquisas associadas a estes setores, existe possibilidade de inserção competitiva dessas inovações, tanto no mercado interno como no externo. É importante enfatizar que, ao empregar o termo nanocatalisador, estão incluídos os catalisadores nanoestruturados ou com suportes nanoestruturados. Estes ainda encontram-se em fase de P&D.



No que diz respeito ao estudo de outras formas de geração de energia, através de dispositivos funcionais, a tecnologia de células a combustível (**T5c²**), especialmente a de membrana polimérica (PEM) deve apresentar um impacto socioambiental alto, econômico baixo e sustentabilidade média, no período de 2008 a 2010. Seu prazo de materialização é alto para o período entre 2016 e 2025, especialmente nos setores de energia e automobilístico.

Como limitações, aponta-se o fato de que suas necessidades deverão ser preenchidas por outras tecnologias até 2015 e, a partir de 2016, não são previstas limitações. Existe capacidade científica instalada no país, Rede de Células a Combustível e empresas já atuando na área. Portanto, há capacidade de inovação e produção em larga escala entre 2011 e 2015 com aumento de comercialização entre 2016 e 2025. Pequenas empresas podem ter um índice de especialização alta. Duas das empresas atuantes na área no Brasil foram criadas a partir de trabalhos científicos em universidades e interagem fortemente com o meio acadêmico. Pode-se esperar para o futuro, portanto, inserção no mercado externo, com relação às células a combustível.

Baterias e capacitores (**T5b**) e células solares orgânicas e inorgânicas (**T5a**) têm um grande mercado em potencial no Brasil. O mercado para baterias resiste a mudanças e a tecnologia de células solares está em desenvolvimento. Portanto, espera-se para ambas as tecnologias entre 2008-2010 um baixo impacto socioambiental, econômico e sustentabilidade consequentemente baixa. Nos períodos posteriores, com as políticas de incentivo necessárias, o impacto socioambiental será muito alto, o econômico médio e a sustentabilidade resultante alta. Projeta-se uma materialização dessas tecnologias entre 2016 e 2025, com alta viabilidade de comercialização nos setores de energia e automotivo. Quanto às células solares, estas têm viabilidade de comercialização alta, em especial nos setores de energia e meio ambiente.

Como pode ser visualizado no mapa, a comercialização dos LEDs inorgânicos (**T3f¹**) no Brasil já é uma realidade hoje, com diversas aplicações na área de energia, apresentando já no período de 2008 a 2010 impactos socioambientais e econômicos altos. No período entre 2011 e 2015, espera-se um aumento desses impactos, com posterior declínio entre 2016 e 2025, uma vez que a tecnologia de LEDs orgânicos (**T3f²**) deve aumentar sua participação no mercado. Ela não encontra barreiras em nenhum dos períodos prospectados.

Para os LEDs orgânicos (**T5f²**), existe capacidade científica e tecnológica instalada no país, com algumas inovações previstas já no período 2008-2010. Sua viabilidade de produção é projetada para o médio prazo (2011-2015) e a comercialização em larga escala está prevista para o início do terceiro período (2016-2025).

Nanoestruturas, como os nanotubos de carbono e nanofibras (**T5d**), ligadas ao setor de energia, apresentam grandes perspectivas de contribuição, impactando economicamente nos setores de energia e automotivos, em especial. Entretanto, embora haja capacidade instalada no país (Rede de Nanotubos de Carbono), a produção de nanotubos puros ainda é baixa para viabilizar suas aplicações no período compreendido entre 2008 e 2015. Essas aplicações terão um impacto socioambiental muito alto e econômico alto, após 2015, período em que é prevista sua produção em larga escala e a possibilidade de utilização nos dispositivos, o que permitirá a comercialização em larga escala a partir de 2025.

A Figura 7.24 representa o *portfolio* tecnológico estratégico do tema nanoenergia, no qual os tópicos associados a esse tema foram classificados segundo dois critérios: (i) sustentabilidade, calculada em função do impacto econômico e socioambiental das aplicações potenciais do tópico; (ii) grau de esforço para atingir o posicionamento desenhado no mapa tecnológico (Figura 7.23).

Ao se analisar o *portfolio* tecnológico da Figura 7.24, confirma-se a análise de posicionamento estratégico obtida pela leitura do mapa tecnológico (Figura 7.24), particularmente no que tange às “células solares orgânicas e inorgânicas, especialmente as poliméricas e de pequenas moléculas” (**T5a**); às “células a combustível: óxido sólido” (**T5c¹**); aos “nanocatalisadores” (**T5e**) e a “nanofibras, nanotubos de carbono e outros inorgânicos” (**T5d**). Esses tópicos, pelo seu grau de avanço tecnológico do Brasil em relação ao mundo – em ambos os contextos se encontram em estágio de P&D e pelos impactos econômicos e socioambientais altos, são considerados como “apostas” estratégicas e situam-se no quadrante superior direito do *portfolio* tecnológico estratégico.

Figura 7.24 *Portfolio* tecnológico estratégico de nanoenergia no Brasil (2008-2025)



Notação: **T5a** – Células solares orgânicas e inorgânicas; **T5b** – Baterias e capacitores; **T5c¹** – Células a combustível: óxido sólido; **T5c²** – Células a combustível: PEM; **T5d** – Nanofibras, nanotubos de carbono e outros inorgânicos; **T5e** – Nanocatalisadores; **T5f¹** – LEDs orgânicos para iluminação; **T5f²** – LEDs inorgânicos para iluminação.

Fonte: CGEE

Na posição “desejável” do *portfolio* tecnológico, situam-se aqueles tópicos de alta sustentabilidade, que requerem um grau médio de esforço, pelo estágio de desenvolvimento em que se encontram. São eles: “células a combustível: PEM” (T5c²); “baterias e capacitores” (T5b); “LEDs orgânicos para iluminação” (T5f¹); “LEDs inorgânicos para iluminação” (T5f²).

7.6 Mapa estratégico no Brasil: condicionantes de futuro e prioridades da Agenda INI-Nanotecnologia

Destacam-se, a seguir, os condicionantes do desenvolvimento dos tópicos associados ao tema nanoenergia no Brasil em três períodos distintos. A visão de futuro construída para o Brasil, referente à nanoenergia, estará sujeita a vários condicionantes e a implementação das ações de suporte, como indicado no Quadro 7.2 e na Figura 7.25, apresentados a seguir.

A economia mundial é baseada no consumo de combustíveis fósseis, cuja utilização intensa no último século tem levado a um eminente desastre ambiental, em decorrência das emissões de CO₂. Adicionalmente, grande parte das regiões mundiais, ricas em reservas naturais de petróleo e gás, é geopoliticamente instável. Nesse contexto, o domínio da nanoenergia pode garantir no futuro um papel de destaque e liderança para o Brasil, observando-se os condicionantes identificados para cada um dos períodos analisados.



Quadro 7.2 Condicionantes do futuro do desenvolvimento das aplicações do tema nanoenergia no Brasil

Condicionantes do futuro do desenvolvimento das aplicações do tema nanoenergia no Brasil		
2008-2010	2011-2015	2016-2025
• Educação em todos os níveis. • Difusão científica. • Maior equilíbrio das desigualdades regionais. • RH em nível técnico e graduado. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • Parcerias público-privadas. • Aquecimento global e seus impactos. • Nanoética. • Uso de energias limpas.	• Educação em todos os níveis. • Difusão científica. • Maior equilíbrio das desigualdades regionais. • RH em nível técnico e graduado. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • Parcerias público-privadas. • Aquecimento global e seus impactos. • Nanoética. • Uso de energias limpas.	• Educação em todos os níveis. • Difusão científica. • Maior equilíbrio das desigualdades regionais. • RH em nível técnico e graduado. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • Parcerias público-privadas. • Aquecimento global e seus impactos. • Uso de energias limpas.

Fonte: CGEE (2008)

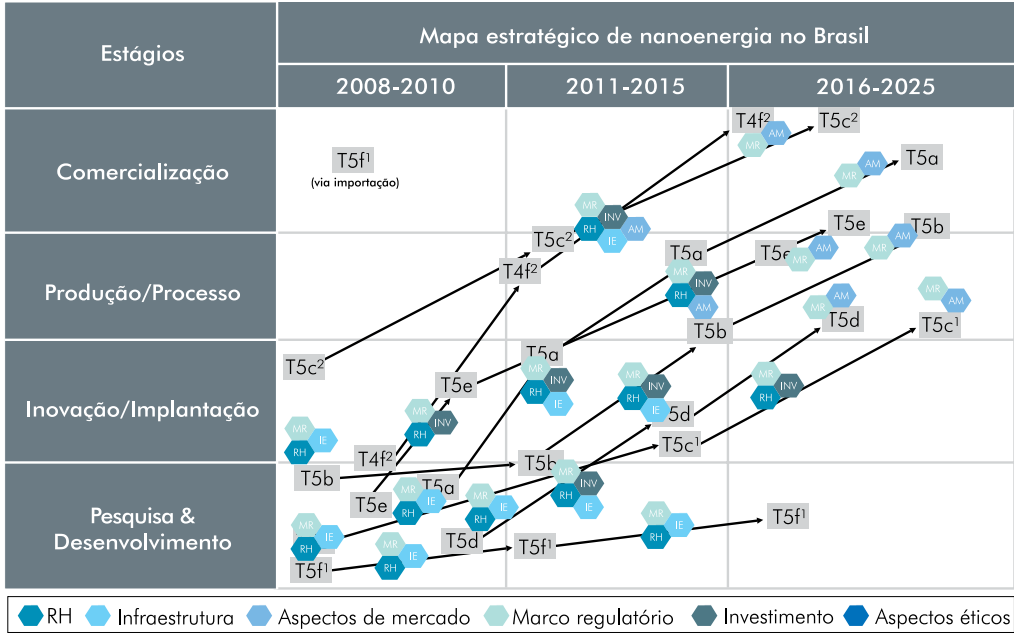
O domínio estratégico das tecnologias de produção inclui os dispositivos, técnicas e ferramentas para gerar energia limpa de fontes renováveis e independentes dos sistemas de distribuição de energia elétrica atualmente empregados. O desenvolvimento das tecnologias associadas à nanoenergia poderá levar o Brasil a uma situação de autonomia na produção e distribuição de energia elétrica. Deve-se considerar também que o emprego da geração de energia distribuída é estratégico para a defesa do Brasil.

Dentre os condicionantes do desenvolvimento do tema nanoenergia no Brasil, considera-se que tanto a educação em todos os níveis quanto a difusão científica são imprescindíveis nos três períodos prospectados. Ambas facilitarão a compreensão e a incorporação das tecnologias no cotidiano de consumidores conscientes, auxiliando a implementação das etapas de produção e comercialização dos materiais e dispositivos desejados. Para tanto, será também desejável maior equilíbrio entre as desigualdades regionais.

O aquecimento global e seus impactos são considerados fatores condicionantes de 2008 a 2015, pois podem gerar maior interesse governamental e industrial no intuito de substituir fontes e tecnologias de geração e distribuição de energia com impacto negativo socioambiental. Esse interesse poderá motivar parcerias público-privadas e auxiliar na implementação de infraestrutura laboratorial. Estas duas últimas, associadas com a formação de recursos humanos em nível médio, superior e em nível de pós-graduação são essenciais para o desenvolvimento de P&D, inovação, produção e comercialização das tecnologias analisadas.

A Figura 7.25 mostra o mapa estratégico para o desenvolvimento da nanoenergia no Brasil, nos períodos prospectados entre 2008-2010, 2011-2015 e 2016 e 2025.

Figura 7.25 Mapa estratégico de nanoenergia no Brasil (2008-2025)



Notação: **T5a** – Células solares orgânicas e inorgânicas; **T5b** – Baterias e capacitores; **T5c¹** – Células a combustível: óxido sólido; **T5c²** – Células a combustível: PEM; **T5d** – Nanotubos; **T5e** – Nanocatalisadores; **T5f¹** – LEDs inorgânicos para iluminação; **T5f²** – LEDs orgânicos para iluminação

Notação 2: **RH** – Recursos Humanos; **IE** – Infraestrutura; **INV** – Investimentos; **MR** – Marco regulatório; **AE** – Aspectos éticos e aceitação pela sociedade; **AM** – Aspectos de mercado.

Fonte: CGEE (2008)

Observa-se na Figura 7.25 que todas as trajetórias tecnológicas abordadas apresentam como prioridade nos três intervalos de tempo considerados, a formação de recursos humanos (**RH**). Esta deverá ocorrer em nível de ensino médio técnico, graduação e pós-graduação, para viabilizar o desenvolvimento, inovação, produção e comercialização de todas as tecnologias. Recursos humanos com formação adequada são essenciais para a materialização do tema. Também é essencial criar marcos regulatórios (**MR**) para todas as tecnologias e períodos abordados. Estes não existem ainda. Logo, é essencial realizar ações para aprimorar a legislação e os marcos regulatórios com impactos diretos sobre o desenvolvimento da indústria, de forma a facilitar a entrada competitiva de produtos e processos, baseados nas novas tecnologias, no mercado nacional e internacional.

Também são consideradas necessárias ações no sentido de garantir e fomentar a implementação de infraestrutura física (**IE**) para praticamente todas as tecnologias até 2015 e para o desenvolvimento das etapas de P&D e inovação. As exceções são para os LEDs inorgânicos (**T5f¹**), já em comercialização empregando componentes importados. Ações na implementação de infraestrutura física ainda serão requeridas na etapa de produção de células a combustível do tipo PEM (**T5c²**).

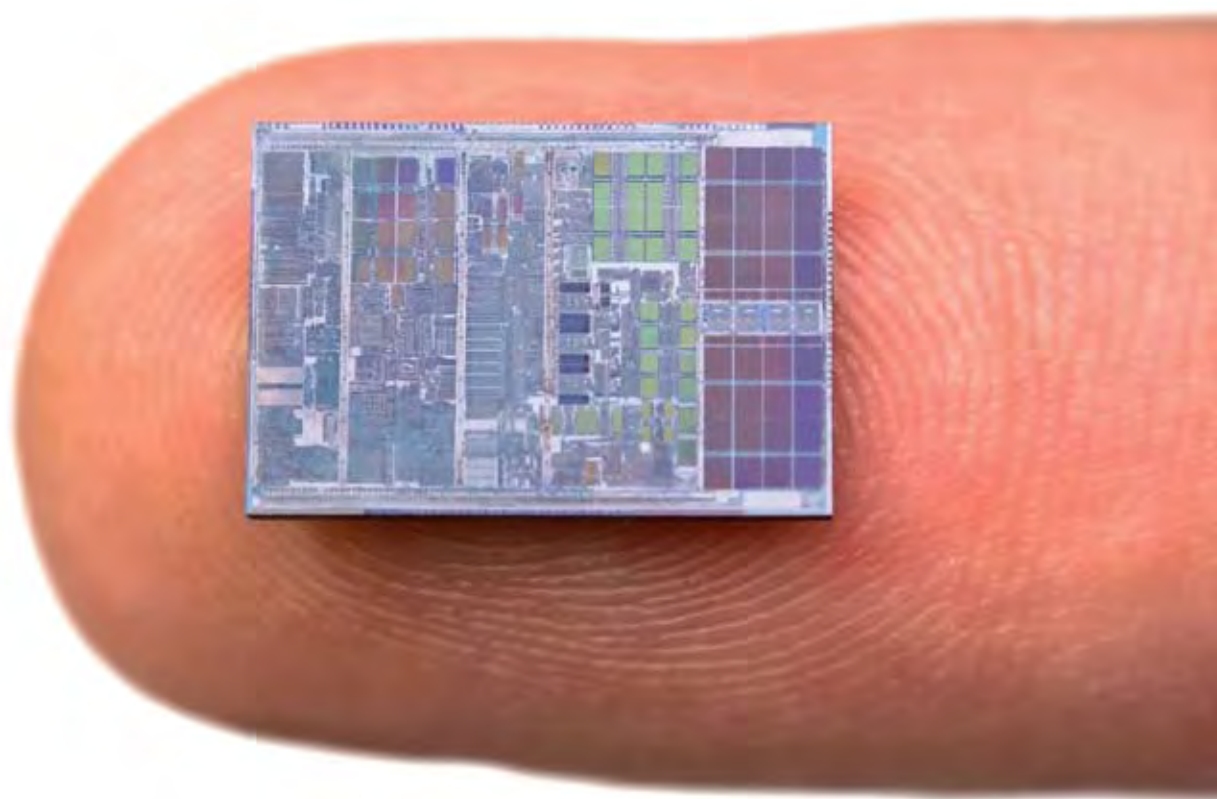
Ações de investimento (**INV**) serão necessárias entre 2008 e 2010 para viabilizar a formação de organizações ou de rede de empresas inovadoras para a fabricação de LEDs inorgânicos (**T5f¹**). No intervalo entre 2010 e 2015, todas as outras tecnologias, exceto a de célula de óxido sólido (**T5c¹**), deverão ser apoiadas por ações em investimento de modo a viabilizar a etapa de inovação e produção. No caso das células de óxido sólido (**T5c¹**), projeta-se que no período de 2015 a 2025, sejam necessários investimentos para viabilizar a inovação e produção das mesmas.

Ações relacionadas aos aspectos de mercado (**AM**), focalizando elementos essenciais para a inserção competitiva das inovações brasilei-

ras no mercado nacional e internacional, cadeias produtivas, redução das barreiras de entrada em mercados e outros aspectos mercadológicos serão necessárias em diferentes períodos, entre 2011 e 2015, para as tecnologias de célula a combustível do tipo PEM (**T5c²**), baterias, capacitores (**T5b**) e células solares (**T5a**), de modo a viabilizar a etapa de produção e, de 2016 a 2025, para otimizar a comercialização desses dispositivos.

Notas

- ⁴⁶ SCIENCE-METRIX (2008). **Nanotechnology World R&D Report 2008**. Serie R&D Reports Examining Science and Technology. Montreal: Science-Metrix Inc., p. 185.
- ⁴⁷ SCIENCE-METRIX (2008). **Nanotechnology World R&D Report 2008**. Serie R&D Reports Examining Science and Technology. Montreal: Science-Metrix Inc., p.185.



8. Nanoambiente :

A definição de nanoambiente, segundo um relatório mundial de 2008,⁴⁸ refere-se às interações entre nanoestruturas e o meio ambiente, tendo em vista o desenvolvimento de dispositivos e processos para controle de poluição, remediação, tratamento de resíduos e gestão ambiental, bem como estudos de toxicidade e bioacumulação, para avaliar os riscos advindos do uso de nanotecnologias.

No Brasil, o escopo da área de nanoambiente pode ser expandido para abranger as oportunidades inerentes à nossa biodiversidade e à agropecuária, que vão desde o uso de insumos agrícolas e produção de alimentos até a inclusão do conceito de biorrefinaria, explorando-se também o uso da nanotecnologia para a produção de novos materiais (plásticos, resinas, fibras, elastômeros e, possivelmente, outros produtos) de fontes renováveis, complementarmente ao que tem sido feito para bioenergia. Para assegurar o uso adequado dos materiais nanoestruturados desenvolvidos e uma atuação responsável no país recomenda-se um estudo mais abrangente na literatura desse tema, incluindo a análise de todo o ciclo de vida dos novos materiais nanotecnológicos produzidos.

Neste capítulo, descrevem-se os resultados das análises prospectivas realizadas para o tema nanoambiente, em três períodos: 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025. Antes, porém, com o objetivo de fornecer a linha de base dessas análises, no que se refere à produção científica e à propriedade intelectual em nível mundial, apresentam-se as análises conduzidas pela Science-Metrix,⁴⁹ contemplando artigos publicados e indexados na base de dados internacional Scopus sobre o referido tema, no período 1996-2006. Adicionalmente, apresentam-se os resultados de estudo bibliométrico sobre patentes em nanoambiente realizado pelo CGEE no final de 2008, por meio de consulta direta às bases de dados *Derwent Innovations Index* e *Web of Science*. Esse estudo cobriu o período 2004-2008 e visou preencher uma lacuna das análi-

ses conduzidas no estudo da Science-Metrix que não contemplaram a parte de propriedade intelectual referente a esse tema.

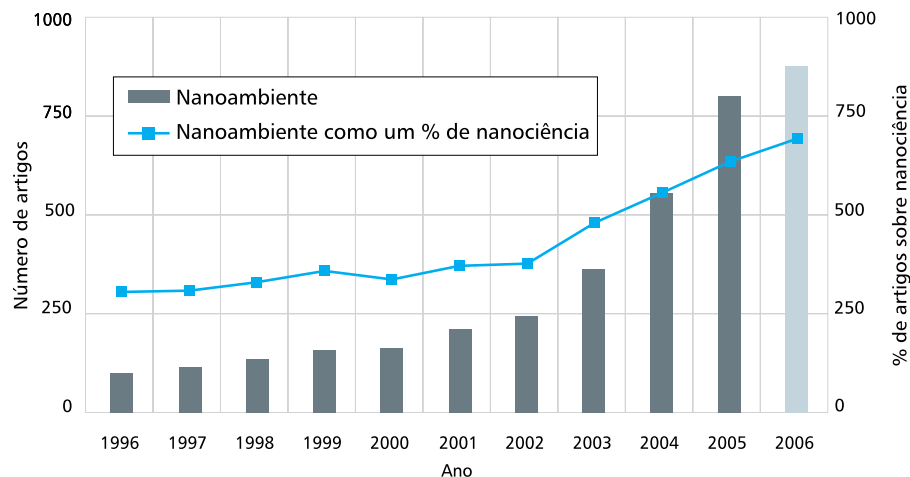
Na sequência, apresentam-se os tópicos associados ao tema nanoambiente e os condicionantes de futuro de seu desenvolvimento nos três períodos mencionados. Em seguida, discutem-se os mapas tecnológicos desse tema em dois níveis de abrangência (mundo e Brasil) e o *portfolio* tecnológico estratégico. Apresentam-se os resultados da análise conjunta dos mapas e do *portfolio* com indicação objetiva das aplicações mais promissoras para o país nesse campo. Complementando-se as análises, apontam-se os gargalos e prioridades de ações de suporte para a consecução da visão de futuro construída a partir dos respectivos mapas e *portfolio* tecnológicos. Finalmente, propõem-se as ações de suporte que deverão compor a Agenda INI-Nanotecnologia em curto, médio e longo prazos, referentes ao tema.

8.1 Produção científica em nanoambiente: 1996-2006

Apresenta-se na Figura 8.1 a evolução da produção científica em nanoambiente, expressa pelo número de trabalhos científicos nesta área do conhecimento e pela posição relativa da produção científica em nanoambiente em relação à produção científica em nanociência indexada na base de dados Scopus durante esses 10 anos.



Figura 8.1 Evolução da produção científica sobre nanoambiente e posição relativa do tema em relação à produção científica em nanociência: 1996-2006

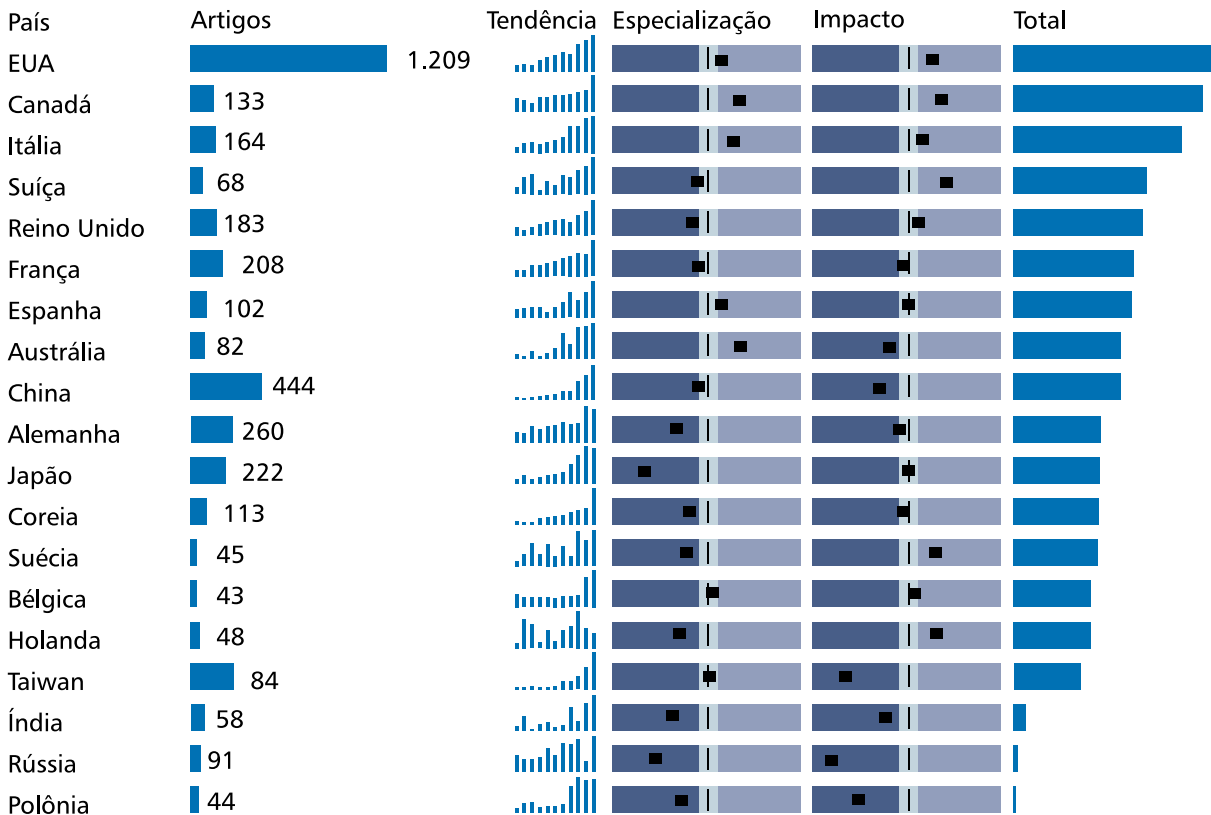


Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.97. Base de dados Scopus.

Ao observar a Figura 8.1, constata-se que na última década o crescimento anual acumulado da área de nanociência foi de 16%, o que significa dobrar sua produção científica a cada 4,8 anos em termos de artigos publicados em revistas especializadas e indexados na base de dados Scopus. A proporção de artigos indexados em nanotecnologia nesta base de dados aumentou de 1,5% para 4,2% durante esses 10 anos, sendo quatro vezes mais rápido do que o crescimento da ciência como um todo. Apesar de todo este crescimento a área de nanoambiente representa hoje apenas 1,5% do total publicado em nanociência, ou seja, 880 artigos relacionados a nanoambiente, de um total de 63.500 publicações na área de nanociência. Por outro lado é importante salientar que recentemente a área de nanoambiente tem apresentado um crescimento surpreendente, com um CAGR de 26%, o que significa duplicar a quantidade de trabalhos científicos publicados sobre o tema a cada três anos, estando apenas atrás do crescimento das áreas de NEMS e energia, o que demonstra a importância crescente deste tema.

Apresenta-se na Figura 8.2 o posicionamento dos países líderes, ordenado de acordo com critérios múltiplos, que incluem o número de artigos publicados, o grau de especialização (SI) e a média relativa de citações (ARC), considerando-se o período de 1996 a 2006.

Figura 8.2 Países líderes em produção científica relacionada a nanoambiente: 1996-2006



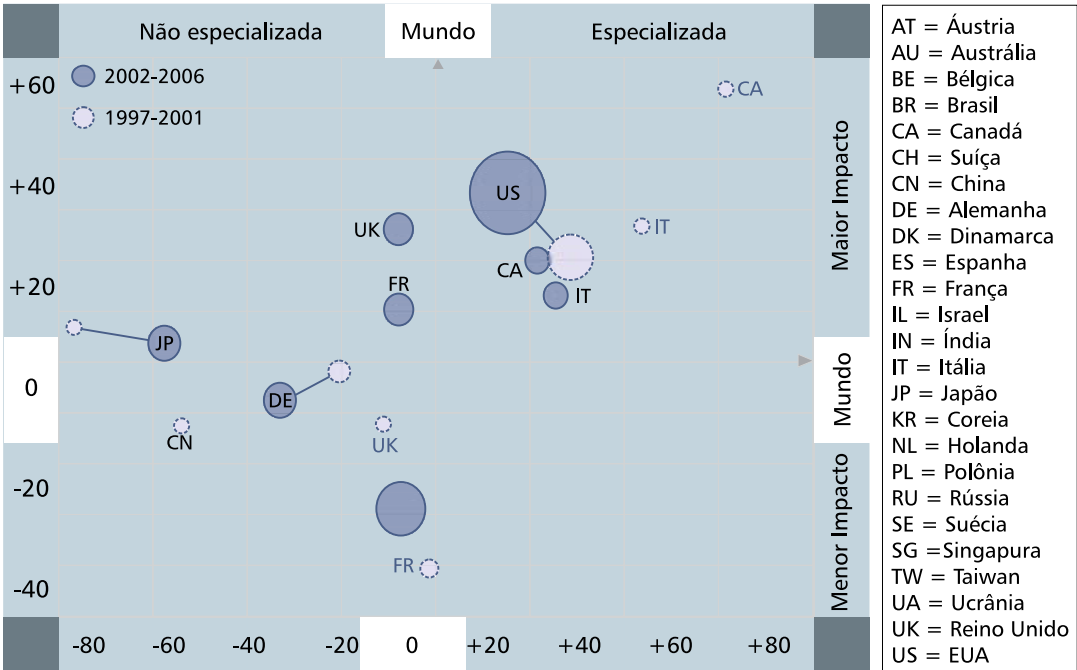
Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.109. Base de dados Scopus.

