



MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL
PELA INOVAÇÃO

**Indústria
2027**

mei MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL PELA INOVAÇÃO

Estudo de sistema produtivo
QUÍMICA



Iniciativa da CNI - Confederação
Nacional da Indústria



Iniciativa da CNI - Confederação
Nacional da Indústria

PROJETO INDÚSTRIA 2027

Riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas

ESTUDO DE SISTEMA PRODUTIVO
QUÍMICA

FOCO SETORIAL
Bioeconomia

Indústria
2027
mei MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL PELA INOVAÇÃO

Brasília
2018

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

Robson Braga de Andrade

Presidente

Diretoria de Educação e Tecnologia – DIRET

Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti

Diretor de Educação e Tecnologia

Instituto Euvaldo Lodi – IEL

Robson Braga de Andrade

Presidente do Conselho Superior

IEL – Núcleo Central

Paulo Afonso Ferreira

Diretor-Geral

Gianna Cardoso Sagazio

Superintendente



Iniciativa da CNI - Confederação
Nacional da Indústria

**Indústria
2027**

mei MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL PELA INOVAÇÃO

Estudo de sistema produtivo

QUÍMICA

©2018. IEL – Instituto Euvaldo Lodi

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

IEL/NC

Superintendência IEL

FICHA CATALOGRÁFICA

I59e

Instituto Euvaldo Lodi. Núcleo Central.

Estudo de sistema produtivo química/ Instituto Euvaldo Lodi, José Vitor Bomtempo. -- Brasília: IEL/NC, 2018.

137 p. il. (Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas)

1. Cluster Tecnológico 2. Sistemas Produtivos 3. Química 4. Bioeconomia
I. Título

CDU: 66

IEL

Instituto Euvaldo Lodi
Núcleo Central

Sede

Setor Bancário Norte
Quadra 1 – Bloco C
Edifício Roberto Simonsen
70040-903 – Brasília – DF
Tel.: (61) 3317-9000
Fax: (61) 3317-9994
<http://www.portaldaindustria.com.br/iel/>

Serviço de Atendimento ao Cliente - SAC

Tels.: (61) 3317-9989/3317-9992

sac@cni.org.br

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	7
INDÚSTRIA 2027	9
RESUMO EXECUTIVO	13
INTRODUÇÃO	25
1 CARACTERIZAÇÃO ECONÔMICA	27
1.1 Delimitação do sistema produtivo e foco setorial	27
1.2 Panorama internacional	31
1.3 Panorama nacional.....	43
2.OS CLUSTERS TECNOLÓGICOS RELEVANTES	57
2.1 Identificação das tecnologias relevantes.....	57
2.2 Experiência internacional	65
2.3 Experiência brasileira	98
2.4 Considerações finais.....	101
3 DESAFIOS E IMPLICAÇÕES PARA O BRASIL	105
3.1 Uso atual e esperado das tecnologias digitais.....	105
3.2 Riscos, oportunidades e capacidade de resposta das empresas	106
3.3 Desafios para a indústria brasileira	107
3.4 Implicações para políticas públicas e estratégias empresariais.....	111
REFERÊNCIAS	115
ANEXO – DETALHAMENTO DOS RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO: SP QUÍMICA	121
A1 Caracterização do painel de respondentes	121
A2 Resultados.....	123
A3 Considerações finais	137



APRESENTAÇÃO

A convergência tecnológica presente em nossas vidas passa pela indústria, cada vez mais movida pela inovação. Esse espírito inovador, por sua vez, alimenta a competitividade e impulsiona novos modelos de negócios. O *Projeto Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas* avalia não só os impactos de inovações potencialmente disruptivas sobre a indústria nos próximos dez anos, como também a capacidade de o Brasil e suas empresas superarem riscos e aproveitarem oportunidades derivadas de novas técnicas. Além disso, fornece subsídios para as estratégias corporativas e a formulação de políticas de inovação.

O projeto é uma iniciativa da Confederação Nacional da Indústria (CNI) e da Mobilização Empresarial pela Inovação (MEI), coordenada pelo Instituto Euvaldo Lodi (IEL), com execução técnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

O Indústria 2027 identificou oito *Clusters Tecnológicos* – como Internet das Coisas, Inteligência Artificial, Nanotecnologia e Materiais Avançados –, inovações cujos efeitos na economia e na sociedade são um caminho sem volta. Lançou, ainda, uma pesquisa inédita que mostrou o nível de adoção das tecnologias 4.0 nas empresas brasileiras. Agora é o momento de ressaltar o impacto das tecnologias delineadas pelo projeto nos dez sistemas produtivos analisados e o comportamento dos setores frente à adoção de técnicas avançadas.

No Indústria 2027, o sistema produtivo de química tem, como foco setorial, a bioeconomia. Este documento apresenta a diversidade da indústria química brasileira e traz, também, uma síntese dos impactos das inovações disruptivas sobre ela, além de pesquisa de campo que mapeia a difusão das tecnologias no setor.

A competitividade da indústria é feita com inovação; cooperação entre o setor produtivo, o governo e os centros de conhecimento; e estratégia de longo prazo para o desenvolvimento do país.

A indústria brasileira pode desenvolver competências, aproveitar oportunidades de competir em melhores condições, gerar empregos, criar novos serviços e contribuir para a ascensão da qualidade de vida da população brasileira.

Boa leitura.

Robson Braga de Andrade
Presidente da Confederação Nacional da Indústria (CNI)



INDÚSTRIA 2027

O projeto **Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas** tem como objetivos avaliar os impactos de um conjunto de novas tecnologias com alto potencial transformador sobre a competitividade da indústria nacional no horizonte de cinco a dez anos. Além disso, busca fornecer subsídios para o planejamento corporativo de empresas e para a formulação de políticas públicas, visando estratégias de emparelhamento da indústria *vis-à-vis* às melhores práticas competitivas internacionais.

O projeto **Indústria 2027** tem como objetos de análise *Clusters* Tecnológicos, Sistemas Produtivos e, nestes últimos, Focos Setoriais (Quadro A1). Os *Clusters* Tecnológicos compreendem um conjunto de tecnologias-chave agrupadas por proximidade tecnológica e de bases de conhecimento envolvidas. Os Sistemas Produtivos correspondem a grupos de setores industriais selecionados pela sua participação na estrutura industrial brasileira. Os principais critérios para a identificação dos Focos Setoriais foram o potencial de impactos disruptivos a serem aportados pelas novas tecnologias e a relevância do setor em termos de geração de produto, empregos, exportações e inovação.

Quadro A1 – Clusters Tecnológicos, Sistemas Produtivos e Focos Setoriais



O diagrama mostra um hexágono centralizado com o texto 'PRODUTOS, PROCESSOS, GESTÃO E MODELOS DE NEGÓCIO'. Ao redor dele, há sete caixas de texto: 'TICS: COMPUTAÇÃO EM NUVEM, BIG DATA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL' (topo), 'TICS: REDES' (direita), 'TICS: LOT, SISTEMAS E EQUIPAMENTOS' (esquerda superior), 'BIOPROCESSOS BIOTECNOLOGIAS AVANÇADAS' (esquerda), 'NANOTECNOLOGIA' (esquerda inferior), 'MATERIAIS AVANÇADOS' (inferior) e 'PRODUÇÃO INTELIGENTE E CONECTADA' (direita inferior) e 'ARMAZENAMENTO DE ENERGIA' (inferior direita).

Sistemas Produtivos	Focos Setoriais
Agroindústrias	Alimentos Processados
Insumos Básicos	Siderurgia
Química	Química verde
Petróleo e Gás	E&P em Águas Profundas
Bens de Capital	Máquinas e Implementos Agrícolas, Máquinas Ferramenta, Motores Elétricos e Outros Seriados, Equipamentos de GTD
Complexo Automotivo	Veículos Leves
Aeroespacial, Defesa	Aeronáutica
TICs	Sistemas e Equipamentos de Telecom Microeletrônica Software
Farmacêutica	Biofármacos
Bens de Consumo	Têxtil e Vestuário

Fonte: Elaboração própria.

O projeto **Indústria 2027** está construído ao longo de três etapas sequenciais: (i) na primeira, especialistas nos distintos *Clusters* produziram análises sobre tendências e impactos potenciais de tecnologias emergentes sobre sistemas produtivos¹; (ii) essas reflexões serviram como insumo para a segunda etapa, quando especialistas setoriais avaliaram o processo de geração, absorção e difusão dessas tecnologias em Sistemas e Focos Setoriais e seus impactos sobre a competitividade empresarial; (iii) as análises de *Clusters* e de Sistemas Produtivos servirão para a reflexão sobre estratégias públicas e privadas.

As trajetórias dos *Clusters* Tecnológicos

A avaliação dos oito *Clusters* Tecnológicos identificou as tecnologias-chave que, introduzidas comercialmente em até dez anos, podem acarretar mudanças em Sistemas Produtivos, alterando modelos de negócios, padrões de concorrência e a atual configuração de posições de liderança das empresas. Nesse horizonte temporal, essas tecnologias podem constituir ameaças e oportunidades para empresas estabelecidas ou novas empresas e mesmo implicar o surgimento de novos segmentos de mercado.

A avaliação dos *Clusters* indicou as seguintes trajetórias: (i) integração: qualquer solução tecnológica usa, intensivamente, outras tecnologias e bases de conhecimento distintas, em especial aquelas associadas às tecnologias de informação e comunicação (TIC); conectividade: o potencial das tecnologias aumenta pela geração, absorção e difusão por meio de redes digitais e; inteligência: crescente incorporação de conhecimentos científicos (“inteligência”) nas aplicações comerciais dessas tecnologias; (ii) os impactos sobre empresas se diferenciam ao longo do tempo: algumas aplicações tecnológicas já produzem impactos disruptivos hoje e continuarão assim em dez anos; outras somente os produzirão no futuro próximo, enquanto outras impactam empresas e setores com intensidade moderada (otimizando processos e induzindo a geração de novos produtos, por exemplo) no presente, mas poderão causar impactos disruptivos no futuro.

Questões orientadoras das análises de Sistemas Produtivos e Focos Setoriais

Os estudos de Sistemas Produtivos e Focos Setoriais foram ancorados no conhecimento de especialistas, em estudos recentes feitos por centros de investigação e empresas de consultoria. Foram realizadas entrevistas qualitativas e, em alguns casos, quantitativas, junto a empresas e em uma pesquisa de campo em conjunto a uma amostra representativa de Sistemas Produtivos (em torno de 750 empresas), onde foram buscadas informações sobre o uso atual e esperado de tecnologias digitais e impactos sobre atributos competitivos, em diferentes funções organizacionais das empresas.

1. Fonte: Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2017/10/nota-tecnica-etapa-i-do-projeto-industria-2027/>.

A avaliação dos Sistemas Produtivos e Focos Setoriais está estruturada em três partes: (i) análise da estrutura econômica, competitiva, tecnológica e produtiva do sistema e foco setorial no mundo e no Brasil; (ii) identificação das tecnologias relevantes para a competitividade do sistema e foco, no processo de geração, absorção e difusão dessas tecnologias e seus impactos sobre modelos de negócio, padrões de concorrência e estruturas de mercado; (iii) riscos, oportunidades e desafios para a indústria brasileira.

Em particular procurou-se responder: (i) Quais as tecnologias relevantes para cada sistema produtivo? Como elas impactarão cada sistema produtivo? Quais os maiores riscos e oportunidades para o Brasil?; e (ii) Qual a capacidade de resposta atual e potencial do sistema empresarial? Quais são os requisitos técnicos, empresariais, institucionais e financeiros para aproveitar oportunidades e defletir riscos que as inovações disruptivas podem representar?



RESUMO EXECUTIVO

O estudo da indústria química e do foco setorial bioeconomia envolve duas dinâmicas industriais distintas. Enquanto na indústria química as transformações em curso dialogam com uma indústria conhecida, na bioeconomia, que compreende um conjunto de atividades inovadoras sobre a produção e a utilização de recursos biológicos renováveis, o processo é de estruturação de um novo setor, sendo sua dinâmica de concorrência orientada pela inovação, num nível ainda elevado de incertezas.

As tecnologias digitais afetarão diferentemente a produção e os modelos de negócio desses segmentos. A petroquímica, com produtos essencialmente *commodities* e *pseudo-commodities*, terá otimização e redução de custos, assim como a indústria de química fina. Já os defensivos e demais especialidades, além de se beneficiarem com os ganhos em eficiência, poderão encontrar oportunidades de inovações em seus modelos de negócio, em particular com o aprofundamento da dimensão de serviços. Deve-se, porém, considerar que na petroquímica as transformações poderão vir a ser mais amplas do que um simples ganho de eficiência operacional. As transformações nos segmentos a jusante da cadeia produtiva, como o de transformação de plásticos, e nos mercados finais, como automóveis e embalagens, poderão vir a ser disruptivas para a indústria.

No que se refere à bioeconomia, o ponto de partida é o interesse crescente por tecnologias que levem ao desenvolvimento de uma economia de baixo carbono. A exploração industrial da biomassa para a produção de biocombustíveis, produtos químicos, materiais e energia se inscreve nesse processo de transição. As vantagens comparativas brasileiras são expressivas, mas dependem de esforços tecnológicos e empresariais para se tornarem competitivas e darem ao país uma posição de destaque na indústria *biobased* do futuro. Isso colocaria o país numa potencial posição de protagonismo (*path creating*) na bioeconomia, enquanto na indústria química o alvo seria principalmente o emparelhamento competitivo (*catching up*).

A indústria química e as tecnologias disruptivas

Apesar da dicotomia entre o sistema produtivo estruturado da Química e o setor em estruturação da bioeconomia, a análise das tecnologias disruptivas pode ser conduzida por meio de um *framework* integrador que envolve quatro espaços de inovações interdependentes: matérias-primas, tecnologias, produtos, e modelos de negócio e estratégias. As tecnologias envolvidas podem ser tanto as que permitem a conversão da biomassa nos produtos de interesse, como a biotecnologia industrial, quanto as demais tecnologias disruptivas, como a nanotecnologia, os materiais avançados e o grupo das tecnologias da informação, em particular a inteligência artificial.

