

# Indústrias do futuro e tecnologias emergentes: visão de um futuro sustentável

Maria Fatima Ludovico de Almeida\*, Carlos Augusto Caldas de Moraes\*\*

## Resumo

As tecnologias emergentes baseadas nos avanços da biotecnologia, nanotecnologia, tecnologias de informação e comunicação e da química verde moldarão o futuro de alguns setores e irão transformar muitos outros. Essas tecnologias determinarão, em muitos casos, o surgimento e a reestruturação de indústrias em um ritmo sem precedentes. Criarão a necessidade de revisão de marcos regulatórios e de novos modelos de negócios. Avaliar como serão as indústrias do futuro face aos avanços das chamadas tecnologias emergentes pode parecer um paradoxo, devido ao alto grau de incerteza e complexidade inerente à disseminação de novas tecnologias e, mais ainda, à urgência de mudanças nas próximas décadas em vários segmentos da sociedade e nos mercados. Nesse con-

## Abstract

*Emerging technologies based on biotechnology, nanotechnology, information and communication technologies, and green chemistry advances will shape the future of some industries and will transform many others. In many cases, these technologies will determine the development and restructuring of industries as never before. These changes, in turn, will promote debates and revisions of current regulatory frameworks and, also, of business-as-usual corporate models. Prospective assessments of how the future industries will face emerging technologies advances may seem a paradox, given the high degree of uncertainty and complexity inherent to the diffusion of innovations. In this context, this article aims to describing the evolutionary trajectories of eight industrial sectors, based on diffusion of the*

\* Maria Fatima Ludovico de Almeida é doutora em Engenharia de Produção pela PUC-Rio (2006), M.Sc. pela University of Manchester (1982), DEA pela Université d'Aix-Marseille III (1997) e B.Sc. em Engenharia Química pela UFRJ (1975). Atualmente é professora adjunta do Programa de Pós-graduação em Metrologia, Qualidade e Inovação da PUC-Rio e consultora do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) e da Petrobras.

\*\* Carlos Augusto Caldas de Moraes é doutor em Engenharia de Produção pela PUC-Rio (1999), mestre em Administração de Empresas pelo Massachusetts Institute of Technology (1974) e graduado em Engenharia Civil pela UFRJ (1969) e em Administração de Empresas pela UERJ (1969). Atualmente é professor adjunto da Universidade Cândido Mendes e assessor do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, atuando principalmente nos seguintes temas: gestão da inovação, estratégia e prospecção tecnológica.

texto, o presente artigo busca descrever as trajetórias evolutivas de oito setores industriais, baseadas na difusão das chamadas tecnologias emergentes – biotecnologia, nanotecnologia, tecnologias de informação e comunicação e química verde, em um horizonte de 20 anos. Consideram-se esses setores e tecnologias como de grande impacto para se alcançar a visão de um futuro sustentável, ressaltando-se que o entendimento das forças-motrizes, tendências e incertezas críticas que condicionarão a difusão das tecnologias emergentes e a evolução das configurações industriais desses setores constitui uma etapa fundamental em estudos prospectivos de natureza exploratória.

**Palavras-chave:** indústrias do futuro; tecnologias emergentes; estudos prospectivos; modelos de negócio; difusão tecnológica; inovação; Brasil.

*so-called emergent technologies – biotechnology, nanotechnology, information and communication technologies, and green chemistry – in a time horizon of 20 years. These sectors and technologies were considered of great impact to achieve the vision of a sustainable future, in this time horizon. The article emphasizes the importance of understanding and anticipating movements of driving forces, trends and critical uncertainties in global level, which will influence the diffusion of emerging technologies into industrial processes and models concerning the eight selected sectors.*

**Keywords:** future industries; emerging technologies; prospective studies; business models; technological diffusion; innovation; Brazil.

## 1. Introdução

O desafio da análise de mercados futuros para novas tecnologias consiste em antecipar novos valores e comportamentos, preferências dos consumidores, precificação de insumos, mensuração de lucros e perdas, todas variáveis de impacto significativo nos modelos de negócios e indústrias do futuro.

As novas descobertas estarão focadas na busca por soluções inovadoras radicais que gerarão novos negócios ou os avanços serão incrementais, mais voltados para o aperfeiçoamento de tecnologias e negócios já existentes? Que novas configurações industriais surgirão e em que ritmo e como evoluirão as configurações existentes em função da difusão dos avanços da biotecnologia, da nanotecnologia, da química ambiental e das tecnologias de informação e comunicação? Em que medida as chamadas tecnologias emergentes criarão ou resolverão dilemas éticos?

Essas são questões para os quais o planejamento baseado em estudos prospectivos, particularmente em cenários, oferece um referencial conceitual adequado, por abordar ambientes complexos e altamente voláteis, revelando e organizando as incertezas inerentes à análise dos potenciais impactos de tecnologias emergentes nas configurações industriais existentes e futuras, em horizontes de longo prazo.

Um dos benefícios dos estudos prospectivos em ambientes de formulação de políticas públicas ou de planejamento empresarial é que tais ferramentas permitem aos decisores examinarem a interação entre as dimensões mercado e tecnologia, face à possibilidade de mudanças de paradigmas impulsionadas pela adoção de tecnologias emergentes. Ao traçar quadros consistentes e ao mesmo tempo realistas do futuro, os estudos prospectivos permitem a visualização dos impactos e discontinuidades tecnológicas nos modelos de negócios e configurações industriais existentes (GEORGANTZAS E ACAR, 1995; SCHOEMAKER E VAN DER HEIDJEN, 1992; SCHWARTZ, 2000; 2003). Auxiliam os gestores a compreender melhor o potencial comercial das tecnologias emergentes e utilizar esse entendimento para a formulação objetiva e consistente de políticas e programas voltados para a consolidação de novas configurações industriais e para a revisão adequada de marcos regulatórios associados à difusão e incorporação das novas tecnologias em produtos, processos e serviços do futuro.

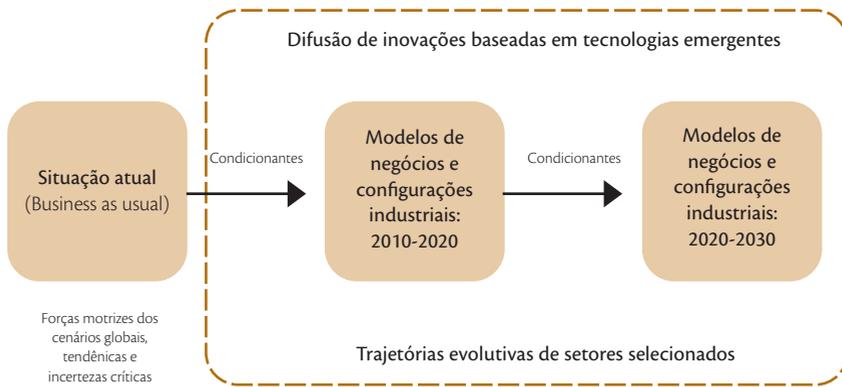
Nessa perspectiva, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), por solicitação do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), desenvolveu a Subação 51.46.1 - Indústrias do Futuro e Tecnologias Emergentes, cujo objetivo geral foi analisar, em caráter exploratório, os potenciais impactos de tecnologias emergentes nas configurações industriais existentes e futuras, considerando-se um horizonte de 20 anos.

O presente artigo apresenta uma síntese dos principais resultados da Subação 51.46.1, descrevendo as trajetórias evolutivas de oito setores industriais, considerados de grande impacto para se alcançar a visão de um futuro sustentável, em um horizonte de 20 anos e em nível global. Ressalta que o entendimento das forças-motrizas, tendências e incertezas críticas que condicionarão a difusão das tecnologias emergentes e a evolução das configurações industriais desses setores constitui uma etapa fundamental em estudos prospectivos de natureza exploratória.

## 2. Objetivos e escopo do estudo prospectivo

O objetivo geral do estudo prospectivo foi analisar, em caráter exploratório, os potenciais impactos de tecnologias emergentes nas configurações industriais existentes e futuras, considerando-se um horizonte de 20 anos. Em termos específicos, o estudo buscou: 1) analisar estudos prospectivos globais e focalizados nos setores selecionados, bem como relatórios internacionais e nacionais sobre o estágio atual e desenvolvimento futuro das chamadas tecnologias emergentes – nanotecnologia, biotecnologia, tecnologias de informação e comunicação e química verde; 2) discutir e descrever as trajetórias dos setores selecionados em dois períodos (2010-2020 e 2020-2030); 3) identificar os impactos potenciais das tecnologias emergentes nas configurações industriais associadas aos setores selecionados, em um horizonte de 20 anos; 4) analisar as implicações para o Brasil das transformações preconizadas para cada um dos setores no contexto global.