De acordo com a Figura 8.2, os Estados Unidos da América (EUA) é o líder em produção científica no campo de nanoambiente, com 32% dos artigos publicados sobre o tema desde 1996, demonstrando também um alto grau de especialização e de impacto científico mundial de suas

publicações. O Canadá e a Itália vêm logo atrás quando se usa o multicritério como forma de avaliação, embora a China, a Alemanha e o Japão estejam na frente destes dois países, quando se considera somente o critério “número de artigos publicados”. A Austrália é o país com o maior índice de especialização no tema ($SI = 1,55$) e a Suíça é o país, cujos artigos publicados sobre o tema têm o maior impacto científico quando se compara aos demais países do *ranking* ($ARC = 1,56$).

A Figura 8.3 mostra em outro formato o posicionamento dos países líderes em publicações sobre nanoambiente em relação aos dois índices: SI e ARC. São considerados na montagem deste diagrama dois períodos de análise: 1997-2001 e 2002 a 2006.

Figura 8.3 Posição dos países em relação à produção científica em nanoambiente: 1997-2001 e 2002-2006



Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p.99. Base de dados Scopus

Os dados da Figura 8.3 revelam que o número de publicações de vários países cresceu exponencialmente entre 1999 e 2005.

Pouquíssimas empresas publicam nesse campo, sendo a Dupont a mais especializada em nanoambiente, com grau de especialização (SI) de 8,81, porém com apenas 11 artigos publicados no período.

Na Tabela 8.1, apresentam-se as universidades líderes em produção científica em nanoambiente no mundo, classificadas segundo os mesmos critérios: grau de especialização (SI) nesse campo em relação à sua produção científica em nanociência e o número total de trabalhos publicados sobre o tema.

Tabela 8.1 Universidades com atuação de destaque na área de nanoambiente: 1996-2006

Universidade	País	Artigos	Especialização
Univ. of Texas El Paso	EUA	11	23,00
Queensland Univ. of Tech	Austrália	19	20,74
Lehigh Univ.	EUA	27	10,89
Univ. of Edinburgh	Reino Unido	17	7,74
Univ. of Miami	EUA	15	7,05
Stockholm Univ.	Suécia	15	6,89
Univ. of Cincinnati	EUA	23	6,39
Univ. of Helsinki	Finlândia	13	5,78
Rice	EUA	38	5,44
Kansas State Univ.	EUA	11	5,02
Michigan State	EUA	23	4,98
Univ. of Iowa	EUA	10	4,55
Univ. of Waterloo	Canadá	10	4,28
Univ. of Kentucky	EUA	15	3,77
Texas A&M	EUA	24	3,69

continua...



continuação da Tabela 8.1

Universidade	País	Artigos	Especialização
Carnegie Mellon	EUA	19	3,60
Univ. of Colorado Boulder	EUA	14	3,60
Huazhong Univ. of Sci & Tech	China	14	3,23
Univ. of Birmingham	Reino Unido	12	3,19
Xiamen Univ.	China	12	3,17
Wuhan Univ. of Sci & Tech	China	10	3,11

Fonte: Adaptada de Science-Metrix (2008), p. 101. Base de dados Scopus.

A *University of Texas El Paso*, dos EUA, é a mais especializada em nanoambiente (SI= 23,00), apesar de sua produção ser menos de 1/3 da primeira colocada em número de publicações: a *Rice University*, também americana. Outras universidades de destaque pela sua especialização em nanoambiente são a *Queensland University of Technology*, da Austrália, a *Leigh University*, dos EUA, e a *Univeristy of Edimburgh*, do Reino Unido, com 9, 27 e 17 artigos, respectivamente.

Face à ausência de informações, no estudo da Science-Metrix, sobre a produção científica do Brasil em nanoambiente, buscou-se complementar as informações apresentadas nas Figuras 8.2 e 8.3 com um estudo bibliométrico na base de dados *Web of Science*, compreendendo o mesmo período (1996-2006). Utilizou-se como estratégia de busca o termo “nano*” com o filtro “título”, para, em seguida, restringir os primeiros resultados às áreas de especialização indexadas nessa base que mencionam a área de meio ambiente. Como resultado final, a busca revelou um total de 3.383 artigos publicados nesse período, número bem próximo ao apresentado pela Science-Metrix (Figura 8.4).

A Figura 8.4, a seguir, mostra a produção científica em nanoambiente por país (*top 20*) no período 1996-2006, incluindo a contribuição do Brasil, que se encontra na 18ª posição desse *ranking*, com 45 artigos publicados.

Explica-se o fato do Brasil não ter aparecido entre os destaques na Figura 8.2, uma vez que aquele *ranking* é formado com base na conjugação de três critérios: número de artigos publicados, grau de especialização e impacto científico. De fato, ao se comparar a produção científica dos países nesse campo, considerando-se apenas o primeiro critério, verifica-se que os resultados apresentados nos dois *rankings* estão muito próximos.

Figura 8.4 Produção científica em nanoambiente, classificadas por país: 2004-2008

País/Território	Contagem de Registro	% de 3.283	Gráfico de Barras
Eua	1.324	40,3290%	
China	397	12,0926%	
Japão	268	8,1633%	
Alemanha	244	7,4322%	
França	214	6,5184%	
Inglaterra	147	4,4776%	
Itália	146	4,4472%	
Coreia do Sul	116	3,5334%	
Canadá	94	2,8632%	
Espanha	88	2,6805%	
Índia	83	2,5282%	
Taiwan	70	2,1322%	
Suíça	66	2,0104%	
Rússia	63	1,9190%	
Austrália	60	1,8276%	
Holanda	59	1,7971%	
Suécia	50	1,5230%	
Brasil	45	1,3707%	
Singapura	44	1,3402%	
Bélgica	36	1,0966%	

Fonte: Adaptada da base de dados *Web of Science*. Acesso em: dez 2008.

Finalmente, na Figura 8.5, apresentam-se as instituições vinculadas aos autores brasileiros de artigos publicados sobre nanoambiente no período 1996-2006, destacando-se a Universidade de São Paulo com 14 trabalhos.

Figura 8.5 Produção científica brasileira em nanoambiente, classificada por instituição: 2004-2008

Nome da Instituição	Contagem de Registro	% de 45	Gráfico de Barras
Univ. de São Paulo	14	31,1111%	
Univ. Estadual de Campinas	4	8,8889%	
MIT	3	6,6667%	
Unesp	3	6,6667%	
Univ. Federal do Ceará	3	6,6667%	
Univ. Federal de Santa Catarina	3	6,6667%	
Univ. Federal de São Carlos	3	6,6667%	
USP	3	6,6667%	
Yale Univ.	3	6,6667%	
Lab Nacl Luz Sincroton	2	4,4444%	
Texas Christian Univ.	2	4,4444%	
Unicamp	2	4,4444%	
Univ. Aveiro	2	4,4444%	
Univ. Calif. Berkeley	2	4,4444%	
Univ. Federal do Rio de Janeiro	2	4,4444%	
Univ. Federal do Rio Grande do Sul	2	4,4444%	

Fonte: Adaptada da base de dados *Web of Science*. Acesso em: dez 2008.

8.2 Propriedade intelectual em nanoambiente: 2004-2008

Para esta seção, a exemplo do tema energia, realizou-se um estudo bibliométrico sobre a propriedade intelectual em nanoambiente, em ní-

vel mundial, a partir de consulta às bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. Considerando-se o período 2004-2008 e utilizando-se os termos “nano*” e “enviroment*” e o filtro “tópico”, foram localizadas 2.475 patentes.

A Figura 8.6 mostra a evolução do número de patentes nesse campo no período 2004-2008, destacando-se o ano de 2008, com 1.033 patentes indexadas, o que representa um percentual significativo de 41,73% do total de patentes em nanoambiente em todo o período consultado.

Figura 8.6 Evolução do nº de patentes em nanoambiente: 2004-2008

Ano de Publicação	Contagem de Registro	% de 2.475	Gráfico de Barras
2008	1.033	41,7374%	
2007	528	21,3333%	
2006	333	13,4545%	
2005	327	13,2121%	
2004	254	10,2626%	

Fonte: Adaptada das bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. Acesso em: dez 2008.

Na sequência, a Figura 8.7 apresenta o mesmo conjunto de patentes, classificadas por áreas de especialização, conforme sistema de indexação das referidas bases.



Figura 8.7 Patentes em nanoambiente, classificadas por área de especialização: 2004-2008 (critério “top 10”)

Área Temática	Contagem de Registro	% de 2.475	Gráfico de Barras
Química	2.063	83,3535%	
Engenharia	1.519	61,3737%	
Instrumentos e instrumentação	1.325	53,5354%	
Ciência dos polímeros	983	39,7172%	
Farmacologia e farmácia	456	18,4242%	
Ciência das imagens e tecnologia fotográfica	311	12,5657%	
Biotecnologia e microbiologia aplicada	265	10,7071%	
Ciência dos materiais	251	10,1414%	
Energia e combustíveis	22	8,9697%	
Metalurgia e engenharia metalúrgica	173	6,9899%	

Fonte: Adaptada das bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. Acesso em: dez 2008.

Observa-se que percentuais significativos referem-se às áreas de química (83,35%); engenharia (61,37%), instrumentação e instrumentos (53,53%) e ciência dos polímeros (39,71%).

A Figura 8.8 apresenta os principais depositantes de patentes em nanoambiente do mundo, considerando-se o mesmo conjunto de patentes identificadas previamente.

Figura 8.8 Patentes em nanoambiente, classificadas por depositante: 2004-2008 (critério “top 21”)

Autor	Contagem de Registro	% de 2.475	Gráfico de Barras
Wang J	42	1,6970%	█
Li X	32	1,2929%	█
Wang Y	32	1,2929%	█
Wang X	30	1,2121%	█
Li Y	29	1,1717%	█
Zhang Y	28	1,1313%	█
Univ. California	27	1,0909%	█
Univ. Shanghai Jiaotong	27	1,0909%	█
Zhang J	26	1,0505%	█
Dokuritsu Gyosei Hojin Sangyo Gijutso So	24	0,9697%	█
Univ. Qinghua	23	0,9293%	█
Li J	22	0,8889%	█
Liu X	22	0,8889%	█
Wang Z	22	0,8889%	█
Zhang X	22	0,8889%	█
Chen J	21	0,8485%	█
Chen Y	21	0,8485%	█
Zhang L	20	0,8081%	█
Liu J	19	0,7677%	█
Univ. Zhejiang	19	0,7677%	█
3M Innovative Properties Co.	18	0,7273%	█

Fonte: Adaptada das bases de dados *Web of Science* e *Derwent Innovations Index*. Acesso em: de 2008.

Ao se analisar o *ranking* dos 21 principais depositantes nesse campo, observa-se que as seis primeiras posições são ocupadas por autores chineses, totalizando um conjunto de 193 patentes, seguidos pela University of Califórnia, dos EUA, e pela University of Shanghai Jiaotong, da China, ambas com 27 patentes, em um total de 6.303 depositantes no período considerado (Figura 8.8).



Observa-se que, dentre os 21 depositantes, aparecem somente duas empresas: a Dokuritsu Gyosei Hojin Sanjyo Gijutsu So, do Japão, com 24 patentes, e a 3M Innovative Properties, dos EUA, com 18 patentes.

8.3 Tópicos associados ao tema nanoambiente

Uma descrição sucinta de cada um dos tópicos selecionados para o estudo prospectivo e os respectivos setores da economia que deverão ser impactados pelo desenvolvimento das respectivas nanotecnologias é apresentada no Quadro 8.1.

Quadro 8.1 Tópicos associados ao tema nanoambiente e setores mais impactados

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Setores impactados
T6a	Nanossensores para aplicação ambiental	Compreendem sensores nanoestruturados para detecção e/ou quantificação de pesticidas, nutrientes e metais; biossensores baseados em enzimas e material genético para detecção e/ou quantificação de contaminantes ou nutrientes orgânicos de origem agrícola, industrial e natural presentes em água, em solos, atmosfera e nos produtos agrícolas.	Agroindústrias, biocombustíveis e meio ambiente
T6b	Membranas e filtros para uso ambiental	Referem-se a membranas e filtros nanoestruturados com a propriedade de permitir o transporte seletivo de componentes de uma mistura em seus componentes líquidos ou em fase gasosa. Nota: para efeito da construção do <i>portfolio</i> tecnológico estratégico, esse tópico foi desdobrado em: T6b¹ – Membranas e filtros para gases e T6b² – Membranas e filtros para líquidos orgânicos.	Setores industriais em geral, agroindústrias e meio ambiente
T6c	Nanomateriais para controle microbiano em meio ambiente, alimentos e bioprocessos	Desenvolvimento de nanomateriais bioativos para controle e/ou eliminação de contaminação microbiana.	Agroindústrias, alimentos, têxtil, medicina e saúde, higiene, perfumaria e cosméticos, plásticos e meio ambiente

continua...

Ref.	Tópicos associados	Descritivo	Setores impactados
T6d	Nanodispositivos para tratamento de água e resíduos	Referem-se a interações entre nanoestruturas e o meio ambiente, tendo em vista o desenvolvimento de dispositivos e processos para separação, tratamento e remediação de resíduos.	Setores industriais em geral, agroindústrias e meio ambiente
T6e	Nanomateriais com atividade catalítica para meio ambiente	Desenvolvimento de catalisadores para gás natural e biocombustíveis. Nota: para efeito da construção do <i>portfolio</i> tecnológico estratégico, esse tópico foi desdobrado em: T6e¹ – atividade catalítica: biocombustíveis e gás natural (gaseificação e dessulfurização de carvão) e T6e² – atividade catalítica: consolidação da tecnologia.	Automotivo, petróleo, gás natural e petroquímica, e meio ambiente
T6f	Técnicas de monitoramento e diagnóstico de nanomateriais	Compreendem técnicas e sensores para detecção, monitoramento e diagnóstico de nanopartículas em, alimentos, no meio ambiente e em seres vivos	Medicina e saúde
T6g	Sistemas nanoestruturados para liberação controlada de nutrientes, pesticidas e fármacos	Referem-se ao desenvolvimento de sistemas nanoestruturados para liberação controlada de nutrientes, pesticidas e fármacos, para otimizar a dosagem e minimizar os impactos ambientais.	Agroindústrias, medicina e saúde, fabricação de fármacos, e meio ambiente
T6h	Nanomateriais de fontes renováveis e/ou biodegradáveis	Referem-se ao desenvolvimento de processos para produção de materiais de fonte renovável e/ou biodegradável com impactos reduzidos no meio ambiente.	Petróleo, gás natural e petroquímica, agroindústrias, indústria química, cosméticos, biocombustíveis e meio ambiente
T6i	Análise de ciclo de vida de nanomateriais	Compreende o desenvolvimento de metodologias para análise de ciclo de vida, análises toxicológicas, reprocessamento e reciclagem, e aspectos de legislação e regulamentação para emissão de relatórios de impacto ambiental.	Nanometrologia, sociedade, educação e meio ambiente

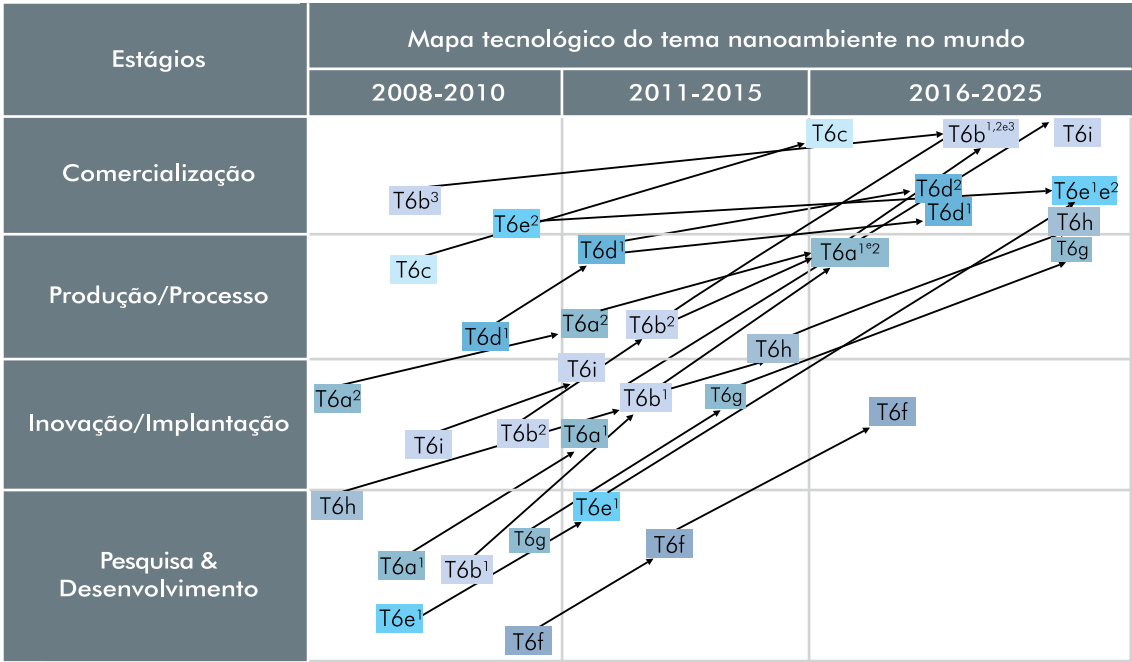
8.4 Mapa tecnológico no mundo: 2008-2025

A Figura 8.9 mostra os resultados da construção do mapa tecnológico abordando os tópicos associados ao tema nanoambiente no mundo, compreen-



dendo as trajetórias projetadas para cada um dos temas, nos períodos entre 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025. No mundo já existe uma série de aplicações decorrentes dessas tecnologias, situando-se em diferentes fases do mapa tecnológico – P&D, inovação/implantação; produção/processo; ou estágio de comercialização, conforme representado na Figura 8.9.

Figura 8.9 Mapa tecnológico de nanoambiente no mundo (2008-2025)



Notação 1: **T6a¹** – Nanossensores: sensores nanofotônicos (optudos), sensores nanoeletrônicos e nanobiossensores; **T6a²** – Nanossensores: sensores eletroquímicos, biossensores e sensores fotônicos; **T6b¹** – Membranas e filtros para gases; **T6b²** – Membranas e filtros para líquidos orgânicos; **T6b³** – Membranas e filtros: água/pereva-poração; **T6b^{1,2e3}** – Membranas e filtros: integração como componente na intensificação de processos químicos; **T6c¹** – Materiais para controle microbiano: nanopartículas de metais e óxidos metálicos; **T6c²** – Materiais para controle microbiano: componente rotineiro de produtos acabados; **T6d** – Tratamento de águas e resíduos; **T6d¹** – Tratamento de água e resíduos: reuso parcial de água em processos industriais; **T6d²** – Tratamento de água e resíduos: reuso total (efluente zero) de água em processos industriais; **T6d³** – Tratamento de água e resíduos: transformação de resíduos em produtos de maior valor agregado; **T6e¹** – Atividade catalítica: biocombustíveis e gás natural (gaseificação e dessulfurização de carvão); **T6e²** – Atividade catalítica: consolidação da tecnologia; **T6f** – Técnicas de monitoramento e diagnóstico; **T6g** – Sistemas de liberação controlada; **T6h¹** – Nanomateriais & fontes renováveis: desenvolvimento de processos; **T6h²** – Nanomateriais & fontes renováveis: desenvolvimento de produtos; **T6h³** – Nanomateriais & fontes renováveis: produtos acabados; **T6i¹** – Ciclo de vida: atendimento ao marco regulatório e à legislação; **T6i²** – Ciclo de vida: parte integrante do sistema produtivo.

Fonte: CGEE (2008)

Dentre as aplicações mais importantes, destacam-se: nanossensores; sensores eletroquímicos; biossensores e sensores fotônicos; membranas e filtros para líquidos orgânicos; análise de ciclo de vida; atendimento ao marco regulatório e à legislação; desenvolvimento de processo de produção de nanomateriais de fontes renováveis; sistemas de liberação controlada; nanopartículas de metais e óxidos metálicos para controle microbiano no tratamento de águas e resíduos; atividade catalítica, membranas e filtros para purificação de água.

Vale ressaltar a importância que vem sendo dada, em nível mundial, à realização da análise do ciclo de vida de produtos nanotecnológicos desde a fase de produção industrial, por exemplo, de nanopartículas com propriedades bactericidas para uso em embalagens com a finalidade de aumentar o tempo de prateleira e a segurança de produtos alimentícios, até a avaliação de não contaminação dos alimentos por essas partículas e/ou eventual análise toxicológica destas na saúde humana (**T6i¹** e **T6i²**). O estudo, que esses novos materiais podem vir a ter, deve ser realizado nas diferentes etapas de contato com o ser humano e com o meio ambiente, desde a sua produção até o descarte final no meio ambiente.

8.5 Mapa tecnológico do Brasil: oportunidades estratégicas no período 2008-2025

A Figura 8.10 mostra os resultados da construção do mapa tecnológico dos tópicos associados ao tema nanoambiente no Brasil, compreendendo as trajetórias projetadas para cada um dos temas, nos períodos entre 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025.

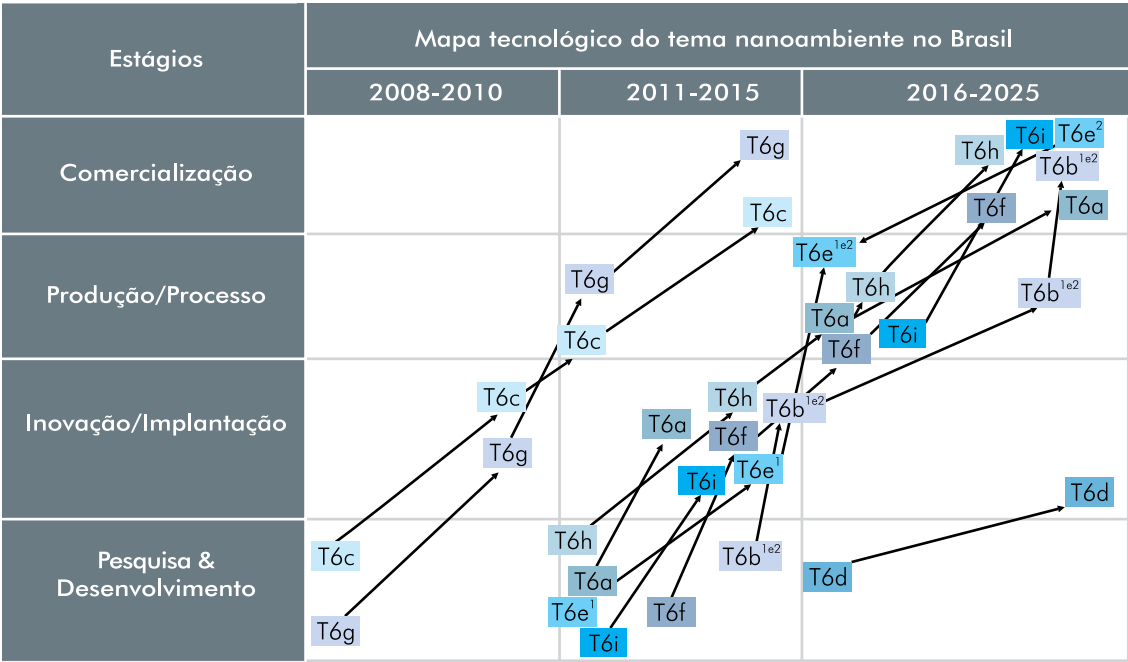
Existem grandes possibilidades e inúmeras oportunidades de utilizar a nanotecnologia para minimizar o uso de insumos poluentes, monitorar a



quantidade destes na agricultura e no meio ambiente, amenizar a poluição possivelmente causada no meio ambiente e, finalmente, possibilitar o desenvolvimento de novos produtos de fonte renovável e biodegradáveis.

No entanto, é de extrema importância o desenvolvimento de técnicas de monitoramento e diagnóstico de nanomateriais, para investir na avaliação nanotoxicológica e análise do ciclo de vida de produtos nanotecnológicos e determinar as formas apropriadas e seguras de produção, manejo de produtos nanotecnológicos gerados pelos mais diferentes setores, assim como de possíveis resíduos de nanopartículas gerados durante o processo de produção, de descarte industrial, ou uso do produto final, que devem ser adequadamente gerenciados.

Figura 8.10 Mapa tecnológico de nanoambiente no Brasil (2008-2025)



Notação: **T6a** – Nanossensores; **T6b¹** – Membranas e filtros para gases; **T6b²** – Membranas e filtros para líquidos orgânicos; **T6b³** – Membranas e filtros: água/perevaporação; **T6c** – Materiais para controle microbiano; **T6d** – Tratamento de águas e resíduos; **T6e¹** – Atividade catalítica: biocombustíveis e gás natural; **T6e²** – Atividade catalítica: consolidação da tecnologia; **T6f** – Técnicas de monitoramento e diagnóstico; **T6g** – Sistemas de liberação controlada; **T6h** – Nanomateriais & fontes renováveis; **T6i** – Ciclo de vida.

Fonte: CGEE (2008)

Com múltiplas oportunidades, é essencial que o país avance nestes tópicos para aproveitar, da melhor forma possível, todo o potencial de benefícios que a nanotecnologia oferece para a área ambiental. Nesse sentido, a análise do *portfolio* tecnológico estratégico do tema nanoambiente representado pela Figura 8.11 auxilia na identificação das aplicações mais promissoras, por classificar os tópicos associados a esse tema segundo dois critérios: (i) sustentabilidade, calculada em função do impacto econômico e socioambiental das aplicações potenciais do tema; (ii) grau de esforço para atingir o posicionamento desenhado no mapa tecnológico (Figura 8.10).

Figura 8.11 *Portfolio* tecnológico estratégico de nanoambiente no Brasil (2008-2025)



Notação: **T6a** – Nanossensores para aplicação ambiental; **T6b¹** – Membranas e filtros para gases; **T6b²** – Membranas e filtros para líquidos orgânicos; **T6c** – Nanomateriais para controle microbiano em meio ambiente, alimentos e bioprocessos; **T6d** – Nanodispositivos para tratamento de água e resíduos; **T6e¹** – Nanomateriais com atividade catalítica para biocombustíveis e gás natural; **T6e²** – Nanomateriais com atividade catalítica: consolidação da tecnologia; **T6f** – Técnicas de monitoramento e diagnóstico de nanomateriais; **T6g** – Sistemas de entrega e liberação controlada de nutrientes e defensivos agrícolas; **T6h** – Nanomateriais de fontes renováveis ou biodegradáveis e **T6i** – Análise de ciclo de vida de nanomateriais.

Fonte: CGEE (2008)

A análise do *portfolio* tecnológico da Figura 8.11 aponta as aplicações para o meio ambiente consideradas como “apostas”, aquelas referentes aos seguintes tópicos: nanossensores para aplicação ambiental (**T6a**); membranas e filtros para gases (**T6b¹**); membranas e filtros para líquidos orgânicos (**T6b²**); nanomateriais com atividade catalítica para biocombustíveis e gás natural (**T6e¹**); nanomateriais com atividade catalítica: consolidação da tecnologia (**T6e²**); técnicas de monitoramento e diagnóstico de nanomateriais (**T6f**); e sistemas de entrega e liberação controlada de nutrientes e defensivos agrícolas (**T6g**).

Os tópicos “nanodispositivos para tratamento de água e resíduos” (**T6d**); “nanomateriais de fontes renováveis ou biodegradáveis” (**T6h**) e “análise do ciclo de vida de nanomateriais” (**T6i**) situam-se no quadrante “desejável” do *portfolio* tecnológico estratégico, significando que esses tópicos são de alta sustentabilidade, porém suas trajetórias como preconizadas no mapa da Figura 8.10, poderão ser viabilizadas com menor grau de esforço, quando comparadas com as dos tópicos anteriores.

Já o tópico “nanomateriais para controle microbiano em meio ambiente, alimentos e bioprocessos” (**T6c**) foi situado na posição ideal do *portfolio* pois, com menor grau de esforço, consegue-se atingir as metas tecnológicas e de produção prospectadas na mapa da Figura 8.10.

8.6 Mapa estratégico no Brasil: condicionantes de futuro e prioridades da Agenda INI-Nanotecnologia

Apresentam-se, a seguir, os condicionantes do desenvolvimento das nanotecnologias voltadas para a preservação do meio ambiente no Brasil em três períodos distintos. A visão de futuro construída para o Brasil no que se refere ao tema nanoambiente estará sujeita a vários condicionantes e à implementação de ações de suporte, conforme mostrado no Quadro 8.2 e na Figura 8.12, a seguir.

Quadro 8.2 Condicionantes do futuro do desenvolvimento do tema nanoambiente no Brasil

Condicionantes do futuro do desenvolvimento das aplicações do tema nanoambiente no Brasil		
2008-2010	2011-2015	2016-2025
• Educação em todos os níveis. • Difusão científica. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • RH em nível técnico e graduado. • Disponibilidade de Insumos básicos para P&D e Profusão. • Impactos da nanotecnologia (estado da arte mundial). • Lançamento de produtos com características únicas impulsionando novas indústrias. • Regulamentação técnica e metrologia vinculadas nanotecnologia. • Continuidade da nanotecnologia como prioridade do Estado (CT&I e política industrial). • Percepção da sociedade quanto ao valor das nanotecnologias.	• Educação em todos os níveis. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • Insumos. • Impactos. • Maior volume de capital de risco. • Parcerias público-privadas. • Lançamento de produtos com características únicas impulsionando novas indústrias. • Regulamentação técnica e metrologia vinculadas à nanotecnologia. • Continuidade da nanotecnologia como prioridade do Estado (CT&I e política industrial). • Nanoética (legislação, <i>risk assessment</i> institucionalizado, valores em relação ao uso das nanotecnologias).	• Educação em todos os níveis. • Melhores condições de segurança de trabalho. • Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte. • Lançamento de produtos com características únicas impulsionando novas indústrias. • Diminuição das barreiras técnicas. • Legislação ambiental mais restritiva. • Regulamentação técnica e metrologia vinculadas à nanotecnologia. • Continuidade da nanotecnologia como prioridade do Estado (CT&I e política industrial). • Nanoética.