Petroquímica e especialidades são setores estruturados da indústria química. Nesse caso, as tecnologias são o *driver* central das transformações, e o *framework* pode ser utilizado também como um guia de leitura dos efeitos dos *Clusters* Tecnológicos estudados no projeto Indústria 2027. A mudança de matéria-prima, dimensão-chave e estruturante na bioeconomia, não seria relevante no caso dos setores estruturados, mas a revisão da lógica dos produtos e modelos de negócio pode resultar em transformações importantes, como os efeitos de servitização. Por outro lado, a bioeconomia reúne setores não estruturados, ainda emergentes, nos quais as quatro dimensões – matérias-primas, tecnologias, produtos e modelos de negócio – estão se modificando e em coevolução.

Panorama internacional

Como em quase todos os setores industriais, tem chamado a atenção da indústria química o acesso às novas tecnologias. Porém, nas empresas químicas, as tecnologias digitais estão menos presentes do que as demais (materiais avançados, nanotecnologia, biotecnologia e armazenamento de energia), em decorrência da natureza dessas tecnologias. O segundo grupo reúne tecnologias com história de desenvolvimento pela própria indústria ou com incorporação natural aos programas de P&D e aos negócios das empresas. São tecnologias que geram novos produtos, comercializados por meio dos modelos de negócio estabelecidos. A biotecnologia industrial é uma exceção a essa perspectiva, pois seu desenvolvimento está relacionado a oportunidades em novas matérias-primas, produtos e modelos de negócio em bioeconomia, mas a incorporação de projetos de pesquisa em biotecnologia industrial vem sendo feita pela maioria das empresas químicas de grande porte.

Já em relação ao grupo de tecnologias digitais, uma diferença fundamental é a natureza externa desse desenvolvimento em relação às competências das empresas, além de seu caráter sistêmico em relação aos setores industriais. Segundo Netzer (2017), a distância da atuação em relação aos consumidores finais, aliada às questões de segurança próprias da produção, podem explicar a incorporação relativamente tardia das novas tecnologias digitais pela indústria química.

De todo modo, esse processo tem se acelerado e vem ganhando importância estratégica para a maioria das empresas. Cálculos que antecipam o potencial de ganho que essas tecnologias podem proporcionar têm atraído a atenção das empresas, e muitas delas estão em pleno processo de transformação digital. Segundo PWC (2016), estima-se um ganho de receita de 3,1% e uma redução de custos da ordem de 4,2% ao ano. Para alcançarem esses resultados, as empresas devem explorar modelos de negócio digitais, soluções inteligentes na cadeia de suprimento e na produção, além de incorporar tecnologias digitais em P&D.

Tendo em vista a forma de operação da indústria química em seus diversos mercados, pode-se propor uma leitura das dinâmicas de adoção da nova geração de tecnologias

digitais (IA, IoT, redes e produção inteligente) em duas grandes vias. A primeira está diretamente relacionada aos processos clássicos executados pelas empresas químicas, quaisquer que sejam os seus segmentos de atuação. Essas funções são: P&D, produção e marketing/vendas e os processos de gestão. A segunda decorre das mudanças que a digitalização das diversas atividades traz para os mercados e para a sociedade, gerando, por um lado, implicações para a indústria química, que deve responder a essas mudanças, e por outro, trazendo ameaças e oportunidades de novos modelos de negócio. Esse segundo efeito pode ser entendido como: o mundo se transforma com as tecnologias digitais e a indústria química deve adequar-se a essas mudanças e/ou explorá-las como novos modelos de negócio.

Kley *et al.* (2017), associados da McKinsey, sugerem potenciais ganhos para as empresas químicas que conseguirem atingir bons níveis de transformação digital. Na **produção** estão os espaços mais ricos e mais facilmente acessíveis de ganhos, estimados em incrementos de 3 a 5% no retorno das vendas, tanto nos segmentos intensivos em escalas (*commodities* e *pseudo-commodities*) quanto nos de especialidades e química fina, em decorrência da exploração do grande volume de dados gerados e geralmente descartados pelas empresas. A exploração desses dados pode melhorar os rendimentos das reações, reduzir o consumo de energia e proporcionar formas preditivas de manutenção. Do mesmo modo, processos de gestão, como os ligados à gestão de saúde, segurança e meio ambiente (HSE), poderão ser aprimorados pelo gerenciamento de bases de dados.

Na função **marketing/vendas**, o estudo da McKinsey estima ganhos de dois a quatro pontos percentuais no retorno das vendas com a adoção de tomadas de decisão baseadas em dados digitais. Esses ganhos podem ser maiores nas especialidades que são por natureza mais intensivas em serviços. Nesse caso, estimam-se ganhos na faixa de três a cinco pontos. Os ganhos na função de vendas decorrem tanto da utilização de decisões baseadas em dados quanto da utilização de plataformas eletrônicas de vendas.

Em **P&D**, o uso de *analytics* avançados e de *machine learning* permite simular experimentos e, a custos baixos, otimizar escolhas. O principal ganho é o menor tempo de pesquisa e desenvolvimento, pela possibilidade de testar, com os modelos matemáticos desenvolvidos, muitos dados e reduzir a pesquisa a um número menor de alternativas de interesse. Além disso, a possibilidade de testar um grande número de dados pode sugerir rotas que, nas formas convencionais, nem seriam consideradas.

O segundo grupo de transformações decorre de desafios e oportunidades que a transformação digital dos mercados e da sociedade traz para a indústria. Essas transformações podem ser vistas pelo seu caráter disruptivo de mercados tradicionais e, portanto, como ameaças ou como espaços para exploração de novos modelos de negócio. Logo, são também oportunidades. Alguns mercados importantes podem sofrer disrupções que afetariam de forma expressiva a indústria química, tais como: mercado automobilístico, embalagens, produtos para agricultura e plásticos em geral.

Ao lado das ameaças que as transformações desses mercados podem representar – como demanda de menores quantidades de produtos –, existem oportunidades para novos modelos de negócio, os quais podem ser disruptivos e representar a entrada de novos *players* em espaços tradicionais da indústria. Esses efeitos de disrupção tendem a ser menos importantes na petroquímica do que no segmento de especialidades e defensivos. Nesse último caso, a ocupação do espaço por distribuidores ou outros entrantes, *startups* ou não, que desenvolvam os recursos avançados de aplicação e passem a vender um pacote de serviços, é uma possibilidade a ser considerada pelos incumbentes.

Nessa linha abrem-se também oportunidades para inovação em modelos de negócio nos casos em que o produtor conseguir se manter conectado ao produto em uso. Assim, a indústria química encontraria com as soluções digitais um objetivo perseguido há quase duas décadas: aumentar o conteúdo de serviços na oferta e, em alguns casos, vender o serviço com base em parâmetros de desempenho, e não mais o produto. Seria, por exemplo, o caso de um catalisador ou de um produto para tratamento de água cujo produtor, em vez de vender o produto, venda uma performance que ele consiga otimizar por meio de uma conexão permanente com o produto em uso. Os serviços de tratamento de água e utilidades já são fornecidos pela empresa Ecolab/Nalco no formato conectado em tempo real. Os produtos para a agricultura de precisão também merecem ser destacados, pelas grandes transformações que estão em curso e pela relação com as especialidades químicas, no caso, os defensivos.

Em suma, duas trajetórias podem ser identificadas. A primeira é a **trajetória de adaptação com inovações incrementais**. Essa trajetória, centrada na eficiência da operação e dos processos de gestão, tende a ser a dominante nos setores de *commodities* como a petroquímica. Envolve ganhos de eficiência e nela existe pouco espaço para mudanças de estrutura de mercado. Pode-se dizer que, nesse caso, a adoção das tecnologias passaria a ser um requisito da competição, levando a uma paridade competitiva, com pouco espaço para diferenciação e criação de vantagens competitivas. Essas vantagens, se existirem, não tenderiam a ser sustentáveis, em decorrência do alinhamento estratégico dos competidores.

A segunda trajetória é a de **transformação com inovações incrementais, com potencial radical de transformação dos modelos de negócio**. Essa trajetória decorre da disrupção de mercados e indústrias pela digitalização crescente do mundo e tende a ser mais presente no segmento de especialidades. Como elas se caracterizam pela capacidade que os fornecedores detêm de compreender as aplicações dos seus produtos e de oferecer esse conhecimento como parte-chave da oferta, as novas tecnologias podem levar a um nível sem precedentes de compreensão da utilização.

Essa mudança de modelos de negócio, que pode fazer parte de uma estratégia das empresas químicas no processo de transformação digital, pode também ser vista como uma ameaça de entrada de novos competidores. Trata-se, em primeiro lugar, de reunir e integrar dados e de ser capaz de orquestrar a exploração desses dados.

Nesse processo, a entrada de *players* que não participam das cadeias de valor tradicionais, mas que conseguem se antecipar na nova proposição de valor e estruturação do novo modelo de negócio, é uma ameaça para os incumbentes.

Desenvolvimento e estruturação da bioeconomia

O interesse crescente pela utilização de matérias-primas renováveis é impulsionado por alguns *drivers*, destacando-se os avanços da biotecnologia industrial ou *white biotechnology*, as restrições ao uso de matérias-primas fósseis em decorrência das mudanças climáticas, o desenvolvimento da economia circular, a orientação das estratégias empresariais e a perspectiva da inovação tecnológica como saída de crise.

O principal uso das matérias-primas renováveis ainda é a produção de biocombustíveis, em especial os de primeira geração. Entretanto, enquanto as taxas de crescimento dos biocombustíveis são estimadas atualmente em torno de 2,5% ao ano, as taxas para os bioprodutos costumam ser estimadas próximo a 10% ao ano.

A competição nos setores da bioeconomia se dá pela inovação e pela capacidade dos inovadores em atuarem para moldar a estrutura do setor. A inexistência de um padrão de concorrência estabelecido cria para o país a oportunidade de explorar suas vantagens comparativas. Embora existam segmentos, como a biologia sintética, em que uma estratégia de *catching up* seja necessária, a utilização de recursos biológicos renováveis apresenta importante especificidade local, que exige a criação de soluções inovadoras próprias do tipo *path creating*.

A matéria-prima é um fator estruturante histórico na indústria química. A estruturação da oferta de matérias-primas renováveis depende das tecnologias agrícolas, mas também da estruturação logística da cadeia produtiva e do tratamento da biomassa para obtenção dos produtos de partida, a serem processados pelas tecnologias de conversão. Existe uma multiplicidade de alternativas tecnológicas em desenvolvimento para a conversão da biomassa, contemplando rotas bioquímicas, termoquímicas ou químicas. Os processos fermentativos podem ser conduzidos por micro-organismos naturalmente selecionados ou modificados com os recursos da biologia sintética, que pode permitir a obtenção direta de novas moléculas de interesse, consolidando, numa única etapa, rotas que exigiriam diversas etapas reacionais. Além das tecnologias de conversão, a engenharia de processos, em particular a intensificação de processos, tende a ser cada vez mais considerada tanto para os processos da bioeconomia quanto para os da Química estabelecida.

A dimensão produtos é um espaço de importância crescente na estruturação do setor, com o surgimento de projetos voltados para a produção diversificada de produtos químicos e de biocombustíveis avançados. Os bioprodutos podem ser finais ou intermediários; *drop in* ou não *drop in*; *commodities* ou especialidades. O segmento das especialidades, além das tradicionais especialidades químicas (aditivos, surfactantes,

dispersantes etc.), tem atraído a atenção das empresas que desenvolvem produtos novos para uso em mercados, como os de nutrição humana e animal e cosméticos.

Atuando nos espaços de estruturação da indústria, pode-se identificar um conjunto variado de empresas de portes, origens e bases de conhecimento diferentes, tais como: *startups* (Genomatica, Solazyme/TerraVia, LanzaTech, Gevo, Amyris, Renmatix, Enerkem, dentre outras); indústria química e petroquímica (DuPont, DSM, Basf, Braskem, Solvay); petróleo e gás (Shell, Total, Neste); agronegócio (ADM, Bunge, Cargill); indústrias de alimentos e ingredientes (Tate & Lily, Roquette, Corbion); e indústria de papel e celulose (Stora Enso, UPM, Fibria, Suzano, Borregaard).

As competências-chave dos diferentes perfis de competidores e as correspondentes competências complementares, não detidas pelos *players*, mas indispensáveis para o desenvolvimento, produção e comercialização dos produtos inovadores, ressaltam uma tendência natural de alianças e associações para consolidar os projetos de inovação.

Panorama nacional

Para a indústria petroquímica brasileira, os impactos esperados em relação às inovações disruptivas estão alinhados com as discussões no panorama internacional, onde esse processo está em claro desenvolvimento, principalmente nas empresas europeias, com perspectivas de amadurecimento nos próximos dez anos. Apesar da nossa posição ainda inicial na escala de maturidade (*aware* ou *practicing*), esse processo, ao ser integrado às estratégias das empresas, deve permitir a incorporação das inovações incrementais ligadas à eficiência operacional e de processos de gestão. A adoção dessas tecnologias tende a contribuir para o emparelhamento competitivo das empresas e, por isso, tem pouca possibilidade de gerar mudanças de modelos de negócio e de modos de concorrência.

No caso das especialidades, os impactos das transformações digitais devem ir além dos ganhos de eficiência operacional. As TIC permitem, em primeiro lugar, melhorar a qualidade dos serviços de compreensão da utilização, tornando-os quase contínuos ou *online*. Além disso, novos serviços podem ser oferecidos e, em alguns casos, a venda dos produtos pode ser convertida em prestação de serviços. Essas possibilidades sugerem que devem ocorrer inovações nos modelos de negócio, o que pode ser, como atestado em diversos setores da economia, disruptivo para a indústria incumbente.

A possibilidade de surgirem agentes com a capacidade organizar, estruturar e explorar os dados-chave sugere a entrada de competidores até então não pertencentes à cadeia produtiva da indústria química. Esse espaço pode tornar-se também interessante para *startups*, o que já vem sendo constatado, no caso brasileiro, na agricultura de precisão (a agricultura é o segundo mercado da indústria química no Brasil) e nos serviços ambientais.

No campo das demais tecnologias (nanotecnologia, materiais avançados, biotecnologia industrial, tecnologias de processos), as oportunidades de inovação e protagonismo situam-se mais no terreno da bioeconomia do que no âmbito dos segmentos tradicionais da indústria química. Não se pode negar o grau de importância que essas tecnologias podem ter nos ganhos de eficiência nos processos e até, nos casos da nanotecnologia e da intensificação de processos, ao proporcionar mudanças mais profundas nos processos de produção, com repercussão em dimensões-chave da organização industrial, como as escalas das plantas. Porém, o impacto a ser destacado aqui é a criação de modelos de negócio que, mais do que incorporar as tecnologias em si, sejam capazes de articular as fontes de matérias-primas, as tecnologias-chave, como biotecnologia e outras, e os produtos. Esse processo de construção depende não só de bases de conhecimento que precisam se consolidar e avançar no país (*catching up* em biotecnologia industrial avançada, nanotecnologia, intensificação de processos), mas também de articulações e desenvolvimentos que são específicos a aspectos locais dos recursos biológicos renováveis (*path creating*).