A Figura 1 representa o modelo conceitual do estudo prospectivo que foi objeto da Subação 51.46.1 - Indústrias do Futuro e Tecnologias Emergentes.



**Figura 1** – Modelo conceitual proposto para o estudo prospectivo objeto da Subação 51.46.1

Conforme indicado na Figura 1, esse modelo integra quatro elementos básicos: 1) a situação atual, como linha de base (*business as usual*); 2) difusão das inovações baseadas em tecnologias emergentes nos setores selecionados, com foco nos avanços da biotecnologia, da nanotecnologia, da química verde e das tecnologias de informação e comunicação (TIC); 3) modelos de negócios e configurações industriais no período 2010-2020; e 4) modelos de negócios e configurações industriais segundo visão de futuro para 2030 (período 2020-2030).

Parte-se da análise da situação atual como linha de base para o estudo prospectivo, buscando-se traçar o panorama atual dos setores selecionados (*business as usual*). Com base na análise dos cenários globais, identificam-se as forças-motrizes, as principais tendências (pontos de convergência) e as incertezas críticas (pontos de divergência) que impactarão os modelos de negócio e configurações industriais dos referidos setores, no período 2010- 2020. Na sequência, como previsto no modelo, antecipam-se as trajetórias evolutivas dos setores nos primeiros dez anos, com destaque para as mudanças previstas – incrementais ou radicais. As cenas futuras em 2020 traduzem-se em novas linhas de base nas quais se apoiarão as descrições das trajetórias no período 2020-2030 até se alcançar a visão de um futuro sustentável.

O escopo do estudo compreendeu oito setores (conforme descrição no Quadro 1) e quatro grupos de tecnologias emergentes (biotecnologia, nanotecnologia, química verde e tecnologias de informação e comunicação).

**Quadro 1** – Descrição dos setores selecionados

Setor	Descritivo
Complexo industrial da saúde	Conjunto de indústrias que produzem bens de consumo e equipamentos especializados para a área de saúde e um conjunto de organizações prestadoras de serviços que são as consumidoras dos produtos manufaturados pelo primeiro grupo, caracterizando uma clara relação de interdependência setorial
Agroindústrias	Atividades agroindustriais compreendendo os seguintes segmentos: fornecedores de insumos, bens de capital e tecnologia; recursos naturais (água, solo, sol), produção agropecuária; armazenamento de matérias-primas, insumos e produtos finais; processamento agroindustrial; aspectos culturais; coleta e distribuição (transporte e comércio); capacitação de recursos humanos; e assistência técnica.
Sistemas florestais	Sistemas florestais referem-se a todo processo que envolve espécies florestais nas cadeias de produção madeireira e não madeireira. As formas de utilização do componente florestal compreendem: plantações florestais, sistemas agroflorestais, sistemas de integração lavoura-pecuária-florestas e serviços ambientais.
Energia	Compreende processos, produtos e serviços voltados para a geração, armazenamento, transporte, transmissão e distribuição e consumo de energia das mais diversas fontes renováveis e não renováveis.
Construção	A cadeia produtiva da construção é formada pelas atividades que envolvem da concepção à produção de edificações e infraestruturas.
Mobilidade	Conjunto de atividades abrangendo processos, produtos e serviços voltados para mobilidade geográfica, intra e inter escalares, com destaque para os deslocamentos intra e inter urbanos, de pessoas e bens.
Telecomunicações	Os serviços de telecomunicações compreendem transmissão e emissão ou recepção de informações multimídia por qualquer processo eletromagnético. Abrangem os seguintes segmentos: pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de telecomunicações; produtos e serviços para as prestadoras de serviços de telecomunicações; serviços de transmissão de comunicação multimídia e serviços de alto valor agregado.
Materiais	Compreende o desenvolvimento, a produção, a utilização e a reutilização de materiais nos mais diversos setores socioeconômicos.

Na perspectiva de se analisar transversalmente os impactos potenciais das tecnologias emergentes nas configurações industriais associadas aos setores acima, integrou-se ao escopo do estudo prospectivo as seguintes tecnologias emergentes: 1) nanotecnologia, 2) biotecnologia; 3) tecnologias de informação e comunicação; e 4) química verde.

### 3. Metodologia adotada

Nesta seção, apresenta-se a base conceitual e subsídios metodológicos que fundamentaram o desenvolvimento da metodologia adotada no desenvolvimento do referido estudo prospectivo exploratório.

A metodologia proposta baseou-se nos referenciais teóricos: 1) abordagens dinâmicas de sistemas de inovação (GEELS, 2004; 2005; 2008; BRESHI E MALERBA, 1998; MALERBA, 2004; JOHNSON, 1998; JOHNSON E JACOBSSON, 2001; BERGEK, 2002; BERGEK E JACOBSSON, 2003; CARLSSON

E JACOBSSON, 2004; EDQUIST, 2004); 2) metodologia de avaliação tecnológica, em particular na sua variante construtiva (SMITS ET AL. 1995; SANMARTÍN E HRONSZKY, 1994; TODT, 2002; SCHOT, 1992; SANMARTÍN E ORTÍ, 1992; SCHOT E RIP, 1997; SHRADER-FRECHETTE, 1985); e 3) construção de cenários (VAN DER HEIJDEN, 2004; 2005; SCHOEMAKER E VAN DER HEIJDEN, 1992; SCHWARTZ, 2000; 2003), com destaque para a ferramenta de análise estrutural como descrita no método de prospectiva de Godet (1993; 2000; 2001).

Em total consonância com o modelo representado na seção anterior, apresenta-se a seguir a visão geral da metodologia adotada no desenvolvimento do estudo prospectivo em questão, compreendendo três fases: 1) conceitual; 2) analítica; e 3) conclusiva. (Figura 2).



Figura 2 – Metodologia adotada no estudo prospectivo da Sub-ação 51.46.1

### 3.1. Fase conceitual

Conforme representado na Figura 2, a fase conceitual contemplou três etapas, conforme descrição a seguir.

#### **Seleção e análise de estudos prospectivos sistêmicos em nível global**

O objetivo desta etapa foi apresentar uma visão panorâmica de estudos prospectivos globais de longo prazo, realizados nos últimos anos por instituições ou empresas internacionais de referência no campo da prospectiva estratégica, tendo em vista: 1) o mapeamento das forças-motrices que condicionarão a difusão das tecnologias emergentes e a evolução das configurações industriais no horizonte de 20 anos; 2) a identificação das tendências e incertezas críticas apontadas nos cenários múltiplos; e 3) a identificação de questões associadas a tecnologias emergentes, novos modelos de negócios e configurações industriais do futuro nos estudos prospectivos sistêmicos em nível global. A seleção e análise de estudos prospectivos globais foi objeto de contratação pelo CGEE de Nota Técnica específica que foi elaborada por especialista em prospectiva e construção de cenários (ALMEIDA, 2010).

## **Identificação e análise de estudos prospectivos focalizados**

O objetivo desta etapa foi analisar sistemicamente estudos prospectivos de referência com foco nos setores selecionados e nas tecnologias emergentes, tendo em vista: 1) a identificação de variáveis-chave e questões relevantes que devam ser encaminhadas às etapas subseqüentes; 2) descrição da evolução futura das configurações industriais no horizonte de 20 anos; e 3) mapeamento das contribuições e impactos das tecnologias emergentes nos novos modelos de negócios e configurações industriais do futuro.

## **Análise estrutural para definição da grade analítica e cadeia causal**

Os objetivos da análise estrutural foram: 1) identificar as variáveis-chave (internas e externas ao sistema), por sua ação direta e também por intermédio de combinações de influências indiretas; e 2) mapear as inter-relações e a relevância dessas variáveis para explicar a evolução do referido sistema.

A análise estrutural compreende basicamente quatro etapas: 1) identificação e descrição das variáveis-chave (internas e externas ao sistema); 2) julgamento sobre as relações entre as variáveis dentro da matriz de análise estrutural; 3) classificação das variáveis pela ferramenta MICMAC proposta por Godet (LIPSOR, 2010); e 4) desenho do plano motricidade-dependência da matriz de influências indiretas e do gráfico de influências indiretas.

A análise estrutural para definição da grade analítica e cadeia causal das variáveis do estudo prospectivo propiciou a integração dos resultados das análises dos cenários globais e dos estudos prospectivos focalizados. A grade analítica e a cadeia causal resultantes desta etapa constituíram insumos para a elaboração de documentos técnicos referentes aos setores selecionados.

### **3.2. Fase analítica**

Já a fase analítica compreendeu a elaboração de documentos técnicos referentes aos setores selecionados e a realização de uma Oficina de Trabalho de dois dias, com a participação de um grupo seletivo de especialistas convidados pelo CGEE.