Fonte: CGEE (2008)



Na sequência, a Figura 8.12 mostra o mapa estratégico para o desenvolvimento dos tópicos associados ao tema nanoambiente no Brasil, nos períodos prospectados entre 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025.

É importante ressaltar que, nos próximos anos, existirá uma necessidade premente de ações de incentivo à formação e capacitação de recursos humanos (**RH**), para que o país possa expandir sua capacidade de atuação, de inovação e, efetivamente, garantir o desenvolvimento de CT&I em nanotecnologia e em especial das aplicações voltadas para a preservação do meio ambiente.

Certamente essas ações devem estar associadas a investimentos para consolidar e expandir a infraestrutura física (**IE**) das instituições públicas e privadas, com o objetivo de promover condições para que elas concentrem esforços em nanotecnologia, inclusive apoiando o surgimento de novas empresas de base tecnológica.

Esses investimentos devem também abranger ações de fomento (**INV**), utilizando os diversos mecanismos de apoio disponíveis, de modo a prover fontes adequadas de financiamento, inclusive de natureza não reembolsável, o que é de extrema importância para a formação de empresas ou rede de empresas inovadoras em nanotecnologia.

Estágios	Mapa estratégico do tema nanoambiente no Brasil		
	2008-2010	2011-2015	2016-2025
Comercialização			
Produção/Processo			
Inovação/Implantação			
Pesquisa & Desenvolvimento			

Legenda:

- RH
- Infraestrutura
- Aspectos de mercado
- Marco regulatório
- Investimento
- Aspectos éticos

Notação 2: **RH** – Recursos Humanos; **IE** – Infraestrutura; **INV** – Investimentos; **MR** – Marco regulatório; **AE** – Aspectos éticos e aceitação pela sociedade; **AM** – Aspectos de mercado.

O sucesso da inovação de produtos nanotecnológicos, assim como ocorre para outros produtos, depende fundamentalmente de aspectos mercadológicos (**AM**) como inserir alguns exemplos. Outro ponto chave é a influência de aspectos éticos (**AE**) e socioculturais, geralmente relacionados à incorporação de novas tecnologias e sua aceitação pela sociedade.

No caso da nanotecnologia, que pode gerar produtos com partículas invisíveis ao olho nu, e cujos impactos ainda precisam ser melhor avaliados, a definição de marcos regulatórios é essencial (**MR**), para que certas aplicações da nanotecnologia possam chegar até o mercado de forma responsável, com riscos avaliados e medidas de segurança devidamente definidas e regulamentadas, especialmente na área de meio ambiente.

Notas

⁴⁸ SCIENCE-METRIX (2008). **Nanotechnology World R&D Report 2008**. Serie R&D Reports Examining Science and Technology. Montreal: Science-Metrix Inc., p. 185.

⁴⁹ SCIENCE-METRIX (2008). Ibid.

9. Agenda INI-Nanotecnologia: :
ações de suporte ao
desenvolvimento das aplicações
mais promissoras

A agenda é ampla, está em total alinhamento com trabalhos em curso no âmbito do Programa Nacional de Nanotecnologia e em consonância com a linha de ação # 7 da prioridade estratégica III do Plano de Ação em CT&I (PACTI), cujas ações vêm sendo executadas de forma articulada e coordenada por diversos ministérios, tendo à frente o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT).

Apresenta-se a Agenda INI-Nanotecnologia, composta de seis partes, focalizando as aplicações promissoras de cada tema, com proposição de diretrizes e ações de suporte ao seu desenvolvimento.

Neste estudo, as ações e diretrizes que comporão a Agenda INI-Nanotecnologia vinculam-se diretamente aos tópicos tecnológicos e suas trajetórias em cada tema selecionado, com a indicação dos estágios em que os mesmos se encontram nos respectivos mapas tecnológicos. Nos quadros sequenciais que compõem a Agenda, essas indicações são mostradas logo abaixo da linha do tempo, segundo os três horizontes temporais considerados: 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025.

9.1 Nanomateriais

Grande parte das projeções desenhadas pelos especialistas nas referidas Oficinas de Trabalho e que foram apontadas como oportunidades estratégicas no Capítulo 3, dependem fundamentalmente da organização, suplementação, potencialização e consolidação da capacidade nacional de pesquisa e desenvolvimento tecnológico que dará suporte ao processo de inovação.

Na cadeia de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanomateriais, o primeiro grupo de ações prioritárias refere-se à área de recursos humanos, conforme apresentado no Quadro 9.1. Nele, são apresentadas seis ações prioritárias voltadas para o curto, médio e o

longo prazo, que foram consideradas no âmbito da INI-Nanotecnologia como impulsionadoras-chaves das trajetórias de inovação mostradas no mapa estratégico da Figura 3.8.

Quadro 9.1 Recursos humanos: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanomateriais

Situação atual: 2008

2008-2010	2011-2015	2016-2025
P&D: T1a, T1b ¹ , T1d, T1e Inovação: T1d e T1b ²	P&D: T1c ² , T1c ¹ , T1b ¹ Inovação: T1a, T1e Produção: T1b ² , T1d Comercialização: T1b ² , T1d	P&D: T1c ² , T1b ³ Inovação: T1c ¹ , T1b ¹ Produção: T1a, T1e, T1c ¹ Comercialização: T1a, T1e, T1c ¹
1. Identificar e reforçar os cursos de nível técnico de laboratório para apoio ao desenvolvimento de PD&I. Principais Atores: Escolas técnicas estaduais e federais, MEC, Capes, CNPq, MCT, Finep,CNI, FAPs e empresas.		
2. Analisar e adequar os programas dos cursos de pós-graduação com atuação em Nanotecnologia. Principais Atores: MEC, Capes, CNPq, MCT, universidades e empresas.		
3. Criar Programa Nacional de Recursos Humanos em Nanotecnologia. Principais Atores: MEC, Capes, CNPq, MCT, universidades e empresas.		
4. Estimular a formação de pessoal em Nanotecnologia com perfil de gestor (empreendedorismo, gestão da inovação etc.). Principais Atores: Anprotec, Abipti, Capes, CNPq, MCT, Finep,CNI, Anpei, FAPs e empresas.		
	5. Formar engenheiros, físicos e químicos de Materiais. Principais Atores: MEC, Capes, CNPq, MCT, universidades e empresas.	
	6. Formar especialistas em Marketing com ênfase em Nanotecnologia. Principais Atores: MEC, Capes, CNPq, MCT, universidades e empresas.	

Visão de futuro: 2025

Fonte: CGEE (2008)

De fato, as questões de recursos humanos (**RH**) nos mais diferentes níveis, técnico, superior e pós-graduação, são prioritárias no mapa estratégico representado na Figura 3.8, uma vez que, mesmo para cenários conservadores do mercado de nanomateriais no Brasil, antecipam-se hoje carências de pessoal nos referidos níveis. Não obstante os recursos humanos sejam de alta qualificação, estão em quantidades insuficientes, especialmente de



nível técnico, mestres e doutores. Tal situação constitui um gargalo crítico no horizonte de curto prazo, no qual recursos e mecanismos devem ser acionados na formação de recursos humanos em nanociência e nanotecnologia em todos os níveis, técnicos, graduados, mestres e doutores.

Na sequência, o segundo grupo de ações prioritárias refere-se à dimensão “infraestrutura” (IE), conforme apresentado no Quadro 9.2. Nele, são propostas quatro ações prioritárias voltadas para o curto, médio e o longo prazo, que foram também consideradas no âmbito da INI-Nanotecnologia como impulsionadoras-chaves das trajetórias de inovação mostradas no mapa tecnológico da Figura 3.6. Conforme pode ser constatado na Figura 3.8, que representa o mapa estratégico de nanomateriais, a dimensão infraestrutura (IE) se encontra em situação favorável, embora ainda carente de facilidades nacionais abertas com equipamentos de grande porte. Torna-se fundamental a alocação de recursos para a aquisição de equipamentos de grande porte para laboratórios nacionais ou regionais e para a modernização do parque laboratorial das universidades e institutos de pesquisa brasileiros. Juntamente com a dimensão recursos humanos (RH), a infraestrutura (IE) deverá constituir prioridade no horizonte de curto prazo.

Quadro 9.2 Infraestrutura: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanomateriais

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T1a, T1b ¹ , T1d, T1e Inovação: T1d e T1b ²	P&D: T1c ² , T1c ¹ , T1b ¹ Inovação: T1a, T1e Produção: T1b ² , T1d Comercialização: T1b ² , T1d	P&D: T1c ² , T1b ³ Inovação: T1c ¹ , T1b ¹ Produção: T1a, T1e, T1c ¹ Comercialização: T1a, T1e, T1c ¹	
	1. Manter ou ampliar o Programa de Equipamentos Multiusuários em Nanotecnologia. Principais atores: FAPs, Anpei, CNPq, Abipti, MCT, universidades e ICTs.			
	2. Instalar centros de pesquisa e desenvolvimento em Nanotecnologia: facilidades abertas à academia e à indústria. Principais atores: CNPq, MCT, universidades e empresas.			
	3. Manter ou ampliar o Programa de Redes de Nanotecnologia com focos bem definidos. Principais atores: MCT, universidades e empresas.			
	4. Criar Programa de Instrumentação em Nanotecnologia. Principais atores: FAPs, Anpei, CNPq, Abipti, MCT, universidades e ICTs.			

Fonte: CGEE (2008)

A seguir, no Quadro 9.3 são propostas cinco ações prioritárias relativas à dimensão “investimentos” (**INV**).

Em um horizonte de médio prazo, quando, para a maioria das nanotecnologias abordadas no tema “nanomateriais”, o país estará no momento de passar do estágio de implantação dos novos produtos e processos à produção em larga escala, o principal gargalo será a inexistência de capital de risco e a necessidade de maior volume de investimentos (**INV**). Nesse momento, far-se-á necessária a ação do Estado, por meio de mecanismos como programas de financiamento de longo prazo e programas de compras governamentais.

Quadro 9.3 Investimentos: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanomateriais

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T1a, T1b ¹ , T1d, T1e Inovação: T1d e T1b ²	P&D: T1c ² , T1c ¹ , T1b ¹ Inovação: T1a, T1e Produção: T1b ² , T1d Comercialização: T1b ² , T1d	P&D: T1c ² , T1b ³ Inovação: T1c ¹ , T1b ¹ Produção: T1a, T1e, T1c ¹ Comercialização: T1a, T1e, T1c ¹	
		1. Criar incentivos fiscais para produtos e processos na área de Nanotecnologia. Principais atores: MCT, MS, Mapa, MMA, MDIC, BNDES e agências de fomento, empresas.		
		2. Estimular investimentos em plantas piloto (PIPE Fase 3) da Finep. Principais atores: Finep, empresas, ICTs, universidades.		
		3. Manter e ampliar os editais de Subvenção Econômica com chamadas em Nanotecnologia. Principais atores: Empresas, MCT, MS, Mapa, MMA, MDIC e Finep.		
		4. Criar Programa de Compras Governamentais de produtos de empresas de Nanotecnologia. Principais atores: Casa Civil, MDIC, MCT, MS, Mapa, MMA, MPOG e empresas.		
		5. Ações de estímulo a indústrias e centrais de insumos básicos. Principais atores: MCT, MS, Mapa, MMA, MDIC, BNDES e agências de fomento, empresas.		

Fonte: CGEE (2008)



Na sequência, o Quadro 9.4 apresenta em uma única ação, que deverá ser desdobrada *a posteriori* pelos atores responsáveis. Trata-se de uma ação interministerial (MCT, MDIC e outros órgãos governamentais) para adequação e modernização do marco regulatório, compreendendo questões como regulação, normalização e metrologia, licenciamento de produtos e processos, atendimento a requisitos ambientais, segurança e saúde ocupacional, rotulagem e direitos do consumidor.

Dentre as dimensões da Agenda INI-Nanotecnologia para nanomateriais, a mais importante é o marco regulatório (**MR**). O uso e manipulação de nanopartículas e nanobjetos têm implicações nas relações de trabalho, mais especificamente, na segurança e saúde do trabalhador, no risco ambiental e na saúde do consumidor, impactos esses específicos de nanomateriais. Ao lado de questões mais gerais, como propriedade intelectual e a definição de padrões metrológicos, a regulamentação técnica com certeza terá um papel decisivo para o crescimento do mercado de nanomateriais no país.

Quadro 9.4 Marco regulatório: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanomateriais

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T1a, T1b ¹ , T1d, T1e Inovação: T1d e T1b ²	P&D: T1c ² , T1c ¹ , T1b ¹ Inovação: T1a, T1e Produção: T1b ² , T1d Comercialização: T1b ² , T1d	P&D: T1c ² , T1b ³ Inovação: T1c ¹ , T1b ¹ Produção: T1a, T1e, T1c ¹ Comercialização: T1a, T1e, T1c ¹	
	1. Ação interministerial para adequação e modernização do marco regulatório: regulação, normalização e metrologia, envolvendo o licenciamento de produtos e processos, questões ambientais, segurança do trabalho, direitos do consumidor. Principais atores: Casa Civil, MDIC, MCT, MS, Mapa, MMA, MPOG, empresas, sociedade civil.			

Fonte: CGEE (2008)

Consolida-se a Agenda INI-Nanotecnologia, referente ao tema nanomateriais, com dois subconjuntos de ações de suporte, associadas às dimensões “aspectos éticos e aceitação pela sociedade”, e “aspectos de mercado” (Quadros 9.5 e 9.6, respectivamente). Conforme o mapa estratégico representado na Figura 3.8, essas ações estão diretamente relacionadas aos períodos de 2011 a 2015 e 2016 a 2025, quando são esperadas quebras de paradigmas, com a introdução de novos materiais e nanobjetos e as inovações trazidas pela nanociência não serão mais de caráter incremental. Dentre as ações propostas nos Quadros 9.5 e 9.6, destacam-se aquelas voltadas para a educação científica em todos os níveis, visando conscientizar a sociedade quanto aos benefícios e riscos associados à oferta de novos produtos ou processos baseados em nanotecnologias.

Quadro 9.5 Aspectos éticos e aceitação pela sociedade: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanomateriais

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T1a, T1b ¹ , T1d, T1e Inovação: T1d e T1b ²	P&D: T1c ² , T1c ¹ , T1b ¹ Inovação: T1a, T1e Produção: T1b ² , T1d Comercialização: T1b ² , T1d	P&D: T1c ² , T1b ³ Inovação: T1c ¹ , T1b ¹ Produção: T1a, T1e, T1c ¹ Comercialização: T1a, T1e, T1c ¹	
		1. Promover educação científica em todos os níveis (ensino fundamental, médio, público, em geral – difusão) visando uma sociedade que possua cultura científica, permitindo seu posicionamento frente às novas questões levantadas pela Nanotecnologia. Principais atores: Governo, empresas, universidades, agências reguladoras, agências de fomento, ABC e IDEC.		

Fonte: CGEE (2008)



Quadro 9.6 Aspectos de mercado: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanomateriais

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T1a, T1b ¹ , T1d, T1e Inovação: T1d e T1b ²	P&D: T1c ² , T1c ¹ , T1b ¹ Inovação: T1a, T1e Produção: T1b ² , T1d Comercialização: T1b ² , T1d	P&D: T1c ² , T1b ³ Inovação: T1c ¹ , T1b ¹ Produção: T1a, T1e, T1c ¹ Comercialização: T1a, T1e, T1c ¹	
		1. Criar Programa de Compras Governamentais de Produtos Nanotecnológicos. Principais atores: Casa Civil, MDIC, MCT, MS, Mapa, MMA, MPOG e empresas.		
		2. Implantar mecanismos para redução de barreiras técnicas. Principais atores: MDIC, MCT, MS, Mapa, MMA, ABDI e empresas.		
		3. Manter Programas de Estímulo à Exportação. Principais atores: MDIC, MCT, MS, Mapa, MMA, ABDI e empresas.		

Fonte: CGEE (2008)

Igualmente importantes para os períodos 2011-2015 e 2016-2025 são as ações relacionadas à redução de barreiras técnicas e programas de compras governamentais para produtos baseados em nanotecnologias, com alto impacto socioambiental.

9.2 Nanoeletrônica

Para se alcançar a visão de futuro projetada no mapa tecnológico representado na Figura 4.7 e aproveitar os nichos estratégicos que se apresentam, o país se defronta com uma série de gargalos que precisam ser superados e que estão representados de modo esquemático na Figura 4.9. A superação desses gargalos depende fundamentalmente da organização, suplementação, potencialização e consolidação da capacidade nacional de pesquisa e desenvolvimento tecnológico que dará suporte aos processos de inovação preconizados nos referidos mapas.

O primeiro grupo de ações prioritárias refere-se à área de recursos humanos, conforme apresentado no Quadro 9.7. Nele, são apresentadas cinco ações prioritárias voltadas para o curto, médio e o longo prazo, que foram consideradas no âmbito da INI-Nanotecnologia como impulsionadoras-chaves das trajetórias de inovação em nanoeletrônica mostradas no mapa estratégico da Figura 4.9.

Quadro 9.7 Recursos humanos: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoeletrônica

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T2a ¹ , T2a ² , T2b, 12c ¹ , T2d. Inovação: T2c ² , T2a ³	P&D: T2a ² , T2b, T2d, T2c ³ Inovação: T2a ¹ , T2c ¹ Produção: T2c ² , T2a ³ Comercialização: T2c ² , T2a ³	P&D: - Inovação: T2a ² , T2d, T2c ³ Produção: T2a ¹ , T2b, 12c ¹ Comercialização: T2a ¹ , T2b, T2c ¹	
	1. Formar recursos humanos em diferentes níveis: técnico, superior, mestres e doutores. Principais atores: Escolas técnicas estaduais e federais, MEC, Capes, CNPq, MCT, Finep,CNI, FAPs e empresas.			
	2. Realizar oficinas de especialização técnica em áreas relacionadas à Nanoeletrônica no país e no exterior. Principais atores: MCT, MDIC, universidades locais e internacionais, agências de fomento, FAPs.			
	3. Realizar ações com o intuito de valorizar a carreira de técnico. Principais atores: Escolas técnicas estaduais e federais, MEC, SENAI, Capes, CNPq, MCT, Finep, CNI, FAPs e empresas.			
	4. Criar políticas de incentivo à fixação de técnicos, graduados, pós-graduados em universidades e centros de pesquisa. Principais atores: Capes, CNPq, MCT, FAPs, universidades e ICTs.			
		5. Implementar políticas de incentivo à fixação de técnicos, graduados e pós-graduados em empresas. Principais atores: MEC, Capes, CNPq, MCT, universidades e empresas.		
		6. Formar recursos humanos empresários na área de Nanoeletrônica. Principais atores: MEC, Capes, CNPq, MCT, universidades e empresas.		
		7. Incentivar a formação de recursos humanos no exterior em atividades específicas (exemplo: novas técnicas de disposição de filmes dielétricos para CMOs). Principais atores: MCT, MDIC, universidades locais e internacionais, agências de fomento, FAPs.		

Fonte: CGEE (2008)



Face ao estágio de desenvolvimento da nanoeletrônica no mundo, é necessário um intenso trabalho de pesquisa e formação de recursos humanos (RH) para que o Brasil venha a ocupar uma posição de destaque nessa área. Apesar desse cenário adverso, o Brasil poderá ocupar espaços em nichos tecnológicos, nos quais suas capacidades de P&D e de inovação indicam grande potencial a ser explorado estrategicamente. Alguns exemplos dessas aplicações são: sensores baseados em nanotubos de carbono; células solares; tecnologia *roll to roll*; *displays* OLEDs; dispositivos para aplicações em condições extremas (potência, voltagem, temperatura etc.).

Na sequência, o segundo grupo de ações prioritárias refere-se à dimensão “infraestrutura” (IE), conforme apresentado no Quadro 9.8. Nele, são apresentadas quatro ações prioritárias voltadas para o curto, médio e o longo prazo, que foram também consideradas no âmbito da INI-Nanotecnologia como impulsionadoras-chaves das trajetórias de inovação mostradas no mapa tecnológico da Figura 4.7. Conforme pode ser constatado na Figura 4.9, que representa o mapa estratégico de nanoeletrônica, a dimensão infraestrutura (IE) se encontra em situação favorável, embora ainda carente de facilidades nacionais abertas com equipamentos de grande porte.

Quadro 9.8 Infraestrutura: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoeletrônica

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T2a ¹ , T2a ² , T2b, 12c ¹ , T2d. Inovação: T2c ² , T2a ³	P&D: T2a ² , T2b, T2d, T2c ³ Inovação: T2a ¹ , T2c ¹ Produção: T2c ² , T2a ³ Comercialização: T2c ² , T2a ³	P&D: - Inovação: T2a ² , T2d, T2c ³ Produção: T2a ¹ , T2b, 12c ¹ Comercialização: T2a ¹ , T2b, T2c ¹	
	1. Apoiar a construção e instalação de ambientes de micro e nanofabricação, incluindo técnicas de síntese de matéria-prima e dispositivos. Principais atores: MCT, MDIC, Finep, BNDES, ABDI, Sebrae, Finep e ICTs.			
	2. Criar linhas de fomento específicas para o desenvolvimento de instrumentação. Principais atores: Finep, FAPs, ICTs, empresas, universidades.			
	3. Equipar adequadamente e manter o estado da arte da infraestrutura laboratorial em universidades e centros de P&D. Principais atores: MCT, MDIC, Finep, BNDES, CNPq, universidades e empresas.			
	4. Apoiar o desenvolvimento de ferramentas computacionais para a modelagem de processos, dispositivos e projetos de circuitos. Principais atores: MCT, Finep, CNPq, FAPs, universidades e empresas.			

Fonte: CGEE (2008)

No estágio de P&D do referido mapa estratégico, indicam-se as necessidades de consolidação e expansão da infraestrutura física atual das instituições públicas e privadas (**IE**), dando-se continuidade, por exemplo, às iniciativas ora em curso no âmbito do Programa Nacional de Nanotecnologia⁴⁸, no que tange à nanoeletrônica.

A seguir, no Quadro 9.9, são propostas seis ações prioritárias relativas à dimensão “investimentos” (**INV**). Para o curto e médio prazos, destacam-se duas ações: a criação de *joint-ventures* entre BNDES e *players* internacionais e locais para produção de *displays* OLEDs e/ou células solares baseadas em nanocompósitos para produção local de módulos, bens de capital e insumos associados à cadeia produtiva.

Já no longo prazo, quando, para a maioria das nanotecnologias abordadas no tema “nanoeletrônica”, o país estará no momento de passar do estágio de implantação dos novos produtos e processos para a produção e comercialização em larga escala, o principal gargalo será a inexistência de capital de risco e a necessidade de maior volume de investimentos (**INV**). Nesse momento, far-se-á necessária a ação do Estado, por meio de ações como a disponibilização de recursos para empresas com planos de negócios bem definidos dentro das áreas específicas de aplicações da nanoeletrônica e a implementação de incentivos para *joint-ventures* voltadas à criação de *spin-offs* a partir de resultados de P&D em universidades e centros de pesquisa.



Quadro 9.9 Investimentos: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoeletrônica

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T2a ¹ , T2a ² , T2b, 12c ¹ , T2d. Inovação: T2c ² , T2a ³	P&D: T2a ² , T2b, T2d, T2c ³ Inovação: T2a ¹ , T2c ¹ Produção: T2c ² , T2a ³ Comercialização: T2c ² , T2a ³	P&D: - Inovação: T2a ² , T2d, T2c ³ Produção: T2a ¹ , T2b, 12c ¹ Comercialização: T2a ¹ , T2b, 12c ¹	
	1. Disponibilizar recursos para empresas com Planos de Negócios dentro das áreas específicas de aplicações da Nanoeletrônica. Principais atores: MCT, MS, Mapa, MMA, MDIC, agências de fomento (Finep, CNPq, Capes), BNDES.			
	2. Abrir editais públicos voltados para áreas específicas da Nanotecnologia, em particular da Nanoeletrônica. Principais atores: MCT, MDIC, agências de fomento (Finep, CNPq, Capes), BNDES.			
	3. Incentivar <i>joint-ventures</i> para a criação de <i>spin-offs</i> a partir de resultados de P&D em universidades e centros de pesquisa. Principais atores: universidades, centros de pesquisa, empresas incubadas, investidores privados, agências de fomento, BNDES.			
	4. Estimular parcerias entre as universidades e os centros de pesquisa com empresas de base tecnológica. Principais atores: universidades, centros de pesquisa, empresas incubadas, investidores privados, agências de fomento, BNDES.			
	5. Criar <i>joint-venture</i> entre BNDES e <i>players</i> internacionais e locais de <i>displays</i> OLEDs e/ou células solares baseadas em nanocompósitos para produção local de módulos, bens de capital e insumos associados à cadeia. Principais atores: BNDES, <i>players</i> internacionais e locais de <i>displays</i> OLEDs e/ou células solares baseadas em nanocompósitos.			
6. Adquirir linha piloto de <i>Roll-to-Roll</i> e NEMS para produção piloto em 2011-2015. Principais atores: universidades, centros de pesquisa, agências de fomento.				

Fonte: CGEE (2008)

Os gargalos relacionados às demais dimensões (**MR**, **INV** e **AM**) localizam-se no estágio de produção do mapa estratégico, dependendo da capacidade nacional em cada um dos tópicos estudados, como pode ser observado na Figura 4.9. Os Quadros 9.10, 9.11 e 9.12 apresentam as ações referentes a esses gargalos e que deverão compor a Agenda INI-Nanotecnologia no que tange às aplicações prospectadas nos mapas 4.7 e 4.9.

O Quadro 9.10 apresenta seis ações voltadas para a dimensão “marco regulatório”. Dentre elas, destacam-se a uniformização de regras de licenciamento de patentes em nome da União, criando mecanismos mais ágeis de negociação e, consequentemente, maior segurança legal aos agentes de inovação e a viabilização da infraestrutura nanometrológica no país.

Quadro 9.10 Marco regulatório: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoeletrônica

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T2a ¹ , T2a ² , T2b, 12c ¹ , T2d. Inovação: T2c ² , T2a ³	P&D: T2a ² , T2b, T2d, T2c ³ Inovação: T2a ¹ , T2c ¹ Produção: T2c ² , T2a ³ Comercialização: T2c ² , T2a ³	P&D: - Inovação: T2a ² , T2d, T2c ³ Produção: T2a ¹ , T2b, 12c ¹ Comercialização: T2a ¹ , T2b, 12c ¹	
	1. Mudar a estrutura tributária referente a componentes, desonerando insumos e promovendo mudanças nas NCMs. Principais atores: Congresso Nacional, Casa Civil, MDIC, MCT, MS, Mapa, empresas, instituições setoriais representativas e universidades.			
	2. Estimular o trabalho tecnológico nas ICTs através da mudança das métricas de avaliação de profissionais, de forma a privilegiar o mérito, regulamentando efetivamente a Lei da Inovação e seus dispositivos que permitam complementação e bolsas a pesquisadores estatutários. Principais atores: ICTs, agências de fomento, MDIC, MCT, MS, Mapa.			
	3. Viabilizar as parcerias público-privadas (PPPs). Principais atores: ABDI, BNDES, Agências de fomento, MDIC, MCT, MS, Mapa, empresas, universidades.			
	4. Viabilizar compras governamentais. Principais atores: Casa Civil, MDIC, MCT, MS, Mapa, MMA, MPOG e empresas.			
	5. Uniformizar as regras de licenciamento de patentes em nome da União, criando mecanismos mais ágeis de negociação e criando maior segurança legal aos agentes de inovação. Principais atores: Casa Civil, MDIC, MCT, MS, Mapa, MMA, MPOG, Inpi, ICTs, NITs nas universidades e empresas.			
6. Viabilizar infraestrutura metrológica adequada. Principais atores: MDIC, MCT, MS, Mapa, MMA, MPOG, Inmetro e empresas.				

Fonte: CGEE (2008)

No Quadro 9.11, são apresentadas duas ações de suporte relacionadas à dimensão “aspectos éticos e aceitação pela sociedade”, tendo como



foco a entrada no mercado das aplicações de nanoeletrônica em médio e longo prazo. Para curto prazo, propõe-se a divulgação de informações, através de veículo de massa (TV, rádio, revistas de fácil acesso ao público em geral), sobre o que é nanotecnologia e as aplicações de nanoeletrônica, suas potencialidades bem como sobre a inovação tecnológica e o desenvolvimento socioeconômico de um país.

Quadro 9.11 Aspectos éticos e aceitação pela sociedade: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoeletrônica

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T2a ¹ , T2a ² , T2b, 12c ¹ , T2d. Inovação: T2c ² , T2a ³	P&D: T2a ² , T2b, T2d, T2c ³ Inovação: T2a ¹ , T2c ¹ Produção: T2c ² , T2a ³ Comercialização: T2c ² , T2a ³	P&D: - Inovação: T2a ² , T2d, T2c ³ Produção: T2a ¹ , T2b, 12c ¹ Comercialização: T2a ¹ , T2b, 12c ¹	
	1. Divulgar informações através de veículo de massa (TV, rádio, revistas de fácil acesso ao público em geral) sobre o que é a nanotecnologia, suas potencialidades, bem como sobre a inovação tecnológica e o desenvolvimento socioeconômico de um país. Principais Atores: governo, empresas, agências reguladoras, agências de fomento, ABC, universidades, sociedade civil e instituições setoriais.			
	2. Promover educação científica em todos os níveis (ensino fundamental, médio, público, em geral – difusão) visando uma sociedade que possua cultura científica, permitindo seu posicionamento frente às novas questões levantadas pela Nanotecnologia. Principais atores: governo, empresas, agências reguladoras, agências de fomento, ABC, universidades, sociedade civil e instituições setoriais.			