Importante destacar que o *catching up* se refere a estágios de tecnologias ainda em desenvolvimento, e não a atividades em operação industrial. Essas atividades estão em estruturação também nos mercados internacionais.

A bioeconomia tem, na biodiversidade brasileira, seu maior potencial inexplorado que traz grande vantagem comparativa ao Brasil. Vale ressaltar que ela representa uma fonte de inovação ainda imensurável, dado que é em grande parte desconhecida, em contraponto ao contexto dos países desenvolvidos que já possuem um extenso levantamento e uso de seus biomas.

O grande desafio a ser enfrentado pelos atores empresariais e públicos é posicioná-la como um *asset* efetivo buscando maior valor agregado em seu uso. Esta abordagem aponta para uma adequada e veloz estratégia de identificação, valorização e implementação de um uso sustentável da biodiversidade capaz de gerar riqueza e conservar os biomas brasileiros, tangibilizando benefícios ambientais e sociais às diferentes regiões do país.

Por fim, cabe chamar atenção para o fato de que a bioeconomia, naturalmente, não prescinde das tecnologias digitais no seu desenvolvimento. A biologia sintética utiliza robôs em seus testes e tende a buscar na inteligência artificial, na geração, na estruturação e na análise de dados apoios indispensáveis para identificar rotas promissoras, a serem desenvolvidas para a conversão dos recursos biológicos renováveis.

Esforços empresariais e o ecossistema de inovação

No campo das TIC/tecnologias digitais, não são registrados esforços estruturados de desenvolvimento de projetos de digitalização das empresas químicas brasileiras. Dados da pesquisa de campo do Projeto I2027 mostram que no sistema produtivo da Química 65,1% dos respondentes atribuem probabilidade alta ou muito alta de

a geração 4 de tecnologias digitais ser dominante no Brasil até 2027. No entanto, hoje apenas 1,5% empresas brasileiras utilizam as tecnologias digitais da geração 4, proporção similar à do total da indústria.

Para o horizonte de 2027, entretanto, espera-se uma importante elevação da taxa de adoção dessas tecnologias, dado que 22,9% dos respondentes esperam estar na geração digital 4 nesse horizonte temporal. A despeito dessa expectativa, a grande maioria das empresas encontra-se em estágio muito inicial de esforços visando à adoção dessas tecnologias mais avançadas. Somente 16,9% das empresas no SP Química têm ações em execução visando à implantação da geração 4, enquanto 35,7% não estão se movimentando e 31,7% encontram-se ainda em estudos iniciais nesse sentido.

Destaque-se, entretanto, que as principais empresas possuem plantas de padrão internacional e estão num estágio de reflexão sobre o problema. Os desafios e as oportunidades que a digitalização pode trazer devem ser incorporados no próximo ciclo de planejamento estratégico. Devem ser notados ainda os esforços das *startups*, que têm surgido em números expressivos e que estão, muitas delas, voltadas para a agricultura, cliente-chave da indústria química brasileira.

Os esforços empresariais parecem mais bem estruturados e significativos em relação aos demais *Clusters Tecnológicos*. O BNDES e a FINEP lançaram nos últimos anos dois programas, PAISS e PADIQ, cujas respostas refletem a existência de iniciativas e esforços empresariais na exploração de recursos biológicos renováveis.

O PAISS, programa de formato inovador baseado na aprovação de planos de negócio, lançado em 2011 e com o ciclo de desembolsos já concluído, restringiu-se à cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de biocombustíveis avançados e bioquímicos. Boa parte dos esforços empresariais identificados está relacionada a esse programa (etanol 2G, plantas pioneiras da Amyris e Solazyme).

O PADIQ, ainda não concluído, tem formatação similar, mas se dirige de modo mais amplo às oportunidades de inovação na indústria química, definidas em cinco segmentos: aditivos para alimentação animal; derivados do silício, fibras de carbono e seus compósitos; produtos para exploração e produção de petróleo; insumos químicos para higiene pessoal, perfumaria e cosméticos (HPPC); e produtos químicos de fontes renováveis de matérias-primas. Foram apresentados 62 planos de negócios, sendo 27 selecionados e aprovados, dentre os quais predominaram planos de negócio ligados à bioeconomia.

Os esforços empresariais e de estruturação do ecossistema de inovação em bioeconomia podem ser identificados em cinco eixos: produção comercial pioneira; projetos de P&D em escalas piloto ou demonstração; estruturação de estratégias empresariais; estruturação de institutos de pesquisa; e *startups*.

A produção comercial pioneira inclui os projetos industriais da Braskem (polietileno verde), as plantas de etanol 2G da Granbio e da Raízen e as da Amyris (farneseno e

especialidades químicas) e da Solazyme/Bunge (óleos especiais e produtos derivados de microalgas heterotróficas). O aprendizado desses projetos, tanto em desafios tecnológicos para operação das plantas quanto comerciais, representa um conjunto inestimável de conhecimentos que coloca o país numa posição de destaque para avançar na bioeconomia.

Como esforços de pesquisa e desenvolvimento com alvos de produção comercial em escala piloto ou demo podem ser citados os projetos da Braskem: butadieno (Genomatica), isopreno (Amyris), MEG direto do açúcar (Haldor Topsoe); os desenvolvimentos da Granbio em cana-energia e biotecnologia (Biocelere), assim como os desenvolvidos pela American Process (açúcares celulósicos), em que a Granbio tem participação acionária. Além disso, a Raízen tem desenvolvimentos inovadores nas tecnologias digitais para a gestão da produção de cana-de-açúcar e produção de biogás a partir da vinhaça.

Nas iniciativas de pesquisa e desenvolvimento, cabe destacar os projetos em curso nas principais empresas de papel e celulose, como a Fibria, Suzano e Klabin. Esses projetos envolvem a produção em escala piloto ou demo de bio-óleo, nanocelulose, lignina e derivados e fibras de carbono, além da estruturação de capacidade em pesquisa, seja por aquisição de empresas, parceria e associações, seja desenvolvimento interno.

Na estruturação de planejamento estratégico em bioeconomia, além dos pioneiros na produção comercial citados e das principais empresas da indústria brasileira de papel e celulose, cabe sublinhar as iniciativas recentes da Natura, que abrem espaço para o desenvolvimento de um novo grupo de matérias-primas e produtos especiais.

A estruturação do ecossistema de inovação em bioeconomia está apoiada ainda por um movimento que não tem muitos precedentes em ciclos anteriores de desenvolvimento da indústria química: a presença de institutos de pesquisa não universitários, com foco e capacitação para desenvolver processos e produtos em parceria com as empresas, como o CTBE, o CTC, a Embrapa Agroenergia e os três Institutos SENAI de Inovação em Biomassa, Biossintéticos e Química Verde. Esse conjunto de institutos, todos estruturados recentemente (ou reestruturados, como o CTC), ao lado da infraestrutura em pesquisa das principais empresas ligadas à bioeconomia, compõem um ecossistema que cabe reforçar e completar.

Desafios e implicações

A indústria química brasileira apresenta elevado grau de heterogeneidade e diversidade. Ao lado de empresas de maior porte e com padrão compatível com a indústria internacional, há empresas médias e pequenas que ainda estão tecnologicamente atrasadas. Os desafios e implicações são, portanto, diversos e devem ser abordados com políticas e estratégias diferentes. Além do porte, as implicações devem ainda ser distintas para os dois grupos de *Clusters* Tecnológicos: o grupo das TIC/digitais (AI, IoT, redes, produção inteligente conectada) e as demais (biotecnologia, nanotecnologia, materiais e armazenamento de energia).

No caso das empresas de maior porte, a abordagem das TIC deve seguir o ritmo mundial, com a participação de fornecedores internacionais e esforços internos. A existência de programas e consórcios voltados para a modernização digital seria um complemento importante para auxiliar na definição de padrões e eventuais novas formas de governança que surjam com rearranjos das cadeias produtivas. A inserção em programas cooperativos do tipo SIDAP (*Scalable Integration Concept for Big Data in the Process Industry*), que reúnem os diversos atores envolvidos na transformação digital, pode ser importante.

Quanto às demais tecnologias, além dos esforços das empresas de maior porte, cabe um reforço de programas de pesquisa e formação qualificada de pessoal envolvendo empresas e centros pesquisadores no que se refere aos temas de maior repercussão para a indústria química: nanotecnologia, biotecnologia industrial e materiais avançados.

No caso da bioeconomia, além da valorização da biodiversidade brasileira, buscando aproximá-la das tecnologias disruptivas, os desafios a serem enfrentados são:

- Capacidade de captar a dinâmica de inovação do setor e orientar investimentos e políticas num ambiente em estruturação.
- Estabelecimento de base de conhecimento científico, tecnológico e operacional em biotecnologia industrial e, em particular, em biologia sintética.
- Reconhecimento da propriedade intelectual (PI) de material genético e processos de engenharia genética, fundamentais nas conversões de biomassa.
- Política clara de precificação do carbono.
- Capacidade de estruturação da oferta de biomassa.
- Capacidade de realizar *scale up* e operar novos processos, em particular os que envolvem biotecnologia avançada.
- Capacidade de introdução e difusão de novos produtos.

Em relação às políticas voltadas ao setor, são feitas algumas recomendações:

- Formular uma estratégia nacional em bioeconomia, envolvendo os *stakeholders* e as diversas esferas de governo e agências.
- Criar instâncias e mecanismos de coordenação entre as diversas esferas de governo e agências, de modo que as políticas e estratégias para biocombustíveis e bioprodutos possam ser alinhadas.
- Promover a bioprospecção de espécies vegetais, microorganismos, buscando “especialidades” químicas com alto valor agregado a partir de cadeias sustentáveis de ativos da biodiversidade.
- Reforçar a formação de recursos humanos nas áreas de biotecnologia industrial e biologia sintética e impulsionar a criação de *startups* de base tecnológica voltadas para a bioeconomia.
- Explorar o potencial de inovação que a mudança do perfil empresarial na indústria *biobased* pode trazer, criando mecanismos criativos para a inserção produtiva e tecnológica dessas novas empresas no país.

- Estruturar ações de fomento e incentivos (regulatórios e fiscais) tendo como referência a economia circular e a viabilização de investimentos privados.
- Promover modelos consorciados, parcerias internacionais e desenvolvimento de *startups* buscando economias de escala, escopo e integração do Brasil em cadeias globais de P&D e produção da bioeconomia.
- Formular políticas de demanda também para os bioprodutos e biocombustíveis avançados, que até agora contaram apenas com políticas do tipo *push* (*supply e science-push*).
- Avaliar o caso das plantas pioneiras – *first-of-a-kind* – e considerar a necessidade de financiamento específico para o estágio da difusão das novas tecnologias *biobased*.
- Condicionar a concessão das subvenções a resultados previamente definidos, em moldes semelhantes aos mecanismos de financiamento de *grants* já utilizados internacionalmente.
- Por fim, recomenda-se particular atenção aos mecanismos de coordenação dos processos seguindo os princípios lançados pelo PAISS e PADIQ.

As implicações para as estratégias empresariais apresentam-se em três eixos, dispostos a seguir.

O **primeiro eixo** diz respeito aos esforços para estabelecer claramente na empresa uma percepção e formatação das oportunidades em bioeconomia. Sendo um setor em construção e sem estrutura industrial definida, é importante que as empresas sejam capazes de formar uma visão não só das questões científicas e tecnológicas envolvidas, mas também da dinâmica de inovação da bioeconomia. Sugere-se alguma forma de sistematização desse esforço, como a construção de *roadmaps* ou o acompanhamento de tecnologias, produtos e modelos de negócio considerados de referência.

O **segundo eixo** envolve a articulação das estratégias em matérias-primas, tecnologias e produtos. Nesse eixo, cada empresa terá definições prévias e pontos de escolha a serem combinados em função da sua posição atual e lógica de entrada na bioeconomia. Assim, uma empresa na indústria química precisará definir uma estratégia em matérias-primas a serem exploradas. Ao mesmo tempo, empresas atuando em etanol ou na indústria de papel e celulose partem das matérias-primas que conhecem e sabem explorar para, a partir dessa base, definir tecnologias e produtos. Nesse caso, a tarefa é definir uma estratégia tecnológica e uma estratégia de produtos.

O **terceiro eixo** é justamente o da exploração do aprendizado no processo de construção da indústria. É importante ter em mente que a estrutura industrial vai sendo moldada pelas empresas que conseguem estabelecer modelos de negócio viáveis e rentáveis. Em todas as escolhas, trata-se de um processo com algum grau de experimentação, razão pela qual a opção por modelos de negócio flexíveis pode ajudar no processo de aprendizado. As trajetórias das empresas pioneiras atestam essas dificuldades.



INTRODUÇÃO

Neste relatório, discutem-se a estrutura de competição e a dinâmica econômica e de inovação do Sistema Produtivo da Química (SP Química) e do foco setorial bioeconomia, que compreende um conjunto de atividades inovadoras relacionadas à produção e à utilização de recursos biológicos renováveis e a conversão desses recursos em produtos de interesse econômico, principalmente alimentação humana e animal, bioenergia, bioprodutos, biopolímeros e especialidades cosmocêuticas e nutracêuticas².

O estudo da indústria química e do foco setorial bioeconomia envolve duas dinâmicas industriais distintas. Enquanto na indústria química as transformações em curso dialogam com uma indústria conhecida, na bioeconomia o processo é de estruturação de um novo setor, sendo sua dinâmica de concorrência orientada pela inovação, num nível ainda elevado de incertezas. As vantagens comparativas brasileiras são expressivas, mas dependem de esforços tecnológicos e empresariais para se tornarem competitivas e darem ao país uma posição de destaque na indústria *biobased* do futuro. Isso colocaria o país numa potencial posição de protagonismo (*path creating*)³ na bioeconomia, enquanto na indústria química o alvo seria principalmente o emparelhamento competitivo (*catching up*).