## **Elaboração de material de apoio para a Oficina de Trabalho**

Para a realização da Oficina de Trabalho, a equipe do CGEE elaborou um Caderno de Atividades contemplando: 1) os objetivos da Oficina; 2) a programação; 3) metodologia e dinâmica proposta; 4) orientações detalhadas para os trabalhos em grupos; e 5) questões de apoio para as atividades em grupos.

A partir da análise sistêmica de estudos prospectivos selecionados e dos resultados da etapa anterior, reuniu-se o material de referência para a elaboração dos documentos técnicos focalizados nas trajetórias dos setores no horizonte de 20 anos. Esses documentos constituíram insumos para uma discussão mais ampla envolvendo especialistas convidados pelos CGEE na Oficina de Trabalho, como descrito adiante no item 3.2.2.

### **Realização da Oficina de Trabalho com especialistas convidados**

A realização da reunião de trabalho reunindo um grupo de 64 especialistas convidados pelo CGEE teve como objetivos: 1) discutir as trajetórias de setores selecionados em dois períodos (de 2010 a 2020 e de 2020 a 2030); 2) identificar os impactos potenciais das tecnologias emergentes nas configurações industriais associadas aos setores selecionados, em um horizonte de 20 anos; 3) analisar as implicações para o Brasil das transformações preconizadas para cada um dos setores no contexto global; 4) promover a troca de informações e conhecimento entre as instituições envolvidas.

### **3.3. Fase conclusiva**

Finalmente, a fase conclusiva consistiu da elaboração do documento final do estudo, incorporando as proposições e análises geradas na reunião de trabalho.

## **4. Resultados do estudo prospectivo**

O estudo prospectivo atingiu seu objetivo maior que foi analisar, em caráter exploratório, os potenciais impactos de tecnologias emergentes nas configurações industriais existentes e futuras de oito setores selecionados, considerando-se um horizonte de 20 anos. O modelo conceitual proposto no início do estudo foi validado coletivamente com representatividade de mais de sessenta especialistas, oriundos dos setores acadêmico, empresarial, governamental e do CGEE.

Os quatro elementos básicos do modelo foram discutidos por grupos setoriais e integrados transversalmente em uma segunda etapa do processo, por especialistas agrupados em torno das tecnologias emergentes. Assim, foi possível traçar para os setores selecionados: 1) a situação atual, como linha de base (business as usual); 2) difusão das inovações baseadas em tecnologias emergentes nos respectivos, com foco nos avanços da biotecnologia, da nanotecnologia, da química verde e das tecnologias de informação e comunicação (TIC); 3) modelos de negócios e configurações industriais no período 2010-2020; e 4) modelos de negócios e configurações

industriais segundo visão de futuro para 2030 (período 2020-2030). Os resultados aqui sumarizados foram fruto, portanto, desse processo participativo, estruturado para este fim.

Apresentam-se, a seguir, a síntese dos resultados do estudo prospectivo por setor, na perspectiva global e de sustentabilidade (CGEE, 2010).

#### 4.1. Complexo industrial da saúde

Com relação ao complexo industrial da saúde, identificam-se na atual dinâmica setorial as seguintes tendências e aspectos relevantes: 1) formação de oligopólios e monopólios de conhecimento, patentes e mercados em processo de recrudescimento, levando ao cascateamento da dependência ao longo de toda a cadeia de produção em contexto global; 2) desafio de garantir o acesso aos produtos e serviços e a segurança no uso, face às pressões de custos e aos avanços tecnológicos; 3) tendência da individualização do diagnóstico e terapia como um desafio do ponto de vista do custo agregado por unidade de serviços e produtos somados as dificuldades de escala; 4) mudança do foco de investimentos e da cadeia de produção para medicina preventiva em substituição à medicina curativa; 5) uso intensivo do conhecimento e multidisciplinaridade, requerendo mão de obra altamente qualificada; 6) esforços de P&D exigindo altos custos e ciclos longos de desenvolvimento; e 7) alta dependência de regulamentação.

Com relação à difusão das tecnologias emergentes no complexo da saúde, são previstos impactos positivos decorrentes dos avanços de várias tecnologias emergentes e portadoras de futuro, como detalhado no Quadro 2.

Vale ressaltar que as quatro tecnologias referenciadas são igualmente importantes, e deverão possuir efeito sinérgico, na medida em que os conhecimentos e especialidades gerados são intercambiáveis, e contribuem para o desenvolvimento mútuo. Considerando-se aspectos puramente tecnológicos e de desenvolvimento, no entanto, observa-se o grande potencial da nanotecnologia no setor, e espera-se que tal impacto seja reconhecido a médio e longo prazos. Por outro lado, tecnologias como a química verde e biotecnologia já possuem forte influência no setor, especialmente nas áreas de produção de fármacos e medicamentos.

**Quadro 2 – Desenvolvimento e difusão das tecnologias emergentes  
no complexo industrial da saúde: 2010-2030**

Tecnologia	Desenvolvimentos de impacto no período 2010-2030
Biotecnologia	Tecnologia de células tronco, bioinformática, biologia sintética, terapia gênica, sistemas biológicos, diagnósticos moleculares, nanobiotecnologia, biologia molecular, tecnologia de fermentações, tecnologia enzimática, engenharia de tecidos e órgãos, controle biológico, biotecnologia animal (voltada para saúde humana), biochips.
Nanotecnologia	<p>Nanoencapsulamento, drug-delivery systems e sistemas de veiculação para diagnóstico, tratamento e vetorização para o setor de fármacos e medicamentos.</p> <p>Próteses de alta eficiência, células-tronco, e engenharia tecidual; desenvolvimento de ligas e revestimentos para próteses; matrizes 2D e 3D para manipulação de células-tronco na fabricação de órgãos e tecidos.</p> <p>Aplicações em diagnóstico e biossensores: desenvolvimento de nanocomplexos para utilização como agentes ativos no diagnóstico por imagem (ressonância, tomografia, fluorescência), para contraste seletivo e precoce; sistemas de micro e nanofluídica.</p> <p>Aplicações em saúde coletiva (controle de processos e microbiologia): nanomateriais ativos microbiologicamente aplicados à higienização, esterilização e profilaxia; Nanocircuitaria para interfaces com sistema nervoso: nanomateriais (nanotubos e nanopartículas) no interfaciamento com células e sistemas nervosos.</p> <p>Uso de técnicas nanometrológicas aplicadas à nanobiotecnologia, como por exemplo FCS (fluorescence correlation spectroscopy), CD (circular dichroism spectrosocopy) DESI (desortion electrospray surface ionisation), bem como análise de risco à saúde e à segurança referentes a fabricação e uso de nanopartículas, nanotudos de carbono e nanomateriais estruturados.</p>
Química verde	<p>Uso de matérias primas renováveis e o conceito de economia atômica aplicado ao complexo da saúde;</p> <p>Uso de recursos da biodiversidade para a produção de fármacos, cosméticos e fitoterápicos e nutracêuticos;</p> <p>Uso de tecnologias microbianas.</p>
Tecnologias de informação e comunicação	<p>Sistemas de Informação em saúde; prontuário eletrônico do paciente; sistemas de apoio à decisão; processamento de sinais biológicos; processamento de imagens médicas; padronização da Informação em saúde;</p> <p>Telemedicina e telessaúde;</p> <p>Bioinformática;</p> <p>Bioengenharia: desenvolvimento da ciência biomédica com o auxílio de modelos matemáticos e simulações;</p> <p>Engenharia de reabilitação compreendendo sistemas eletrônicos e mecânicos que melhorem as condições de vida de deficientes;</p> <p>Engenharia médica: direcionada ao estudo, projeto e execução de instrumentação (principalmente eletrônica), sensores, próteses, etc, para a área médica;</p> <p>Engenharia clínica ou hospitalar: voltada às atividades de certificação e ensaios de equipamentos médicos e às atividades em hospitais, incluindo projetos, adequação e execução de instalações, assessoria em processos de tomada de decisão na aquisição de equipamentos, treinamento e orientação de equipes de manutenção.</p>

Preconizam-se para a década 2010-2020 os seguintes movimentos e tendências para o complexo industrial da saúde: 1) foco na prevenção em vez da cura; 2) custo da saúde orientado pela evolução tecnológica e necessidade de escala; 3) globalização das pandemias e epidemias; 4) diversificação tecnológica de mão dupla entre setores; 5) oferta de produtos e serviços para mercados emergentes; 6) oferta de produtos e serviços voltados para população idosa;

7) produtos e serviços individualizados; 8) marcos legais e regulatórios internacionais que acompanham a aceleração tecnológica, pressão de custos e aspectos culturais regionais.