Fonte: CGEE (2008)

Na sequência, no Quadro 9.12, são apresentadas quatro ações de suporte relacionadas à dimensão “aspectos de mercado”, tendo como foco o

curto e o médio prazo. Destacam-se no Quadro 9.12 as seguintes ações: identificação dos elos da cadeia de fornecimento que oferecem melhores oportunidades para industrialização, através de processos anuais de *roadmapping* patrocinados pelo MCT/MDIC e ABDI e a busca constante de parceiros internacionais, de forma a integrar os esforços industriais brasileiros à cadeia global de nanoeletrônica.

Quadro 9.12 Aspectos de mercado: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoeletrônica

2008-2010		2011-2015	2016-2025
P&D: T2a ¹ , T2a ² , T2b, 12c ¹ , T2d. Inovação: T2c ² , T2a ³		P&D: T2a ² , T2b, T2d, T2c ³ Inovação: T2a ¹ , T2c ¹ Produção: T2c ² , T2a ³ Comercialização: T2c ² , T2a ³	P&D: - Inovação: T2a ² , T2d, T2c ³ Produção: T2a ¹ , T2b, 12c ¹ Comercialização: T2a ¹ , T2b, 12c ¹
Situação atual: 2008	1. Identificar os elos da cadeia de fornecimento que oferecem melhores oportunidades para industrialização, através de processos anuais de <i>roadmapping</i> patrocinados pelo MCT/MDIC e ABDI. Principais atores: MDIC, MCT, MS, Mapa, MMA, CGEE, ABDI, empresas e instituições setoriais representativas.		
	2. Buscar, de forma constante, parceiros internacionais, de forma a integrar os esforços industriais brasileiros à cadeia global de nanoeletrônica. Principais atores: MDIC, MCT, MS, Mapa, MMA, CGEE, ABDI, empresas e instituições setoriais representativas.		
	3. Identificar e investir em empresas brasileiras capazes de alavancar atividades industriais nos elos da cadeia (mais viáveis ou mais estratégicos). Principais atores: MDIC, MCT, MS, Mapa, MMA, CGEE, ABDI, empresas e instituições setoriais representativas.		
	4. Identificar demandas do mercado local que possam viabilizar a comercialização de um determinado produto. Principais atores: MDIC, MCT, MS, Mapa, MMA, CGEE, ABDI, empresas e instituições setoriais representativas.		
		Visão de futuro: 2025	



9.3 Nanofotônica

Sendo a nanofotônica uma área emergente no mundo, o Brasil pode ser um importante *player*, se conseguir formar recursos humanos especializados, agregar o setor empresarial e atrair articulações internacionais industriais já em curto prazo, como mostrado na Figura 5.10.

O primeiro grupo de ações prioritárias na cadeia de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanofotônica refere-se à área de recursos humanos, conforme apresentado no Quadro 9.13. Nele, são apresentadas cinco ações prioritárias voltadas para o curto, médio e o longo prazo, que foram consideradas no âmbito da INI-Nanotecnologia como impulsionadoras-chaves das trajetórias de inovação mostradas no mapa estratégico da Figura 5.10.

Quadro 9.13 Recursos humanos: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanofotônica

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T3c, T3e, T3d, T3g ¹ Inovação: T3a, T3b, T3f ¹	P&D: T3c, T3f ² , T3g ² Inovação: T3g ¹ , T3e, T3d Produção: T3a, T3b, T3f ¹ Comercialização:	P&D: T3c Inovação: T3g ² Produção: T3f ² , T3e, T3d, T3g ¹ Comercialização: T3a, T3f ¹ , T3b	
	1. Identificar e reforçar os cursos de nível técnico de laboratório para apoio ao desenvolvimento de PD&I em nanofotônica. Principais Atores: Escolas técnicas estaduais e federais, MEC, Capes, CNPq, MCT, Finep,CNI, FAPs e empresas.			
	2. Analisar e adequar os programas dos cursos de pós-graduação com atuação em Nanotecnologia, enfatizando a importância estratégica de aplicações de nanofotônica para o país. Principais Atores: MEC, Capes, CNPq, MCT, universidades e empresas.			
	3. Criar Programa Nacional de Recursos Humanos em Nanotecnologia. Principais Atores: MEC, Capes, CNPq, MCT, universidades e empresas.			
	4. Estimular a formação de pessoal em Nanotecnologia com perfil de gestor (empreendedorismo, gestão da inovação etc.). Principais Atores: Anprotec, Abipti, Capes, CNPq, MCT, Finep,CNI, Anpei, FAPs e empresas.			
		5. Formar especialistas em marketing com ênfase em Nanotecnologia. Principais Atores: MEC, Capes, CNPq, MCT, universidades e empresas.		

Na sequência, o segundo grupo de ações prioritárias refere-se à dimensão “infraestrutura” (**IE**), conforme apresentado no Quadro 9.14. Nele, são apresentadas seis ações prioritárias voltadas para o curto, o médio e o longo prazo, que foram também consideradas no âmbito da INI-Nanotecnologia como impulsionadoras-chaves das trajetórias de inovação mostradas no mapa tecnológico da Figura 5.8. Conforme pode ser constatado na Figura 5.10, que representa o mapa estratégico de nanofotônica, a dimensão infraestrutura (**IE**) ainda requer agilização no processo de implantação dos Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs) nas ICTs e a criação de mecanismos de estímulo à colaboração entre ICTs e empresas de base tecnológica para a continuidade de P&D nas ICTs relacionadas a problemas tecnológicos das empresas referentes ao tema nanofotônica.

No curto prazo, além das duas ações citadas acima, destacam-se a divulgação e a capacitação no ambiente acadêmico referentes à implementação da Lei de Inovação, particularmente a disseminação do conhecimento sobre a Lei do Bem e a Subvenção Econômica.

Quadro 9.14 Infraestrutura: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanofotônica

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T3c, T3e, T3d, T3g ¹ Inovação: T3a, T3b, T3f ¹	P&D: T3c, T3f ² , T3g ² Inovação: T3g ¹ , T3e, T3d Produção: T3a, T3b, T3f ¹ Comercialização:	P&D: T3c Inovação: T3g ² Produção: T3f ² , T3e, T3d, T3g ¹ Comercialização: T3a, T3f ¹ , T3b	
	1. Treinar a academia na implementação da Lei de Inovação, da Lei do Bem e Subvenção Econômica. Principais Atores: MCT, MDIC, agências de fomento, universidades (particularmente NITs como indutores).	MCT, MDIC, Finep, BNDES, ABDI, Sebrae, Finep e ICTs.		

continua...



	2008-2010	2011-2015	2016-2025	
Situação atual: 2008	2. Realizar planos de negócios entre pesquisadores das ICTs e novas empresas. Principais Atores: empresas, MCT, ABDI, ICTs, particularmente NITs das ICTs.			Situação atual: 2008
	3. Estimular novos cursos de pós-graduação em nanofotônica para desenvolverem projetos sob demanda do setor empresarial. Principais Atores: MCT, MDIC, agências de fomento, FAPs, universidades, ICTs e empresas.			
	4. Realizar Rodadas Tecnológicas entre novas empresas e academia, específicas para nanofotônica. Principais Atores: MCT, MDIC, agências de fomento, FAPs, ABDI, Sebrae, ICTs, universidades e novas empresas.			
	5. Agilizar o processo de implantação dos Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs) nas ICTs. Principais Atores: ABDI, Sebrae, Finep, FORTEC e ICTs.			
		6. Criar mecanismos de estímulo à colaboração ICTs e Empresas de base tecnológica para a continuidade de P&D nas ICTs relacionadas a problemas tecnológicos da empresas. Principais Atores: MCT, MDIC, agências de fomento, FAPs, ICTs e empresas.		

Fonte: CGEE (2008)

Os gargalos relacionados às demais dimensões (**INV, MR, AE e AM**) localizam-se no estágio de produção do mapa estratégico, dependendo da capacidade nacional em cada um dos tópicos estudados, como pode ser observado na Figura 5.10. Os Quadros 9.15 a 9.18 apresentam as ações referentes a esses gargalos, que deverão compor a Agenda INI-Nanotecnologia no que tange às aplicações prospectadas nos mapas das Figuras 5.8 e 5.10.

O Quadro 9.15 apresenta cinco ações voltadas para a dimensão “investimentos”. Dentre elas, destacam-se a criação de mecanismos associados a isenções fiscais, deduções de taxas, amortização, depreciação acelerada, subsídios, adiamento de taxas sobre ganhos de capital, proteção intelectual para diluir o pagamento de impostos pelas empresas *start-up*, assim como a criação de um fundo de recursos públicos e privados para irrigação das empresas *start-up* a partir de 2011 e o

estímulo da iniciativa de *venture capital* no país através da criação de mecanismos de incentivos fiscais.

Quadro 9.15 Investimentos: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanofotônica

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T3c, T3e, T3d, T3g ¹ Inovação: T3a, T3b, T3f ¹	P&D: T3c, T3f ² , T3g ² Inovação: T3g ¹ , T3e, T3d Produção: T3a, T3b, T3f ¹ Comercialização: -	P&D: T3c Inovação: T3g ² Produção: T3f ² , T3e, T3d, T3g ¹ Comercialização: T3a, T3f ¹ , T3b	
	1. Criar uma linha de investimento contínua e de longo prazo, com recursos públicos e privados, em CT&I. Principais Atores: Empresas, MCT, MDIC, agências de fomento (Finep, CNPq, Capes) e BNDES.			
	2. Criar um fundo de recursos públicos e privados para irrigação das empresas <i>start-up</i> a partir de 2011. Principais Atores: Empresas, MCT, MDIC, agências de fomento (Finep, CNPq, Capes) e BNDES.			
	3. Estimular a iniciativa de <i>venture capital</i> no país através da criação de mecanismos de incentivos fiscais. Principais Atores: Empresas, MCT, MDIC, agências de fomento (Finep, CNPq, Capes) e BNDES.			
	4. Priorizar editais/programas com foco em projetos de desenvolvimento de produtos e processos inovadores, em parceria com empresas desde o início. Principais Atores: MCT, MS, Mapa, MMA, MDIC, agências de fomento (Finep, CNPq, Capes) e BNDES, Empresas.			
	5. Criar mecanismos associados a isenções fiscais, deduções de taxas, amortização, depreciação acelerada, subsídios, adiamento de taxas sobre ganhos de capital, proteção intelectual para diluir o pagamento de impostos pelas empresas <i>start-up</i> . Principais Atores: Congresso Nacional, Casa Civil, MDIC, Inpi, MCT, empresas, instituições setoriais representativas e universidades.			

Fonte: CGEE (2008)

O Quadro 9.16 apresenta sete ações voltadas para a dimensão “marco regulatório”.



Quadro 9.16 Marco regulatório: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanofotônica

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T3c, T3e, T3d, T3g ¹ Inovação: T3a, T3b, T3f ¹	P&D: T3c, T3f ² , T3g ² Inovação: T3g ¹ , T3e, T3d Produção: T3a, T3b, T3f ¹ Comercialização: -	P&D: T3c Inovação: T3g ² Produção: T3f ² , T3e, T3d, T3g ¹ Comercialização: T3a, T3f ¹ , T3b	
	1.1 Estruturar uma base metrológica voltada para a área de nanofotônica. Principais Atores: Inmetro, universidades locais e internacionais, ABNT, agências reguladoras de diversos setores, empresas.		1.2 Manter uma base metrológica voltada para a área de nanofotônica. Principais Atores: Inmetro, universidades locais e internacionais, ABNT, agências reguladoras de diversos setores, empresas.	
	2.1 Criar mecanismos de desoneração tributária para as empresas na contratação de pessoal, importação de reagentes e equipamentos. Principais Atores: Congresso Nacional, Casa Civil, MDIC, MCT, empresas, instituições setoriais representativas e universidades.		2.2 Aprimorar mecanismos de desoneração tributária para as empresas na contratação de pessoal, importação de reagentes e equipamentos. Principais Atores: Congresso Nacional, Casa Civil, MDIC, MCT, empresas, instituições setoriais representativas e universidades.	
		3. Criar mecanismos associados a isenções fiscais, deduções de taxas, amortização, depreciação acelerada, subsídios, adiamento de taxas sobre ganhos de capital, proteção intelectual para diluir o pagamento de impostos pelas empresas <i>start-up</i> . Principais Atores: Congresso Nacional, Casa Civil, MIDIC, Inpi, MCT, empresas, instituições setoriais representativas e universidades.		
		4. Estruturar redes de laboratórios acreditados de prestação de serviços de ensaios e calibração. Principais Atores: Inmetro, Anvisa, Mapa, Anatel, Ana, Ibama, entre outras entidades acreditadoras/credenciadoras de laboratórios de prestação de serviços de ensaios e calibração.		
		5. Estruturar uma rede para procedimentos de avaliação de conformidade. Principais Atores: Inmetro, Anvisa, Mapa, Anatel, Ana, Ibama, entidades e laboratórios credenciados.		

continua...

Continuação do Quadro 9.16

2008-2010	2011-2015	2016-2025
	6. Desenvolver atividade de normalização na área, inclusive nos fóruns internacionais. Principais Atores: Inmetro, ABNT, representantes das empresas, universidades, governo e ICTs.	
	7. Criar instrumentos de incentivo para as grandes empresas para que invistam em grandes projetos nacionais de inovação em nanofotônica. Principais Atores: Congresso Nacional, Casa Civil, MDIC, MCT, empresas, instituições setoriais representativas e universidades.	

Fonte: CGEE (2008)

Dentre elas, destacam-se a criação e manutenção de uma base metro-lógica voltada para a área de nanofotônica; a estruturação de redes de laboratórios acreditados para procedimentos de avaliação da conformidade; desenvolvimento da atividade de normalização na área de nano-fotônica, inclusive nos fóruns internacionais; e a criação de instrumentos de incentivo para as grandes empresas investirem em importantes proje-tos nacionais de inovação em nanofotônica.

No Quadro 9.17, apresenta-se uma única ação, porém de grande impac-to, relacionada à dimensão “aspectos éticos e aceitação pela sociedade”, tendo como foco a entrada no mercado das aplicações de nanofotônica, conforme preconizado no mapa tecnológico representado nas Figuras 5.8 e 5.10. Para curto prazo, propõe-se a divulgação de informações, através de veículo de massa (TV, rádio, revistas de fácil acesso ao público em geral), sobre o que é nanotecnologia e as aplicações de nanofotô-nica, suas potencialidades bem como sobre a inovação tecnológica e o desenvolvimento socioeconômico de um país.



Quadro 9.17 Aspectos éticos e aceitação pela sociedade: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanofotônica

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T3c, T3e, T3d, T3g ¹ Inovação: T3a, T3b, T3f ¹	P&D: T3c, T3f ² , T3g ² Inovação: T3g ¹ , T3e, T3d Produção: T3a, T3b, T3f ¹ Comercialização: -	P&D: T3c Inovação: T3g ² Produção: T3f ² , T3e, T3d, T3g ¹ Comercialização: T3a, T3f ¹ , T3b	
	1. Divulgar informações, através de veículo de massa (TV, rádio, revistas de fácil acesso ao público em geral), sobre o que é a nanofotônica, suas potencialidades bem como sobre a inovação tecnológica e o desenvolvimento socioeconômico de um país. Principais Atores: governo, empresas, agências reguladoras, agências de fomento, ABC, universidades, sociedade civil e instituições setoriais.			

Fonte: CGEE (2008)

Na sequência, no Quadro 9.18, são apresentadas três ações de suporte relacionadas à dimensão “aspectos de mercado”, tendo como foco o médio e o longo prazo. Destacam-se no Quadro 9.18 as seguintes ações: a criação de observatórios tecnológicos do mercado nacional e internacional de nanofotônica e a identificação de nichos de mercado; o estímulo à formação de parcerias entre empresas, de capital nacional e/ou internacional, com vistas à maior competitividade e inserção das aplicações da nanofotônica na dinâmica global da economia.

Quadro 9.18 Aspectos de mercado: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanofotônica

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T3c, T3e, T3d, T3g ¹ Inovação: T3a, T3b, T3f ¹	P&D: T3c, T3f ² , T3g ² Inovação: T3g ¹ , T3e, T3d Produção: T3a, T3b, T3f ¹ Comercialização: -	P&D: T3c Inovação: T3g ² Produção: T3f ² , T3e, T3d, T3g ¹ Comercialização: T3a, T3f ¹ , T3b	
		1. Criar observatórios tecnológicos do mercado nacional e internacional de nanofotônica e identificar os nichos de mercado. Principais Atores: MDIC, MCT, MS, Mapa, MMA, CGEE, ABDI e empresas, universidades e ICTs.		
		2. Utilizar o instrumento “poder de compra do Estado” para garantir a competitividade da indústria brasileira. Principais Atores: Casa Civil, MDIC, MCT, MS, Mapa e MPOG.		
		3. Estimular parcerias entre empresas, nacional e/ou internacional, com vistas à maior competitividade e inserção na dinâmica global da economia da nanofotônica. Principais Atores: MDIC, MCT, MS, Mapa, MMA, CGEE, ABDI e empresas.		

Fonte: CGEE (2008)

9.4 Nanobiotecnologia

O quadro atual aponta para os gargalos econômicos e políticos, sendo que os mais críticos em curto prazo (2008-2011) referem-se a investimentos em formação de recursos humanos (**RH**) e infraestrutura (**IE**). Em médio prazo (2011-2015), os aspectos mercadológicos (**AM**), em conjunto com regulamentação (**MR**), passam a ser determinantes e imprescindíveis para a plena inserção de empresas nacionais no mercado externo.

Dentre as prioridades de longo prazo (2016-2025), destacam-se os aspectos éticos (**AE**), considerando-se desde estudos das implicações da nanobiotecnologia até o esclarecimento e informação para a socieda-



de. Inserem-se como prioridades de longo prazo no mapa estratégico o equacionamento de aspectos mercadológicos (**AM**) e de regulamentação (**MR**), principalmente no que tange aos objetivos legítimos de saúde, segurança e meio ambiente.

O primeiro grupo de ações prioritárias na cadeia de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanobiotecnologia refere-se à área de recursos humanos, conforme apresentado no Quadro 9.19. Nele, são apresentadas quatro ações prioritárias voltadas para o curto, médio e o longo prazo, que foram consideradas no âmbito da INI-Nanotecnologia como impulsionadoras-chaves das trajetórias de inovação mostradas no mapa estratégico da Figura 6.7.

Quadro 9.19 Recursos humanos: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanobiotecnologia

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T4a, T4d, T4c, T4b ¹ Inovação: T4b ¹ , T4e, T4b ² Produção: T4b ² , T4f	P&D: - Inovação: T4d, T4c, T4a Produção: T4a, T4b ¹ , T4e Comercialização: T4f, T4b ²	P&D: T4g Inovação: - Produção: T4d, T4c Comercialização: T4a, T4b ² , T4b ¹ , T4f, T4e	
	1. Reestruturar a política educacional com foco em conteúdo programático relevante e desempenho. Principais Atores: MEC, Capes, CNPq, MCT, universidades e empresas.			
	2. Adequar o ensino em todos os níveis (básico, técnico, graduação e pós-graduação), priorizando a interdisciplinaridade com foco na capacidade empreendedora. Principais Atores: MEC, Capes, CNPq, MCT, universidades e empresas.			
	3. Criar centros tecnológicos e de inovação com interface entre universidades e setor produtivo. Principais Atores: Anprotec, Abipti, Capes, CNPq, MCT, Finep,CNI, Anpei, FAPs e empresas.			
	4. Aumentar formação de pessoal qualificado em propriedade Intelectual, nanometrologia e avaliação baseada em riscos. Principais Atores: Anprotec, Abipti, Capes, CNPq, MCT, Finep,CNI, Anpei, FAPs e empresas.			

Fonte: CGEE (2008)

Na sequência, o segundo grupo de ações prioritárias refere-se à dimensão “infraestrutura” (**IE**), conforme apresentado no Quadro 9.20. Nele,

são apresentadas quatro ações prioritárias voltadas para o curto, médio e o longo prazo, que foram também consideradas no âmbito da INI-Nanotecnologia como impulsionadoras-chaves das trajetórias de inovação mostradas no mapa tecnológico da Figura 6.7.

Conforme pode ser constatado na Figura 6.9, que representa o mapa estratégico de nanobiotecnologia, a dimensão infraestrutura (IE) ainda requer agilização no processo de implantação dos Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs) nas ICTs e o incentivo à criação de biotérios de referência e certificados com testes de eficácia e de toxicologia. Outra ação importante nessa área refere-se à estruturação e ampliação de bases metrológicas e de certificação em nanobiotecnologia.

Quadro 9.20 Infraestrutura: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanobiotecnologia

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T4a, T4d, T4c, T4b ¹ Inovação: T4b ¹ , T4e, T4b ² Produção: T4b ² , T4f	P&D: - Inovação: T4d, T4c, T4a Produção: T4a, T4b ¹ , T4e Comercialização: T4f, T4b ²	P&D: T4g Inovação: - Produção: T4d, T4c Comercialização: T4a, T4b ² , T4b ¹ , T4f, T4e	
	1. Agilizar o processo de implantação de núcleos/centros de inovação tecnológica nas instituições de ensino e pesquisa. Principais Atores: ABDI, Sebrae, Finep, FORTEC e ICTs.			
	2. Incentivar a produção nacional de insumos básicos para Nanobiotecnologia. Principais Atores: MDIC, ABDI, BNDES, Finep, empresas, incubadoras de base tecnológica nas universidades.			
	3. Incentivar a criação de biotérios de referência e certificados com testes de eficácia e de toxicologia. Principais Atores: MCT e MS.			
	4. Estruturar/ampliar bases metrológicas e de certificação em Nanobiotecnologia. Principais Atores: Inmetro, Anvisa, Mapa, Anatel, Ana, Ibama, entidades e laboratórios credenciados e empresas.			

Fonte: CGEE (2008)

O Quadro 9.21 apresenta quatro ações voltadas para a dimensão “investimentos”.

Quadro 9.21 Investimentos: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanobiotecnologia

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T4a, T4d, T4c, T4b ¹ Inovação: T4b ¹ , T4e, T4b ² Produção: T4b ² , T4f	P&D: - Inovação: T4d, T4c, T4a Produção: T4a, T4b ¹ , T4e Comercialização: T4f, T4b ²	P&D: T4g Inovação: - Produção: T4d, T4c Comercialização: T4a, T4b ² , T4b ¹ , T4f, T4e	
	1. Criar uma linha de investimentos contínua e de longo prazo, com recursos públicos e privados visando desenvolvimento de tecnologias de vanguarda e de interesse nacional. Principais Atores: MCT, MDIC, agências de fomento (Finep, CNPq, Capes), BNDES, empresas, universidades e ICTs.			
	2. Incentivar as empresas de <i>spin-offs</i> e <i>start-ups</i> . Principais Atores: MCT, MDIC, Anprotec, agências de fomento (Finep, CNPq, Capes), BNDES e empresas.			
	3. Criar mecanismos de desoneração tributária para as empresas de base nanotecnológica. Principais Atores: Congresso Nacional, Casa Civil, MDIC, Inpi, MCT, empresas, instituições setoriais representativas e universidades.			
	4. Incentivar o investimento por parte de indústrias em projetos nanotecnológicos, em particular de nanobiotecnologia. Principais Atores: MCT, MDIC, agências de fomento (Finep, CNPq, Capes), BNDES e empresas.			

Fonte: CGEE (2008)

Dentre elas, destacam-se a criação de uma linha de investimentos contínua e de longo prazo, com recursos públicos e privados visando desenvolvimento de nanobiotecnologias de vanguarda e de interesse nacional. Outras ações importantes referem-se à criação de incentivos às empresas de *spin-offs* e *start-ups*, bem como de mecanismos de desoneração tributária para as empresas de base nanotecnológica.

O desenvolvimento e completa sedimentação dos setores envolvidos em nanobiotecnologia dependem de ações estratégicas e da criação de políticas específicas para fomento, gestão e comercialização de bens, produtos e processos relacionados ao tema. Ações vinculadas à regulamentação abrangem os três períodos e aquelas associadas aos aspec-

tos mercadológicos, éticos e sociais deverão ser priorizadas no médio e longo prazo, notadamente nos estágios de inovação, produção até a comercialização. Os Quadros 9.22, 9.23 e 9.24, a seguir, apresentam as propostas de ações de suporte associadas a essas dimensões.

O Quadro 9.22 apresenta duas ações voltadas para a dimensão “marco regulatório”. São propostas voltadas para a criação de normas e regulamentações técnicas específicas para a área de nanotecnologia, em conformidade com normas internacionais; e o desenvolvimento de mecanismos que agilizem a certificação e registros, também em conformidade com normas internacionais.

Quadro 9.22 Marco regulatório: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanobiotecnologia

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T4a, T4d, T4c, T4b ¹ Inovação: T4b ¹ , T4e, T4b ² Produção: T4b ² , T4f	P&D: - Inovação: T4d, T4c, T4a Produção: T4a, T4b ¹ , T4e Comercialização: T4f, T4b ²	P&D: T4g Inovação: - Produção: T4d, T4c Comercialização: T4a, T4b ² , T4b ¹ , T4f, T4e	
	1. Criar normas e regulamentações técnicas específicas para a área de nanotecnologia, em conformidade com normas internacionais. Principais Atores: Inmetro, ABNT, representantes das empresas, universidades, governo e ICTs.			
	2. Desenvolver mecanismos que agilizem a certificação e registros, também em conformidade com normas internacionais. Principais Atores: Inmetro, ABNT, Anvisa, Mapa, Anatel, Ana, Ibama, entre outras entidades acreditadoras/credenciadoras de laboratórios de prestação de serviços de ensaios e calibração; entidades e laboratórios credenciados e empresas.			

Fonte: CGEE (2008)

No Quadro 9.23, apresentam-se duas ações relacionadas à dimensão “aspectos éticos e aceitação pela sociedade”, tendo como foco a entrada no mercado das aplicações de nanobiotecnologia, conforme preconizado no mapa tecnológico representado na Figura 6.7. Para médio



e longo prazos, propõe-se o incentivo a pesquisas para avaliação de riscos e implicações de produtos e resíduos nanotecnológicos à saúde humana e ao meio ambiente; e o incentivo à difusão de avanços científicos e tecnológicos, visando a criação de uma cultura em nanotecnologia na sociedade.

Quadro 9.23 Aspectos éticos e aceitação pela sociedade: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanobiotecnologia

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T4a, T4d, T4c, T4b ¹ Inovação: T4b ¹ , T4e, T4b ² Produção: T4b ² , T4f	P&D: - Inovação: T4d, T4c, T4a Produção: T4a, T4b ¹ , T4e Comercialização: T4f, T4b ²	P&D: T4g Inovação: - Produção: T4d, T4c Comercialização: T4a, T4b ² , T4b ¹ , T4f, T4e	
		1. Incentivar pesquisas para avaliação de riscos e implicações de produtos e resíduos nanotecnológicos à saúde humana e ao meio ambiente. Principais Atores: MCT, MDIC, agências de fomento (Finep, CNPq, Capes), BNDES, empresas, universidades e ICTs.		
		2. Incentivar a difusão de avanços científicos e tecnológicos visando a criação de uma cultura em nanotecnologia na sociedade. Principais Atores: governo, empresas, agências reguladoras, agências de fomento, ABC, universidades, sociedade civil e instituições setoriais.		

Fonte: CGEE (2008)

Na sequência, no Quadro 9.24, são apresentadas duas ações de suporte relacionadas à dimensão “aspectos de mercado”, tendo como foco o médio e o longo prazo. Essas ações são voltadas para a formação de parcerias entre empresas nacionais e internacionais, com vistas à internacionalização de produtos nanobiotecnológicos nacionais; e a garantia de compras governamentais para incentivar a fabricação e comercialização de produtos nanobiotecnológicos.

Quadro 9.24 Aspectos de mercado: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanobiotecnologia

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T4a, T4d, T4c, T4b ¹ Inovação: T4b ¹ , T4e, T4b ² Produção: T4b ² , T4f	P&D: - Inovação: T4d, T4c, T4a Produção: T4a, T4b ¹ , T4e Comercialização: T4f, T4b ²	P&D: T4g Inovação: - Produção: T4d, T4c Comercialização: T4a, T4b ² , T4b ¹ , T4f, T4e	
		1. Garantir compras governamentais para incentivar a fabricação e comercialização de produtos nanobiotecnológicos. Principais Atores: Casa Civil, MDIC, MCT, MS, MAPA e MPOG.		
		2. Incentivar parcerias entre empresas nacionais e internacionais com vistas à internacionalização de produtos nanobiotecnológicos nacionais. Principais Atores: MDIC, MCT, MS, MAPA, MMA, CGEE, ABDI e empresas.		