Os segmentos da indústria química estudados e os produtos químicos em geral apresentam particularidades em suas características técnico-econômicas que se refletem em suas dinâmicas de mercado. Como consequência, as dinâmicas desses segmentos em relação ao conjunto das tecnologias disruptivas estudadas no projeto I2027, tanto na importância relativa das tecnologias quanto nas oportunidades e desafios da adoção, podem ser consideradas qualitativamente diferentes. Cabe, assim, caracterizar rapidamente as diferentes lógicas de mercado que envolvem as dezenas de milhares de produtos químicos e suas formas de utilização.

2. Inicialmente o Foco Setorial era denominado “Química Verde”. Mas, ao longo do desenvolvimento do trabalho, notou-se que o uso do termo “bioeconomia” resultaria em uma apreciação mais ampla e profunda do potencial econômico e tecnológico de uma atividade econômica emergente. Naturalmente, as práticas da Química Verde podem ser incorporadas à bioeconomia como pilares da sustentabilidade dos processos industriais. A Química Verde propriamente dita refere-se a um conjunto de práticas e procedimentos definidos nos anos 90, que têm como objetivo tornar as tecnologias químicas sustentáveis. O processo de inovação em curso, que busca o desenvolvimento de uma indústria baseada em matérias-primas renováveis, faz parte de um movimento mais amplo, designado como bioeconomia, razão pela qual, do ponto de vista da organização industrial em transformação, opta-se pela denominação bioeconomia neste relatório.

3. Conforme Figueiredo (2010), o conceito de *path creating* é usado para identificar o desenvolvimento de capacidade inovadora de ponta em setores baseados em recursos naturais nos quais não seria possível identificar os líderes de referência, em razão do caráter local e específico dos problemas a serem resolvidos. Muitos desafios para o desenvolvimento da bioeconomia tendem a ser dessa natureza.



1 CARACTERIZAÇÃO ECONÔMICA

1.1 Delimitação do sistema produtivo e foco setorial

Os produtos químicos são vendidos, em sua maioria (75%), como produtos intermediários, sendo 26% destinados à própria indústria química e 49% a outros setores. Os produtos vendidos diretamente para consumo final (25% do total) pertencem principalmente à indústria farmacêutica e à agroquímica.

Podem-se identificar, da parte dos compradores e utilizadores, dois grandes tipos de especificação: a composição química e o desempenho. Na especificação em termos de composição química, o utilizador define o produto de que necessita nos rígidos limites de um tipo de molécula. Se a especificação se faz em termos de desempenho, o utilizador não se interessa pela natureza química do produto, mas por suas propriedades, físicas, químicas ou outras, as quais conferem ao produto condições de ter uma determinada utilização a um determinado preço. A especificação pelo desempenho favorece as possibilidades de diferenciação do produto, o que é limitado quando a especificação se faz pela química.

Com base nessa distinção, utiliza-se na indústria uma tipologia do conjunto dos produtos químicos, pela qual eles são divididos em quatro grandes grupos: *commodities*, *pseudo-commodities*, especialidades e química fina.

O campo das **commodities** (produtos de especificação química) corresponde aos produtos de base e aos intermediários primários, isso é, aqueles cuja preparação se faz a partir de um produto de base por meio de um pequeno número de reações (em geral, uma ou duas). Pode-se considerar como *commodities* químicas o grupo de cerca de 300 produtos químicos, de base e intermediários, vendidos a outros segmentos da indústria química como matérias-primas para a elaboração, por meio de reações químicas, de intermediários mais complexos ou de produtos químicos finais. O fator de competitividade é o custo, resultado de expressivas economias de escala e fontes de matérias-primas de baixo preço.

Os produtos de **química fina** são também especificados por suas características químicas. Entretanto, as quantidades demandadas são menores (menos de 10.000 t/ano), as escalas de produção mais modestas, os preços unitários mais elevados (acima de US\$ 5/quilo) e a utilização totalmente específica. O cliente conhece profundamente as características químicas do produto que deseja adquirir, o qual será submetido a outras transformações químicas ou a formulações para a obtenção do produto final.

A indústria farmacêutica é o principal mercado para esses produtos. O fornecedor não tem competência na utilização de seu próprio produto. Seus fatores de competitividade estão ligados à competência em síntese, à qualidade e à flexibilidade. Os esforços de marketing para venda de um produto determinado revelam-se pouco frutíferos.

As **pseudo-commodities** são produtos químicos especificados pelo seu desempenho e encontram utilizações gerais capazes de demandar grandes quantidades. Os plásticos de uso geral (PE, PP, PS, PVC e PET) são os principais exemplos. Assim como nas *commodities*, escala e fontes de matérias-primas são as bases mais importantes da competitividade. Existem oportunidades de diferenciação que se apoiam em competências e esforços para a compreensão da utilização dos materiais, as quais se pode denominar, fazendo uma distinção em relação às inovações de produtos, inovações de aplicação. Esse tipo de inovação foi o foco de muitas empresas petroquímicas a partir dos anos 1980. Porém, essas oportunidades de diferenciação são bastante limitadas, se comparadas às exploradas pelas especialidades.

As **especialidades** são igualmente produtos químicos especificados pelo desempenho. Entretanto, em razão dos volumes demandados e principalmente da natureza das aplicações almejadas, a compreensão da utilização e a transferência dessa competência aos utilizadores na forma de serviços técnicos são inerentes a esse segmento, e a competitividade das empresas depende largamente dessas competências.

As tecnologias digitais afetarão diferentemente a produção e os modelos de negócio desses segmentos. A petroquímica, com produtos essencialmente *commodities* e *pseudo-commodities*, terá otimização e redução de custos, assim como a indústria de química fina. Já os defensivos e demais especialidades, além de se beneficiarem com os ganhos em eficiência, poderão encontrar oportunidades de inovações em seus modelos de negócio, em particular com o aprofundamento da dimensão serviços⁴. Deve-se, porém, considerar que na petroquímica as transformações poderão vir a ser mais amplas do que um simples ganho de eficiência operacional. As transformações nos segmentos a jusante da cadeia produtiva, como o de transformação de plásticos, e nos mercados finais, como automóveis e embalagens, poderão vir a ser disruptivas para a indústria.

No que se refere à bioeconomia, o ponto de partida é o interesse crescente por tecnologias que levem ao desenvolvimento de uma economia de baixo carbono. Os sistemas tecnológicos consolidados durante o século XX estão vivendo um período de transição, no qual, entre outras transformações, a sua base fóssil tende a ser objeto de

4. A distinção entre especialidades e química fina, embora de grande importância para entender as bases da competição na indústria, não é feita em geral no Brasil. Na sequência deste documento, o segmento especialidades incluirá também os produtos de química fina, mas fazendo a distinção, quando pertinente, entre os dois tipos de produtos.

questionamento e busca de alternativas. A exploração industrial da biomassa para a produção de biocombustíveis, produtos químicos, materiais e energia se inscreve nesse processo de transição.

Este documento concentra-se no segmento industrial voltado para essa transição no âmbito da indústria química/petroquímica e seus mercados, estendido para a indústria de biocombustíveis⁵. Considera-se, portanto, o sistema tecnológico que engloba os produtos hoje obtidos a partir de matérias-primas fósseis, em geral petróleo e gás natural. Trata-se, assim, de discutir a estrutura econômica e a dinâmica de um setor industrial que tem como ambição não só avançar na substituição das matérias-primas fósseis, base da indústria estruturada no século XX, mas também explorar o potencial específico dos recursos biológicos renováveis como elemento de desenvolvimento econômico sustentável.

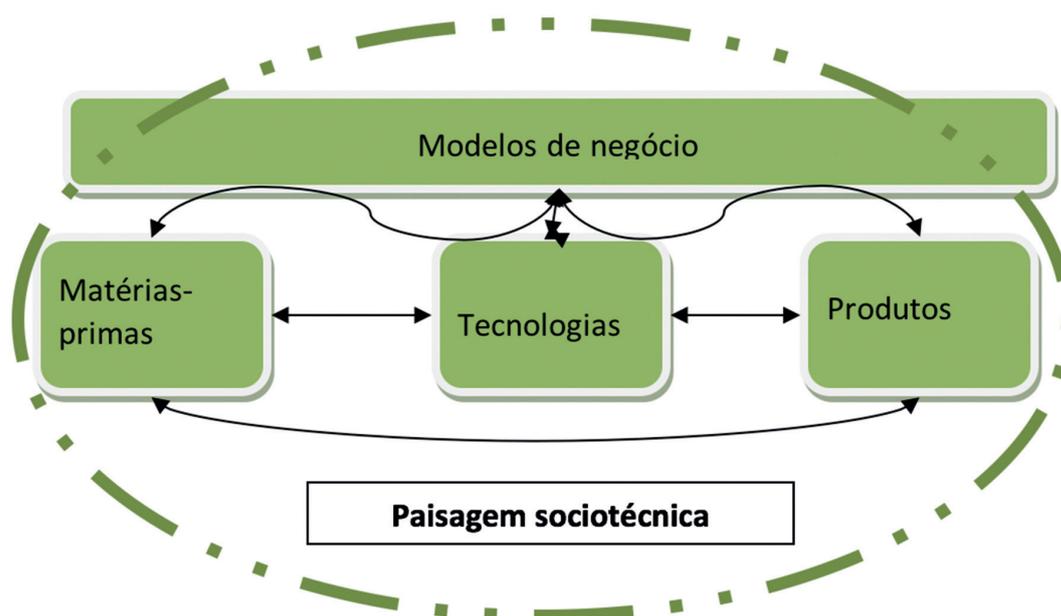
A transição em sistemas tecnológicos consolidados, como o de materiais e produtos químicos, é certamente um processo complexo e que depende da estruturação de um novo regime de produção (GEELS, 2004). Apesar de ser um setor ainda em estruturação, as oportunidades para a indústria baseada em matérias-primas renováveis são expressivas e têm atraído a atenção de políticas governamentais e de estratégias empresariais.

Apesar da dicotomia entre o sistema produtivo *estruturado* da Química e o setor *em estruturação* da bioeconomia, a análise das tecnologias disruptivas pode ser conduzida por meio de um *framework* integrador.

O entendimento dos padrões de concorrência e modelos de negócio em jogo na estruturação da bioeconomia pode ser derivado da observação de um conjunto de dimensões-chave. A estruturação da indústria depende da evolução, ainda em curso, desse conjunto de dimensões. A Figura 1 ilustra esse processo de coevolução, que envolve quatro espaços de inovações interdependentes: matérias-primas, tecnologias, produtos, e modelos de negócio e estratégias. Esses espaços de estruturação estão inseridos em um macroambiente que corresponde a um conjunto de variáveis denominado paisagem sociotécnica. Fazem parte desse conjunto as políticas, as regulações, as certificações, as tendências e os comportamentos da sociedade. São variáveis de evolução mais lenta, que orientam o desenvolvimento da indústria.

5. A relação sinérgica entre biocombustíveis e bioprodutos vem sendo enfatizada e incorporada pelo DOE em suas políticas e chamadas, visto que a valorização dos recursos biológicos renováveis torna-se mais viável e/ou sustentável se a produção de bioenergia está associada à produção diversificada de outros bioprodutos.

Figura 1 – Dimensões de estruturação da indústria em decorrência das tecnologias disruptivas



Fonte: Elaboração própria.

As tecnologias envolvidas podem ser tanto as que permitem a conversão da biomassa nos produtos de interesse, como a biotecnologia industrial, quanto as demais tecnologias disruptivas, como a nanotecnologia, os materiais avançados e o grupo das tecnologias da informação, em particular a inteligência artificial.

Petroquímica e especialidades são setores estruturados da indústria química. Nesse caso, as tecnologias são o *driver* central das transformações e o *framework* pode ser utilizado também como um guia de leitura dos efeitos dos *Clusters* Tecnológicos estudados no projeto Indústria 2027. A mudança de matéria-prima, dimensão-chave e estruturante na bioeconomia não seria relevante no caso dos setores estruturados, mas a revisão da lógica dos produtos e dos modelos de negócio pode resultar em transformações importantes, como os efeitos de servitização.

Por outro lado, a bioeconomia reúne setores não estruturados, ainda emergentes, nos quais as quatro dimensões – matérias-primas, tecnologias, produtos e modelos de negócio – estão se modificando e em coevolução.

Nas seções seguintes, os segmentos do sistema produtivo da Química – petroquímica e especialidades e os do foco setorial bioeconomia são abordados em subseções próprias. Inicialmente, estuda-se o panorama internacional: destaca-se sua estrutura industrial, principais mercados e produtores (empresas líderes), importância econômica (dimensão relativa) e principais tendências. Posteriormente, uma análise similar é feita para o panorama nacional.