Destacam-se a seguir os principais condicionantes e movimentos considerados representativos do setor saúde na década 2020-2030: 1) necessidade de marcos regulatórios para as novas tecnologias que impactarão o setor; 2) oferta de produtos e serviços de home care; 3) atenção e acompanhamento dos idosos, reflexo da melhoria no processo de envelhecimento da população; 4) desenvolvimento de metodologias para diagnóstico, terapia e tratamento com o conceito point-of-care, principalmente os voltados à população idosa que prioriza o tempo em seu domicílio; 5) equalização do pagamento da assistência em saúde com tendência à prevenção; 6) ampliação e redistribuição da renda, aumentando a demanda pelos produtos e serviços do complexo industrial da saúde; e 7) adequação do ambiente de trabalho para melhores condições de saúde.

## 4.2. Agroindústrias

No que tange ao setor “agroindústrias”, identificam-se as seguintes tendências e aspectos relevantes na atual dinâmica setorial: 1) posição de destaque na economia mundial; 2) fatores de serviços relacionados às agroindústrias são os elementos que conferem maior valor agregado a essas atividades; 3) valorização dos produtos agrícolas e agroindústrias, com consumidores dispostos a pagar por qualidade, saudabilidade e responsabilidade socioambiental; 4) aumento de demanda por alimentos seguros, havendo fortes restrições do mercado internacional pelas normas fitossanitárias atuais; 5) uso intensivo do conhecimento e aumento da capacitação dos agricultores no manejo sustentável da terra para obter mais produtividade com uso eficiente de recursos naturais e insumos, com responsabilidade ambiental e social; 6) aumento do conhecimento genético e biológico, propiciando uma melhoria nas variedades de cultivo e a adoção das chamadas boas práticas agrícolas, incluindo técnicas de irrigação mais eficazes; 7) número ainda limitado de países que produzem organismos geneticamente modificados (OGMs) reflete a polaridade de opiniões e atitudes em relação aos alimentos transgênicos e aos impactos ambientais das culturas geneticamente modificadas.

Preconizam-se para a década 2010-2020 os seguintes movimentos e tendências para o setor “agroindústrias”: 1) aumento contínuo da demanda por produtos agroindustriais; 2) crescimento do comércio internacional dos produtos agrícolas e agroindustriais; 3) tendência de aumento dos preços relativos dos produtos agroindustriais; 4) complexidade crescente das cadeias produtivas da agroindústria; 5) criação e ampliação de biorrefinarias; 6) surgimento de novos tipos de serviços nas cadeias produtivas; 7) tecnologias de ponta sustentam a agricultura orgânica; 8) uso eficiente de recursos, incluindo novos fertilizantes e biopesticidas; 9) produção de biocombustíveis, a partir de matérias-primas lignocelulósicas; 10) importância da bioprospecção como ferramenta para

o melhoramento de plantas para a resistência a estresse hídrico e para a produção de proteínas em plantas ou para resistência a doenças. Ressaltam-se ainda os seguintes aspectos, considerados imprescindíveis para a materialização desta visão de futuro: 1) um esforço global para capacitar os agricultores para a Revolução Verde do século 21, que será orientada pelo conhecimento; 2) maior engajamento por parte dos governos na pesquisa agrícola; 3) aumento da taxa futura de ganhos de produção, definida a partir dos níveis históricos recentes ou acima desses níveis; e 4) novas soluções de variedades de cultivos e aprimoramentos, desenvolvidas para condições climáticas extremas.

Com relação à difusão das tecnologias emergentes no setor “agroindústrias”, o Quadro 3 resume os principais avanços das quatro tecnologias emergentes que impactarão esse setor no horizonte de tempo analisado.

**Quadro 3 – Desenvolvimento e difusão das tecnologias emergentes no setor “agroindústrias”: 2010-2030**

Tecnologia	Desenvolvimentos de impacto no período 2010-2030
Biotecnologia	Biotecnologia vegetal, animal e de microrganismos; biorremediação; biotecnologia para controle biológico; tecnologia de fermentações; tecnologia enzimática; clonagem vegetal e animal; cultura de tecidos; nanobiotecnologia aplicada à agricultura; tratamento de resíduos sólidos e líquidos por processos biotecnológicos; e biochips.
Nanotecnologia	Sistemas carreadores de insumos (agroquímicos); fitossanitários e medicamentos para liberação controlada; diagnóstico e biossensores; tecnologias pós-colheitas (embalagens ativas e com sensores) e aumento de vida de prateleira; catalisadores nanoestruturados para utilização na agroindústria; nanomateriais para remediação; processos de obtenção e utilização em alimentos de nanoestruturas de fontes renováveis; e nanoalimentos (nanoemulsões, corantes e aditivos microencapsulados).
Química verde	Criação e ampliação de biorrefinarias; redução dos níveis de desperdício na agricultura; grande uso de automação na produção agroindustrial; produção vertical de vegetais; aquícultura; produção de microalgas; produção limpa e preservação ambiental nas agroindústrias; e desenvolvimento de biopesticidas.
Tecnologias de informação e comunicação	Agricultura de precisão; sistemas de monitoramento (GPS, satélite, radio frequência e outros) e simulação para o manejo sustentável; sistema de satélite de controle da produção; aplicativos para previsão de safra; estações meteorológicas e climatológicas; planejamento automatizado de operação de colheita e armazenamento; robótica agroindustrial; sistemas de produção, simulação e gerenciamento da produção agroindustrial.

Destacam-se a seguir os principais movimentos e aspectos considerados representativos do setor “agroindústrias” na década 2020-2030: 1) crescimento do comércio global de produtos agrícolas e agroindustriais, com uso intensivo das redes comerciais e maior harmonização das normas e regulamentos técnicos que favorecerão o livre comércio entre países produtores e consumidores de produtos agrícolas e agroindustriais; 2) aumento da produtividade agrícola em países em desenvolvimento, com ênfase nos países da África, região que atingirá o quíntuplo dos seus níveis atuais de produtividade; 3) uso eficiente dos recursos com redução significativa dos níveis de desperdício; 4) gestão eficaz dos créditos de carbono; 5) consolidação da regulamentação voltada para a segurança alimentar e física; 6) manejo sustentável e eficiência das áreas ocupadas; 7) amplo uso de automação na produção agroindustrial; 8) tecnologias de ponta sustentarão a agricultura orgânica; e 9) abertura de novos espaços para agricultura (produção vertical de vegetais, aquicultura, microalgas, dentre outras modalidades).

### 4.3. Sistemas florestais

Com referência ao setor “sistemas florestais”, identificam-se na atual dinâmica setorial as seguintes tendências e aspectos relevantes: 1) amplo reconhecimento da contribuição do componente florestal associada à adaptação de mudanças climáticas, produção de energia renováveis, manutenção à biodiversidade, conservação de recursos naturais (água, solo), preservação dos recursos florestais, diminuição dos processos de desertificação; 2) crescente entendimento dos impactos da desertificação; plantações florestais de alto rendimento; 3) ampliação da importância das florestas de proteção e produção ecoeficiente (mercado de carbono como mecanismos de pagamento de serviços ambientais, produção e consumo responsáveis); 4) demanda por produtos de base florestal, tendo-se em conta as iniciativas de construções ecológicas (green building); 5) contribuição das plantações florestais com alto rendimento; 6) benefícios das florestas urbanas para o aumento do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH); e 7) exigências crescentes em relação a processos de certificação e rastreabilidade de produtos florestais.

Quanto à difusão das tecnologias emergentes no setor “sistemas florestais”, são previstos impactos positivos decorrentes dos avanços de várias tecnologias emergentes e portadoras de futuro, como mostrado no Quadro 4.

#### Quadro 4 – Desenvolvimento e difusão das tecnologias emergentes no setor “sistemas florestais”: 2010-2030

Tecnologia	Desenvolvimentos de impacto no período 2010-2030
Biotecnologia	Biotecnologia vegetal e de micro-organismos, biorremediação, biotecnologia para controle biológico, clonagem vegetal, cultura de tecidos, de meristemas de embriões somáticos, nanobiotecnologia, captura e armazenamento de carbono, biologia sintética, tratamento de resíduos sólidos e líquidos por processos biotecnológicos, biochip.
Nanotecnologia	Sanidade vegetal; rastreabilidade; sistemas suporte para produção de mudas; obtenção/purificação de nanomateriais a partir da biomassa.
Química verde	Produção de insumos orgânicos nos sistemas florestais: uso de fontes celulósicas como matéria prima para geração de biocombustíveis (BTL e produtos da química fina); uso de recursos florestais de forma sustentável.
Tecnologias de informação e comunicação	GPS; sistemas de monitoramento e simulação – manejo sustentável e floresta plantada; sistema de satélite de controle de queimadas; aplicativos para previsão de safra; estações meteorológicas e climatológicas; sistemas sismológicos; planejamento automatizado de operação de corte, colheita e armazenamento; e coleta de informações por aeromodelos.