Fonte: CGEE (2008)

9.5 Nanoenergia

Observa-se no mapa estratégico do tema “nanoenergia”, representado na Figura 7.25, que todas as trajetórias tecnológicas abordadas apresentam como prioridade, nos três intervalos de tempo considerados, a formação de recursos humanos (**RH**). Esta deverá ocorrer em nível de ensino médio técnico, graduação e pós-graduação, para viabilizar o desenvolvimento, inovação, produção e comercialização de todas as tecnologias. O primeiro grupo de ações prioritárias na cadeia de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoenergia refere-se à dimensão de recursos humanos, conforme apresentado no Quadro 9.25.



Quadro 9.25 Recursos humanos: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoenergia

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T5c ¹ , T5d, T5e, T5a, T5f ¹ , T5b, T5f ² Inovação: T5f ² , T5f ¹ , T5e, T5c ² Produção: - Comercialização: T5f ¹	P&D: T5b Inovação: T5b, T5c ¹ , T5d, T5a Produção: T5b, T5f ¹ , T5f ² , T5a, T5c ² Comercialização: -	Produção: T5d, T5c ¹ , T5e Comercialização: T5b, T5e, T5f ¹ , T5f ² , T5a, T5c ²	
	1. Formar recursos humanos com ênfase em nanotecnologia e formação básica forte em ciência em nível de graduação. Principais Atores: MEC, Capes, CNPq, MCT, universidades e empresas.			
	2. Formar recursos humanos em nível de pós-graduação, com formação básica em ciência e especialização em nanotecnologia. Principais Atores: MEC, Capes, CNPq, MCT, universidades e empresas.			
	3. Promover a fixação de doutores e mestres em universidades, centros de P&D e empresas. Principais Atores: MEC, Capes, CNPq, MCT, universidades e empresas.			
		4. Capacitar recursos humanos em nível técnico para dar suporte às atividades de produção. Principais Atores: Escolas técnicas estaduais e federais, MEC, Capes, CNPq, MCT, Finep,CNI, FAPs e empresas.		
	5. Criar curso de capacitação na área de nanotecnologia voltado para a indústria. Principais Atores: Anprotec, Abipti, Capes, CNPq, MCT, Finep,CNI, Anpei, FAPs e empresas.			

Fonte: CGEE (2008)

No Quadro 9.25, são apresentadas cinco ações prioritárias, voltadas para o desenvolvimento de recursos humanos em curto e médio prazos.

Na sequência, são propostas no Quadro 9.26 as ações consideradas necessárias para garantir e fomentar a implementação de infraestrutura física (**IE**) para praticamente todas as tecnologias entre 2008 e 2015, considerando o desenvolvimento das etapas de P&D e inovação. Exceção para os LEDs inorgânicos, já em comercialização, empregando componentes importados. Ações na implementação de infraestrutura física ainda serão requeridas na etapa de produção de células a combustível do tipo PEM. No Quadro 9.26, são propostas cinco ações voltadas para a consolidação da infraestrutura, consideradas no âmbito da INI-Nanotecnologia como impulsionadoras-chaves das trajetórias de inovação, mostradas no mapa estratégico da Figura 7.25.

Quadro 9.26 Infraestrutura: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoenergia

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T5c ¹ , T5d, T5e, T5a, T5f ¹ , T5b, T5f ² Inovação: T5f ² , T5f ¹ , T5e, T5c ² Produção: - Comercialização: T5f ¹	P&D: T5b Inovação: T5b, T5c ¹ , T5d, T5a Produção: T5b, T5f ¹ , T5f ² , T5a, T5c ² Comercialização: -	Produção: T5d, T5c ¹ , T5e Comercialização: T5b, T5e, T5f ¹ , T5f ² , T5a, T5c ²	
	1. Estimular a implementação de infraestrutura em grupos que têm forte atuação em nanotecnologia e experiência comprovada na área. Principais Atores: FAPs, Anpei, CNPq, Abipti, MCT, universidades e ICTs.			
	2. Criar e consolidar laboratórios regionais e multiusuários que assegurem utilização democrática dos equipamentos (de médio e grande porte). Principais Atores: FAPs, Anpei, CNPq, Abipti, MCT, universidades e ICTs.			
	3. Assegurar contratação de pessoal técnico especializado para utilização dos equipamentos. Principais Atores: FAPs, Anpei, CNPq, Abipti, MCT, universidades, ICTs e empresas.			

continua...



Continuação do Quadro 9.26

	2008-2010	2011-2015	2016-2025
		4. Promover serviços de consultoria na área de propriedade intelectual. Principais Atores: FAPs, Anpei, CNPq, Abipti, MCT, universidades e ICTs.	
		5. Criar subsídios para a implantação de processos com base em nanotecnologias. Principais Atores: Casa Civil, MDIC, MCT, MS, Mapa e MPOG.	

O Quadro 9.27 apresenta três ações de suporte referentes à dimensão “investimentos”.

Quadro 9.27 Investimentos: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoenergia

	2008-2010	2011-2015	2016-2025
	P&D: T5c ¹ , T5d, T5e, T5a, T5f ¹ , T5b, T5f ² Inovação: T5f ² , T5f ¹ , T5e, T5c ² Produção: - Comercialização: T5f ¹	P&D: T5b Inovação: T5b, T5c ¹ , T5d, T5a Produção: T5b, T5f ¹ , T5f ² , T5a, T5c ² Comercialização: -	Produção: T5d, T5c ¹ , T5e Comercialização: T5b, T5e, T5f ¹ , T5f ² , T5a, T5c ²
Situação atual: 2008	1. Criar uma linha de investimentos contínua e de longo prazo com recursos públicos e privados em CT&I. Principais Atores: MCT, MDIC, agências de fomento (Finep, CNPq, Capes), BNDES, empresas, universidades e ICTs.		
	2. Priorizar editais/programas com foco em projetos de desenvolvimento de produtos e processos inovadores em parceria de ICTs com empresas desde o início. Principais Atores: MCT, MDIC, agências de fomento (Finep, CNPq, Capes), BNDES, empresas, universidades e ICTs.		
	3. Criar fundo de recursos públicos e privados para irrigação das empresas <i>star-up</i> a partir de 2008. Principais Atores: Congresso Nacional, Casa Civil, MDIC, Inpi, MCT, empresas, instituições setoriais representativas e universidades.		
			Visão de futuro: 2025

Fonte: CGEE (2008)

Ações de investimento (**INV**) serão requeridas entre 2008 e 2010 para viabilizar a formação de empresas ou de rede de empresas inovadoras para a fabricação de LEDs inorgânicos. No intervalo entre 2010 e 2015, todas as outras tecnologias, exceto a de célula de óxido sólido, deverão ser apoiadas por ações em investimento, de modo a viabilizar a etapa de inovação e produção. No caso das células de óxido sólido, projeta-se que no período de 2015 a 2025, sejam necessários investimentos para viabilizar a inovação e produção dessas células.

O Quadro 9.28 apresenta seis ações voltadas para a dimensão “marco regulatório”. São propostas voltadas para o desenvolvimento e implementação de materiais de referência e padrões; estruturação de uma base metrológica voltada para a área de nanotecnologia e, em particular, para aplicações no campo da nanoenergia; estruturação de redes de laboratórios credenciados para detecção de análises específicos em padrões internacionais e para procedimentos de avaliação de conformidade. A questão da normalização na área de nanotecnologia, inclusive nos fóruns internacionais, é também proposta nesta dimensão.



Quadro 9.28 Marco regulatório: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoenergia

2008-2010		2011-2015		2016-2025	
P&D: T5c ¹ , T5d, T5e, T5a, T5f ¹ , T5b, T5f ² Inovação: T5f ² , T5f ¹ , T5e, T5c ² Produção: - Comercialização: T5f ¹		P&D: T5b Inovação: T5b, T5c ¹ , T5d, T5a Produção: T5b, T5f ¹ , T5f ² , T5a, T5c ² Comercialização: -		Produção: T5d, T5c ¹ , T5e Comercialização: T5b, T5e, T5f ¹ , T5f ² , T5a, T5c ²	
1. Desenvolver e implementar materiais de referência e padrões. Principais Atores: Inmetro, ABNT, ANP, Mapa, MME, ANA, Ibama, entre outras entidades acreditadoras e credenciadoras de laboratórios de prestação de serviços de ensaios e calibração; entidades e laboratórios credenciados e empresas.					
		2. Estruturar uma base metrológica voltada para a área de nanotecnologia. Principais Atores: Inmetro, ABNT, Anvisa, Mapa, ANP, ANA, Ibama, entre outras entidades acreditadoras e credenciadoras de laboratórios de prestação de serviços de ensaios e calibração; entidades e laboratórios credenciados e empresas.			
		3. Estruturar redes de laboratórios credenciados para detecção de análitos específicos em padrões internacionais. Principais Atores: Inmetro, ABNT, ANP, Mapa, MME, ANA, Ibama, entre outras entidades acreditadoras e credenciadoras de laboratórios de prestação de serviços de ensaios e calibração; entidades e laboratórios credenciados e empresas.			
		4. Estruturar uma rede para procedimentos de avaliação de conformidade. Principais Atores: Inmetro, ABNT, ANP, Mapa, MME, ANA, Ibama, entre outras entidades acreditadoras e credenciadoras de laboratórios de prestação de serviços de ensaios e calibração; entidades e laboratórios credenciados e empresas.			
		5. Desenvolver atividade de normalização na área de nanotecnologia, inclusive nos fóruns internacionais. Principais Atores: Inmetro, ABNT, representantes das empresas, universidades, governo e ICTs.			
		6. Criar mecanismos de desoneração fiscal. Principais Atores: Congresso Nacional, Casa Civil, MDIC, Inpi, MCT, MME, empresas, instituições setoriais representativas e universidades.			

Situação atual: 2008

Visão de futuro: 2025

Fonte: CGEE (2008)

No Quadro 9.29, apresentam-se duas ações relacionadas à dimensão “aspectos éticos e aceitação pela sociedade”, tendo como foco a entrada no mercado das aplicações de nanoenergia, conforme preconizado no mapa tecnológico representado na Figura 7.25.

Quadro 9.29 Aspectos éticos e aceitação pela sociedade: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoenergia

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T5c ¹ , T5d, T5e, T5a, T5f ¹ , T5b, T5f ² Inovação: T5f ² , T5f ¹ , T5e, T5c ² Produção: - Comercialização: T5f ¹	P&D: T5b Inovação: T5b, T5c ¹ , T5d, T5a Produção: T5b, T5f ¹ , T5f ² , T5a, T5c ² Comercialização: -	Produção: T5d, T5c ¹ , T5e Comercialização: T5b, T5e, T5f ¹ , T5f ² , T5a, T5c ²	
		1. Incentivar pesquisas para avaliação de riscos e implicações de produtos e resíduos nanotecnológicos à saúde humana e ao meio ambiente. Principais Atores: MCT, MDIC, MME, agências de fomento (Finep, CNPq, Capes), BNDES, empresas, universidades e ICTs.		
		2. Incentivar a difusão de avanços científicos e tecnológicos, visando a criação de uma cultura em nanotecnologia na sociedade. Principais Atores: governo, empresas, agências reguladoras, agências de fomento, ABC, universidades, sociedade civil e instituições setoriais.		

Fonte: CGEE (2008)

O Quadro 9.30 apresenta duas ações de impacto relacionadas aos aspectos de mercado (**AM**), focalizando elementos essenciais para a inserção competitiva das inovações brasileiras no mercado nacional e internacional, cadeias produtivas, redução das barreiras de entrada em mercados e outros aspectos mercadológicos. Essas ações serão necessárias em diferentes períodos entre 2011 e 2015 para as tecnologias de célula a combustível do tipo PEM, baterias e capacitores e células solares, de modo a viabilizar a etapa de produção e de 2016 a 2025 para viabilizar a comercialização desses dispositivos.



Quadro 9.30 Aspectos de mercado: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoenergia

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T5c ¹ , T5d, T5e, T5a, T5f ¹ , T5b, T5f ² Inovação: T5f ² , T5f ¹ , T5e, T5c ² Produção: - Comercialização: T5f ¹	P&D: T5b Inovação: T5b, T5c ¹ , T5d, T5a Produção: T5b, T5f ¹ , T5f ² , T5a, T5c ² Comercialização: -	Produção: T5d, T5c ¹ , T5e Comercialização: T5b, T5e, T5f ¹ , T5f ² , T5a, T5c ²	
		1.Estudar e propor ações que possam garantir o poder de compra governamental de produtos competitivos nacionais. Principais Atores: Casa Civil, MDIC, MCT, MME, Mapa e MPOG.		
		2.Avaliar e monitorar a utilização de instrumento de poder de compra do Estado. Principais Atores: Casa Civil, MDIC, MCT, MME, Mapa e MPOG.		

Fonte: CGEE (2008)

9.6 Nanoambiente

É importante ressaltar que em relação ao tema nanoambiente haverá uma necessidade premente de ações de incentivo à formação e capacitação de recursos humanos (**RH**), nos próximos anos, para que o país possa expandir sua capacidade de atuação e de inovação e, efetivamente, garantir o desenvolvimento de CT&I em nanotecnologia, especialmente de aplicações voltadas para a preservação do meio ambiente. No Quadro 9.31, apresentam-se quinze ações relacionadas à dimensão “recursos humanos”, tendo como foco a consolidação das trajetórias tecnológicas associadas ao tema, conforme preconizado no mapa tecnológico representado na Figura 8.10.

Quadro 9.31 Recursos humanos: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoambiente

2008-2010		2011-2015		2016-2025	
P&D: T6c, T6g Inovação: T6c, T6g		P&D: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ¹ , T6f, T6h, T6i Inovação: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ¹ , T6f, T6h, T6i Produção: T6g, T6c Comercialização: T6g, T6c		P&D: T6d Inovação: T6d Produção: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ^{1e2} , T6f, T6h, T6i Comercialização: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ² , T6f, T6h, T6i	
1. Identificar os cursos no país que já possuem formação voltada para inovação. Realização de workshops com os programas de pós-graduação da Capes. Principais Atores: Capes, CNPq, MCT, Finep,CNI, Anpei, Anprotec, Abipti, FAPs e empresas.					
2. Avaliar a necessidade de inserir disciplinas e novos docentes com visão empresarial para formação em inovação. Principais Atores: Capes, CNPq, MCT, Finep,CNI, Anpei, Anprotec, Abipti, FAPs e empresas.					
3. Identificar os cursos existentes de empreendedorismo e inovação em nanotecnologia. Principais Atores: Capes, CNPq, MCT, Finep,CNI, Anpei, Anprotec, Abipti, FAPs e empresas.					
4. Avaliar a necessidade de ajustes para capacitação em inovação em nanotecnologia. Principais Atores: Capes, CNPq, MCT, Finep,CNI, Anpei, Anprotec, Abipti, FAPs e empresas.					
5. Identificar e reforçar os cursos de formação de nível técnico de laboratório para apoio do desenvolvimento de P&D&I. Principais Atores: Escolas técnicas estaduais e federais, MEC, Capes, CNPq, MCT, Finep,CNI, FAPs e empresas.					
6. Promover a integração dos empresários na proposta de formação em inovação em nanotecnologia. Principais Atores: empresas, Capes, CNPq, MCT, Finep,CNI, Anpei, Anprotec, Abipti e FAPs.					
7. Conscientizar o sistema educacional sobre a necessidade da criação de uma cultura de inovação no país. Principais Atores: Capes, CNPq, MCT, Finep,CNI, Anpei, Anprotec, Abipti, FAPs e empresas.					
8. Adequar cursos de graduação priorizando a interdisciplinaridade com foco na capacidade empreendedora e na dinâmica da economia baseada no conhecimento. Principais Atores: Capes, CNPq, MCT, Finep,CNI, Anpei, Anprotec, Abipti, FAPs e empresas.					
9. Avaliar a necessidade de ajustes para capacitação em inovação tecnológica e ampliação para outras regiões do país. Principais Atores: Capes, CNPq, MCT, Finep,CNI, Anpei, Anprotec, Abipti, FAPs e empresas.					

Situação atual: 2008

Visão de futuro: 2025

continua...



	2008-2010	2011-2015	2016-2025
Situação atual: 2008	10. Fomentar a criação de cursos interunidades de pós-graduação voltados para a análise de ciclo de vida de produtos de inovação. Principais Atores: MEC, Capes, CNPq, MCT, universidades e empresas.		
	11. Identificar pesquisadores brasileiros que atuam no exterior com foco na inovação. Principais Atores: MCT, CNPq, CAPES, FAPs e empresas.		
	12. Valorizar a produção tecnológica (patentes e processos inovadores) de pesquisadores no país que fazem inovação e interação com empresas de base tecnológica. Principais Atores: Capes, CNPq, MCT, Finep, Inpi, CNI, Anpei, Anprotec, Abipti, FAPs e empresas.		
	13. Manter os programas de Subvenção Econômica ou outras formas de apoio para estimular a contratação de mestres e doutores nas empresas. Principais Atores: MCT, Finep e empresas.		
	14. Propor alternativas para viabilizar a fixação de talentos após períodos de subvenção com segurança jurídica para as empresas (ex.: contratação como pessoa jurídica). Principais Atores: Empresas, CNI, Anprotec, Ministério do Trabalho, MCT, MDIC, Planejamento, Fazenda, Congresso Nacional.		

Visão de futuro: 2025

Fonte: CGEE (2008)

Certamente essas ações voltadas para a dimensão “recursos humanos” devem estar associadas a investimentos para consolidar e expandir a infraestrutura física (IE) das instituições públicas e privadas, com o objetivo de promover condições para que elas concentrem esforços em nanotecnologia, inclusive apoiando o surgimento de novas empresas de base tecnológica. Nesse sentido, no Quadro 9.32, são propostas seis ações relacionadas à dimensão “infraestrutura”.

Quadro 9.32 Infraestrutura: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoambiente

2008-2010	2011-2015	2016-2025
P&D: T6c, T6g Inovação: T6c, T6g	P&D: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ¹ , T6f, T6h, T6i Inovação: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ¹ , T6f, T6h, T6i Produção: T6g, T6c Comercialização: T6g, T6c	P&D: T6d Inovação: T6d Produção: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ^{1e2} , T6f, T6h, T6i Comercialização: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ² , T6f, T6h, T6i
1. Agilizar o processo de implantação de Núcleos Regionais de Inovação Tecnológica (NITs) nas ICTs. Principais Atores: ABDI, Sebrae, Finep, FORTEC e ICTs. 2. Estruturar uma base metrológica voltada para a área de nanotecnologia. Principais Atores: Inmetro, ABNT, Anvisa, Mapa, MMA, ANP, ANA, Ibama, entre outras entidades acreditadoras e credenciadoras de laboratórios de prestação de serviços de ensaios e calibração; entidades e laboratórios credenciados e empresas. 3. Estruturar redes de laboratórios acreditados para detecção de análitos específicos em padrões internacionais. Principais Atores: Inmetro, ABNT, Anvisa, Mapa, MMA, ANP, ANA, Ibama, entre outras entidades acreditadoras e credenciadoras de laboratórios de prestação de serviços de ensaios e calibração; entidades e laboratórios credenciados e empresas. 4. Estruturar uma rede para procedimentos de avaliação de conformidade. Principais Atores: Inmetro, ABNT, ANP, Mapa, MMA, MME, ANA, Ibama, entre outras entidades acreditadoras e credenciadoras de laboratórios de prestação de serviços de ensaios e calibração; entidades e laboratórios credenciados e empresas. 5. Desenvolver atividade de normalização na área inclusive nos fóruns internacionais. Principais Atores: Inmetro, ABNT, representantes das empresas, universidades, governo e ICTs. 6. Interagir e melhorar a infraestrutura laboratorial para a caracterização de nanomateriais e para a realização de ensaios de toxicidade molecular e bioacumulação. Principais Atores: Inmetro, ABNT, Anvisa, Mapa, MMA, ANP, ANA, Ibama, entre outras entidades acreditadoras e credenciadoras de laboratórios de prestação de serviços de ensaios e calibração; entidades e laboratórios credenciados e empresas.		

Situação atual: 2008

Visão de futuro: 2025

Fonte: CGEE (2008)

Na sequência, as proposições para a Agenda INI-Nanotecnologia voltadas para o tema nanoambiente devem também abranger ações de fomento (**INV**), utilizando os diversos mecanismos de apoio disponí-

veis, de modo a prover fontes adequadas de financiamento, inclusive de natureza não reembolsável, o que é de extrema importância para a formação de empresas ou rede de empresas inovadoras em nanotecnologia. Segundo essa perspectiva, o Quadro 9.33 apresenta quatro ações relacionadas à dimensão “investimentos”.

Quadro 9.33 Investimentos: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoambiente

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T6c, T6g Inovação: T6c, T6g	P&D: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ¹ , T6f, T6h, T6i Inovação: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ¹ , T6f, T6h, T6i Produção: T6g, T6c Comercialização: T6g, T6c	P&D: T6d Inovação: T6d Produção: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ^{1e2} , T6f, T6h, T6i Comercialização: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ² , T6f, T6h, T6i	
	1.Criar uma linha de investimento contínua e de longo prazo, com recursos públicos e privados, em CT&I. Principais Atores: MCT, MDIC, agências de fomento (Finep, CNPq, Capes), BNDES e empresas.			
	2. Implantar programas nacionais de apoio financeiro a fundo perdido para as empresas <i>start-up</i> , apoiando inclusive a contratação de pessoal. Principais Atores: BNDES, Finep, investidor privado, empresas.			
	3.Fortalecer o Fundo Setorial para a área de nanotecnologia. Principais Atores: Casa Civil, MDIC, MCT, MME, MMA, Mapa, MS e MPOG.			
		4.Criar mecanismos associados à isenções fiscais, deduções de taxas, amortização, depreciação acelerada, subsídios, adiamento de taxas sobre ganhos de capital, proteção intelectual para diluir o pagamento de impostos pelas empresas <i>start-up</i> . Principais Atores: Casa Civil, MDIC, MCT, MME, MMA, Mapa, MS e MPOG.		

Fonte: CGEE (2008)

Na sequência, no Quadro 9.34, apresenta-se uma única ação, porém de grande impacto, relacionada à dimensão “marco regulatório”, tendo como foco a entrada no mercado das aplicações referentes ao tema nanoambiente, como preconizado no mapa tecnológico representado na Figura 8.10.

Quadro 9.34 Marco regulatório: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoambiente

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T6c, T6g Inovação: T6c, T6g	P&D: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ¹ , T6f, T6h, T6i Inovação: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ¹ , T6f, T6h, T6i Produção: T6g, T6c Comercialização: T6g, T6c	P&D: T6d Inovação: T6d Produção: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ^{1e2} , T6f, T6h, T6i Comercialização: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ² , T6f, T6h, T6i	
	1. Ação interministerial para adequação e modernização do marco regulatório: regulação, normalização e metrologia, envolvendo o licenciamento de produtos e processos, questões ambientais, segurança do trabalho, direitos do consumidor. Principais atores: Casa Civil, MDIC, MCT, MS, Mapa, MMA, MPOG, empresas, sociedade civil.			

Fonte: CGEE (2008)

Para o curto prazo, propõe-se uma ação interministerial para adequação e modernização do marco regulatório: regulação, normalização e metrologia, envolvendo o licenciamento de produtos e processos, questões ambientais, segurança do trabalho, direitos do consumidor. No caso da nanotecnologia, que pode gerar produtos com partículas invisíveis ao olho nu, e cujos impactos ainda precisam ser melhor avaliados, a definição de marcos regulatórios é essencial (**MR**) para que certas aplicações da nanotecnologia possam chegar até o mercado de forma responsável, com riscos avaliados e medidas de segurança devidamente definidas e regulamentadas, especialmente na área de meio ambiente.

Outro ponto chave é a influência de aspectos éticos (**AE**) e socioculturais, geralmente relacionados à incorporação de novas tecnologias e sua aceitação pela sociedade. Nesse sentido, o Quadro 9.35 apresenta três ações relacionadas à dimensão “aspectos éticos e aceitação pela sociedade”.



Quadro 9.35 Aspectos éticos e aceitação pela sociedade: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoambiente

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T6c, T6g Inovação: T6c, T6g	P&D: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ¹ , T6f, T6h, T6i Inovação: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ¹ , T6f, T6h, T6i Produção: T6g, T6c Comercialização: T6g, T6c	P&D: T6d Inovação: T6d Produção: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ^{1e2} , T6f, T6h, T6i Comercialização: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ² , T6f, T6h, T6i	
		1. Identificar pesquisadores especialistas nacionais e internacionais para proporem modelo sobre ética em nanotecnologia em comparação com outros países como França, Holanda, USA, Japão, UK, Austrália, Irlanda. Principais Atores: MCT, MDIC, MME, agências de fomento (Finep, CNPq, Capes), BNDES, empresas, universidades e ICTs.		
		2. Realizar discussões entre governo e empresas sobre avaliação dos riscos dos produtos de inovação (percepção, avaliação) no início do desenvolvimento do P&D&I. Incluir avaliação do componente sociológico no desenvolvimento de P&D&I. Principais Atores: governo, empresas, agências reguladoras, agências de fomento, ABC, universidades, sociedade civil e instituições setoriais.		
		3. Esclarecer empresas sobre a necessidade da avaliação dos riscos <i>upstream</i> do desenvolvimento de P&D&I. Principais Atores: MDIC, MMA, MS, agências reguladoras, agências de fomento, ABC, universidades, ABDI, instituições setoriais e empresas.		

Fonte: CGEE (2008)

O sucesso da inovação de produtos nanotecnológicos, assim como ocorre para outros produtos, depende fundamentalmente de aspectos mercadológicos (**AM**) como inserir alguns exemplos. O Quadro 9.36 apresenta duas ações relacionadas à dimensão “aspectos de mercado”, consolidando-se o conjunto de proposições para composição da Agenda INI-Nanotecnologia no que tange ao tema “Nanoambiente”.

Quadro 9.36 Aspectos de mercado: ações de suporte ao desenvolvimento das aplicações promissoras em nanoambiente

Situação atual: 2008	2008-2010	2011-2015	2016-2025	Visão de futuro: 2025
	P&D: T6c, T6g Inovação: T6c, T6g	P&D: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ¹ , T6f, T6h, T6i Inovação: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ¹ , T6f, T6h, T6i Produção: T6g, T6c Comercialização: T6g, T6c	P&D: T6d Inovação: T6d Produção: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ^{1e2} , T6f, T6h, T6i Comercialização: T6a, T6b ^{1e2} , T6e ² , T6f, T6h, T6i	
	1. Fomentar a atividade de pesquisa e inovação por meio do mecanismo de encomendas qualificadas. Principais Atores: MDIC, MCT, MME, MMA, Mapa e MPOG, universidades, ICTs e empresas.			
	2. Avaliar e monitorar a utilização do instrumento “Poder de compra do Estado” para competitividade da indústria brasileira. Principais Atores: Casa Civil, MDIC, MCT, MME, MMA, Mapa e MPOG.			

Fonte: CGEE (2008)

Consolida-se a Agenda INI-Nanotecnologia referente ao tema nano-ambiente, com seis subconjuntos de ações associadas às seis dimensões de suporte à inovação abordadas neste estudo prospectivo. (Quadros 9.31 a 9.36). Conforme o mapa estratégico representado na Figura 8.10, as ações relacionadas às dimensões “recursos humanos”, “infraestrutura”, “investimentos” foram propostas para os três períodos, considerando-se os condicionantes do Quadro 8.2. Com relação à dimensão “marco regulatório”, foi proposta para o curto prazo uma única ação, interministerial, voltada para a adequação e modernização do marco regulatório, compreendendo temas como regulação, normalização e metrologia em nanotecnologia, licenciamento de produtos e processos, questões ambientais, segurança do trabalho e direitos do consumidor. Por outro lado, as ações relacionadas



às dimensões “aspectos éticos e aceitação pela sociedade” e “aspectos de mercado” são mais direcionadas para os períodos 2011-2015 e 2016-2025, quando são esperadas quebras de paradigmas com a introdução de novos materiais e nanobjetos e as inovações trazidas pela nanociência não serão mais de caráter incremental.

Notas

⁵⁰ MCT (2006). **Programa Nacional de Nanotecnologia**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: jul 2008.

10. Conclusões e recomendações :

O presente estudo prospectivo atingiu seu objetivo maior que foi fornecer as bases para a estruturação de uma Agenda INI-Nanotecnologia robusta, contemplando diretrizes e ações de curto, médio e longo prazos vinculadas diretamente ao desenvolvimento das aplicações de nanotecnologia apontadas como as mais promissoras para o Brasil. Os resultados apresentados nos Capítulos 2 a 9 foram fruto de um processo participativo e estruturado para esse fim, envolvendo mais de cinquenta especialistas em N&N, oriundos dos setores acadêmico, empresarial e governamental.

O escopo do estudo compreendeu seis temas de nanotecnologia e seis dimensões correspondentes aos focos de ações de suporte da INI-Nanotecnologia, a saber: recursos humanos, infraestrutura, investimentos, marco regulatório, aspectos éticos e aspectos de mercado. Os seis temas de nanotecnologia foram desdobrados em tópicos, perfazendo ao final um total de 49 tópicos. O exercício prospectivo foi iniciado com 38 tópicos como ponto de partida, porém esse conjunto foi ampliado pelos especialistas em função de graus diferenciados de maturidade tecnológica ou de impacto competitivo sustentável dos tópicos iniciais.

Os 49 tópicos tecnológicos resultantes foram avaliados com o auxílio de ferramentas avançadas de construção de mapas estratégicos e de gestão de *portfolio* tecnológico, o que permitiu identificar as aplicações mais promissoras para o país, pela classificação dos tópicos segundo dois critérios: (i) sustentabilidade, calculada em função do impacto econômico e socioambiental das aplicações futuras; (ii) grau de esforço para atingir o posicionamento desenhado no mapa tecnológico do Brasil.