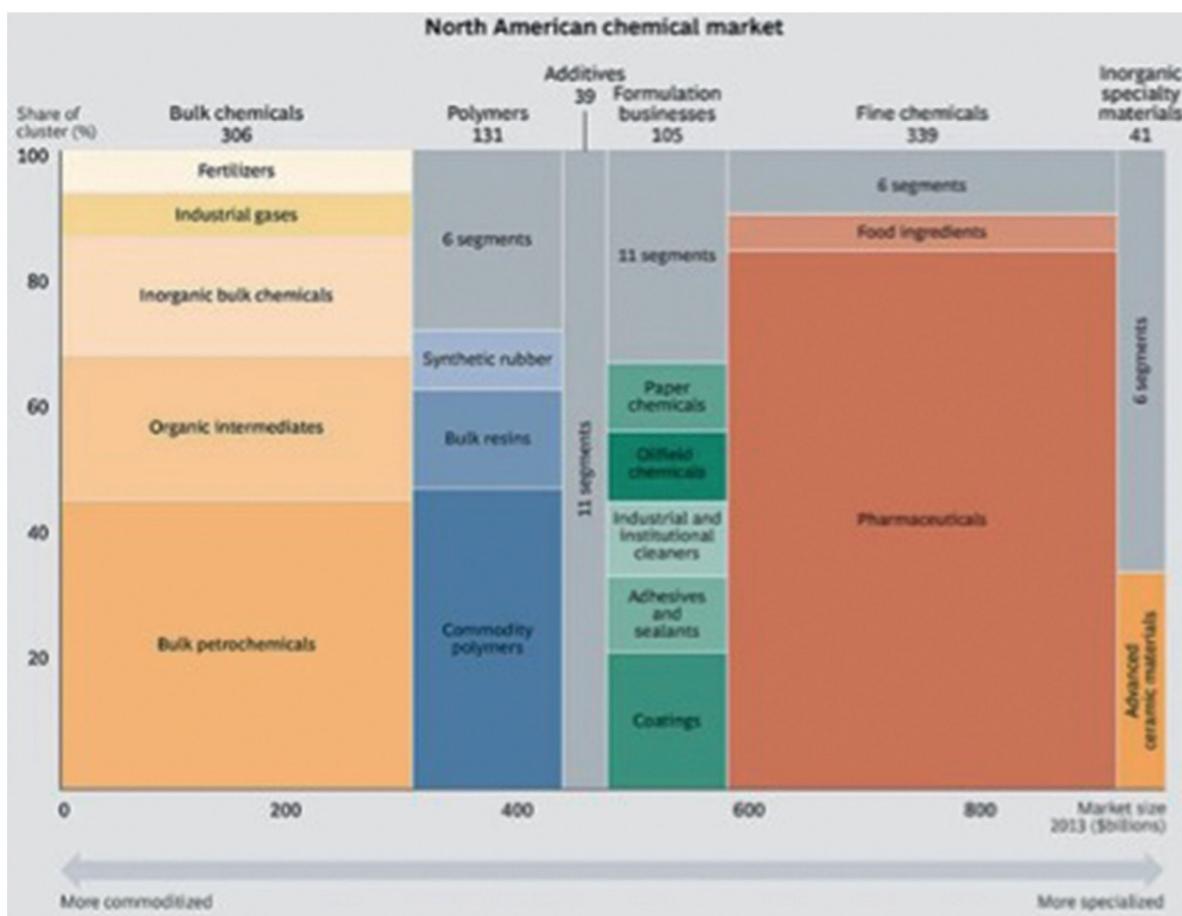
1.2 Panorama internacional

1.2.1 Importância econômica e principais mercados

As vendas da indústria química em 2016 foram da ordem de US\$ 3.760 bilhões, sendo que a China representou cerca de 40% desse total e a Ásia como um todo atingiu quase 52% da indústria. A América Latina correspondeu a 3,8% do mercado mundial (CEFIC, 2017).

Em termos de tipos de produtos, petroquímicos e especialidades químicas correspondem a cerca de 50% das vendas. A Figura 2 apresenta como funciona a distribuição e permite observar que as vendas se concentram num pequeno número de segmentos (dados do mercado norte-americano).

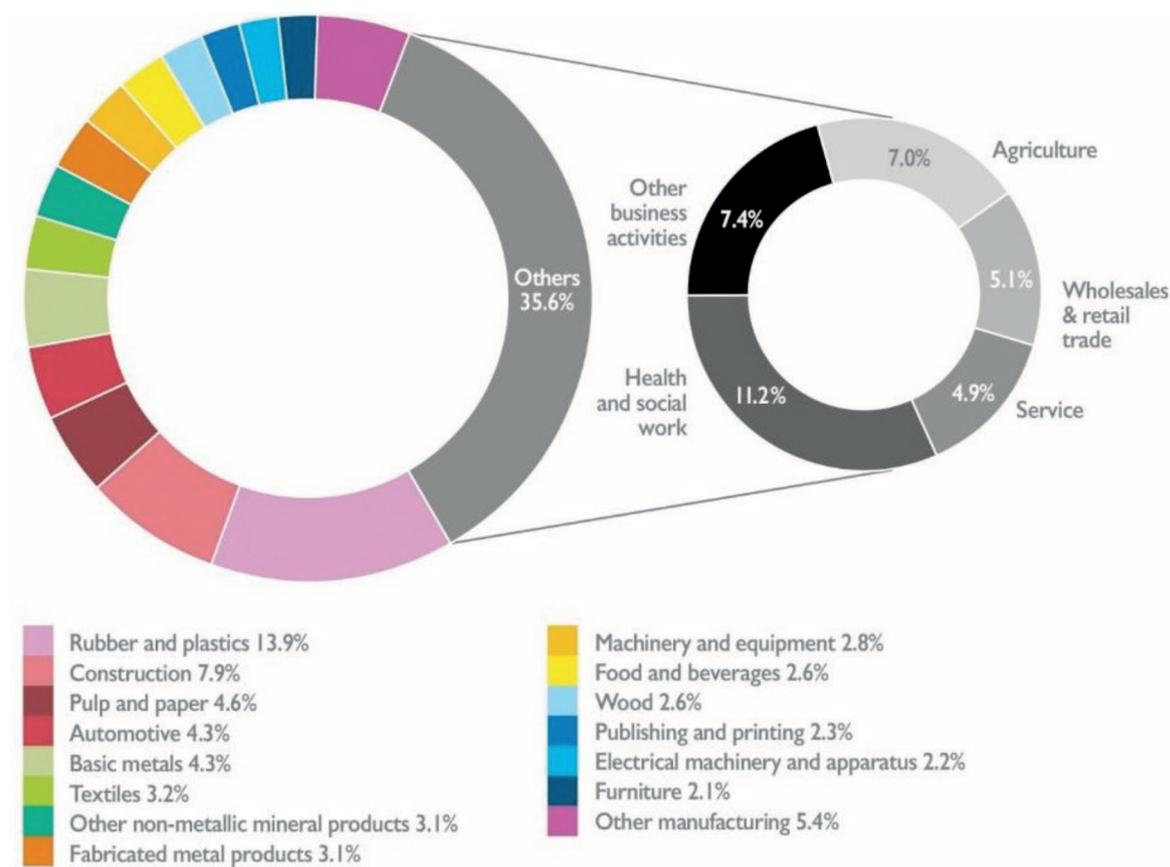
Figura 2 – Classes de produtos químicos e principais segmentos no mercado norte-americano



Fonte: BCG (2017).

Cerca de 66% desses produtos destina-se ao setor industrial. A segmentação por setor é apresentada na Figura 3 (dados do mercado europeu).

Figura 3 – Segmentação setorial dos produtos químicos (mercado europeu)



Fonte: CEFIC (2017).

1.2.1.1 Petroquímica

A petroquímica é o setor industrial responsável pela transformação de produtos do processamento de petróleo e gás natural em bens de consumo e industriais para diversas finalidades, como plásticos, filmes, embalagens e fibras. Em 2015, o mercado global de petroquímicos foi avaliado em US\$ 419,4 bilhões, e projeções indicam que mercado alcance US\$ 758,3 bilhões até 2022 (GRAND VIEW RESEARCH, 2016). A trajetória de crescimento futuro da indústria é determinada pela demanda por seus derivados nas indústrias automotiva, têxtil, construção, industrial, médica, farmacêutica, eletrônica e de bens de consumo.

Essa indústria é caracterizada por ser intensiva em capital e formada por oligopólio concentrado, em que há fortes barreiras de entrada, concentração de grandes empresas e movimentos cíclicos de investimentos, preços e margens de lucro. Os principais fatores de competitividade são a escala de produção, o acesso a matérias-primas de qualidade e a baixo custo, a integração voltada para a economia de escopo, além de outras tecnologias que permitam alcançar vantagens de custo. No caso da produção de resinas, a competitividade pode também depender de algum esforço de diferenciação de produto.

Embora pouco importante nos grandes mercados de termoplásticos, isso é particularmente notável no caso de *grades* especiais de resinas de uso geral (por exemplo, polietileno de alto peso molecular, *grades* de engenharia de polipropileno) e principalmente no caso dos plásticos de engenharia (PC, POM, PBT, PA). Nesses casos, as relações com os utilizadores finais (*end users*), como a indústria automobilística e a eletroeletrônica, são críticas para a capacidade de inovação e competitividade.

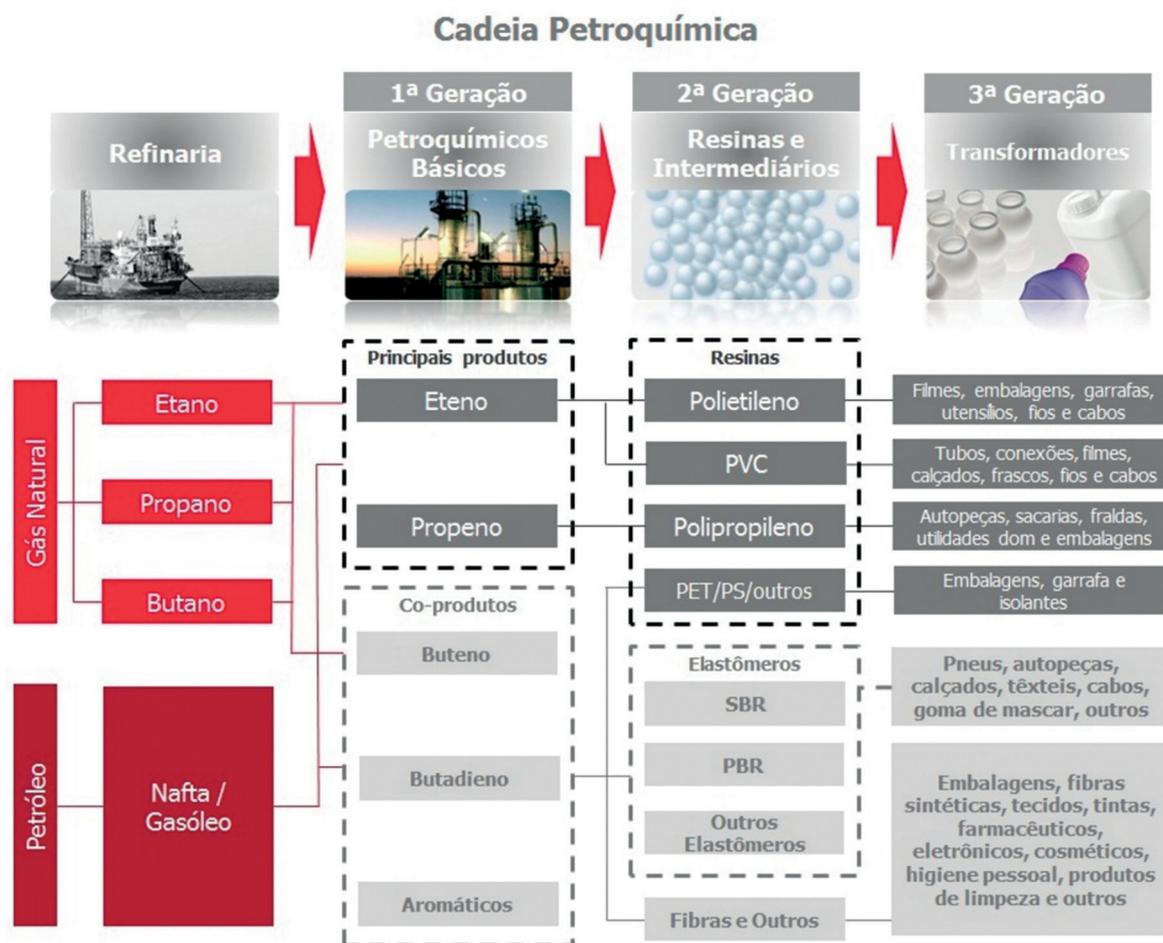
A indústria petroquímica é dividida em primeira, segunda e terceira geração. A **primeira geração** se refere à produção dos petroquímicos básicos, isso é, olefinas, principalmente eteno, propeno e butadieno, e aromáticos, como benzeno, tolueno e xilenos, a partir de gás natural e nafta. Os produtores desta etapa são chamados de craqueadores (do inglês *crackers*). Os petroquímicos básicos são encontrados na forma gasosa ou líquida e transportados por meio de dutos às unidades dos produtores de segunda geração, localizadas próximo às unidades de craqueamento.

Os produtores da **segunda geração** transformam os petroquímicos básicos em resinas e intermediários, como polietileno, poliestireno, polipropileno, PVC, acrilonitrila e PET. Esses produtos estão na forma sólida e são transportados na configuração de *pellets* de plástico ou em pó.

A **terceira geração** é composta pelas empresas transformadoras, isso é, que transformam as resinas e produtos intermediários em produtos finais, como filmes, garrafas, pneus, fibras, dentre outros.

A Figura 4 mostra cada uma dessas etapas com seus principais produtos.

Figura 4 – Cadeia petroquímica dividida em primeira, segunda e terceira geração



Fonte: Braskem (2017).

As principais matérias-primas utilizadas na cadeia petroquímica são a nafta, proveniente do refino do petróleo, e o etano, proveniente do gás natural. Cada matéria-prima permite a produção de diversas olefinas e aromáticos, no entanto, em proporções diferentes. Enquanto a nafta produz uma quantidade mais equilibrada de cada petroquímico básico, o etano gera principalmente eteno.

A indústria petroquímica é madura do ponto de vista tecnológico. A partir da metade do século passado, época de estruturação da petroquímica mundial, a indústria passou por um período de crescimento acelerado, com foco na exploração das economias de escala, tanto no nível das plantas quanto em termos de porte empresarial. A partir dos anos 1980, entrou numa trajetória de consolidação, com taxas de crescimento mais modestas.

O processo de consolidação deslocou as oportunidades para os países com potencial de crescimento de mercado, como os asiáticos, em particular a China, ou para aqueles com posição favorável em matérias-primas, óleo e gás natural. Assim, foram muitos raros os projetos de expansão nos países do Hemisfério Norte nesse século.

Entretanto, essa tendência tem sido revista com a disponibilidade de gás natural a baixo custo nos Estados Unidos, que fez com que voltassem a surgir projetos de investimento em petroquímica, de primeira e segunda geração, no país americano.

Do ponto de vista de seus principais produtos – as resinas de grande consumo –, a indústria pode ser considerada pouco inovadora. Porém, não devem ser desconsiderados os esforços de desenvolvimento e adaptação de *grades* a condições específicas de uso. Os produtos podem ser vistos como evolutivos de forma incremental. O último produto a se desenvolver em mercados de grande volume foi o PET, que já existia desde a metade do século passado na forma de fibras. A partir dos anos 1980, desenvolveu-se um grande mercado na versão termoplástico para embalagens, em particular bebidas gaseificadas, colocando o PET no grupo dos grandes plásticos.

1.2.1.2 Especialidades e defensivos

As especialidades são classificadas em produtos orientados a mercados ou produtos funcionais. Os primeiros são usados por um mercado ou indústria específica, como eletrônica, indústria do petróleo, mineração e agricultura. Os produtos funcionais podem ser usados por diversas indústrias e são denominados por uma função ou propriedade que os define e identifica: adesivos, antioxidantes, aromas, fragrâncias etc.