Cenarizam-se para a década 2010-2020 os seguintes movimentos, tendências e condicionantes: 1) conhecimento global mais abrangente da função das florestas na proteção do clima e na produção dos recursos naturais; 2) apoio institucional e mercadológico no sentido de aumentar a proteção e a gestão das florestas; 3) compromissos para aprofundar ainda mais as reduções do carbono nos países industrializados, gerando demanda por créditos de carbono por REDD<sup>+1</sup>; 4) disponibilização de incentivos financeiros para as populações locais, para fins de preservação e expansão de serviços do ecossistema, das florestas naturais básicas e modificadas; 5) criação e adoção de normas e procedimentos referentes aos níveis de emissões; 6) processos para promover a participação dos povos indígenas e das comunidades locais; 7) processos para promover a participação dos povos indígenas e das comunidades locais; e 8) deslocamento na produção da floresta natural modificada para as florestas plantadas, melhorando os resultados dessas últimas.

Destacam-se, a seguir, os principais condicionantes e movimentos considerados representativos do setor “sistemas florestais” na década 2020-2030: 1) motivação crescente para a proteção das florestas e produção eficiente; 2) nivelamento de preços para alternativas ao desflorestamento, para proteger o habitat e a biodiversidade, aumentar as reservas de carbono, gerar capacidade

1 The United Nations Collaborative Programme on Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries+ Sustainable Preservation and Management. Disponível em: <<http://www.un-redd.org/AboutUNREDDProgramme/tabid/583/Default.aspx>>. (Acesso em: nov. 2010).

institucional nas regiões florestais remotas, e se aproximar do ponto de equilíbrio para os recursos agrícolas concorrentes; 3) aumento da demanda por produtos florestais ecologicamente corretos, oriundos de inovações verdes; 4) criação ou manutenção de florestas urbanas que proporcionarão sombra, ar mais limpo e maior qualidade de vida; 5) criação de fundos de segurança ambiental para respaldar a restauração e manutenção dos sistemas biofísicos subjacentes, além de mecanismos baseados no mercado; 6) aumento do consumo de madeiras roliças para atender a demanda crescente por materiais de construção e outros produtos madeireiros; 7) maior e melhor utilização da biomassa florestal para a geração de energia e a produção de combustíveis; 8) aumento da produção das florestas plantadas, por meio dos aprimoramentos genéticos que darão destaque a um mix de características vegetais, como tolerância à seca, resistência a insetos, dentre outras, e à adaptação aos diversos tipos e locais florestais; e 9) por volta de 2025, o desflorestamento chegará a quase zero.

#### 4.4. Energia

Em relação ao setor de energia, identificam-se na atual dinâmica setorial as seguintes tendências e aspectos relevantes: 1) consenso internacional sobre a gestão eficaz das emissões de gases de efeito estufa; 2) definição de preço do carbono em nível global; 3) políticas eficazes para reduzir os custos da produção de energias e aumentar a eficiência de outras formas de geração energética; 4) medidas de incentivos e informações junto à sociedade em geral para orientar os ganhos de eficiência no consumo de energia; 5) educação energética e hábitos de consumo dentro do contexto da eficiência energética global; 6) demonstração segura e suficiente, implantação e aceitação das tecnologias promissoras, como CCS<sup>2</sup>, nuclear e biomassas; 7) segurança energética sob o ponto de vista de assegurar a continuidade do desenvolvimento; e 8) regionalização de soluções energéticas.

Com relação à difusão das tecnologias emergentes no setor de energia, são previstos impactos positivos decorrentes dos avanços de várias tecnologias emergentes e portadoras de futuro, conforme apresentado no Quadro 5. Destacam-se as principais tendências previstas para a década 2010-2020, focalizando os combustíveis fósseis, os renováveis e os produtos energéticos oriundos de outras fontes de energia. No que se refere aos combustíveis fósseis, prevê-se que: 1) o setor petróleo continuará sendo dominado por cartéis, com aumento dos custos de exploração e produção (reservas remotas) e busca de soluções tecnológicas alternativas; 2) aumento do uso de carvão como fonte energética e busca por novas soluções tecnológicas alternativas visando a sua utilização mais limpa; 3) crescimento do consumo de gás natural e busca por soluções tecnológicas alternativas para ampliação de sua utilização, principalmente no que concerne suas transformações químicas; e 4) exploração potencial de uso do xisto e fontes betuminosas, bem

---

2 CCS – Carbon Capture and Sequestration.

como de reservas de petróleo de baixíssimo grau API, em função da viabilização de soluções tecnológicas alternativas.

#### Quadro 5 – Desenvolvimento e difusão das tecnologias emergentes no setor de energia: 2010-2030

Tecnologia	Desenvolvimentos de impacto no período 2010-2030
Biotecnologia	Biotecnologia vegetal (desenvolvimento de biomassa de origem vegetal), biotecnologia de micro-organismos, biologia sintética, tecnologia de enzimas e tecnologia de fermentações.
Nanotecnologia	Nanomateriais e nanorevestimentos ativos para dispositivos de energias renováveis, incluindo fotovoltaicos, células combustível, eólicas, dentre outros; catalisadores nanoestruturados para a indústria do petróleo e etanol; nanomateriais para produção de etanol e bioetanol e reaproveitamento da biomassa; novos sistemas de iluminação mais eficientes (LEDs orgânicos e inorgânicos); nanotecnologia para geração e armazenamento (nanobaterias e capacitores).
Química verde	Processos de remediação aplicados a matérias primas fósseis; PCH; energia solar; energia a partir de biomassa (biocombustíveis); energia eólica; tecnologias de hidrogênio; energias oceânicas.
Tecnologias de informação e comunicação	Sistemas de detecção de vazamentos de produtos químicos (convergência bio-nano-TIC); novos algoritmos para CLPs digitais; novos algoritmos para power line communication; Smart Grid - Intelligent meters/sensors; sistemas de controle e automação inteligentes; novos algoritmos e Inteligência artificial para as atividades de sísmica; sistemas para detecção de gases potencialmente perigosos; e redes sensoriais Zigbee

Para os combustíveis a partir de fontes renováveis, as estimativas e previsões indicam: 1) crescimento moderado da geração hidroelétrica até 2020; 2) grande potencial de crescimento utilizando tecnologias existentes de PCH; 3) potencial de crescimento de energia solar térmica, com tecnologia existente; 4) grande potencial de crescimento da energia solar, em função de inovações tecnológicas; 5) grande crescimento no uso de alguns tipos de biomassa de origem microbiana como matéria-prima para produção de biocombustíveis, a exemplo de microalgas; 6) crescimento acentuado no que se refere a etanol como combustível, o qual poderá ser ainda maior em função de inovações tecnológicas (etanol ligno-celulósico); 7) enorme crescimento nos segmentos de bioquerosene e diesel renovável decorrente das tecnologias existentes (biodiesel) e em desenvolvimento (BTL); 8) aproveitamento dos resíduos baseado em tecnologias de densificação (pirólise) e gaseificação (BTL), bem como em aplicações da biotecnologia; e 9) forte crescimento da energia eólica, em condições geográficas específicas com amortecimento no final do período.

Finalmente, quanto às demais fontes de energia, antecipam-se: 1) um potencial de crescimento da energia nuclear, com tecnologias inovadoras incrementais na área de segurança; 2) forte crescimento imediato e duradouro do uso de tecnologias de eficiência energética; e 3) crescimento discreto de hidrogênio, em nichos específicos.

As tendências previstas para a década anterior com foco nos combustíveis renováveis e produtos energéticos oriundos de outras fontes de energia serão consolidadas nesta década. Esperam-se grandes transformações no período 2020-2030 que se traduzirão principalmente no declínio das emissões de gases de efeito estufa (GEE); na competitividade da energia solar; e no uso crescente de energia limpa nos países em desenvolvimento. Além desses movimentos, prevê-se que a geração de energia nuclear continuará sendo chave nos esforços de atenuação das mudanças climáticas neste período e que haverá estagnação na geração de energia hidroelétrica até 2030. Particularmente em relação aos combustíveis fósseis, cenariza-se: 1) potencial mudança na taxa de crescimento da oferta de óleo em função do aparecimento de novas reservas remotas tipo pré-sal; 2) potencial mudança na taxa de crescimento do uso de carvão, em função do aparecimento de tecnologias alternativas de aplicação de carvão do tipo coal to liquids (CTL), dimetil éter (DME) e gaseificação in situ; 3) consumo crescente de gás natural, com potencial mudança na taxa de crescimento, em função do aparecimento de tecnologias alternativas de aplicação tipo dimetil éter (DME) e GTL offshore; e 4) exploração do potencial de utilização de xisto e fontes betuminosas, em função de soluções tecnológicas disruptivas alternativas.