Desse processo estruturado de análise, destacaram-se aquelas aplicações consideradas estratégicas para o país em três níveis: (i) "apostas", referentes a tópicos que foram classificados como de alta sustentabilidade e cujos desenvolvimentos requerem alto grau de esforço, na grande

maioria dos casos pelo estágio embrionário em que se encontram; (ii) “situação ideal”, quando os tópicos são de alta sustentabilidade e seus desenvolvimentos requerem pouco esforço; e (iii) “situação desejável”, quando os tópicos são de alta sustentabilidade e seu desenvolvimento irá requerer um esforço médio.

No primeiro nível, situam-se 22 tópicos considerados como “apostas”, com a seguinte distribuição: nanomateriais (4); nanoeletrônica (3); nanofotônica (3); nanobiotecnologia (2); nanoenergia (4); e nanoambiente (7). São eles: “nanofios e nanotubos” (**T1b¹**); “nanobjetos replicando a natureza” (**T1b³**); “nanomateriais, além da tecnologia do silício” (**T1c²**); “nanomateriais funcionais” (**T1e**); “dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com incorporação de nanomateriais” (**T2a¹**); “nanodispositivos: integração de tecnologias *top-down* e *bottom-up*” (**T2c³**); “dispositivos convencionais à base de materiais nanoestruturados e suas arquiteturas” (**T2d**); “células solares: poliméricas e de pequenas moléculas” (**T3f²** e **T5a**); “sensores fotônicos: plasmônicos” (**T3g¹**); “sensores fotônicos: nanopartículas unimoleculares fluorescentes” (**T3g²**); “imageamento molecular” (**T4d**); “nanorrobôs” (**T4g**); “células a combustível: PEM” (**T5c²**); “nanofibras e nanotubos de carbono com aplicações em energia” (**T5d**); “nanocatalisadores” (**T5e**); “nanossensores para aplicações ambientais” (**T6a**); “membranas e filtros para gases” (**T6b¹**); “membranas e filtros para líquidos orgânicos” (**T6b²**); “nanomateriais com atividade catalítica para biocombustíveis e gás natural” (**T6e¹**); “nanomateriais com atividade catalítica: consolidação da tecnologia e novas aplicações” (**T6e²**); “técnicas de monitoramento e diagnóstico de nanomateriais” (**T6f**); e “sistemas de entrega e liberação controlada de nutrientes e defensivos agrícolas” (**T6g**). Vale ressaltar que os tópicos **T3f²** e **T5a** foram computados juntos como um único tópico.

No segundo nível, situam-se apenas 2 tópicos em “situação ideal”, ou seja, situação na qual com baixo grau de esforço alcança-se alta susten-



tabilidade. Os tópicos são: “revestimentos e filmes biofuncionais” (**T4f**); e “nanomateriais para controle microbiano em meio ambiente, alimentos e bioprocessos” (**T6c**).

E, finalmente, no terceiro nível, foram classificados 25 tópicos na posição considerada “desejável”. São eles: “nanomateriais estruturais” (**T1a**); “nanopartículas” (**T1b²**); “nanomateriais semicondutores e magnéticos” (**T1c¹**); “revestimentos nanoestruturados” (**T1d**); “*vacuum microelectronics* com nanotubos” (**T2a²**); “células solares com nanocompósitos; *displays* OLEDs com nanodispositivos” (**T2a³**); “NEMS e atuadores” (**T2b**); “nanodispositivos: tecnologias *top-down* e *bottom-up*” (**T2c¹**); “nanodispositivos: tecnologias *roll-to-roll*” (**T2c²**); “*displays*” (**T3a**); “LEDs orgânicos” (**T3b** e **T5f²**); “LEDs inorgânicos” (**T3c** e **T5f¹**); “aplicações de nanofotônica em dados e telecomunicações” (**T3d**); “outros dispositivos optoeletrônicos” (**T3e**); “células solares: *quantum dots* e heterojunção” (**T3f¹**); “materiais nanoestruturados biocompatíveis” (**T4a**); “sistemas de entrega e liberação controlada de fármacos” (**T4b¹**); “sistemas de entrega e liberação controlada de cosméticos” (**T4b²**); “biossensores” (**T4c**); “materiais nanoestruturados para aplicação em agricultura” (**T4e**); “baterias e capacitores” (**T5b**); “células a combustível: óxido sólido” (**T5c¹**); “nanodispositivos para tratamento de águas e resíduos” (**T6d**); “nanomateriais de fontes renováveis ou biodegradáveis” (**T6h**) e “análise do ciclo de vida de nanomateriais” (**T6i**). Os tópicos **T3b** e **T5f²** foram computados juntos como um único tópico, assim como os tópicos **T3c** e **T5f¹**.

O Quadro 10.1 apresenta uma síntese geral das conclusões deste estudo, incluindo dados comparativos sobre o estágio de desenvolvimento em que se encontram os 49 tópicos no mundo e no Brasil, no período 2008-2010. O horizonte de curto prazo foi o escolhido para integrar esse quadro-resumo, pelo fato de que grande parte das ações de suporte deverão ser mobilizadas nesse período, para que o país possa aprovei-

tar efetivamente as vantagens potenciais referentes a tópicos que hoje se encontram em estágio pré-competitivo, em nível mundial. Isso porque um elevado percentual das aplicações classificadas como “apostas” encontram-se na situação pré-competitiva e com grau de maturidade embrionária (primeiro nível do Quadro 10.1).

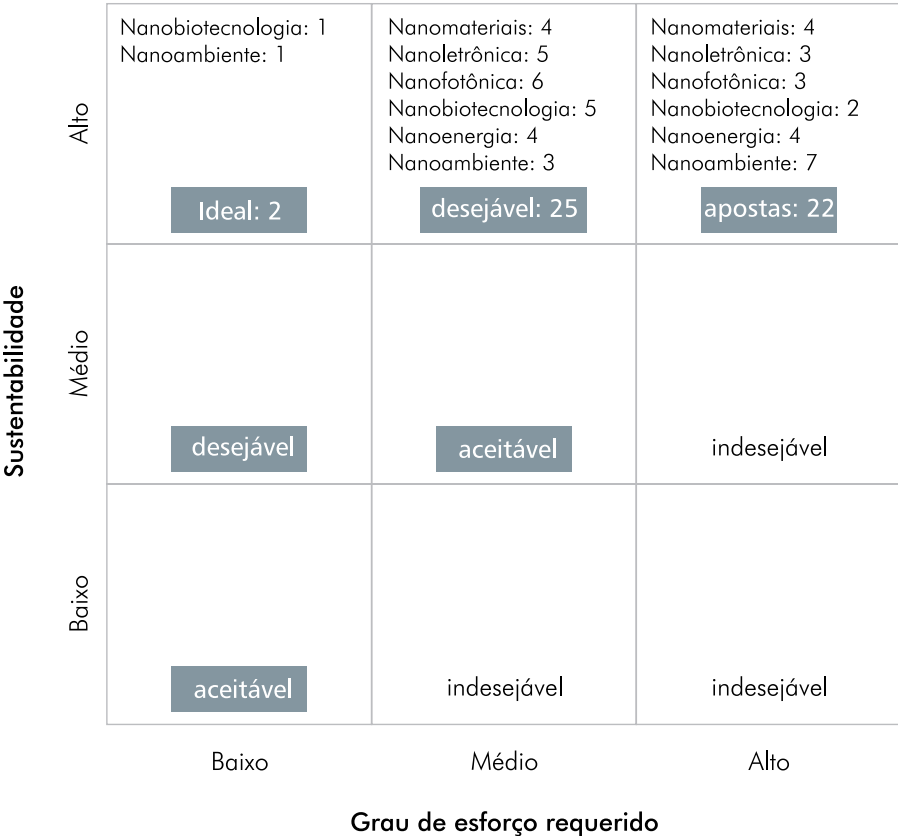
O alto grau de inovação associado às futuras mudanças em produtos e processos industriais geradas pelo avanço das nanotecnologias identificadas como “apostas” neste estudo poderá causar a obsolescência de diversos produtos e processos que hoje estão em uso. Em áreas emergentes, como em diversos casos aqui analisados, torna-se fundamental que sejam traçadas estratégias flexíveis de investimento envolvendo governo, empresas, universidades e ICTs.

Se por um lado é importante administrar as incertezas, barreiras e riscos associados às aplicações classificadas como “apostas”, por outro lado o *portfolio* geral, abrangendo os 49 tópicos, mostrou-se bem balanceado, o que propicia ao país o aproveitamento de diversas oportunidades nos seis temas nos demais quadrantes do *portfolio*.

A Figura 10.1 representa o *portfolio* tecnológico estratégico da INI-Nanotecnologia, com a distribuição quantitativa dos 49 tópicos em três níveis de posicionamento para a tomada de decisão: “apostas” (22 tópicos), “situação desejável” (25 tópicos) e “situação ideal” (2 tópicos). Um *portfolio* com essas características favorece significativamente o cumprimento das ações e metas propostas no Capítulo 9 e o engajamento oportuno e em tempo hábil dos diversos atores sugeridos na Agenda, em torno das trajetórias preconizadas nos respectivos mapas tecnológicos representados ao longo deste documento.



Figura 10.1 *Portfolio tecnológico estratégico da INI-Nanotecnologia*



Fonte: CGEE (2008)

A Agenda volta-se para o aproveitamento das aplicações mais promissoras de nanotecnologia, em três níveis distintos de exigências de recursos, e buscará promover a articulação e o engajamento dos mais diversos atores, por meio das ações de suporte propostas para as seis dimensões da INI-Nanotecnologia. Isso porque, por um lado, os pesquisadores precisam de apoio e orientação desde as fases iniciais mostradas nos mapas tecnológicos (pesquisa pré-competitiva), até a antecipação de oportunidades comerciais e consequente materialização dos resultados de P&D em inovações de produtos e processos, que gerem impactos so-

ciais, ambientais ou econômicos para o país. Por outro lado, as empresas necessitam de uma maior integração com o ambiente acadêmico para gerar novas oportunidades de transferência para o setor socioprodutivo dos promissores resultados, como visto neste estudo, em relação à produção científica nacional. Os gargalos discutidos e apontados em todos os capítulos específicos dos temas de nanotecnologia (Capítulos 3 a 8) merecem atenção especial por parte do governo, especialmente quando estiverem associados à atividades nas quais o país tem ou poderá vir a ter posicionamento competitivo sustentável na cena internacional.

Apresentam-se, a seguir, as recomendações do estudo:

- Divulgar e difundir os resultados do estudo prospectivo da INI-Nanotecnologia, de forma a obter uma avaliação mais ampla das indicações estratégicas junto aos órgãos governamentais, à academia, às empresas e à sociedade em geral;
- Possibilitar a efetiva incorporação dos resultados nos processos decisórios associados ao cumprimento das metas estabelecidas no Programa Mobilizador em Nanotecnologia que integra a Política de Desenvolvimento Produtivo – PDP;
- Possibilitar o efetivo alinhamento e incorporação das proposições de ações que integram a Agenda INI-Nanotecnologia às iniciativas em curso e previstas no Programa Mobilizador em Nanotecnologia que integra a Política de Desenvolvimento Produtivo – PDP;
- Aprofundar a análise sociotécnica dos tópicos abordados, de modo a identificar mecanismos de gestão tecnológica, de investimentos em CT&I e regulamentação adequados a estes, considerando as incertezas e os riscos inerentes ao estágio de desenvolvimento das nanotecnologias;
- Monitorar de forma sistemática o desenvolvimento, em nível mundial e nacional, dos tópicos abordados, especialmente os 22 tópicos considerados como “apostas” no *portfolio* tecnológico estratégico.



Finalmente, cabe ressaltar que o estudo prospectivo congregou os resultados de um esforço coletivo, envolvendo cerca de 60 representantes de instituições acadêmicas, de centros de P&D, da indústria e do governo, que atuam diretamente nos campos da nanociência e da nanotecnologia. Consolidou-se dessa forma, com o comprometimento de todos, a Agenda que servirá de base para as etapas posteriores de implantação da INI-Nanotecnologia.

Quadro 10.1 Síntese geral do estudo prospectivo: base estratégica para a Agenda INI-Nanotecnologia

Posicionamento estratégico	Referência	Tópicos	Mundo: 2008-2010	Brasil: 2008-2010
Apostas: 22 tópicos Nanomateriais: 4 Nanoeletrônica: 3 Nanofotônica: 3 Nanobiotecnologia: 2 Nanoenergia: 4 Nanoambiente: 7	T1b¹	Nanofios e nanotubos	P&D e inovação/implantação	P&D
	T1b³	Nanobjetos replicando a natureza	P&D iniciando em 2011-2015	P&D iniciando em 2016-2026
	T1c²	Nanomateriais além da tecnologia do silício	P&D	P&D iniciando em 2011-2015
	T1e	Nanomateriais funcionais	P&D	P&D
	T2a¹	Dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos com incorporação de nanomateriais	P&D	P&D
	T2c³	Nanodispositivos: integração de tecnologias <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i>	P&D	P&D iniciando em 2011-2015
	T2d	Dispositivos convencionais à base de materiais nanoestruturados e suas arquiteturas	P&D	P&D
	T3g¹	Sensores fotônicos: plasmônicos	P&D	P&D
	T3g²	Sensores fotônicos: nanopartículas unimoleculares fluorescentes	P&D iniciando em 2011-2015	P&D iniciando em 2011-2015

continua...

Posicionamento estratégico	Referência	Tópicos	Mundo: 2008-2010	Brasil: 2008-2010
Apostas: 22 tópicos (continuação)	T4d	Imageamento molecular	P&D	P&D
	T4g	Nanorrobôs	P&D	P&D iniciando em 2016-2025
	T5a e T3f ²	Células solares: poliméricas e de pequenas moléculas	P&D e inovação/implantação em 2011-2015	P&D iniciando em 2011-2015
	T5c ¹	Células a combustível: óxido sólido	P&D	P&D
	T5d	Nanofibras, nanotubos de carbono com aplicações em energia	P&D	P&D
	T5e	Nanocatalisadores	Inovação/implantação	P&D
	T6a	Nanossensores para aplicações ambientais	P&D	P&D iniciando em 2011-2015
	T6b ¹	Membranas e filtros para gases	P&D	P&D iniciando em 2011-2015
	T6b ²	Membranas e filtros para líquidos orgânicos	P&D	P&D iniciando em 2011-2015
	T6e ¹	Nanomateriais com atividade catalítica para biocombustíveis e gás natural	P&D	P&D iniciando em 2011-2015
	T6e ²	Nanomateriais com atividade catalítica: consolidação da tecnologia	P&D	Inovação/implantação iniciando em 2011-2015
	T6f	Técnicas de monitoramento e diagnóstico de nanomateriais	P&D	P&D
	T6g	Sistemas de entrega e liberação controlada de nutrientes e defensivos agrícolas	P&D	P&D
Ideal: 2 tópicos	T4f	Revestimentos e filmes biofuncionais	Inovação/implantação	Produção/processo
Nanobiotecnologia: 1 Nanoambiente: 1	T6c	Nanomateriais para controle microbiano em meio ambiente, alimentos e bioprocessos	Produção e comercialização	P&D e inovação/implantação

continua...



Posicionamento estratégico	Referência	Tópicos	Mundo: 2008-2010	Brasil: 2008-2010
Desejável: 25 tópicos Nanomateriais: 4 Nanoeletrônica: 6 Nanofotônica: 6 Nanobiotecnologia: 5 Nanoenergia: 4 Nanoambiente: 3	T1a	Nanomateriais estruturais	Produção/ processo	P&D
	T1b²	Nanopartículas	Produção/ processo	Inovação incremental
	T1c¹	Nanomateriais semicondutores e magnéticos	Comercialização	Inovação incremental iniciando em 2011-2015
	T1d	Revestimentos nanoestruturados	Produção/ processo	P&D e inovação incremental
	T2a²	<i>Vacuum microeletronics</i> com nanotubos	Inovação/ implantação	P&D
	T2a³	Células solares com nanocompósitos e <i>displays</i> OLEDs com nanodispositivos	Inovação/ implantação e produção/ processo	Inovação
	T2b	NEMS e atuadores	Inovação/ implantação	P&D
	T2c¹	Nanodispositivos: tecnologias <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i>	Comercialização	P&D
	T2c²	Nanodispositivos: tecnologias <i>roll-to-roll</i>	Inovação/ implantação	Inovação
	T3a	<i>Displays</i>	Produção/ processo	Inovação/ implantação
	T3b e T5f²	LEDs orgânicos	Produção/ processo	P&D e inovação
	T3c e T5f¹	LEDs inorgânicos	Comercialização	P&D. Comercialização via importação
	T3d	Aplicações de nanofotônica em dados e telecomunicações	Produção/ processo	P&D
	T3e	Outros dispositivos optoeletrônicos	Inovação/ implantação	P&D
	T4a	Materiais nanoestruturados biocompatíveis	Produção/ processo	P&D
	T4b¹	Sistemas de entrega e liberação controlada de fármacos	Inovação/ implantação	Inovação/ implantação

continua...

Posicionamento estratégico	Referência	Tópicos	Mundo: 2008-2010	Brasil: 2008-2010
Desejável: 25 tópicos (continuação)	T4b ²	Sistemas de entrega e liberação controlada de cosméticos	Inovação/implantação	Produção/processo
	T4c	Biossensores	Inovação/implantação	Inovação/implantação
	T4e	Materiais nanoestruturados para aplicação em agricultura	Produção/processo	Inovação/implantação
	T3f ¹	Células solares: <i>quantum dots</i> e heterojunção	Inovação/implantação	P&D e inovação
	T5b	Baterias e capacitores	Inovação/implantação e produção	P&D
	T5c ²	Células a combustível: PEM	Produção/processo	Inovação/implantação
	T6d	Nanodispositivos para tratamento de água e resíduos	Produção/processo	P&D iniciando em 2016-2025
	T6i	Análise do ciclo de vida de nanomateriais	Inovação/implantação	P&D iniciando em 2011-2015
	T6h	Nanomateriais de fontes renováveis ou biodegradáveis.	Inovação/implantação	P&D





11. Referências bibliográficas :

AGÊNCIA CT (2008). **Centro de Nanociência e Nanotecnologia Cesar Lattes (C2Nano) será inaugurado hoje**. Agência CT. Disponível em: <<http://inovabrasil.blogspot.com/2008/03/centro-de-nanociencia-e-nanotecnologia.html>>. Acesso em: dez 2008.

ALVES, O. L. (2004). **Nanotecnologia e Desenvolvimento**. Disponível em: <http://lqes.iqm.unicamp.br/images/pontos_vista_artigo_divulgacao_35_1_nanotecnologia_desenvolvimento.pdf>. Acesso em: jul 2008.

ALVES, O. L. (2005). **Atividade Prospectiva em Nanotecnologia: Mapeamento da Competência Nacional em Nanociência e Nanotecnologia nos últimos 10 anos (1994-2004)**. Mimeo. Campinas, fev 2005.

ALVES, O. L. (2005) **Nanociência e Nanotecnologia: um bom motivo para a Cooperação Científica Brasil – Argentina e a gestação do Centro Brasileiro Argentino de Nanotecnologia**. Disponível em: <http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/pontos_vista/pontos_vista_divulgacao45-1_nanotecnologia_argentina.pdf>. Acesso em: jul 2008.

AMERICANO, A. C. (2008). Petrobras usa nanotecnologia e economiza na perfuração. **Gazeta Mercantil**, 11 set 2008, Caderno C, p. 2.

AZAD, N. & ROJANASAKUL, Y. (2006). Nanobiotechnology in Drug Delivery. **American Journal of Drug Delivery**, 4, 79.

BATTELLE MEMORIAL INSTITUTE AND FORESIGHT NANOTECH INSTITUTE (2007). **Productive Nanosystems: A Technology Roadmap**. Disponível em: <http://www.foresight.org/roadmaps/nanotech_roadmap_2007_main.pdf>. Acesso em: jul 2008.

BCC RESEARCH (2008). **Nanotechnology**: A Realistic Market Assessment. Report ID: NANO31C. Wellesley, MA: BCC Research Ltd. May 2008.

BCC RESEARCH (2007). **Nanotechnology in Energy Applications**. Report ID: NAN044A, Wellesley, MA.: BBC Research Ltd. Mar 2007.

BCC RESEARCH (2006). **Nanocomposites, Nanoparticles, Nanoclays and Nanotubes**. Report ID: NAN021C, Wellesley, MA: BCC Research Ltd. Jun 2006.

BCCRESEARCH(2006). **Nanotechnology in Environmental Applications**. Report ID: NAN039A, Wellesley, MA.: BBC Research Ltd. Maio 2006.

BCC RESEARCH (2005). **Nanomaterials Markets by Type**. Report ID: NANO 40A. Wellesley, MA.: BCC Research Ltd. Dez 2005.

BCC RESEARCH (2005). **Nanotechnology for Life Science Applications**. Report ID: NAN038A, Wellesley, MA.: BBC Research Ltd. Out 2005.

BCC RESEARCH (2005). **Nanotechnology for Photonics**. Report ID: NAN036A, Wellesley, MA.: BBC Research Ltd. Mar 2005.

BCC RESEARCH (2004). **Nanomaterials in Nanoelectronics**. Report ID: NAN030A, Wellesley, MA.: BBC Research Ltd. Jan 2004.

BRASIL (2004). **Decreto que regulamenta a Lei nº 10.973**, de 2 de dezembro de 2004, que dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo, e dá outras providências.

CGEE (2008). **Relatório Intermediário INI-Nanotecnologia**. Mimeo. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Fev 2008.



- CGEE (2005). **Consulta Delphi em Nanociência e Nanotecnologia: NanoDelphi**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.
- CIENTIFICA (2008). **The Nanotechnology Opportunity Report**. Executive Summary. Third edition. Jun 2008. London: Cientifica Ltd.
- CIENTIFICA (2007). **Half Way to the Trillion Dollar Market?** A critical review of the diffusion of nanotechnologies. London: Cientifica Ltd.
- CNPQ (2008). **Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil**. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Disponível em: <<http://dgp.cnpq.br>>. Acesso em: dez 2008.
- COSTA, P. B. (2008). **Normalização como fator de agilização das informações nanotecnológicas**. Palestra proferida na Nanotec 2008 em São Paulo, novembro de 2008. Disponível em: <<http://www.abnt.org>>. Acesso em: dez 2008.
- CROW, M. M.; SAREWITZ, D. (2001). Nanotechnology and societal transformation. In: **Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology**. M. C. Roco and W. S. Bainbridge (Eds.). Kluwer Academic, Boston, Mass, pp. 55-67.
- DURAN, N.; MATTOSO, L. H. C.; MORAIS, P. C. (2006). **Nanotecnologia: Introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação**. São Paulo: Artliber Editora.
- DUPONT BRASIL (2008). **Press Release 2008**. Disponível em: <http://www2.dupont.com/Media_Center/pt_BR/news_releases/2008/nano_risk_framework.html>. Acesso em: dez 2008.
- ESPICON BUSINESS INTELLIGENCE (2007). **Nanotechnology: Players, Products & Prospects to 2015**. Nov 2007.

- FERNANDES, M. F. M. (2007). **Um Panorama da Nanotecnologia no Brasil (e seus Macrodesafios)**. Dissertação de mestrado. História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1 jul 2007.
- FRONZA, T. (2006). **Estudo Exploratório de Mecanismo de Regulação Sanitária de Produtos Cosméticos de Base Nanotecnológica no Brasil**. Faculdade de Farmácia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dez 2006.
- GALEMBECK, F. e RIPPEL, M. M. (2004). Estratégias institucionais e de empresas. In: **Estudos Estratégicos: Nanotecnologia**. NAE. CGEE. Brasília.
- HATTO, P. (2007). **An Introduction to Standards and Standardization for Nanotechnologies**. Chairman UK NTI/1 and ISO TC 229 Nanotechnologies Standardization Committees. Disponível em: <www.bsi-global.com>. Acesso em: jul 2008.
- HAUPTMAN, A.; SHARAN, Y. (2006). **Envisioned Developments in Nanobiotechnology**: expert survey. Disponível em: <http://www.nano2life.org/download/n2l_expert_survey_results_1.pdf>. Interdisciplinary Center for Technology Analysis and Forecasting (ICTAF) at Tel-Aviv University. Fev 2006.
- ISO (2007). **ISO/TC 229 Business Plan**. Final version. International Organization for Standardization. Abr 2007. Disponível em: <<http://www.iso.org>>. Acesso em: dez 2008.
- ISO (2008). **ISO/TS 27687:2008**. Nanotechnologies: Terminology and Definitions for Nano-objects (Nanoparticle, Nanofibre and Nanoplate). Disponível em: <<http://www.iso.org>>.



- ISO (2008). **ISO/TR 885:2008**. Nanotechnologies: Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies. Disponível em: <<http://www.iso.org>>.
- ISO (2009). **New ISO Technical Report for safer manufacturing and handling of nanomaterials**. Disponível em: <<http://www.iso.org/iso/pressrelease.htm?refid=Ref1191>>. Acesso em: jan 2009.
- KANNO, M. (2008). Sobre a Renanosoma. Jan 2008. Disponível em: <<http://nanotecnologia.incubadora.fapesp.br>>. Acesso em: dez 2008.
- LEDO, J. C. (2007). **Questões Bioéticas Suscitadas pela Nanotecnologia**. Dissertação de mestrado. Centro Universitário São Camilo. Jan 2007.
- LQES (2008). **Riscos Potenciais Ligados às Nanotecnologias**: financiamentos para pesquisa, Europa está na frente dos Estados Unidos. Disponível em: <http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news>. Acesso em: dez 2008.
- LUXRESEARCH (2004). **Statement of Findings**: Sizing Nanotechnology's Value Chain. Executive summary. Out 2004.
- MARCHESE, R. C. (2008). Declaração de Ronaldo de Castro Marchese, diretor da Nanotec, em 11 set 2008. Disponível em: <<http://www.administradores.com.br/noticias>>. Acesso em: dez 2008.
- MARQUES, R.; VAZ, A. (2007). **Briefing da Nanotecnologia no Brasil**. ABDI. CGEE. Mimeo. Brasília, 27 jul 2007.
- MCT (2007). **Documento Resumo do PNN**. Ministério da Ciência e da Tecnologia. Brasília, nov. 2007.

MCT (2006). **Relatório Nanotecnologia**: Investimentos, Resultados e Demandas. Ministério da Ciência e da Tecnologia. Brasília, jun 2006. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/>>. Acesso em: jul 2008.

MCT (2006). **Programa Nacional de Nanotecnologia**. Ministério da Ciência e da Tecnologia. Brasília, jun 2006. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: jul 2008.

MCT (2007). **Iniciativas do MCT em Nanotecnologia**. Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (SETEC) e Coordenação Geral de Micro e Nanotecnologias (CGNT). Ministério da Ciência e Tecnologia.

MDIC (2008). **Política de Desenvolvimento Produtivo**. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Brasília, maio 2008. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/pdp/arquivos.destswf1212125941.pdf>>. Acesso em: nov 2008.

MELO, C. M. e PIMENTA, M. (2004). Nanociências e Nanotecnologia. **Parcerias Estratégicas**, nº 18, p. 16. CGEE. Brasília, ago 2004.

MONA CONSORTIUM (2008). **A European Roadmap for Photonics and Nanotechnology**. Disponível em: <http://www.ist-mona.org/pdf/MONA_v15_190308.pdf>. Acesso em: jul 2008.

NANO2LIFE(2006). **Envisioned Developments in Nanobiotechnology**: expert survey. Nano2Life. Interdisciplinary Center for Technology Analysis and Forecasting (ICTAF) at Tel-Aviv University. Disponível em: <http://www.nano2life.org/download/n2l_expert_survey_results_1.pdf>. Acesso em: jul 2008.



- NANOTECHNOLOGY KNOWLEDGE TRANSFER NETWORK (2008). **Responsible Nano Code Update**. Disponível em: <<http://www.responsiblenanocode.org>>. Acesso em: dez 2008.
- NEL, A. et al. (2006). Toxic potential of materials at the nanolevel. **Science**, v. 311, nº 5.761, pp. 622-627.
- NNCO (2007). **Nanotechnology and the environment**: report of a National Nanotechnology Initiative workshop (May 8-9, 2003). Arlington, VA: National Nanotechnology Coordination Office. Fev 2007.
- OCDE (1997). **Manual de Oslo**. Proposta de Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados sobre Inovação Tecnológica. Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. 2ª ed. Traduzido em 2004 sob a responsabilidade da Financiadora de Estudos e Projetos – Finep. Rio de Janeiro: Finep, 2004.
- OECD (2008). **Safety of Manufactured Nanomaterials**. Working Party on Manufactured Nanomaterials (WPMN). Disponível em: <<http://www.oecd.org>>. Acesso em: dez 2008.
- PHAAL, FARRUKH and PROBERT (2004). Customizing Roadmapping. **Research Technology Management**, Mar-Abr 2004, pp. 26-37.
- RATNER, M.; RATNER, D. (2003). **Nanotechnology: a gentle introduction to the next big idea**. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, Inc.
- REDE RENANOSOMA (2008). **Rede Renanosoma**. Disponível em: <<http://nanotecnologia.incubadora.fapesp.br/portal>>. Acesso em: dez 2008.