As especialidades representam cerca de 25% das vendas da indústria química, o que corresponde a quase US\$ 900 bilhões anuais (valores de 2016). A taxa média de crescimento projetada para os próximos anos é da ordem de 3%. Os principais segmentos são produtos para eletrônica, limpeza e construção, polímeros especiais e surfactantes. Aproximadamente 55% do consumo mundial destina-se a quatro segmentos de uso final: sabão, limpeza e cosméticos; alimentos e bebidas; eletroeletrônicos; e construção. Alguns segmentos são mais dinâmicos e têm perspectivas de crescimento superiores à média da indústria: ingredientes nutracêuticos, químicos para eletrônica, para cosméticos, aromas e fragrâncias.

Em estudo sobre a diversificação da indústria química nacional, alguns segmentos foram identificados como de interesse particular para o caso brasileiro: produtos químicos para petróleo e mineração, aditivos para alimentos, aromas e fragrâncias e defensivos (BAIN – GAS ENERGY/BNDES, 2014). As características desses mercados estão revistas na seção Panorama Nacional.

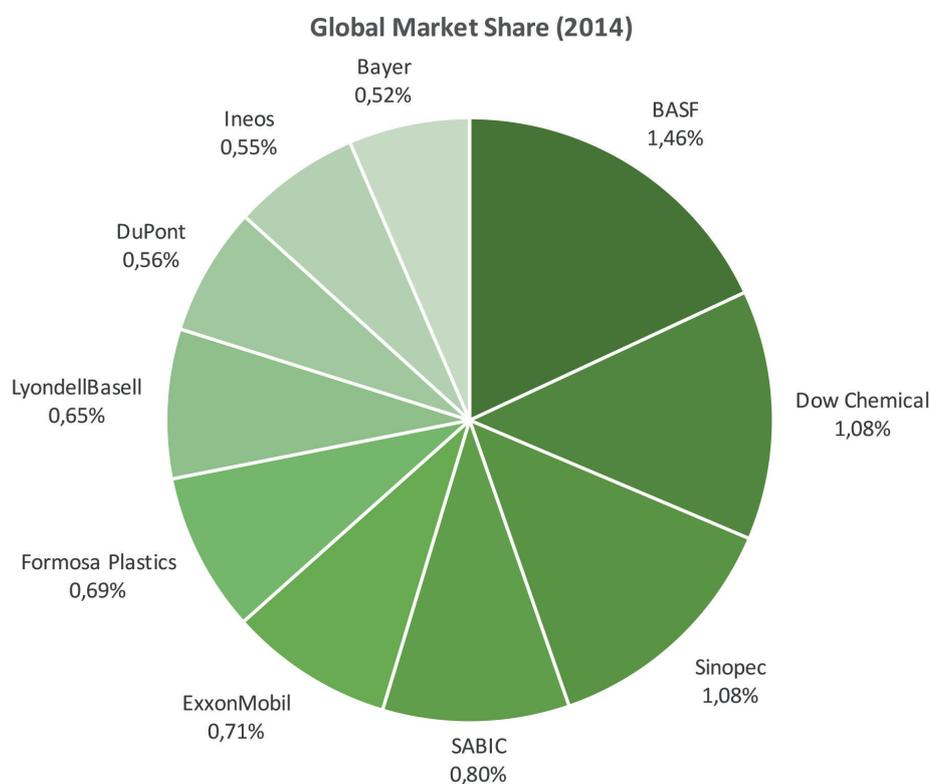
1.2.1.3 Estrutura: concentração e empresas líderes

A indústria química mundial (excluindo-se a farmacêutica e incluindo-se a petroquímica) apresenta uma estrutura pulverizada, com taxas de concentração bastante baixas: em 2014, as quatro maiores empresas ocupavam somente 4,42% do mercado,

enquanto para as oito maiores esse índice era de 7,02%⁶. Nesse mesmo ano, as 50 principais empresas detinham apenas 18% das vendas, segundo dados do *American Chemistry Council* (TULLO, 2015).

Dentre as principais empresas desse sistema produtivo, 17 têm sede na Europa (seis alemãs, incluindo a líder, Basf); 12 nos Estados Unidos (quatro dentre as dez líderes); oito no Japão; e quatro na Coreia do Sul. A Braskem, única empresa brasileira dessa lista, aparece em 14º lugar em vendas, com 0,36% do mercado mundial. Também consta apenas uma chinesa, a Sinopec, em terceiro lugar, com 1,08%. As dez líderes do setor estão indicadas na Figura 5.

Figura 5 – Top 10: empresas líderes da indústria química mundial segundo participação nas vendas (2014)



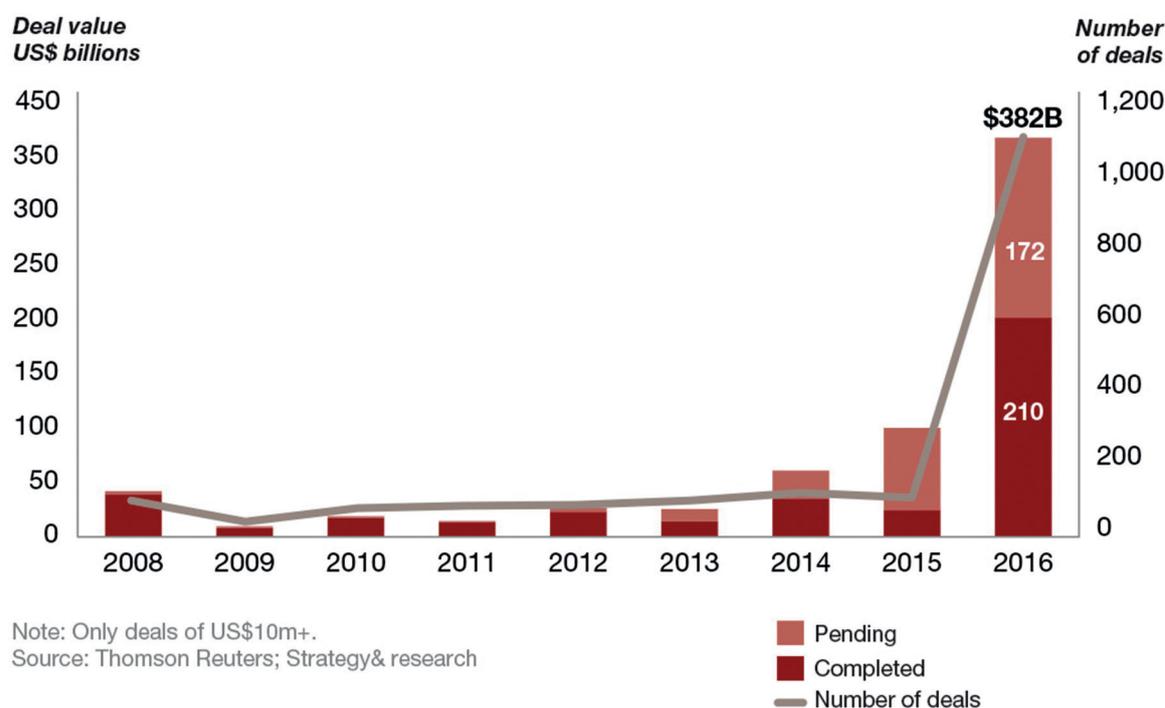
Fonte: baseado em dados de Tullo (2015).

Uma das principais estratégias de crescimento das empresas da indústria química são as fusões e aquisições (F&A), com o número de eventos completados saltando de cerca de 100 em 2015 para 600 em 2016, totalizando um volume financeiro de US\$ 210 bilhões, conforme indica a Figura 6.

6. Para efeitos de comparação, em 2016, esses números eram de 28,5% e 47,1%, respectivamente, para a indústria automobilística.

Figura 6 – Fusões e aquisições na indústria química

As industry fundamentals weaken, chemicals companies look for growth through acquisitions...



Fonte: Sarathy *et al.* (2017).

Já no setor bioeconomia, como será aprofundando adiante, convivem e competem por novos mercados grandes *players* com estratégias de biotecnologia industrial (e também agrícola) – DSM, Solvay, Syngenta, Monsanto, Basf, DuPont, Bayer – e *startups* de diversos tamanhos e origens.

1.2.2 Principais tendências da bioeconomia⁷

1.2.2.1 Potencial de mercado e importância econômica

O principal uso das matérias-primas renováveis ainda é a produção de biocombustíveis, em especial os de primeira geração. Entretanto, enquanto as taxas de crescimento dos biocombustíveis são estimadas atualmente em torno de 2,5% ao ano, as taxas para os bioprodutos costumam ser estimadas próximo a 10% ao ano (FRANKL, 2017). Já os biocombustíveis avançados, ainda em fase de *scaling up*, têm taxas de crescimento muito mais altas, próximas às dos bioprodutos.

7. Esta seção retoma e atualiza a discussão apresentada em Panorama Econômico Setorial (BOMTEMPO, 2013), elaborado para o projeto ATS, Agendas Tecnológicas Setoriais. O documento está disponível em www.abdi.org.br.

A competição nos setores da bioeconomia se dá pela inovação e pela capacidade dos inovadores em atuarem para moldar a estrutura do setor. A inexistência de um padrão de concorrência estabelecido cria para o país a oportunidade de explorar suas vantagens comparativas. Embora existam segmentos, como a biologia sintética, em que uma estratégia de *catching up* seja necessária, a utilização de recursos biológicos renováveis apresenta importante especificidade local, que exige a criação de soluções inovadoras próprias do tipo *path creating*.

Além disso, os estudos de impactos e efeitos ambientais têm sido favoráveis aos bioprodutos em comparação com os biocombustíveis (HERMANN *et al.*, 2011) e a viabilidade econômica é favorecida nos mercados de bioplásticos e outros bioprodutos, que permitem margens maiores e, eventualmente, prêmios em relação aos similares de base fóssil.

A produção integrada de biocombustíveis e bioprodutos em biorrefinarias continua sendo um conceito em construção que deve contribuir para a estruturação futura da indústria baseada em recursos biológicos renováveis. O Departamento de Energia dos Estados Unidos, que tem uma política de longo prazo de apoio à exploração e valorização das matérias-primas renováveis, passou a propor de forma explícita a combinação de biocombustíveis/bioenergia e bioprodutos, entendendo que os bioprodutos podem viabilizar a produção de biocombustíveis.

Diversas estimativas têm sido divulgadas sobre o mercado potencial de polímeros e produtos químicos baseados em biomassa (PATEL *et al.*, 2006; RASCHKA e CARUS, 2012; IEA BIOENERGY TASK42, 2012; DE JONG *et al.*, 2012; MCKINSEY, 2016; WEF, MACARTHUR e MCKINSEY, 2016; GOLDEN e HANDFIELD, 2014). O potencial de substituição para um grupo de produtos químicos de grande volume, considerando condições favoráveis de mercado, foi estimado pelo projeto BREW em cerca de 113 milhões de toneladas até 2050 (PATEL *et al.*, 2006). Isso representaria 38% de toda a produção da química orgânica. Na hipótese mais conservadora, o estudo estima um mercado ainda expressivo, da ordem de 26 milhões de toneladas, o que corresponderia a 17,5% da química orgânica. O potencial de substituição é estimado por Golden e Handfield (2014) em cerca de dois terços dos químicos, sendo 60% especialidades. McKinsey (2016) estima que 9% da indústria química poderiam ser *biobased*, com uma taxa de crescimento projetada de 8% ao ano no horizonte 2020 (dados de 2012).

Na avaliação do potencial de mercados dos bioprodutos, costuma-se separar os bioplásticos e os demais produtos químicos. A capacidade de produção atual dos bioplásticos é inferior a dois milhões de toneladas/ano, o que se situa em torno de 1% da capacidade global dos plásticos convencionais. Entretanto, prevê-se para os próximos anos uma expressiva taxa de crescimento que resultaria, em 2020, numa capacidade de produção de quase oito milhões de toneladas (WEF, MACARTHUR e MCKINSEY, 2016). A perspectiva de manutenção de taxas de crescimento dessa ordem, sustentada pelos *drivers* discutidos anteriormente, tem atraído o interesse das empresas. Levantamentos da IEA Bioenergy Task 42 Biorefinery (2012) identificam cerca de 50 bioprodutos diferentes em diversos estágios de desenvolvimento.

Box 1 – Importância econômica da bioeconomia

Diversos relatórios têm estimado a geração de renda e emprego que as atividades *biobased* poderiam gerar. A comparação entre os dados apresentados é muitas vezes difícil, tanto por conta de diferenças metodológicas quanto pela própria definição de bioeconomia.

O relatório ***An Economic Impact Analysis of the U.S. Biobased Products Industry: A Report to the Congress of the United States of America*** (GOLDEN *et al.*, 2015), preparado pelo USDA para prover informações ao Congresso norte-americano, identificou que os produtos *biobased* (não incluindo alimentos, ração animal, farmacêuticos, biocombustíveis e bioenergia) geraram em 2013 um valor adicionado de US\$ 369 bilhões, além de quatro milhões de empregos diretos e indiretos.

No caso europeu, Piotrowski, Carus e Carrez (2016) estimam para 28 países da União Europeia um volume de vendas, em 2013, de um trilhão de euros, além da geração de 13,8 milhões de empregos. A definição utilizada é muito mais ampla, incluindo toda a produção de alimentos e a indústria farmacêutica. Os critérios de cálculo não consideram o valor adicionado, mas o volume de vendas.

1.2.2.2 Principais drivers

Diversos fatores determinam o interesse crescente pela utilização de recursos biológicos renováveis, num processo que tende a ser importante para a indústria no decorrer do século XXI. Podem ser citados como fatores de maior peso:

- O potencial da biotecnologia industrial ou *white biotechnology*

A biologia está se tornando um poderoso vetor de dinamismo da economia mundial, como base da inovação no século XXI (OECD, 2009). A evolução dos conhecimentos na área contribui para uma maior utilização das biomassas, seja na preparação e produção de matérias-primas, seja no desenvolvimento de novas tecnologias de conversão e novos produtos. Novos conhecimentos baseados em engenharia genética e novos processos fermentativos e enzimáticos estarão cada vez mais disponíveis e abrindo oportunidades para o desenvolvimento da biotecnologia industrial (*white biotech*).