#### 4.5. Construção

Quanto ao setor de construção, identificam-se na atual dinâmica setorial as seguintes tendências e aspectos relevantes: 1) regulamentação diversa e não generalizada, com enfoque local; 2) baixa qualificação da mão de obra operacional; 3) grande gerador de emprego, mas sua maioria não qualificada; 4) fatores determinantes incluem clima, cultura, distribuição de renda, disponibilidade de recursos naturais; 5) crescimento da necessidade de mobilidade – necessidade de maiores investimentos em infraestrutura; 6) grande contingente de consumidores população fora no mercado; e 7) baixa incorporação de novas tecnologias devido à cultura setorial ser lenta.

Com relação à difusão das tecnologias emergentes no setor de construção, são previstos impactos positivos decorrentes dos avanços de várias tecnologias emergentes e portadoras de futuro, como mostra o Quadro 6, a seguir.

Cenarizam-se os seguintes movimentos, tendências e condicionantes para o setor de construção na década 2010-2020: 1) rigorosas exigências sobre a eficiência no consumo de energia, reconhecidas em nível internacional, nas normas para a construção civil, assim como o incentivo e monitoramento de sua implementação; 2) novos incentivos fiscais e subsídios para investimentos direcionados para a eficiência no consumo de energia, com períodos mais longos de retorno sobre o investimento; 3) termos profissionais e contratuais que abrangem antecipadamente designers, projetistas, empreiteiros, serviços públicos e usuários finais, como parte de equipes integradas; 4) auditorias periódicas do governo sobre a eficiência energética, com mais restrições

e aperfeiçoamentos dos mecanismos de fiscalização; 5) campanhas sustentadas para aumentar a conscientização sobre o uso da energia nas edificações e para promover mudança de comportamentos e hábitos em relação à ecoeficiência; 6) maior mobilidade entre cidades de menor tamanho – necessidade de infraestrutura; 7) convergência e integração, com aumento de automação voltada para funcionalidade, segurança e eco eficiência; 8) crescimento da demanda por habitação e infraestrutura, impulsionada pela distribuição de renda em nível global; 9) difusão da tecnologia Building Information Modelling (BIM); e 10) aceleração do emprego e desenvolvimento de novas tecnologias construtivas e materiais.

#### Quadro 6 – Desenvolvimento e difusão das tecnologias emergentes no setor de construção: 2010-2030

Tecnologia	Desenvolvimentos de impacto no período 2010-2030
Biotecnologia	Novos biomateriais; tratamento de resíduos sólidos e líquidos por processos biotecnológicos.
Nanotecnologia	Cimentos nanoestruturados; novos nanocompósitos para utilização estrutural; vidros e superfícies auto-limpantes; nanomateriais e nanorevestimentos para conforto térmico.
Química verde	Uso de matérias-primas verdes na construção civil (biopolímeros).
Tecnologias de informação e comunicação	Building Information Modelling (BIM); tecnologias de automação; simulações em projetos; segurança; maquete eletrônica; sistemas inteligentes de iluminação.

Entre os principais condicionantes e movimentos considerados representativos do setor de construção na década 2020-2030, destacam-se: 1) exigências mais rigorosas sobre a eficiência no consumo de energia, reconhecidas em nível internacional; 2) consolidação de incentivos fiscais e subsídios para investimentos direcionados para a eficiência no consumo de energia; 3) exploração responsável de nichos de novos espaços habitáveis; 4) ecoeficiência consolidada com auto suficiência em alguns nichos; 5) elevado grau de automação nas construções; 6) consolidação do uso de Building Information Modelling (do planejamento, operação/manutenção); 7) qualificação profissional acentuada (novas tecnologias em processos construtivos, automação); 8) presença maior do governo como elemento regulador e incentivador com políticas de direcionamento de mercado para sustentabilidade; 9) elevado grau de consciência socioambiental da sociedade - exigências de mercado; e 10) utilização intensiva de novos materiais e novas tecnologias e industrialização da construção.

## 4.6. Mobilidade

Com relação ao setor “mobilidade”, configura-se a situação atual pela perspectiva dos seus principais atores e respectivos interesses, a saber: 1) setor produtivo, particularmente a indústria automobilística a de petróleo, gás natural e derivados; 2) governo; e 3) sociedade civil. Com relação

à indústria automobilística há poucos *players* globais, pela redução de custos de produção, aumento da eficiência no aproveitamento energético e também pela absorção de novos materiais e novos recursos tecnológicos. Já na indústria de petróleo, gás natural e derivados, observa-se hoje a predominância de empresas nacionais que detêm maior parte das reservas e altos investimentos em pesquisa e desenvolvimento focalizando novas fontes de energia.

Quanto ao governo, sua atuação em relação ao setor “mobilidade”, concentra-se nos aspectos de regulamentação, incentivos fiscais e formulação de políticas públicas. Em países desenvolvidos há uma orientação de incentivo ao transporte coletivo e não motorizado, já em países em desenvolvimento, observa-se uma orientação de incentivo ao transporte individual. Finalmente, a sociedade civil hoje sofre as conseqüências do modelo atual de mobilidade, havendo uma enorme demanda por transporte público eficiente.

Com relação à difusão das tecnologias emergentes no setor “mobilidade”, são previstos impactos positivos decorrentes dos avanços de várias tecnologias emergentes e portadoras de futuro, como poderá ser visto no Quadro 7, a seguir.

**Quadro 7** – Desenvolvimento e difusão das tecnologias emergentes no setor “mobilidade”: 2010-2030

Tecnologia	Desenvolvimentos de impacto no período 2010-2030
Biotecnologia	Biotecnologia para desenvolvimento de novos materiais, biotecnologia para biocombustíveis e biologia sintética.
Nanotecnologia	Nanocompósitos estruturais de alta resistência térmica e mecânica, que permitam, por exemplo, a construção de veículos e infraestruturas mais leves e eficientes; nanoaditivos para lubrificantes e combustíveis mais eficientes; nanoaditivos para desenvolvimento de pneus mais resistentes ao desgaste; e nanomateriais para célula-combustível e reformadores de etanol.
Química verde	Uso de novos materiais e novos recursos tecnológicos na indústria automobilística; desenvolvimento de motores para combustíveis alternativos verdes; uso de tecnologias para aumento da eficiência de motores; uso de carros elétricos ou a hidrogênio; materiais para a diminuição de peso dos veículos e conseqüente ganho de eficiência energética e redução das emissões de gases poluentes.
Tecnologias de informação e comunicação	Tecnologias de segurança, mapeamento, clusterização, visão computacional, imageamento, processamento de imagens (câmeras infra-red) e computação gráfica.

São previstos os seguintes movimentos, tendências e condicionantes para o setor “mobilidade” na década 2010-2020: 1) busca de soluções integradas em transporte público em detrimento do transporte individual; 2) implementação de novas tecnologias de transporte (VLT, VLP, Monotrilho, Maglev, TAV, carros elétricos ou a hidrogênio); 3) aprovação de padrões para

biocombustíveis sustentáveis em nível internacional e adoção de sistemas de monitoramento e fiscalização em larga escala; 4) priorização do transporte não motorizado no sistema de transporte em detrimento dos veículos; 5) busca de novos materiais para a diminuição de peso dos veículos e conseqüente ganho de eficiência energética e redução das emissões de gases poluentes; 6) busca pela universalização dos acessos aos equipamentos urbanos; 7) introdução do conceito de sustentabilidade no planejamento das cidades e nas políticas de mobilidade urbana; 8) investimentos em infraestrutura que acompanhem a demanda crescente por transportes de passageiro e a frete; 9) planejamento urbano integrado, principalmente nas cidades de mais rápido crescimento; 10) os sistemas de transporte inteligente estabelecendo conexão entre os próprios veículos e a infraestrutura; 11) desenvolvimento e a implantação de veículos com combustão interna eficiente reduzindo a intensidade de emissão de carbonos em até 30-40%; 12) legisladores e parceiros industriais agilizando a pesquisa e a implantação de sistemas de transmissão alternativos e biocombustíveis avançados; 13) usuários dos veículos passando a adotar um comportamento de direção mais eficiente, incentivado por meio das campanhas informativas; 14) biocombustíveis para aviação sendo testados e utilizados; 15) disseminação de redes ferroviárias integradas; e 16) maior eficiência no consumo de energia na navegação, alcançada por meio de abordagens holísticas para o desempenho da cadeia de transportes.