- RNCOS (2008). **Nanotechnology Market Forecast till 2011**. Delhi: RNCOS E-Services Pvt Ltd. Abr 2008.
- ROCO, M. C. (2003). Broader societal issues of nanotechnology. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 5, nº 3-4, pp. 181-189.
- ROCO, M. C.; WILLIAMS, S.; ALIVISATOS, P. (Eds.). (1999). **Nanotechnology Research Directions: vision for nanotechnology in the next decade**. Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering, and Technology Workshop Report. Disponível em: <<http://www.wtec.org/Loyola/nano/IWGN>>. Research Directions. Acesso em: jul 2008.
- ROMERO, T. (2008). **Mais dinheiro no fundo do poço**. Fapesp. Edição especial de 30 de maio de 2008. Disponível em: <<http://www.agencia.fapesp.br/materia/8903/especiais/mais-dinheiro-no-fundo-do-poco.htm>>. Acesso em: dez 2008.
- ROSSI-BERGMANN, B. (2008). A Nanotecnologia: da saúde para além do determinismo tecnológico. Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. **Ciência e Cultura**, v. 60, nº 2. São Paulo.
- SANTOS, L. A. (2008). **Sistema Brasileiro de Inovação em Nanotecnologia**: uma análise preliminar. Dissertação de mestrado em Administração. Programa de Pós-graduação em Administração. Instituto Coppead de Administração da UFRJ. Rio de Janeiro, 30 de setembro de 2008.
- SCIENCE-METRIX (2008). **Nanotechnology World R&D Report 2008**. Serie R&D Reports Examining Science and Technology. Montreal: Science-Metrix Inc.



- TEAGUE, E. C. (2004). **Responsible Development of Nanotechnology**, National Nanotechnology Coordination Office, Abr 2004. Disponível em: <http://www.technology.gov/OTPolicy/Nano/04/0402_TeagueInfocast.pdf>.
- THE FREEDONIA GROUP (2007). **World Nanomaterials to 2011**. Study # 2215. Cleveland, OH: The Freedonia Group. Ago 2007.
- THE ROYAL SOCIETY AND THE ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING (2004). **Nanoscience and Nanotechnologies**: Opportunities and Uncertainties. Londres, jul 2004, pp. 26-7. Disponível em: <<http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>>. Acesso em: jul 2008.
- THE UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (2003). **Nanoscale science and engineering for agriculture and food systems**.
- THOMPSON SCIENTIFIC INFORMATION (2008). **ISI Web of Science**. Disponível em: <<http://go5.isiknowledge.com>>. Acesso em: dez 2008.
- VAN DEN KOKEN, F. S. C. (2006). **Nanotecnologia no Agronegócio**: um estudo econômico do uso da língua eletrônica na cafeicultura. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Economia – PPGECON. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 22 ago 2006.
- WARHEIT, D. B. (2004). Nanoparticles: health impacts? **Materials Today**, v. 7, nº 2, pp. 32-35.
- WILLYARD, C. H.; MCCLEES, C. W. (1987). Motorola's technology roadmap process. **Research Management**, set-out 1987, pp. 13-19.



Anexo I

Participantes das Oficinas de Trabalho INI-Nanotecnologia

1.1 Participantes da 1ª Oficina de Trabalho INI-Nanotecnologia

Nome	Instituição	E-mail	Participação
Alfredo Mendes	MCT	alf@mct.gov.br	Nanoenergia
Álvaro Saavedra	Petrobras	saavedra@petrobras.com.br	Nanoenergia
Ana Maria Rocco	UFRJ	amrocco@eq.ufrj.br	Nanoenergia
Anderson Gomes	UFPE	anderson@df.ufpe.br	Nanofotônica
André Galembeck	Cetene	andre@cetene.gov.br	Nanoeletrônica
Antônio Alberto Fernandes	-	aarfernandes@gmail.com	Nanoambiente
Bartira Rossi Bergmann	UFRJ	bartira@biof.ufrj.br	Nanobiotecnologia
Caio Lewenkopf	LNLS	clewenkopf@lnls.br	Nanoeletrônica
Carlos Alberto Achete	UFRJ	achete@metalmat.ufrj.br	Nanoenergia
Carlos Augusto Caldas de Moraes	CGEE	cmoraes@cgee.org.br	Coordenação
Carlos Pérez Bergmann	UFRGS	bergmann@ufrgs.br	Nanomateriais
Cláudio Radtke	UFRGS	claudio@iq.ufrgs.br	Nanoeletrônica
Davi Santiago de Macedo	MD	davi.santiago@defesa.gov.br	-
Eduardo Zapico Mauro	MD	zapico.mouro@defesa.gov.br	-
Edval J. P. Santos	UFPE	edval@ee.ufpe.br	Nanoeletrônica
Ernesto Costa de Paula	CGEE	ecosta@cgee.org.br	Planejamento
Evando Mirra de Paula e Silva	ABDI	evando.mirra@abdi.com.br	Geral
Fábio M. L. Dantas	INT	fdantas@int.gov.br	Nanobiotecnologia
Fátima Ludovico	Consultora	fatima.ludovico@gmail.com	Coordenação
Fernando Lázaro	Consultora	lazarov@vdg.fis.puc-rio.br	Nanomateriais
Fernando Rizzo	CGEE	rizzo@cgee.org.br	Abertura
Frank Quina	USP	frhquina@iq.usp.br	-
Jean Pierre von der Weid	PUC-Rio	vdweid@gmail.com	Nanofotônica
José D' Albuquerque Castro	UFRS	jcastro@if.ufrj.br	-
Koiti Araki	USP	koiaraki@iq.usp.br	Nanobiotecnologia
Lucia Melo	CGEE	presidencia@cgee.org.br	Abertura
Luiz H.C. Mattoso	Embrapa	mattoso@cnpdia.embrapa.br	Nanoambiente
Manoel Lisboa da Silva Neto	Braskem	manoel.lisboa@braskem.com.br	-
Marco Cremona	PUC/RJ	cremona@fisica.puc-rio.br	Nanofotônica

continua...

Nome	Instituição	E-mail	Participação
Mario Norberto Baibich	MCT	mbaibich@mct.gov.br	Nanomateriais
Mauricio Bomio Delmonte	Nanox Tecnologia	mauricio.bomio@nanox.com.br	Nanomateriais
Oswaldo Luis Alves	Unicamp	oalves@iqm.unicamp.br	Nanoambiente
Patricia Lustoza de Souza	PUC-Rio	patricia@labsem.cetuc.puc-rio.br	Nanoeletrônica
Raquel Santos Mauler	UFRGS	mauler@iq.ufrgs.br	Nanomateriais
Rosane Marques	ABDI	rosane.marques@abdi.com.br	Coordenação
Silvia Guterres	UFRGS	silvia.guterres@ufrgs.br	Nanobiotecnologia
Valtecir Zucolotto	USP	zuco@ifsc.usp.br	Nanobiotecnologia
Víctor Pellegrini Mammana	CTI	victor.mammana@cenpra.gov.br	Nanoeletrônica

1.2 Participantes da 2ª Oficina de Trabalho INI-Nanotecnologia

Nome	Instituição	E-mail	Participação
Adair Rangel de Oliveira Junior	Quattor	adroliveira@quattor.com.br	Nanoambiente
Alejandro Augustin Hanzel	Pirelli	alejandro.hanzel@pirelli.com	Nanomateriais
Ana Maria Rocco (coord.)	UFRJ	amrocco@eq.ufrj.br	Nanoenergia
Anderson Gomes (coord.)	UFPE	anderson@df.ufpe.br	Nanofotônica e nanoeletrônica
Antonio Alberto Fernandes (coord.)	Ufes	aarfernandes@gmail.com	Nanoambiente
Antonio Carlos Quental	Quattor	acquental@quattor.com.br	Nanoambiente
Bartira Rossi Bergmann (coord.)	UFRJ	bartira@biof.ufrj.br	Nanobiotecnologia
Carlos Augusto Caldas de Moraes (coord.)	CGEE	cmoraes@cgee.org.br	Coordenação geral
Carlos Eduardo Calmanovici	Braskem S.A.	carlos.calmanovici@brasken.com.br	Nanofotônica e nanoeletrônica
Carlos Eduardo de Oliveira Paes	Boticario	carlosep@boticario.com.br	Nanoambiente
Claudio Marcondes	Nanox	claudio.marcondes@nanox.com.br	Nanomateriais
Eduardo Tomaniki	Mahle	eduardo.tomaniki@br.mahle.com	Nanomateriais
Eugenio Massú	Ache	eugenio.massu@ache.com.br	Nanobiotecnologia

continua...



Nome	Instituição	E-mail	Participação
Evando Mirra de Paula e Silva	ABDI	evando.mirra@abdi.com.br	Abertura e participação nos grupos de nanoeletrônica e nanofotônica
Fátima Ludovico	CGEE	fatima.ludovico@gmail.com	Coordenação
Getúlio Takahashi			Nanobiotecnologia
Gustavo Simões	Nanox	gustavo.simoies@nanox.com.br	Nanoambiente
Henrique Abrahão Alves	Embraer	henrique.alves@embraer.com.br	Nanomateriais
Henry Suzuki	Incrementtha	henry.suzuki@incrementtha.com.br	Nanobiotecnologia
José Carlos Bressiani	Ipen	jbressia@ipen.com.br	Nanoenergia
Luiz Menezes dos Santos	Datadot	lmenezes@datadot.com.br	Nanomateriais
M ^a Cláudia F. da Cunha Felinto	Ipen	mfelinto@ipen.br	Nanobiotecnologia
Maurício Bomio (coord.)	Nanox	mauricio.bomio@nanox.com.br	Nanomateriais
Paulo Cesar Giarola	Embraer	paulo.giarola@embraer.com.br	Nanofotônica e nanoeletrônica
Paulo César Pavan	Aracruz	pcpavan@aracruz.com.br	Nanobiotecnologia
Rafael Mesquita	Villaresmetals	rafael.mesquita@villaresmetals.com.br	Nanomateriais
Rafael Pellicciotta	Nitroquímica	rafael.pellicciotta@nitroquimica.com.br	Nanomateriais
Roberto Binder	Embraco	roberto_binder@embraco.com.br	Nanoenergia
Roberto Falkenstein	Pirelli	roberto.falkenstein@pirelli.com	Nanomateriais
Rodrigo Fuscilli Pytel	Natura	rodrigopytel@natura.net	Nanobiotecnologia
Rosane Marques	ABDI	rosane.marques@abdi.com.br	Coordenação
Silvia Bugajer	Suzano	sbugajer@suzano.com.br	Nanomateriais
Soraia Ramos	IEA	soraia@iea.sp.gov.br	Nanobiotecnologia
Volkmar Ett	Eletrocell	volkmar@eletrocell.com.br	Nanoenergia

Anexo II :

Instrumento para a consulta estruturada

Atividade 1 – Análise de Impactos e Condicionantes

As três questões da consulta estruturada abrangem o desenvolvimento do conjunto das nanotecnologias (seis temas desta Oficina) e visam identificar aquelas de maior impacto e os setores mais impactados pelas mesmas, bem como os fenômenos (sociais, tecnológicos, econômicos, ambientais e políticos e éticos) que mais influenciarão o futuro dessas nanotecnologias no Brasil nos períodos 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025.

Questão 1. Setores mais impactados e horizontes temporais dos impactos.

Questão 1.1 Dentre os setores listados, aponte os 5 (cinco) que serão mais fortemente impactados no país pelo desenvolvimento do conjunto de nanotecnologias (seis temas desta Oficina).

- ☐ () Aeronáutico;
- ☐ () Automotivo;
- ☐ () Agroindústrias;
- ☐ () Bens de capital;
- ☐ () Biocombustíveis;
- ☐ () Couro, calçados e artefatos;
- ☐ () Celulose e papel;
- ☐ () Construção civil;
- ☐ () Defesa;
- ☐ () Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações;
- ☐ () Fabricação de produtos químicos, incluindo fármacos;
- ☐ () Indústria naval e de cabotagem;
- ☐ () Instrumentação e automação;
- ☐ () Energia (solar, célula combustível etc.);

- () Higiene, perfumaria e cosméticos;
- () Madeira e móveis;
- () Meio ambiente;
- () Mineração;
- () Petróleo, gás natural e petroquímica;
- () Plásticos;
- () Medicina e saúde;
- () Segurança nacional;
- () Siderurgia;
- () Têxtil e confecções;
- () Outros setores (especifique) _____.

Questão 1.2 Para cada setor selecionado, indique o horizonte temporal mais provável em que este impacto será percebido. Transcreva os títulos dos setores para as linhas pontilhadas. (Resposta única).

Setor: _____
() 2008-2010; () 2011-2015; () 2016-2025.

Setor: _____
() 2008-2010; () 2011-2015; () 2016-2025.

Setor: _____
() 2008-2010; () 2011-2015; () 2016-2025.

Setor: _____
() 2008-2010; () 2011-2015; () 2016-2025.

Setor: _____
() 2008-2010; () 2011-2015; () 2016-2025.

Questão 2. Nanotecnologias de impacto: para cada setor selecionado, identifique as nanotecnologias de maior impacto



dentre as listadas. Transcreva os títulos dos setores para as linhas pontilhadas. (Respostas múltiplas).

Setor: _____

() nanomateriais; () nanoeletrônica; () nanofotônica;
() nanobiotecnologia; () nanoenergia; () nanoambiente.

Setor: _____

() nanomateriais; () nanoeletrônica; () nanofotônica;
() nanobiotecnologia; () nanoenergia; () nanoambiente.

Setor: _____

() nanomateriais; () nanoeletrônica; () nanofotônica;
() nanobiotecnologia; () nanoenergia; () nanoambiente.

Setor: _____

() nanomateriais; () nanoeletrônica; () nanofotônica;
() nanobiotecnologia; () nanoenergia; () nanoambiente.

Setor: _____

() nanomateriais; () nanoeletrônica; () nanofotônica;
() nanobiotecnologia; () nanoenergia; () nanoambiente.

Questão 3. Condicionantes do futuro: selecione 10 (dez) fenômenos (sociais, tecnológicos, econômicos, ambientais e políticos e éticos) que mais influenciarão o futuro da Nanotecnologia no Brasil nos períodos 2008-2010, 2011-2015 e 2016-2025.

Questão 3.1 Condicionantes do futuro: selecione na lista abaixo dez fenômenos (sociais, tecnológicos, econômicos, ambientais e políticos e éticos) que mais influenciarão o futuro da Nanotecnologia no Brasil no período 2008-2010.

- () Educação em todos os níveis;
- () Difusão científica;
- () Maior equilíbrio das desigualdades regionais;
- () Melhores condições de segurança de trabalho;
- () Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte;
- () RH em nível técnico e graduado;
- () Insumos básicos para P&D;
- () Impactos da nanotecnologia (estado da arte mundial);
- () Maior volume de capital de risco;
- () Exigência de escala de produção;
- () Parcerias público-privadas;
- () Lançamento de produtos com características únicas impulsionando novas indústrias;
- () Diminuição das barreiras técnicas;
- () Aquecimento global e seus impactos;
- () Produção mais limpa;
- () Legislação ambiental mais restritiva;
- () Uso de energias limpas;
- () Regulamentação técnica e metrologia vinculadas à nanotecnologia;
- () Continuidade da nanotecnologia como prioridade do Estado (CT&I e política industrial);
- () Ênfase na adoção de mecanismos da propriedade intelectual;
- () Segurança nacional;
- () Percepção da sociedade quanto ao valor das nanotecnologias;
- () Consumidores mais conscientes de seus direitos;
- () Nanoética (legislação, *risk assessment* institucionalizado, valores em relação ao uso das nanotecnologias);
- () Outros (especifique) _____ .

Questão 3.2 Condicionantes do futuro: selecione na lista abaixo dez fenômenos (sociais, tecnológicos, econômicos, ambien-

tais e políticos e éticos) que mais influenciarão o futuro da Nanotecnologia no Brasil no período 2011-2015.

- () Educação em todos os níveis;
- () Difusão científica;
- () Maior equilíbrio das desigualdades regionais;
- () Melhores condições de segurança de trabalho;
- () Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte;
- () RH em nível técnico e graduado;
- () Insumos básicos para P&D;
- () Impactos da nanotecnologia (estado da arte mundial);
- () Maior volume de capital de risco;
- () Exigência de escala de produção;
- () Parcerias público-privadas;
- () Lançamento de produtos com características únicas impulsionando novas indústrias;
- () Diminuição das barreiras técnicas;
- () Aquecimento global e seus impactos;
- () Produção mais limpa;
- () Legislação ambiental mais restritiva;
- () Uso de energias limpas;
- () Regulamentação técnica e metrologia vinculadas à nanotecnologia;
- () Continuidade da nanotecnologia como prioridade do Estado (CT&I e política industrial);
- () Ênfase na adoção de mecanismos da propriedade intelectual;
- () Segurança nacional;
- () Percepção da sociedade quanto ao valor das nanotecnologias;
- () Consumidores mais conscientes de seus direitos;
- () Nanoética (legislação, *risk assessment* institucionalizado, valores em relação ao uso das nanotecnologias);
- () Outros (especifique) _____ .

Questão 3.3 Condicionantes do futuro: selecione na lista abaixo dez fenômenos (sociais, tecnológicos, econômicos, ambientais e políticos e éticos) que mais influenciarão o futuro da Nanotecnologia no Brasil no período 2016-2025.

- () Educação em todos os níveis;
- () Difusão científica;
- () Maior equilíbrio das desigualdades regionais;
- () Melhores condições de segurança de trabalho;
- () Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado da arte;
- () RH em nível técnico e graduado;
- () Insumos básicos para P&D;
- () Impactos da nanotecnologia (estado da arte mundial);
- () Maior volume de capital de risco;
- () Exigência de escala de produção;
- () Parcerias público-privadas;
- () Lançamento de produtos com características únicas impulsionando novas indústrias;
- () Diminuição das barreiras técnicas;
- () Aquecimento global e seus impactos;
- () Produção mais limpa;
- () Legislação ambiental mais restritiva;
- () Uso de energias limpas;
- () Regulamentação técnica e metrologia vinculadas à nanotecnologia;
- () Continuidade da nanotecnologia como prioridade do Estado (CT&I e política industrial);
- () Ênfase na adoção de mecanismos da propriedade intelectual;
- () Segurança nacional;
- () Percepção da sociedade quanto ao valor das nanotecnologias;



- () Consumidores mais conscientes de seus direitos;
- () Nanoética (legislação, *risk assessment* institucionalizado, valores em relação ao uso das nanotecnologias);
- () Outros (especifique) _____ .



Anexo III :

Grupos de Pesquisa em Nanociência e
Nanotecnologia Plataforma Lattes (2008)

Grupo de pesquisa	Instituição	Estado	Área principal	Nº de pesquisadores
Grupo de Óptica e Materiais	Ufal	AL	Física	4
Grupo de Catálise e Reatividade Química	Ufal	AL	Química	5
Grupo de Pesquisas em Materiais de Engenharia	Ufam	AM	Engenharia Civil	10
Física da Matéria Condensada	Ufam	AM	Física	8
Grupo de Química Teórica e Prospecção de Substâncias Bioativas	Ufam	AM	Química	6
Estudo, Caracterização e Desenvolvimento de Novos Materiais	Uneb	BA	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	9
Grupo de Pesquisa em Processos de Fabricação e Materiais	Senai/DR/BA	BA	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	7
Optelo – Grupo de Optoeletrônica Orgânica	Univasf	BA	Engenharia Elétrica	3
Sensores e Atuadores	Ufba	BA	Engenharia Elétrica	5
Laboratório de Pesquisa em Matéria Médica - Lapemm	Ufba	BA	Farmácia	4
Grupo de Estrutura Eletrônica de Novos Materiais	Uefs	BA	Física	5
Grupo de Nanoestruturas Moleculares e Materiais Nanoestruturados	Ufba	BA	Física	6
Grupo de Síntese e Caracterização Óptica de Materiais	Univasf	BA	Física	2
Propriedades Físicas de Materiais Micro e Nanoestruturados	Univasf	BA	Física	2
Microbiologia Ambiental: Bioprospecção e Nanobiotecnologia	Uefs	BA	Microbiologia	8
Grupo de Pesquisa em Polímeros	Ufba	BA	Química	1
CIEnAm – Centro Interdisciplinar de Energia e Ambiente	Ufba	BA	Química	16
Grupo de Pesquisa em Catálise e Materiais	Ufba	BA	Química	5
Grupo de Pesquisas em Materiais Avançados e Poliméricos	Uneb	BA	Química	5
Tecnologia, Recursos Hídricos e Meio Ambiente na Região do Cariri/CE	UFC	CE	Engenharia Civil	12
Desenvolvimento de Materiais	UFC	CE	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	3
Produtos Naturais Aplicados à Saúde	Unifor	CE	Farmácia	20
Espalhamento de Luz e Medidas Elétricas	UFC	CE	Física	8
Grupo de Pesquisa em Caracterização de Materiais por Difração de Raios-X	UFC	CE	Física	1
Sistemas de Baixa Dimensionalidade	UFC	CE	Física	4
Biologia Pós-genômica, Computacional e de Sistemas Nanoestruturados	Uece	CE	Genética	9
UNIFAC – Pesquisa Pré-clínica e Clínica de Fármacos e Medicamentos	UFC	CE	Medicina	34

continua...

Grupo de pesquisa	Instituição	Estado	Área principal	Nº de pesquisadores
Físico-Química Orgânica	UVA-CE	CE	Química	8
Langmuir – Laboratório de Adsorção e Catálise	UFC	CE	Química	3
Química de Polímeros	UFC	CE	Química	11
Química de Biopolímeros	UFC	CE	Química	2
Genaqua – Grupo de Estudos em Genética e Ecologia de Organismos Aquáticos	UFC	CE	Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca	6
Biologia Estrutural de Células Germinativas	UnB	DF	Bioquímica	8
Laboratório de Dispositivos e Circuitos Integrados	UnB	DF	Engenharia Elétrica	13
Laboratório de Projeto de Circuitos Integrados	UnB	DF	Engenharia Elétrica	6
Laboratório de Tratamento de Superfícies e Dispositivos – LTSD	UnB	DF	Engenharia Elétrica	5
Grupo de Automação e Controle – Graco	UnB	DF	Engenharia Mecânica	13
Nanobiotecnologia Aplicada à Saúde	UnB	DF	Farmácia	6
Interações Biológicas e Nanomateriais	UnB	DF	Genética	7
Química de Colóides, Superfícies e Interfaces	UnB	DF	Química	3
Química Teórica	UnB	DF	Química	6
Laboratório de Materiais e Combustíveis	UnB	DF	Química	4
DUG – Desenvolvimento de Ligas Metálicas	Cefet/ES	ES	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	4
Filmes Finos	Ufes	ES	Física	14
Bioquímica Celular e Molecular da Melanogênese Humana	UFG	GO	Bioquímica	3
Tecnologia e Nanotecnologia Farmacêutica	UFG	GO	Farmácia	10
Grupo de Física de Materiais	UFG	GO	Física	4
Núcleo de Pesquisa em Física	UCG	GO	Física	5
Núcleo Interdisciplinar e Tecnológico de Catalão	UFG	GO	Química	9
Química de Materiais	UFG	GO	Química	20
Química Teórica e Estrutural de Anápolis	Ufma	MA	Química	10
Física Teórica e Modelagem Molecular	Ufma	MA	Física	2
Propriedades de Materiais Semicondutores e Nanoestruturados	Ufma	MA	Física	5
Catálise – UFMA	Ufma	MA	Química	4
GCG – Grupo de Computação Gráfica, Imagem e Visão	UFJF	MG	Ciência da Computação	6
Segurança e Qualidade do Leite	Embrapa	MG	Ciência e Tecnologia de Alimentos	13
Biotecnologia e Ciência dos Materiais Aplicados à Tecnologia Mineral e ao Meio Ambiente	Ufop	MG	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	6
Grupo de Engenharia de Materiais e Meio Ambiente – GEMMA	Ufmg	MG	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	4
Nanoscoopia	Cetec	MG	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	7

continua...

Grupo de pesquisa	Instituição	Estado	Área principal	Nº de pesquisadores
Novas – Inovação em Serviços em Processamento Aquoso e Meio Ambiente	UFMG	MG	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	16
Núcleo de Aplicação e Desenvolvimento da Ciência e Engenharia de Microestruturas	UFMG	MG	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	27
Núcleo de Desenvolvimento de Biomateriais	UFMG	MG	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	8
Grupo de Mecânica de Nanocompósitos	UFMG	MG	Engenharia Mecânica	7
Operações e Processos de Separação	UFV	MG	Engenharia Química	11
Desenvolvimento de Novos Medicamentos e Produtos Inovadores para o Sistema Único	Funed	MG	Farmácia	11
Nanobiotecnologia Aplicada à Saúde	UFMG	MG	Farmácia	19
Sistemas Convencionais e Nanoestruturados de Liberação de Fármacos	UFMG	MG	Farmácia	9
Desenvolvimento e Avaliação Biológica de Medicamentos	UFOP	MG	Farmácia	18
Defeitos em Isolantes e Semicondutores	Unifei	MG	Física	10
Desenvolvimentos e Caracterização de Materiais Nanoestruturados	Ufu	MG	Física	6
Física de Semicondutores	UFMG	MG	Física	22
Física de Sistemas Semicondutores de Baixa Dimensionalidade	UFMG	MG	Física	3
Grupo de Desenvolvimento de Estruturas Nanométricas e Materiais Biocompatíveis	Unifei	MG	Física	8
Grupo de Física da Matéria Condensada	UFJF	MG	Física	6
Grupo de Magnetismo e Materiais Magnéticos	UFMG	MG	Física	7
Grupo de Nanociência	UFU	MG	Física	4
Grupo de Óptica e Fototérmica	UFU	MG	Física	2
Grupo de Propriedades Ópticas e Térmicas de Materiais	UFU	MG	Física	3
Laboratório de Microanálises do Consórcio Física-Geologia-Química UFMG/CDTN/CNEN	UFMG	MG	Física	5
Laboratório de Nanomateriais	UFMG	MG	Física	5
Microscopia e Microanálise da UFMG	UFMG	MG	Física	7
Nanoscoopia	UFMG	MG	Física	2
Novos Materiais	UFSJ	MG	Física	11
Óptica de Nanomateriais	UFMG	MG	Física	8
Óptica e Informação Quântica	UFU	MG	Física	4
Ressonância Magnética	UFMG	MG	Física	13
Nanobiotecnologia	UFU	MG	Genética	42
Biotecnologia Ambiental	UFMG	MG	Microbiologia	5
Estudo dos Mecanismos Gerais de Infecção	UFMG	MG	Microbiologia	5
Laboratório de Matriz Extracelular e Desenvolvimento	UFMG	MG	Morfologia	2

continua...

Grupo de pesquisa	Instituição	Estado	Área principal	Nº de pesquisadores
Doença de Chagas: Imunobiologia, Biologia Molecular e Quimioterapia Experimental	UFOP	MG	Parasitologia	10
Grupo de Eletro-Óptica de Processos Interficiais e Desenvolvimento de Sensores, Baterias e Atuadores Mecânicos	UFVJM	MG	Química	2
Grupo de Fotoquímica e Química da Madeira	UFU	MG	Química	12
Laboratório de Filmes Poliméricos e Nanotecnologia/Lafip-Nanotec	UFU	MG	Química	7
Materiais	UFMG	MG	Química	6
Materiais Derivados de Metais	UFMG	MG	Química	6
Núcleo de Estudos em Química	UFJF	MG	Química	7
Grupo de Eletroanalítica Aplicada	UFV	MG	Química	3
Grupo de Estudos em Química Orgânica e Biológica – Geqob	UFMG	MG	Química	14
Grupo de Materiais Nanoestruturados	UFMG	MG	Química	4
Grupo de Pesquisa em Química Inorgânica	UFMG	MG	Química	10
Grupo de Pesquisa em Química Interfacial e Tecnologias Ambientais	UFSJ	MG	Química	2
Materiais Poliméricos Multicomponentes	UFMG	MG	Química	7
Novos Materiais e Espectroscopia	UFMG	MG	Química	5
Produtos de Biomassa	UFMG	MG	Química	5
Química Analítica Instrumental	UNIFAL	MG	Química	5
Química Verde Coloidal e Macromolecular	UFV	MG	Química	5
NEMS	UFMG	MG	Saúde Coletiva	6
GQMA – Grupo de Química e Microbiologia Aplicada	UFGD	MS	Ciência e Tecnologia de Alimentos	7
Grupo de Materiais	UFMS	MS	Física	5
GDCBIEN – Grupo de Desenvolvimento de Catalisadores e Biocidas Inorgânicos Estratégicos Nanoestruturados	UFMS	MS	Química	5
Materiais Nanoestruturados	UFMT	MT	Física	4
Eletromagnetismo Aplicado	UFPA	PA	Engenharia Elétrica	5
Grupo de Nanofotônica e Nanoeletrônica da Faculdade de Engenharia Elétrica da UFPA	UFPA	PA	Engenharia Elétrica	2
Física de Materiais da Amazônia	UFPA	PA	Física	4
Química Analítica e Ambiental	UFPA	PA	Química	10
Argilas e Materiais Cerâmicos	UFCEG	PB	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	9
Desenvolvimento de Nanomateriais e de Materiais Híbridos	UFPA	PB	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	3
Nanocompósitos	UFCEG	PB	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	4

continua...