Além da otimização e da evolução de processos já conhecidos, a biologia sintética surge como uma poderosa ferramenta que permite o desenho de rotas metabólicas inovadoras (OECD, 2014; NAP, 2013, 2015; MCKINSEY, 2016; ECONOMIST, 2017). Torna-se possível obter diretamente novas moléculas ou moléculas já conhecidas que antes exigiam múltiplas etapas reacionais. Esse potencial, além de ter despertado o interesse de numerosas *startups* que tentam viabilizar comercialmente os conceitos da biologia sintética, tem influenciado e modificado a agenda norte-americana de financiamento à inovação (DOE BIOMASS PROGRAM, 2016; REGALBUTO, 2011). A biologia sintética é, portanto, uma tecnologia disruptiva fundamental para a bioeconomia.

Entretanto, a exploração industrial dos recursos biológicos renováveis depende ainda de diferentes tecnologias, algumas já estabelecidas, como catálise e processos químicos, e outras ainda em desenvolvimento, como as tecnologias de intensificação de processos, a nanotecnologia e a inteligência artificial.

- As restrições ambientais ao uso de matérias-primas fósseis decorrentes das implicações das mudanças climáticas

A questão ambiental é, sem dúvida, um fator de peso no aumento do interesse pelas matérias-primas renováveis. Nos últimos anos, a situação da economia mundial não tem favorecido a adoção de regulação restritiva aos produtos de origem fóssil, o que facilitaria a entrada e a difusão dos produtos bioderivados. Entretanto, o quadro regulatório continua a ter como tendência a transição da estrutura industrial na direção de uma base de baixo carbono. Apesar das dificuldades políticas que têm cercado as decisões dos grandes fóruns internacionais, é consenso que as restrições ambientais às tecnologias ligadas ao aquecimento global serão crescentes nas próximas décadas. Os resultados da COP 21, em Paris (2015), sugerem uma participação mais cooperativa entre os países.

Foi lançada, em 2016, a Biofuture Platform (<http://biofutureplatform.org/>), uma plataforma de cooperação entre os países aderentes que tem a missão de acelerar a transição para uma bioeconomia avançada, de baixo carbono e global. No âmbito empresarial, a iniciativa Below50 (www.below50.org) reúne empresas que se comprometem a apoiar combustíveis que reduzam as emissões de carbono em pelo menos 50% em relação aos combustíveis fósseis. O Fórum Econômico Mundial, em seu *Global Risk Report* (2016), sublinha que o risco global de maior impacto nos negócios seria o fracasso em mitigar ou se adaptar às mudanças climáticas.

- Os esforços de introdução da economia circular

A estruturação de uma economia circular, em contraponto ao modelo linear estabelecido, é mais um *driver* que favorece a introdução dos produtos da bioeconomia. A utilização de matérias-primas renováveis, associada às biotecnologias que permitem reutilizar as correntes de resíduos dos processos, pode contribuir para estabelecer processos circulares que busquem reduzir e tornar mais eficiente o uso dos recursos. Estudos como os da Ellen Macarthur Foundation (www.ellenmacarthurfoundation.org) e de consultorias como McKinsey e Accenture têm ressaltado as oportunidades de negócio que a estruturação de uma economia circular pode trazer.

Várias empresas inovadoras em bioprodutos têm apontado como qualidade de seus produtos o fato de contribuírem para a economia circular e diversos países têm tomado iniciativas nessa direção, destacando-se as estratégias em desenvolvimento na Comunidade Europeia (EC, 2015).

- A orientação das estratégias empresariais

As orientações estratégicas definidas por empresas importantes reforçam o processo de construção de uma indústria baseada em recursos biológicos renováveis. Alguns exemplos podem ser encontrados no âmbito da atual indústria química. A DuPont estabeleceu, no final dos anos 1990, princípios de sustentabilidade para a sua trajetória de crescimento no século XXI que se baseiam fortemente na biotecnologia e na utilização de matérias-primas renováveis.

A DSM é outra empresa química que tem estabelecido com clareza princípios de atuação voltados para a transição do fóssil para os biorrecursos. Recentemente, a Basf também passou a identificar em seus documentos estratégicos a biotecnologia e as matérias-primas renováveis como uma das bases do crescimento futuro da empresa.

Outros exemplos de incorporação crescente da dimensão verde nas estratégias corporativas na indústria química podem ser citados: Dow, Solvay, Mitsubishi e, no caso brasileiro, Braskem. Uma pesquisa, realizada em 2013 com empresas químicas e petroquímicas identificou, entre 190 respondentes, que 45% dos produtores de produtos químicos básicos e intermediários desenvolviam atividades de P&D em matérias-primas renováveis (BURR e BAKER, 2013). No mesmo grupo, 36% das empresas declararam comprometimento estratégico com o uso de matérias-primas renováveis e 26% estavam investindo na construção de unidades de produção a partir de renováveis.

Pode-se, portanto, tomar como princípio que iniciativas voltadas para a utilização de matérias-primas renováveis estão incorporadas por numerosas empresas químicas e são, cada vez mais, centrais para as empresas líderes do setor. Há ainda as estratégias de empresas de outros setores, como empresas de papel e celulose, agronegócio e ingredientes para alimentos, que vislumbram oportunidades abertas pela química baseada em renováveis e passam a tomar iniciativas de atuação que as colocam em concorrência no setor.

Como estudos clássicos em inovação demonstram (VON HIPPEL, 1988; 2005), o agente dinâmico no desenvolvimento das inovações nem sempre é o produtor, podendo ser também os fornecedores e usuários finais.

Nesse sentido, são importantes os usuários finais (*end users*), como bebidas, alimentos, automóveis, higiene e limpeza e outros segmentos, que não são clientes diretos da indústria química, mas tendem a ter um papel central como fontes funcionais das inovações em bioprodutos.

Algumas ações dessas empresas estão descritas no box a seguir:

Box 2 – Iniciativas de inovação em bioeconomia de usuários finais

- A Coca-Cola vem concentrando esforços para a industrialização da *plantbottle*, financiando o desenvolvimento de *startups* de base tecnológica. Mais recentemente, com a formação do *Plant PET Technology Collaborative* (PTC), envolvendo, além da Coca-Cola, Ford, Heinz, Nike e Procter and Gamble, indicam o papel crucial que as estratégias de sustentabilidade dos *end users* representam como *drivers* da demanda futura dos bioprodutos.
- A Danone e a Nestlé também estão empenhadas em desenvolver novos materiais de base renovável para a substituição do PET nas embalagens de bebidas e alimentos.
- A Lego tem um programa, com base em pesquisas em materiais, de substituição do ABS utilizado em suas peças por bioplásticos.
- A Ikea, além de metas de conteúdo renovável de seus produtos, tem estabelecido parcerias com empresas inovadoras em bioplásticos para a compra e a difusão de novos materiais.
- A Braskem foi fortemente apoiada no desenvolvimento do seu Polietileno Verde pela receptividade de usuários finais como Natura, Toyota, Tetra Pak, Johnson & Johnson e Procter & Gamble.
- A Unilever tem como estratégia explícita reduzir à metade o seu *footprint* no horizonte de planejamento em que as vendas atuais passem de 40 a 80 bilhões de euros (POLMAN, 2012), o que representa uma demanda potencial para a química renovável.

Os movimentos de empresas como a Coca-Cola e outros usuários finais de grande peso têm efeito importante no estabelecimento de novos conceitos que podem se difundir pela economia. O segmento de embalagens sustentáveis, por exemplo, é um campo de muitas iniciativas das empresas ligadas ao consumidor final, como os produtores de alimentos e os grandes distribuidores.

No caso da indústria automobilística, duas tendências fortes influenciam as perspectivas da utilização de produtos derivados de matérias-primas renováveis. A primeira refere-se à redução de emissões e à eficiência ambiental dos carros. As necessidades de biocombustíveis são estimadas pela IEA, em seu cenário *low carbon*, em volumes três vezes maiores em 2030, se comparados a 2015 (FRANKL, 2017). Isso exige um forte crescimento da oferta, com a incorporação de um *scale-up* expressivo da produção de biocombustíveis avançados.

Tais necessidades são avaliadas mesmo considerando a competição com os carros elétricos, atualmente objeto de estratégias específicas da indústria automobilística, ou com outras soluções que afetem a organização do sistema de transporte e da mobilidade urbana. No que se refere aos materiais estruturais, algumas montadoras anunciam em seus relatórios de sustentabilidade metas de utilização de materiais *biobased*, como é o caso da Toyota, que tem como meta utilizar materiais renováveis ou reciclados em 15% das peças em resina.

A segunda tendência forte está relacionada às perspectivas de crescimento da indústria, hoje voltadas, em sua parte mais dinâmica, para os mercados emergentes, onde a necessidade de reduzir custos e produzir carros adaptados às condições locais abre oportunidades de inovações nos materiais e nos modelos de negócio que podem oferecer também oportunidades aos biocombustíveis e bioprodutos.

- A perspectiva da inovação tecnológica como saída de crise

Finalmente, cabe valorizar o papel da bioeconomia como parte das inovações que constituem estratégias de saída de crise. Economistas estudiosos dos grandes ciclos tecnológicos, como estruturação da dinâmica do capitalismo, colocam a *green economy* no centro da recuperação da atual crise econômica e da construção de uma possível nova era de ouro de crescimento da economia mundial (PEREZ, 2011; 2012).

Identificam-se em vários países políticas de transição para a bioeconomia, algumas elaboradas recentemente (Republique Française, 2017; Nordic Council of Ministers, 2017; German Bioeconomy Council, 2016). As linhas de financiamento à inovação para biocombustíveis e bioprodutos desenvolvidas nos Estados Unidos são estruturadas explicitamente, ao lado dos objetivos de segurança de abastecimento e redução da dependência, como plataformas de construção de uma base tecnológica visando a estabelecer uma posição de liderança na bioeconomia do século XXI. Isso é atestado pelos programas do *Biomass Board*, liderados pelo DOE e USDA, e com a participação de outras instâncias federais (DOD, DOI, DOT, NSF, EPA e White House)⁸.

1.3 Panorama nacional

A indústria química brasileira é a oitava do mundo, vindo à frente da do Reino Unido e da Itália. As vendas em 2016 foram de US\$ 113,5 bilhões, o que corresponde a cerca de 3% do total mundial. A participação no PIB esteve acima de 3% entre 2003 e 2008, mas nos últimos sete anos manteve-se em torno de 2,5% (dados de 2015). Considerando-se o PIB industrial, é o terceiro setor mais importante, abaixo de alimentos e bebidas, petróleo e combustíveis e à frente do setor automobilístico. Entretanto, do ponto de vista da balança comercial, nos últimos anos tem sido fonte de grandes e crescentes déficits.

Em 2007, o déficit foi de US\$ 13,2 bilhões; em 2013 e 2014 ficou acima de US\$ 30 bilhões, e em 2016 atingiu o valor estimado de US\$ 22,1 bilhões. Nos últimos dez anos, esse déficit tem sido determinado pela variação das importações, já que as exportações têm se mantido estáveis e mesmo declinantes desde 2008.

8. Referências e detalhes sobre esses programas podem ser encontrados em documentos disponíveis em www.doe.gov; www.usda.gov. Uma visão abrangente do programa norte-americano de biomassa pode ser visto em *The Biomass Program Today: working across the supply chain*, disponível em http://www1.eere.energy.gov/biomass/pdfs/biomass_walkthrough.pdf. A visão estratégica dos Estados Unidos para a bioeconomia está apresentada em *Federal Activities Report on the Bioeconomy Activities*, Biomass ReD Board, 2016.

Os dados sugerem, de um lado, a importância do setor para a economia brasileira e, de outro, trazem sinais de possíveis problemas de competitividade em relação ao comércio internacional. O nível de investimentos, segundo dados da ABIQUIM, não sugere uma tendência de reversão desses resultados. No período de 2014 a 2020, os investimentos programados ou realizados atingem um total de US\$ 2,1 bilhões, com média anual de US\$ 400 milhões. Esses valores contrastam fortemente com os dos cinco anos anteriores, nos quais o total foi de US\$ 14,1 bilhões, com média anual de US\$ 2,8 bilhões.

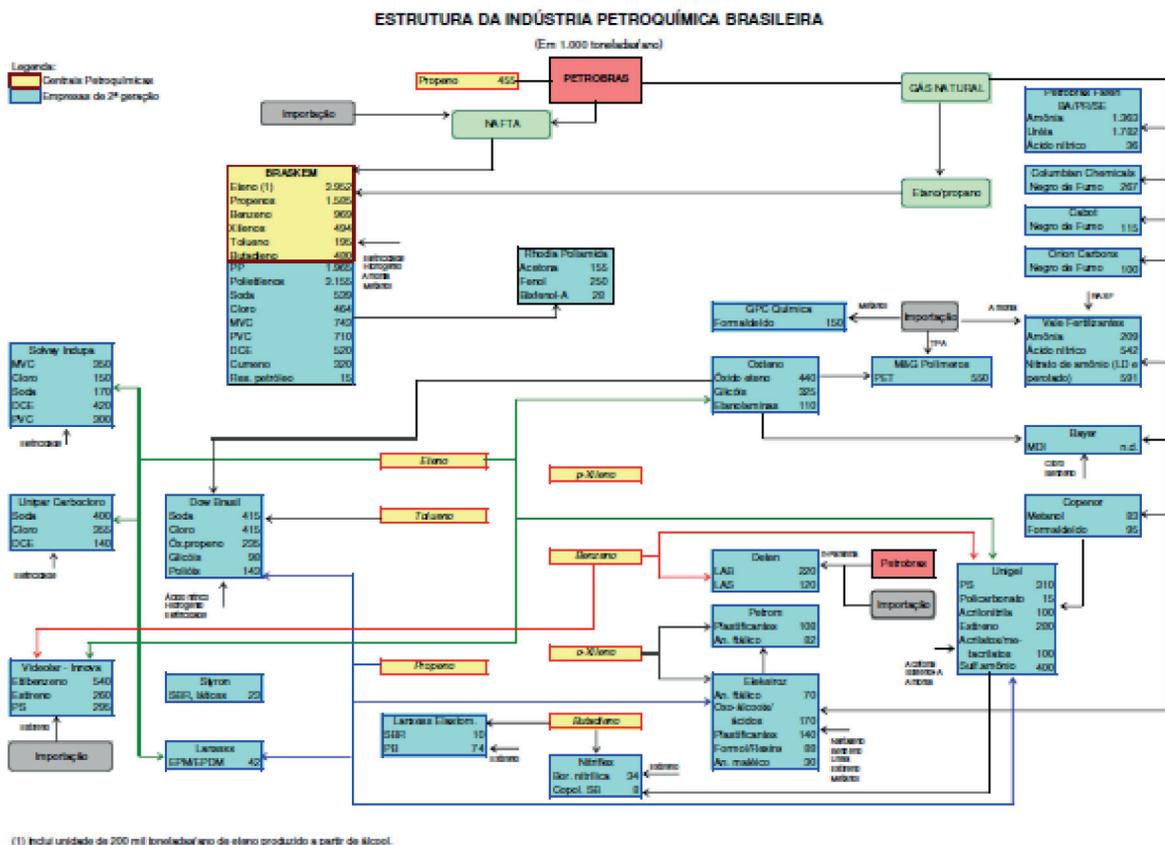
Em termos da natureza dos produtos comercializados, 54,9% das vendas se destinam ao setor industrial. São catalogados 976 estabelecimentos como responsáveis pelos produtos de uso industrial. O segmento farmacêutico é o segundo em volume, com 13,6% das vendas da indústria. São expressivas as vendas para o setor agrícola, que correspondem a 21,7%, incluindo fertilizantes e defensivos, bem como para os setores de cosméticos e higiene pessoal (11,4%) e sabões e detergentes (6,3%). Estima-se que 65% dos produtos químicos vendidos ao setor industrial destinam-se ao segmento petroquímico.