Entre os principais condicionantes e movimentos considerados representativos do setor "mobilidade" na década 2020-2030, destacam-se: 1) busca de sistemas de transmissão e combustíveis alternativos; 2) aumento de competitividade dos combustíveis alternativos e uso intensivo de biocombustíveis; 3) aprimoramento ao acesso ferroviário e a outras formas de mobilidade; 4) sistemas inteligentes de transportes (integração entre diversos modais, com sistemas de comunicação e informação em tempo real e maior integração no transporte público; 5) disseminação de novas tecnologias de transporte (VLT, VLP, Monotrilho, Maglev, TAV, carros elétricos ou a hidrogênio); 6) maior espaço para pedestres e ciclistas e restrição de veículos motorizados em centros urbanos; 7) uso de novos materiais para a diminuição de peso dos veículos e conseqüente ganho de eficiência energética e redução das emissões de gases poluentes; 8) universalização dos acessos aos equipamentos urbanos; e 9) adoção plena do conceito de sustentabilidade no planejamento das cidades e nas políticas de mobilidade urbana.

#### 4.7. Telecomunicações

No que tange ao setor de telecomunicações, identificam-se na atual dinâmica setorial as seguintes tendências e aspectos relevantes: 1) setor fortemente marcado pela regulação como apoio aos modelos de negócio existentes ainda que cada país tenha suas especificidades; 2) alocação ineficiente do espectro de frequência estratificado por serviços diferenciados; 3) operadoras migrando para prestação de serviços de valor agregado e terceirizando atividades de

rede para a indústria; 4) novas configurações de competição entre empresas que operavam em mercados distintos, geradas pela convergência ao agregar múltiplos serviços sobre os mesmos meios de transmissão; e 5) movimentos de busca de eficiência, tanto no segmento da indústria quanto no segmento de operação, para aumento de competitividade por meio de fusões, como resposta à comoditização da infraestrutura de comunicações.

Com relação à difusão das tecnologias emergentes no setor de telecomunicações, são previstos impactos positivos decorrentes dos avanços de várias tecnologias emergentes e portadoras de futuro, como detalhado no Quadro 8.

**Quadro 8** – Desenvolvimento e difusão das tecnologias emergentes no setor de telecomunicações: 2010-2030

Tecnologia	Desenvolvimentos de impacto no período 2010-2030
Biotecnologia	Biotecnologia para desenvolvimento de novos materiais, biochips.
Nanotecnologia	Revestimentos nanoestruturados de fibra-óptica.
Química verde	Desenvolvimento de matérias-primas verdes para aplicações de tecnologias de informação e comunicação. Desenvolvimento de tecnologias verdes para aplicações de tecnologias de informação e comunicação.
Tecnologias de informação e comunicação	Tecnologias de terminais. Tecnologias de transporte. Aplicações: conexões óticas na última milha; tecnologias wireless; comunicações a curta distância; interface homem-máquina; e tecnologias de satélite.

Antecipam-se os seguintes movimentos, tendências e condicionantes para o setor de telecomunicações na década 2010-2020: 1) consolidação da convergência das tecnologias de informação e comunicação; 2) convergência entre comunicações móveis e fixas e comunicação pessoal multiserviços; 3) revisão das formas de tarifação no contexto global; 4) reestruturação de monopólios com a entrada de novos participantes e consolidações no setor; 5) pressão sobre a regulação gerada pela inovação; 6) competição em serviços de valor agregado, como cloud computing, entre novos participantes como Apple e Google com operadoras de televisão e carriers; 7) disseminação do acesso às telecomunicações, principalmente nos países emergentes; 8) comoditização das tecnologias de transmissão e rede sobre três pilares: comunicações móveis, rede IP e redes óticas de alta capacidade; e 9) otimização do uso do espectro.

Entre os principais condicionantes e movimentos considerados representativos do setor de telecomunicações na década 2020-2030, destacam-se: 1) desenvolvimento de dispositivos com interfaces inteligentes em linguagem mais natural; 2) ampliação dos mercados emergentes; 3)

distribuição geográfica dos repositórios de informação; 4) consolidação da mudança cultural para uso intensivo de reuniões virtuais; 5) surgimento de novos negócios baseados em tecnologias de satélite; 6) comunicação pervasiva; capacidades de comunicação presentes em todos os objetos; e 7) difusão das personal area networks.

#### 4.8. Materiais

Com referência ao setor “materiais”, destacam-se na situação presente os seguintes desafios em nível global: 1) produção de materiais é responsável por grande consumo de energia; portanto, sua evolução tem vínculos muito fortes com a questão da sustentabilidade; 2) o suprimento limitado de materiais com limitações geopolíticas; e 3) a poluição e dependência de energia inerentes à fabricação de matérias convencionais. Como oportunidades da cena atual, apontam-se: 1) o desenvolvimento de produtos e aplicações a partir de materiais renováveis; 2) a ampliação do processo de reciclagem; 3) o desenvolvimento de materiais biodegradáveis; 4) o desenvolvimento de materiais para substituir produtos críticos; e 5) a produção de materiais mais eficientes, com menor consumo de energia e menor impacto ambiental.

Os principais desenvolvimentos e difusão das tecnologias emergentes no setor “materiais” no período 2010-2030 são apresentados no Quadro 9, a seguir.

**Quadro 9:** Desenvolvimento e difusão das tecnologias emergentes no setor “materiais”: 2010-2030

Tecnologia	Desenvolvimentos de impacto no período 2010-2030
Biotecnologia	Biotecnologia para desenvolvimento de novos materiais (biodegradáveis, biopolímeros, biomateriais, biotecnologia vegetal).
Nanotecnologia	Síntese e funcionalização de nanomateriais: nanocompósitos, incluindo nanopartículas de geometrias diversas como nanotubos, nanofios, nanoesferas, etc; nanocatalisadores.
Química verde	Desenvolvimento de produtos e aplicações a partir de materiais renováveis; ampliação do processo de reciclagem; desenvolvimento de materiais biodegradáveis; desenvolvimento de materiais para substituir produtos críticos; produção de materiais mais eficientes, com menor consumo de energia e menor impacto ambiental.
Tecnologias de informação e comunicação	Fibras óticas e optoeletrônica; materiais para displays; materiais orgânicos; microeletrônica; e armazenamento e conservação de energia.

Preconizam-se os seguintes movimentos, tendências e condicionantes para o setor “materiais” na década 2010-2020: 1) o preço do carbono e o aumento no uso de outras modalidades de avaliação determinarão o preço real dos materiais; 2) aterros extintos ou desativados por atendimento a

legislações rigorosas; 3) mais eficiência no consumo de energia, na produção de aço, cimento, alumínio, dentre outros materiais; 4) princípios de elaboração e processos de produção necessários para os sistemas de circulação de circuito fechado; 5) inovação dos modelos comerciais, reconsiderando as cadeias de valores, reelaborando produtos e serviços, recriando processos e revalorizando produtos; 6) co-inovação entre produtores e consumidores para reduzir o consumo de materiais; 7) a captura e o armazenamento de carbono serão acionados pela infraestrutura jurídica e por regulamentações específicas; 8) instalações de demonstração de conversão catalítica de dióxido de carbono em hidrocarbonetos (combustíveis e produtos químicos); 9) as águas residuais (efluentes) serão consideradas recursos e não mais rejeitos; 10) adequação do perfil dos produtores aos condicionantes socioeconômicos utilizando as tecnologias emergentes de materiais; 11) integração muito maior entre produtores de materiais e produtores de bens finais; e 12) consolidação de novos padrões de conforto/exigências do consumidor.

Entre os principais condicionantes e movimentos considerados representativos do setor “materiais” na década 2020-2030, destacam-se: 1) aceitação crescente por parte das sociedades em restringir o uso de materiais não renováveis para cerca de cinco toneladas anuais por pessoa; 2) projetos de circuito fechado, com reciclagem e reuso de materiais, consagrados nos setores industriais; 3) madeira considerada cada vez mais um material reciclável; 4) lixo inventariado para permitir a sua posterior reciclagem, quando a tecnologia ou as condições do mercado assim o viabilizarem; 5) diretrizes governamentais e regulamentações cada vez mais rigorosas para extinguir ou restringir as substâncias tóxicas (uma solução para a estocagem segura do lixo radioativo será adotada e colocada em prática); 6) oferta de uma grande variedade de novos produtos e serviços, com base na alta longevidade, baixos índices de água acumulada, baixo consumo de energia e conteúdo material; 7) muitas instalações de produção de materiais que usam intensamente o CO<sup>2</sup> passando a utilizar tecnologias e métodos de captura e armazenamento de carbono (CCS); 8) reconfiguração do portfolio baseado em commodities para um novo com foco em serviços, em consequência da redefinição dos modelos de negócios com foco em ecoeficiência e aprimoramento do ciclo de vida dos materiais; 9) fornecimento de materiais como um gerador de serviços de biodiversidade e do ecossistema, capaz de produzir produtos eficientes em termos ecológicos e criar e oferecer serviços em prol do meio ambiente; 10) empresas de materiais bem sucedidas reduzindo os índices de fornecimento de energia para diminuir os custos da energia, os custos das emissões e as multas fiscais; 11) reciclagem como uma estratégia chave nos setores industriais, com eliminação total de desperdícios e comprometimento por parte dos fabricantes com a reutilização e a eficiência de fabricação e de uso dos materiais; e 12) produção de materiais com menor consumo de energia e com redução de emissão de gases de efeito estufa (GEE), segundo a filosofia “fazer mais com menos”.