Grupo de pesquisa	Instituição	Estado	Área principal	Nº de pesquisadores
Polímeros – UFCG	UFCG	PB	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	11
Química de Materiais	UEPB	PB	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	7
Núcleo de Pesquisa em Sistemas de Liberação de Fármacos e Biofarmácia	UEPB	PB	Farmácia	8
Síntese e Vetorização de Moléculas	UEPB	PB	Farmácia	4
Grupo de Física Teórica	UFCG	PB	Física	3
Matéria Condensada Mole e Física Biológica	UFPB	PB	Física	6
Teoria de Campos e Partículas	UFPB	PB	Física	7
Laboratório de Combustíveis e Materiais	UFPB	PB	Química	18
Bioefeitos do Eletromagnetismo	UFPE	PE	Biofísica	5
Engenharia Biomédica	UFPE	PE	Biofísica	4
Materiais Compósitos de Matriz Metálica e Integridade Estrutural	UFPE	PE	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	3
Fotônica	UFPE	PE	Engenharia Elétrica	5
Grupo de Pesquisa em Eletrônica	UFPE	PE	Engenharia Elétrica	7
Engenharia de Precisão	UFPE	PE	Engenharia Mecânica	6
Grupo de Pesquisa em Energia Renovável	UPE	PE	Engenharia Mecânica	7
Aplicações das Radiações em Sistemas Poliméricos e Nanoestruturas	UFPE	PE	Engenharia Nuclear	7
Instrumentação Nuclear	CNEN	PE	Engenharia Nuclear	6
Desenvolvimentos de Processos e Novos Materiais	Unicap	PE	Engenharia Química	12
Engenharia Ambiental e da Qualidade	UFPE	PE	Engenharia Química	10
Doenças Infeciosas e Resistência	UFPE	PE	Farmácia	7
Sistemas de Liberação Controlada de Fármacos e Vacinas: Nanotecnologia	UFPE	PE	Farmacologia	18
Grupo de Pesquisa em Biotecnologia	UFPE	PE	Física	7
Calorimetria, Transportes e Magnetometria	UFPE	PE	Física	4
Física de Materiais e Dispositivos Semicondutores	UFPE	PE	Física	8
Grupo de Magnetismo e Materiais	UFPE	PE	Física	5
Nano Óptica	UFPE	PE	Física	3
Óptica Não Linear	UFPE	PE	Física	2
Óptica Não Linear, Optoeletrônica e Aplicações da Fotônica	UFPE	PE	Física	4
Polímeros Não-Convencionais	UFPE	PE	Física	4
Supercondutividade e Magnetismo	UFPE	PE	Microbiologia	2
Biotecnologia, Biologia Celular e Molecular	Unicap	PE	Química	34
Grupo de Arquitetura de Nanodispositivos Fotônicos	UFPE	PE	Bioquímica	9
Biodiversidade e Biotecnologia	UFPI	PI	Física	17
Grupo de Materiais e de Bionanotecnologia	UFPI	PI	Química	13

continua...

Grupo de pesquisa	Instituição	Estado	Área principal	Nº de pesquisadores
Biodiesel	UFPI	PI	Química	7
Termoquímica e Química de Adsorção em Superfície	UFPI	PI	Ciência e Tecnologia de Alimentos	7
Tecnologia e Gestão Agroindustrial	UTFPR	PR	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	7
Caracterização e Processamento de Polímeros e Misturas Poliméricas	UEPG	PR	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	4
GPMCell – Grupo de Pesquisa em Materiais Estruturais e Eletro-Eletrônicos	UEPG	PR	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	9
NanoITA	UEPG	PR	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	25
Dispositivos Fotônicos e Aplicações	UFPR	PR	Engenharia Elétrica	10
Estudos em Qualidade e Monitoramento Atmosférico	Unicentro	PR	Engenharia Sanitária	9
Laboratório de Pesquisa de Compostos	Unicentro	PR	Farmácia	11
Pesquisa e Desenvolvimento de Sistemas para Liberação Modificada de Fármacos	UEM	PR	Farmácia	4
Pesquisa in Pharma	UEPG	PR	Farmácia	11
Caos, Desordem e Complexidade em Sistemas Clássicos Quânticos	UFPR	PR	Física	6
Filmes e Nanoestruturas Magnéticas	UFPR	PR	Física	7
Física do Estado Sólido	Unicentro	PR	Física	9
Física dos Materiais	UEPG	PR	Física	5
Grupo de Dispositivos Nanoestruturados	UFPR	PR	Física	7
Grupo de Óptica e Optoeletrônica	UEL	PR	Física	9
Propriedades Nanomecânicas de Superfícies e Filmes Finos	UFPR	PR	Física	8
Propriedades Ópticas, Eletrônicas e Fotônica	UFPR	PR	Física	3
Propriedades Térmicas de Materiais Não Estruturados	UFPR	PR	Física	2
Supercondutividade e Materiais	UEPG	PR	Física	3
Centro de Pesquisa em Química Aplicada	UFPR	PR	Química	15
Grupo de Desenvolvimento de Eletrodos	UEPG	PR	Química	6
Grupo de Química de Materiais	UFPR	PR	Química	4
Laboratório de Química Inorgânica Aplicada	UFPR	PR	Química	9
Grupo de Eletroquímica Aplicada e Polímeros	UFPR	PR	Química	5
Grupo de Pesquisa em Materiais Funcionais e Estruturais	UEPG	PR	Química	8
Sofiglass	UEPG	PR	Química	6
Liberação Controlada	UFRJ	RJ	Ciência e Tecnologia de Alimentos	4
Cerâmicas Avançadas	UFRJ	RJ	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	7

continua...



Grupo de pesquisa	Instituição	Estado	Área principal	Nº de pesquisadores
Grupo de Catálise para Polimerização	UFRJ	RJ	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	11
Grupo de Ultrassom	CNEN	RJ	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	8
Materiais Nanoestruturados para Bioaplicações	CNEN	RJ	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	5
Materiais Superduros	UENF	RJ	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	7
Modificação de Propriedades Físico-Mecânicas de Misturas Poliméricas	UFRJ	RJ	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	5
Obtenção de Materiais Nanoestruturados	PUC-Rio	RJ	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	1
Processamento de Polímeros	Uerj	RJ	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	9
Superfícies e Nanoestruturas	CBPF	RJ	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	7
Tecnologia e Materiais Poliméricos	INT	RJ	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	8
Gaic – Grupo de Automação, Instrumentação e Controle	Cefet/RJ	RJ	Engenharia Elétrica	6
Labsem	PUC-Rio	RJ	Engenharia Elétrica	2
LIF – Laboratório de Instrumentação e Fotônica	UFRJ	RJ	Engenharia Elétrica	6
Optoeletrônica e Instrumentação	PUC-Rio	RJ	Engenharia Elétrica	8
Modelagem e Simulação em Engenharia Nuclear	UFRJ	RJ	Engenharia Nuclear	13
Grupo de Pesquisa em Catálise e Processos Químicos	INT	RJ	Engenharia Química	17
Processamento de Produtos e Rejeitos Industriais e Novos Materiais	UFRJ	RJ	Engenharia Química	9
Processos e Tecnologia de Membranas	Uerj	RJ	Engenharia Química	6
Recat – Laboratório de Reatores, Cinética e Catálise	UFF	RJ	Engenharia Química	3
Síntese e Caracterização de Látices Acrílicos	UFRJ	RJ	Engenharia Química	4
Gestão Ambiental de Polímeros	UFRJ	RJ	Engenharia Sanitária	1
Desenvolvimento de Novas Formulações Farmacêuticas	UFRJ	RJ	Farmácia	3
Automação e Instrumentação Científica	CBPF	RJ	Física	5
Biomateriais: Preparação, Caracterização, Modelagem Teórica e Aplicações Biomédicas	CBPF	RJ	Física	14
Férmions Pesados, Supercondutores e Sistemas Nanoestruturados	CBPF	RJ	Física	13
Filmes Finos e Materiais Nanoestruturados	PUC-Rio	RJ	Física	3
Física da Matéria Condensada	Uerj	RJ	Física	5
Grupo de Dinâmica da Magnetização em Materiais Artificialmente Estruturados	CBPF	RJ	Física	7

continua...

Grupo de pesquisa	Instituição	Estado	Área principal	Nº de pesquisadores
Grupo de Espectroscopia Óptica e Optoeletrônica Molecular	PUC-Rio	RJ	Física	6
Grupo de Física da Matéria Condensada	UFF	RJ	Física	6
Interações Fundamentais	Cefet/RJ	RJ	Física	8
Laboratório de Baixas Temperaturas	UFRJ	RJ	Física	7
Magnetismo e Materiais Magnéticos	CBPF	RJ	Física	6
Meteorítica, Mineralogia, Arqueometria	CBPF	RJ	Física	14
Moléculas e Superfícies	CBPF	RJ	Física	19
Nanociência, Física de Superfícies e Espectroscopia Mössbauer	CNEN	RJ	Física	9
Nanofabricação	CBPF	RJ	Física	5
Nanotecnologia – Cetene	INT	RJ	Física	2
Óptica e Propriedades Físicas de Materiais	Uerj	RJ	Física	6
Propriedades Eletrônicas de Sistemas Nanoestruturados	UFF	RJ	Física	5
Teoria da Matéria Condensada	UFRJ	RJ	Física	11
Fisiologia Celular e Molecular/Modulação da Expressão Genética e Terapias Celulares em Netropalias e Pneumopalias	UFRJ	RJ	Fisiologia	28
Microorganismos Magnetotáticos: Biologia, Ecologia e Nanotecnologia	UFRJ	RJ	Morfologia	5
Grupo de Pesquisa em Insumos Biotecnológicos Antileishmaniais	UFRJ	RJ	Parasitologia	15
Fotoquímica Orgânica	UFRJ	RJ	Química	4
Laboratório de Química de Materiais	UFRJ	RJ	Química	6
Materiais Magnéticos de Separação	CNEN	RJ	Química	4
Materiais Poliméricos Multifásicos	UFRJ	RJ	Química	2
Química Supramolecular e Nanotecnologia de Elementos	CNEN	RJ	Química	11
Estudo Cinético de Processos Químicos	PUC-Rio	RJ	Química	2
Grupo Carbono	CTEX	RJ	Química	6
Grupo de Materiais Condutores e Energia	UFRJ	RJ	Química	6
Grupo de Materiais Nanoestruturados Funcionais	CNEN	RJ	Química	43
Interlab – Laboratório de Investigação de Estrutura Química e Nanotecnologia	UFRJ	RJ	Química	2
Laboratório de Bioinorgânica e Nanotecnologia Molecular	UFRJ	RJ	Química	4
Laboratório de Catálise	UFRJ	RJ	Química	8
Manipulação Química de Nanotubos de Carbono	CNEN	RJ	Química	12
Química Supramolecular e Materiais	UFRJ	RJ	Química	1
Síntese Inorgânica Aplicada	UFF	RJ	Química	5
Inteligência Computacional Aplicada	PUC-Rio	RJ	Ciência da Computação	14
Sistemas Complexos em Biofísica	UFRN	RN	Biofísica	6

continua...

Grupo de pesquisa	Instituição	Estado	Área principal	Nº de pesquisadores
Tecfoton – Telecomunicações e Fotônica	UFRN	RN	Engenharia Elétrica	3
Termodinâmica e Reatores Catalíticos	UFRN	RN	Engenharia Química	7
Física de Matéria Condensada	Uern	RN	Física	8
Grupo de Magnetismo	Uern	RN	Física	7
Grupo de Estudos Teóricos em BioNanoTecnologia	UFRR	RR	Física	3
Grupo de Nanomateriais	UFRR	RR	Química	8
Métodos Biofísicos	UFRGS	RS	Biofísica	3
Nanotoxicologia Ambiental	Furg	RS	Bioquímica	6
Sistema Purinérgico: Receptores e Ectonucleotidasas em Células Tumorais e em Patologias do Sistema Nervoso Central	UFRGS	RS	Bioquímica	8
Grupo de Polímeros	UCS	RS	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	11
Laboratório de Materiais Cerâmicos	UFRGS	RS	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	11
Polioletinas	UFRGS	RS	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	9
Materiais Compósitos e Nanocompósitos	UFRGS	RS	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	12
Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental	UFRGS	RS	Engenharia de Minas	4
Grupo de Materiais Metálicos – Nuclemat	PUC-RS	RS	Engenharia Mecânica	6
Mecânica Aplicada	Unijui	RS	Engenharia Mecânica	4
Eletroquímica, Corrosão e Proteção Superficial	UCS	RS	Engenharia Química	4
Avaliação Farmacológica e Modelagem	UFRGS	RS	Farmácia	11
Desenvolvimento de Produtos Farmacêuticos com Ênfase em Nanotecnologia	UFSM	RS	Farmácia	7
Sistemas Nanoestruturados para Administração de Fármacos	UFRGS	RS	Farmácia	7
Fabricação de Nanoestruturas e Difractometria por Raios-X	UFRGS	RS	Física	1
Física de Altas Pressões e Materiais Avançados	UFRGS	RS	Física	9
Gepsi – Grupo de Estudos de Propriedades de Superfícies e Interfaces	PUC-RS	RS	Física	5
Grupo de Magnetismo e Materiais Magnéticos	UFRSM	RS	Física	7
Implantação Iônica	UFRGS	RS	Física	15
Laboratório de Espectroscopia de Elétrons	UFRGS	RS	Física	2
Laboratório de Estrutura Eletrônica dos Materiais	UFSM	RS	Física	5
Laboratório de Magnetismo	UFRGS	RS	Física	8
Laser & Óptica	UFRGS	RS	Física	6
Magnetismo e Materiais Magnéticos	UFPEL	RS	Física	6
Microeletrônica	UFRGS	RS	Física	6

continua...

Grupo de pesquisa	Instituição	Estado	Área principal	Nº de pesquisadores
Nonoestruturados	UFPEL	RS	Física	7
Nanopuc	PUC-RS	RS	Física	4
Núcleo de Ensino de Ciências e Tecnologia	UFPEL	RS	Física	6
Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra-Sol	Inpe	RS	Geociências	34
Geoquímica Ambiental	Ulbra	RS	Geociências	8
Centro de Pesquisa Cardiovascular	Ulbra	RS	Medicina	10
Deformidades Faciais	PUC-RS	RS	Odontologia	7
Grupo de Pesquisa em Dentística e Biomateriais	UFPEL	RS	Odontologia	21
Bio & Macromoléculas	UFRGS	RS	Química	6
Físico-Química de Materiais	UFPEL	RS	Química	3
Laboratório de Estudos Físico-Químicos e Produtos Naturais (LEFQPN)	Unipampa	RS	Química	5
Laboratório de Materiais Inorgânicos	UFSM	RS	Química	5
Nanocompósitos	UFRGS	RS	Química	6
Síntese e Avaliação de Moléculas Bioativas	Unifra	RS	Química	12
Estado Sólido e Superfícies	UFRGS	RS	Química	7
Físico-Química de Superfícies e Interfaces	UFRGS	RS	Química	5
Laboratório de Catálise Molecular	UFRGS	RS	Química	8
Laboratório de Instrumentação e Dinâmica Molecular	UFRGS	RS	Química	6
Laboratório de Micro e Nanopartículas Aplicadas na Terapêutica	UFRGS	RS	Química	6
Estudo e Desenvolvimento de Materiais e Componentes para a Construção Civil	Unesc	SC	Engenharia Civil	17
Grupo de Estudo e Desenvolvimento de Materiais à Base de Cimento e Compósitos	Unesc	SC	Engenharia Civil	7
CETMAT – Núcleo de Materiais Cerâmicos e Vidros	UFSC	SC	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	8
Grupo de Materiais Poliméricos e Particulados	Unesc	SC	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	4
Grupo de Pesquisa de Materiais Avançados e Aplicações Tecnológicas	Uesc	SC	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	11
Metalurgia Física e Engenharia de Superfícies	Sociesc	SC	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	8
Labmat – Grupo Interdisciplinar de Materiais	UFSC	SC	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	13
Grupo de Desenvolvimento de Máquinas Automáticas Especiais	Cefet/SC	SC	Engenharia Mecânica	10
Metrologia	UFSC	SC	Engenharia Mecânica	10
Desenvolvimento de Novos Materiais a Partir de Resíduos Sólidos	UFSC	SC	Engenharia Química	10

continua...



Grupo de pesquisa	Instituição	Estado	Área principal	Nº de pesquisadores
Grupo de Pesquisa em Tecnologia de Produtos Florestais	UFSC	SC	Engenharia Química	5
Estudos Etnofarmacológicos Visando a Obtenção de Substâncias Bioativas	Unesc	SC	Farmácia	6
Cristais Líquidos e Minerais	UFSC	SC	Física	2
Filmes Finos e Superfícies	UFSC	SC	Física	4
Laboratório de Sistemas Nanoestruturados	UFSC	SC	Física	7
Preparação de Materiais Fora do Equilíbrio por Mecanosíntese	UFSC	SC	Física	3
Grupo de Pesquisa em Imunologia e Genética	Unesc	SC	Imunologia	11
Matemática Aplicada	Uesc	SC	Matemática	3
Quitech	UFSC	SC	Química	4
Desenvolvimento de Materiais Poliméricos	Udesc	SC	Química	9
Grupo de Catálise Heterogênea, Estrutura e Espectroscopia Molecular	UFSC	SC	Química	2
Grupo de Físico-Química Orgânica e Fenômenos de Interfaces	UFSC	SC	Química	8
Grupo de Síntese Inorgânica e Polímeros	UFSC	SC	Química	7
Plasma Térmico e Plasma Frio	UFSC	SC	Química	5
Grupo de Tecnologia dos Materiais	UFS	SE	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	5
Grupo de Magnetismo	UFS	SE	Física	9
Grupo de Materiais Cerâmicos Avançados	UFS	SE	Física	9
Grupo de Preparação e Caracterização de Materiais	UFS	SE	Física	10
Desenvolvimento e Otimização de Materiais	UFS	SE	Química	3
Nanociência e Nanotecnologia no Agronegócio	Embrapa	SP	Agronomia	13
Biocolóides, Membranas e Superfícies	USP	SP	Biofísica	2
Biomembranas	Unicamp	SP	Biofísica	18
Microesferas e Lipossomas	IBU	SP	Biofísica	4
Biotecnologia Ambiental	UMC	SP	Ciência e Tecnologia de Alimentos	3
Centro de Tecnologia e Engenharia Agroindustrial	Unicamp	SP	Ciência e Tecnologia de Alimentos	38
Embalagem e Estabilidade de Alimentos	Unicamp	SP	Ciência e Tecnologia de Alimentos	1
Embalagens Ativas	Unicamp	SP	Ciência e Tecnologia de Alimentos	1
Nanotecnologia de Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética e Materiais Compósitos Aeronáuticos	Unitau	SP	Engenharia Aeroespacial	2

continua...

Grupo de pesquisa	Instituição	Estado	Área principal	Nº de pesquisadores
Armazenagem de Hidrogênio em Materiais Nanoestruturados	Ufscar	SP	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	4
Compósitos Lignocelulósicos	Unesp	SP	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	10
Deposição Eletrostática de Nanofibras	Ceeteps	SP	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	1
Desempenho e Caracterização Elétrica e Térmica de Polímeros	Ufscar	SP	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	2
Diamantes de Materiais Relacionados	Inpe	SP	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	19
Eletroquímica e Corrosão de Materiais	USP	SP	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	5
Físico-Química de Materiais	ITA	SP	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	3
Grupo de Cerâmicas Ferroelétricas	Ufscar	SP	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	4
Grupo de Compósitos e Cerâmicas Funcionais	Unesp	SP	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	7
Laboratório de Matérias-Primas Particuladas e Sólidos e Não-Metálicos	USP	SP	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	6
Materiais	FEI	SP	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	7
Membranas, Filmes e Barreiras Poliméricas	Ufscar	SP	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	6
Microscopia Eletrônica	ABTLuS	SP	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	5
Nanotecnologia Aplicada ao Agronegócio	Embrapa	SP	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	80
Processamento e Caracterização de Compósitos Cerâmicos e Metálicos	Ufscar	SP	Engenharia de Materiais e Metalúrgica	9
Eletrônica Molecular e Biomolecular – Nanotecnologia e NEMS	Unicamp	SP	Engenharia Elétrica	1
GEM – Grupo de Eletrônica Molecular	USP	SP	Engenharia Elétrica	8
Grupo de Pesquisa em Física, Telecomunicações e Computação	Unicamp	SP	Engenharia Elétrica	17
Grupo de Tecnologia Avançadas de Gravação para Nano-, Micro- e Meso-	USP	SP	Engenharia Elétrica	8
Laboratório de Eletromagnetismo Computacional	IEAv	SP	Engenharia Elétrica	4
Laboratório de Tecnologia Fotônica	Unicamp	SP	Engenharia Elétrica	4
Microestruturas para Sensores e Atuadores do Laboratório de Sistemas Integráveis	USP	SP	Engenharia Elétrica	15
Micro-ondas, Ondas Milimétricas e Optoeletrônica	USP	SP	Engenharia Elétrica	11

continua...



Grupo de pesquisa	Instituição	Estado	Área principal	Nº de pesquisadores
Nanoengenharia Eletrônica, Diamante Semicondutor e Materiais Nanoestruturados	Unicamp	SP	Engenharia Elétrica	7
Nanotecnologia Aplicada – Aplicações de Filmes Finos	USP	SP	Engenharia Química	12
Tecnologias de Micro e Nanofabricação	Unicamp	SP	Engenharia Química	22
Centro de Metrologia de Fluidos do IPT	IPT	SP	Engenharia Química	18
Catálise Heterogênea	USP	SP	Engenharia Química	7
Desenvolvimento e Caracterização de Novos Materiais	USP	SP	Engenharia Química	7
Engenharia de Polimerização	Unicamp	SP	Engenharia Química	6
Engenharia e Controle Ambiental	Unifesp	SP	Engenharia Química	5
Grupo Interdisciplinar de Pesquisas em Sistemas de Liberação Controlada	Unicamp	SP	Engenharia Química	11
Laboratório de Pesquisa de Têxteis Técnicos	USP	SP	Engenharia Química	5
Secagem e Microencapsulação de Materiais Ativos	IPT	SP	Engenharia Química	20
Pesquisa e Desenvolvimento de Fármacos e Medicamentos	USP	SP	Farmácia	5
Pesquisa e Desenvolvimento de Sistemas de Liberação Transdérmica de Drogas	USP	SP	Farmácia	26
Sistemas de Liberação Controlada de Fármacos e de Outras Substâncias Ativas	Unesp	SP	Farmácia	5
Sistemas de Liberação de Fármacos para Tratamento de Doenças Tropicais	Unesp	SP	Farmácia	7
Medicamentos Oftálmicos	Unifesp	SP	Farmácia	12
Química de Compostos de Coordenação	Uniban	SP	Farmácia	5
Laboratório de Síntese Química de Nanoestruturas	ABTLuS	SP	Física	4
Aplicações de Luz Síncrotron	ABTLuS	SP	Física	9
Baixas Temperaturas	USP	SP	Física	7
Bionuc/Fisnuc	USP	SP	Física	4
Crescimento de Cristais e Materiais Cerâmicos	USP	SP	Física	6
Cristalografia	USP	SP	Física	6
Estudo de Nanoestruturas Semicondutoras	Unesp	SP	Física	2
Ferroelétricos e Novos Materiais	Unesp	SP	Física	3
Física de Isolantes e Semicondutores	Ufscar	SP	Física	2
Física de Plasma Aplicada a Novos Processos de Materiais	ITA	SP	Física	16
Física de Semicondutores Experimental	Ufscar	SP	Física	3
Física Molecular e Modelagem	USP	SP	Física	10
Grupo de Combustíveis Alternativos	Unicamp	SP	Física	2
Grupo de Cristalografia Aplicada e Raios-X	Unicamp	SP	Física	4
Grupo de Estudos em Vidros Especiais	UniABC	SP	Física	3
Grupo de Filmes Finos	USP	SP	Física	2

continua...

Grupo de pesquisa	Instituição	Estado	Área principal	Nº de pesquisadores
Grupo de Física Computacional e Instrumentação Aplicada	USP	SP	Física	8
Grupo de Materiais Nanoestruturados	Ufscar	SP	Física	2
Grupo de Nanoestruturas em Filmes Langmuir-Blodgett e Automontados	USP	SP	Física	18
Grupo de Óptica Aplicada	IEAv	SP	Física	7
Grupo de Óxidos Complexos	USP	SP	Física	2
Grupo de Plasmas e Aplicações	Unesp	SP	Física	4
Grupo de Plasmas e Materiais	Unesp	SP	Física	4
Grupo de Polímeros	Unesp	SP	Física	8
Grupo de Propriedades Óticas e Magnéticas de Sólidos	Unicamp	SP	Física	7
Grupo de Semicondutores	USP	SP	Física	4
Grupo de Supercondutividade	Ufscar	SP	Física	2
Heteroestruturas Magnéticas e Spintrônica	USP	SP	Física	4
Laboratório de Luminescência e Magneto-Luminescência	Ufscar	SP	Física	3
Laboratório de Materiais Magnéticos	USP	SP	Física	7
Laboratório de Nanociência	USP	SP	Física	1
Laboratório de Pesquisa em Dispositivos	Unicamp	SP	Física	5
Laboratório de Preparação e Caracterização de Materiais	Unicamp	SP	Física	7
Laboratório de Vidros e Datação	Ceeteps	SP	Física	6
Metodologia e Instrumentação	Embrapa	SP	Física	8
Modelagem Computacional da Matéria	Unicamp	SP	Física	3
Modelagem e Simulação em Sólidos, Moléculas e Agregados	UFABC	SP	Física	12
Nanoestruturas	Unicamp	SP	Física	2
Nanoestruturas Semicondutoras	Ufscar	SP	Física	5
Nanomol	USP	SP	Física	14
Nanotecnologia, Biossensores	USP	SP	Física	1
Novos Materiais e Aplicações	Unesp	SP	Física	21
Óptica Biométrica	Unifesp	SP	Física	2
Propriedades Ópticas, Vibracionais, Spin e de Transporte e Nanoestruturas	Ufscar	SP	Física	3
Ressonância Magnética	USP	SP	Física	3
Scan – Simulação Computacional e Análise de Materiais	USP	SP	Física	4
Laboratório de Sensores a Fibra Óptica	EAv	SP	Física	15
Simulação Computacional em Materiais	USP	SP	Física	16
Simulação Computacional em Física de Estado Sólido	USP	SP	Física	1
Sistemas Eletrônicos Confinados	Ufscar	SP	Física	1

continua...



Grupo de pesquisa	Instituição	Estado	Área principal	Nº de pesquisadores
SPM	Unicamp	SP	Física	3
Citogenética e Mutagênese	USP	SP	Genética	2
Citometria de Fluxo	Unesp	SP	Medicina	4
Físico-Química de Materiais	Unesp	SP	Química	4
Físico-Química de Polímeros e Colóides	Unesp	SP	Química	4
Fluorescência Molecular	USP	SP	Química	1
GPES - Grupo de Pesquisa em Eletroanalítica e Sensores	Unesp	SP	Química	9
Grupo de Eletrocatalise e Eletroquímica Ambiental de Ribeirão Preto	USP	SP	Química	5
Grupo de Eletrocatalise e Reações	Unesp	SP	Química	3
Grupo de Eletroquímica e Materiais	USP	SP	Química	2
Grupo de Materiais Coloidais	USP	SP	Química	9
Grupo de Materiais Magnéticos e Colóides	Unesp	SP	Química	8
Grupo de Química Inorgânica e Analítica	USP	SP	Química	4
Laboratório de Materiais e Interfaces	USP	SP	Química	1
Laboratório de Materiais Eletroativos	USP	SP	Química	3
Laboratório de Materiais Fotônicos	Unesp	SP	Química	11
Laboratório de Nanomateriais	USP	SP	Química	2
LCAM – Laboratório de Caracterização e Aplicação de Materiais	USF	SP	Química	4
Química Analítica Interdisciplinar	Unifesp	SP	Química	5
Química Bioinorgânica Ambiental	USP	SP	Química	1
Química Supramolecular e Nanotecnologia	USP	SP	Química	1
Química Teórica e Computacional	Unifesp	SP	Química	1
Sol-Gel	Unifran	SP	Química	5
Compostos Inorgânicos e Organometálicos das Terras Raras	Ufscar	SP	Química	2
GAMN – Grupo de Química Analítica/Ambiental e Materiais	Unesp	SP	Química	3
GMAv – Grupo de Pesquisa em Materiais e Métodos Avançados	UFABC	SP	Química	8
Grupo de Catálise e Materiais	Inpe	SP	Química	7
Grupo de Espectroscopia e Catálise	Unifesp	SP	Química	2
Grupo de Materiais Cerâmicos Especiais	Ufscar	SP	Química	23
Grupo de Pesquisa em Eletrônica	USP	SP	Química	7
Grupo de Pesquisa em Química Ambiental	USP	SP	Química	1
Grupo de Pesquisa em Química Verde e Ambiental	USP	SP	Química	3
Grupo de Polímeros e Materiais de Fontes Renováveis	Ufscar	SP	Química	6
Grupo de Química de Materiais e Energia	USP	SP	Química	1

continua...

Grupo de pesquisa	Instituição	Estado	Área principal	Nº de pesquisadores
Laboratório de Eletroquímica e Materiais Nanoestruturados	UFABC	SP	Química	9
Laboratório de Materiais Nanoestruturados Preparados Eletroquimicamente	Ufscar	SP	Química	9
Laboratório de Química do Estado Sólido – LQES	Unicamp	SP	Química	2
Materiais Híbridos	Unifesp	SP	Química	6
Materiais Nanoestruturados para Eletrocatalise e Conversão de Energia	Unesp	SP	Química	3
Nanotecnologia Supramolecular	USP	SP	Química	2
Química Biológica	Unicamp	SP	Química	3
Morfologia e Topoquímica dos Sólidos	Unicamp	SP	Química	10
Tecnologia de Celulose, Papel e Produtos Florestais	USP	SP	Química	2
Produção e Controle de Qualidade de Peles	Embrapa	SP	Química	11
Micro e Nanotecnologia Farmacêutica	Unesp	SP	Química	5
Núcleo de Ensino, Planejamento e Gestão Ambiental – NPGA	UFT	TO	Química	14
469 grupos				3.502