## 5. Considerações finais e recomendações

Tendo em vista o posicionamento estratégico do Brasil frente às trajetórias globais dos setores selecionados e o devido aproveitamento das oportunidades tecnológicas e de negócios que se vislumbram no horizonte estudado, ações voltadas à estruturação e ao fortalecimento da capacidade nacional devem ser implementadas como prioridades estratégicas. Para o período 2010-2030, identificaram-se assim espaços de decisão que irão requerer ações estruturantes por parte de todos os atores envolvidos nos oito setores analisados neste estudo prospectivo.

Apresentam-se, a seguir, as recomendações do estudo:

- divulgar e difundir os resultados do estudo prospectivo “Indústrias do Futuro e Tecnologias Emergentes”, de forma a se obter uma avaliação mais ampla, junto aos órgãos governamentais, à academia, às empresas e à sociedade em geral, das sinalizações estratégicas discutidas por setor neste estudo;
- possibilitar a efetiva incorporação dos resultados em processos decisórios associados ao cumprimento das metas estabelecidas na Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP);
- aprofundar a análise de pontos críticos do contexto nacional, de modo a identificar mecanismos de gestão tecnológica, de investimentos em CT&I e regulamentação adequados aos mesmos, considerando as incertezas e riscos inerentes ao estágio de desenvolvimento das tecnologias emergentes;
- monitorar de forma sistemática o desenvolvimento, em nível mundial e nacional, das tecnologias emergentes identificadas nas trajetórias de cada setor, particularmente aquelas de que se mostram como oportunidades para inovações no Brasil.

Finalmente, cabe ressaltar que o estudo prospectivo congregou os resultados de um esforço coletivo, envolvendo mais de 60 representantes de instituições acadêmicas, de centros de P&D, da indústria, do governo e do CGEE que atuam diretamente nos campos das tecnologias emergentes aqui abordadas e nos setores selecionados. Consolidou-se, dessa forma, com o comprometimento de todos, um mapeamento inicial que servirá de base para estudos prospectivos futuros focalizando os desafios e as oportunidades associados a uma visão de futuro sustentável como a preconizada neste estudo.

## Referências

- ALMEIDA, M.F.L. **Subsídios metodológicos para o estudo prospectivo indústrias do futuro e tecnologias emergentes**. Nota técnica. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2011. Mimeo.
- \_\_\_\_\_. **Visão panorâmica de estudos prospectivos globais de longo prazo**. Sub-ação 51.46.1 - Indústrias do Futuro e Tecnologias Emergentes. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010. Mimeo.
- BERGEK, A. **Shaping and exploiting technological opportunities: the case of renewable energy technology in Sweden**. Department of Industrial Dynamics. Chalmers University of Technology, Göteborg. 2002.
- BERGEK, A.; JACOBSSON, S. The emergence of a growth industry: a comparative analysis of the german, dutch and swedish wind turbine industries. In: METCALFE, S.; CANTNER, U. Change. Eds. **Transformation and Development**. Heidelberg Physica-Verlag, , p. 198-228. 2003.
- BRESHI, S.; MALERBA, F. Sectorial innovation systems: technological regimes, schumpeterian dynamics, and spatial boundaries. In: EDQUIST, C. Ed. **Systems of innovation: technologies, institutions and organizations**. London: Pinter. p.130-156, 1998.
- CENTRO de Gestão e Estudos Estratégicos. **Relatório Final da Sub-ação 51.46.1 - Indústrias do Futuro e Tecnologias Emergentes**. Brasília: CGEE. Set 2010.
- CARLSSON, B.; JACOBSSON, S. Dynamics of innovation systems: policy-making in a complex and non-deterministic world. In: INTERNATIONAL WORKSHOP OF FUNCTIONS IN INNOVATION SYSTEMS. University of Utrecht. 2004. **Proceedings...** University of Utrecht. 2004.
- EDQUIST, C. Systems of innovation: perspectives and challenges. In: FAGERBERG, J. MOWERY, D.C.; NELSON, R.R. Eds. **The Oxford handbook of innovation**, Oxford: Oxford University Press, 2004.
- ELZEN, B.; GEELS, F.W.; GREEN, K. **System Innovation and the transition to sustainability: theory, evidence and policy**. Cheltenham: Northampton: Edward Elgar, 2004.
- GEELS, F.W. From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. **Research Policy**, v. 33, n. 6/8, p.898–920. 2004.
- \_\_\_\_\_. **Technological transitions and system innovations: a co-evolutionary and socio-technical analysis**, Cheltenham: Edward Elgar, 2005.

- GEELS, F.W.; SCHOT, J.W. Typology of sociotechnical transition pathways. **Research Policy**, v. 36, n. 3, p. 399–418. 2008.
- GEORGANTZAS, N. C.; ACAR, W. **Scenario-driven planning: learning to manage strategic uncertainty**. Westport, Connecticut: Quorum Books, 1995.
- GODET, M. **A caixa de ferramentas da prospectiva estratégica**. Lisboa: Cepes, 2000.
- \_\_\_\_\_. **Manual de prospectiva estratégica: da antecipação à acção**. Coleção Gestão & Inovação, Série Macrotendências, n.1, Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1993.
- \_\_\_\_\_. **Manuel de prospective stratégique: tome 1 – une indisciplinée intellectuelle**. 2. ed. Paris: Dunod, 2001.
- JOHNSON, A. **Functions in innovation system approaches**. Department of Industrial Dynamics, Chalmers University of Technology, Göteborg. Working paper. 1998.
- LIPSOR. **MICMAC: se poser les bonnes questions et identifier les variables clés**. Laboratoire d'Investigation en Prospective, Stratégie et Organisation. 2010. Disponível em: <<http://www.3ie.fr/lipsor/micmac.htm>>. Acesso em: mai 2010.
- MALERBA, F. Sectoral systems of innovation: basic concepts. In: **Sectoral systems of innovation**, Cambridge: Cambridge University Press, p. 9-41. 2004.
- SANMARTÍN, J.; HRONSZKY, I. Eds. **Superando fronteras: estudios europeos de ciencia tecnología-sociedad y evaluación de tecnologías**. Barcelona: Anthropos, 1994.
- SANMARTÍN, J.; ORTÍ, A. Evaluación de tecnologías. In: SANMARTÍN, J. et al. Eds. **Estudios sobre sociedad y tecnología**. Barcelona: Anthropos, 1992.
- SCHOEMAKER, P.J.H.; VAN der HEIJDEN, C.A.J.M. Integrating scenarios into strategic planning at Royal Dutch/ Shell: case study. **Planning Review**, May/June 1992, p. 41- 46, 1992.
- SCHOT, J. W. Constructive technology assessment and technology dynamics: the case of clean technologies. **Science, Technology & Human Values**, v.18, n.1, p. 36-56, 1992.
- SCHOT, J. W.; RIP, A. The past and future of constructive technology assessment. **Technology Forecasting and Social Change**, v.54, p.251-268, 1998.
- SCHWARTZ, P. **A arte da previsão: planejando o futuro em um mundo de incertezas**. São Paulo: Ed. Best Seller, 2000.
- \_\_\_\_\_. **Cenários: as surpresas inevitáveis**. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 2003.
- SHELL. **Global Scenarios 2025**. 2005. Disponível em: <<http://www.shell.com>>. Acesso em: abr 2010.
- SHRADER-FRECHETTE, K. Technology assessment, expert disagreement, and democratic procedures. **Research in Philosophy & Technology**, v.8, 1985.

SMITS, R.; LEYTEN, J.; DEN HERTOOG, P. Technology assessment and technology policy in Europe: new concepts, new goals, new infrastructures, **Policy Sciences**, v. 28, p.281-299, 1995.

TODT, J.O. **Innovación y regulación: la influencia de los actores sociales en el cambio tecnológico**: el caso de la ingeniería genética agrícola. 293 f. Tesis Doctoral. Universitat de Valencia. 2002.

VAN der HEIJDEN, K. **Planejamento de cenários: a arte da conversação Estratégica**. Bookman, Glasgow, 2004.

\_\_\_\_\_. **Scenarios: The art of strategic conversation**. 2.ed. West Sussex: John Wiley & Sons, 2005.