1.3.1 Importância econômica e principais mercados

1.3.1.1 Setor petroquímico e especialidades

As plantas da indústria petroquímica brasileira têm escalas competitivas e são consideradas atualizadas do ponto de vista tecnológico e operacional. Sua principal desvantagem é o acesso a matérias-primas de qualidade a preços competitivos. As condições internacionais recentes de oferta de gás natural a baixos preços no mercado norte-americano desfavorecem ainda mais a sua competitividade. A Figura 7 ilustra a estrutura da indústria petroquímica no Brasil.

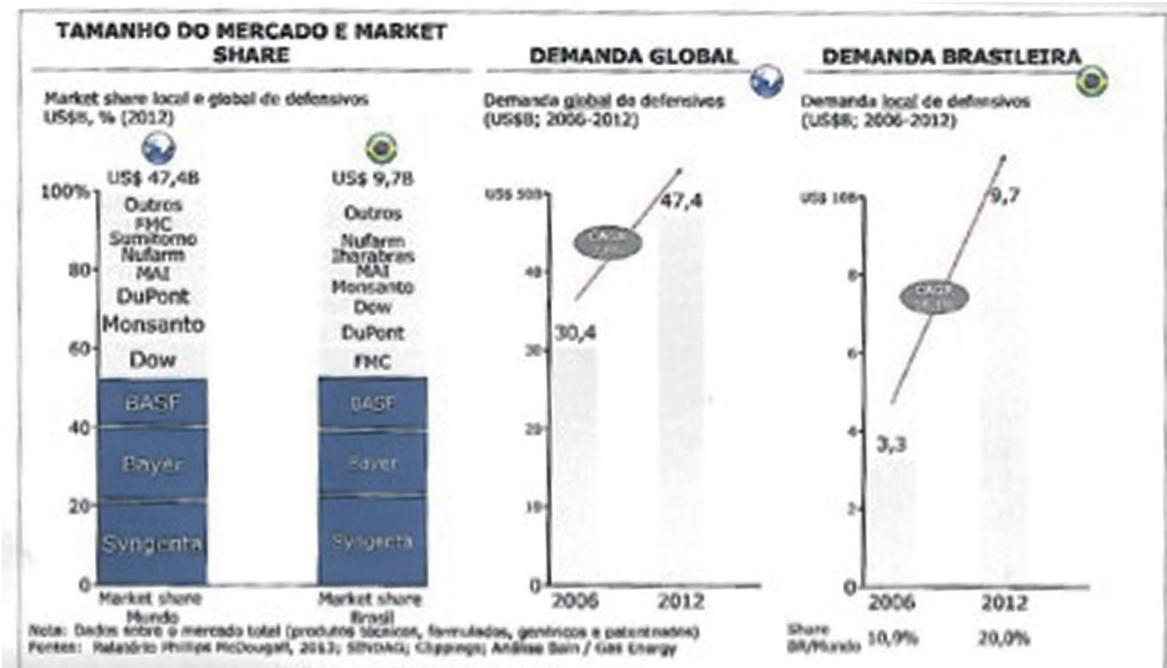
Figura 7 – Estrutura da indústria petroquímica brasileira: capacidades instaladas das centrais petroquímicas e empresas de segunda geração



Fonte: ABIQUIM (2016).

Quanto às especialidades, destacam-se alguns segmentos identificados como de maior interesse para o caso brasileiro, com base no *Estudo de diversificação da indústria química* (BAIN; GAS ENERGY; BNDES, 2015). O mais importante é o de defensivos, que representam 9,1% das vendas. Na Figura 8, o mercado mundial de defensivos é destacado e comparado com o mercado brasileiro. Note-se o peso do mercado brasileiro no mercado mundial, atingindo cerca de 20% de participação, que tende a prosperar em função das taxas médias de crescimento anual do mercado brasileiro, em comparação com as taxas médias mundiais.

Figura 8 – Mercado mundial e brasileiro em defensivos e projeções de demandas



Fonte: Bain; Gas Energy; BNDES (2015).

O mercado de defensivos vem passando por movimentos de fusões e aquisições que podem levar, com as recentes consolidações (Bayer/Monsanto, Dow/DuPont), a um nível de concentração C4 acima de 75%. O atendimento do mercado brasileiro é feito, principalmente, por grandes empresas internacionais, com predomínio de Syngenta, Bayer e Basf, que atendem cerca de 70% do mercado, enquanto 30% são atendidos pelos produtores de equivalentes ou genéricos.

O segmento de defensivos merece atenção particular, em primeiro lugar, pela expressão do mercado brasileiro em relação ao mercado mundial e as perspectivas de crescimento, como indicadas na Figura 8. Em segundo lugar, devido à concentração já elevada do segmento que, se concretizadas as recentes fusões e aquisições, tenderia ainda a aumentar. Por fim, e talvez o mais importante, em razão das transformações em curso na agricultura. A busca de uma agricultura de baixo carbono, o uso de melhores e mais modernos defensivos, as inovações nas formas de controle biológico de pragas e as práticas da chamada agricultura de precisão colocam o segmento no alvo de grandes transformações. O surgimento de numerosas *startups* e as evoluções dos modelos de negócio, tanto de incumbentes quanto de desafiantes, ilustram essas transformações. Boa parte do segmento de fertilizantes (12,6% das vendas) tende a ser afetada pelos mesmos fatores e de forma semelhante.

Os dados da Tabela 1 chamam atenção para outros quatro segmentos que, por fatores como dinamismo do crescimento projetado, posição da balança comercial, potencial para incorporar inovações a partir de matérias-primas renováveis e importância para a economia brasileira, devem ser destacados. São eles: lubrificantes, produtos químicos para a indústria de óleo e gás, aditivos para alimentos humanos e animais e aromas e fragrâncias.

Tabela 1 – Desempenho do mercado brasileiro de segmentos selecionados de especialidades

	Crescimento anual projetado (%)	Balança comercial (US\$ milhões)	Potencial para renováveis
Lubrificantes	2,8 (2012 a 2022)	- 918	SIM
Químicos para óleo e gás	18 (2011 a 2021)	-84,9	
Aditivos para alimentos	5,5 (2012 a 2018)	+ 100	SIM
Aromas e fragrâncias	5,6 (2012 a 2022)	+21	SIM

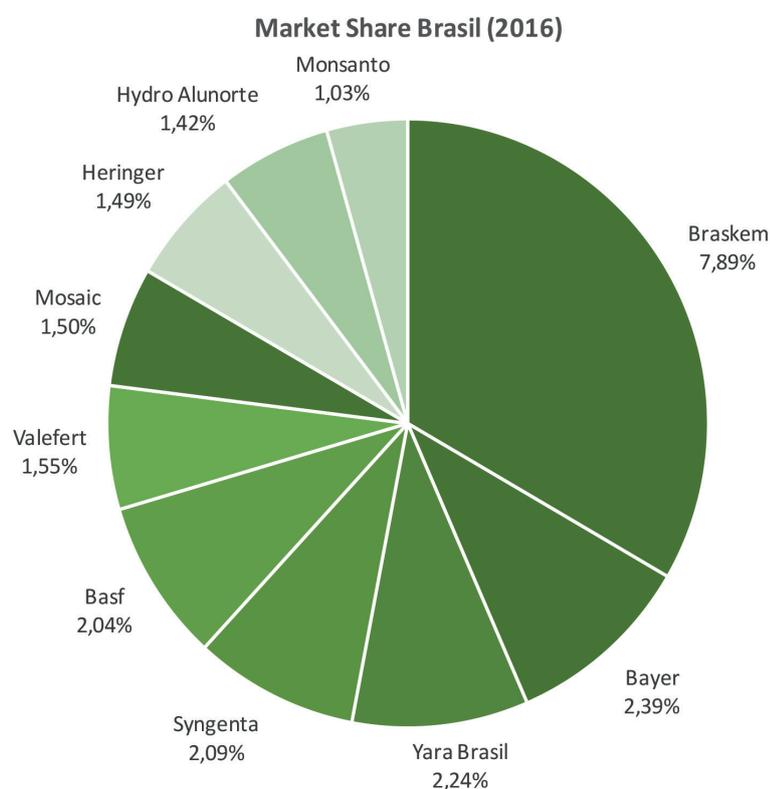
Fonte: Bain; Gas Energy; BNDES (2015).

1.3.1.2 Estrutura: concentração e empresas líderes

A indústria química brasileira apresenta o maior grau de concentração, se comparada com o mercado global. Em 2016, as quatro maiores empresas nacionais – Braskem, Bayer, Yara Brasil e Syngenta – detinham, em conjunto, 14,61% do mercado (Figura 9)⁹. Considerando o indicador CR8, a concentração era de 21,19%. Somente o Grupo Odebrecht/Braskem (Braskem, Braskem Petroquímica e Odebrecht Oil & Gas), líder de vendas, detinha 9,11% do mercado.

9. Fonte: Disponível em: <<http://mm.exame.abril.com.br/empresas/filtrar/2016/quimica-e-petroquimica/Todos>>. Acesso em: 27 dez. 2017. O ranking computa separadamente diferentes subsidiárias, por exemplo, Braskem e Braskem Petroquímica; Oxiteno e Oxiteno Nordeste.

Figura 9 – Top 10: empresas líderes da indústria química brasileira segundo participação nas vendas (2016)



Fonte: Baseado no ranking da Revista Exame Melhores e Maiores 2016.

1.3.2 Principais tendências da bioeconomia

O tamanho da bioeconomia no Brasil ainda não foi objeto de uma avaliação sistemática. Existem esforços em curso nessa direção, mas os resultados ainda não são conhecidos. A própria definição e delimitação do conceito terão grande influência sobre a dimensão do setor. Aceitando a delimitação¹⁰ adotada no documento *Vision Statement*, lançado pela Biofuture Platform (BIOFUTURE SUMMIT, 2017) – “*bioeconomy as a set of economic activities related to the invention, development, production and use of biological products and/or processes for the production of renewable energy, materials and chemicals*” –, as principais atividades da bioeconomia no Brasil, em termos de produção comercial, envolvem a produção de biocombustíveis de primeira geração, de etanol de segunda geração, de químicos e de biopolímeros.

A produção de etanol na última safra foi da ordem de 30 bilhões de litros, sendo o Brasil o segundo maior produtor do mundo. A capacidade instalada em biodiesel, derivado essencialmente de óleo de soja e sebo, é da ordem de 7,3 bilhões de litros, e a produção em 2016 foi de 3,5 bilhões de litros. Essas produções se desenvolveram

10. Uma delimitação semelhante tem sido adotada pela gerência de bioeconomia do MCTIC, com base em discussões com um grupo de trabalho com representantes da academia, indústria e governo.

com vistas aos mercados de combustíveis automotivos e de transporte pesado, a partir de programas governamentais iniciados nos anos 1980 para o etanol e nos anos 2000 para o biodiesel. Sua utilização tem sido definida por mandatos e mecanismos de mercado, no caso do etanol hidratado.

Os dois segmentos, apesar da importância econômica, social e ambiental, representam, do ponto de vista industrial, tecnologias maduras que permitem um uso ainda parcial de matérias-primas renováveis. Do ponto de vista das inovações da bioeconomia, aos produtos de primeira geração devem-se incorporar novos processos e produtos, capazes de aproveitar de forma integral e sustentável os recursos biológicos renováveis. Muitos desses produtos estão ainda em fases iniciais de produção ou em estágios de demonstração piloto e mesmo em laboratório.

No estágio atual da bioeconomia no Brasil, destacam-se as seguintes empresas com estratégias de biotecnologia industrial: Basf, Biochemtex, Braskem, Dow, DSM, DuPont, GranBio, Novozymes, Raízen e Rhodia-Solvay – todas associadas efetivas da Associação Brasileira de Biotecnologia Industrial. Dentre essas, é possível destacar diversas iniciativas recentes que já se encontram em estágio comercial ou próximo: a produção de etanol 2G (Raízen e Granbio), de polietileno verde (Braskem), de óleos e derivados de microalgas heterotróficas (Solazyme/TerraVia) e de especialidades químicas (Amyris).

Adiante, apresenta-se um panorama dessas experiências empresariais em bioeconomia no Brasil.

- Granbio

Criada em 2011 pela família Gradin, com o objetivo de produzir etanol a partir de resíduos agroindustriais como o bagaço e a palha da cana-de-açúcar. Parte do investimento inicial foi resultado do PAISS. Em 2013, o BNDES entrou como acionista minoritário por intermédio da BNDESPar, a empresa de participações do BNDES.

Para conseguir montar o novo processo, capaz de gerar etanol a partir de materiais lignocelulósicos, a Granbio contou com vários parceiros, como a Beta Renewables para o pré-tratamento, a Novozymes para as enzimas e a DSM para as leveduras. Com esse esforço conjunto, inaugurou-se em Alagoas em 2014 a Bioflex 1, uma fábrica *first-of-a-kind* na qual a produção foi iniciada utilizando palha de cana-de-açúcar como matéria-prima. A Bioflex 1 foi projetada para produzir 82 milhões de litros de etanol por ano e com flexibilidade para processar diferentes tipos de matérias-primas celulósicas e lignocelulósicas. No entanto, essa capacidade não foi alcançada, o que forçou a interrupção da produção em abril de 2016.

A tecnologia italiana Proesa não funcionou, e sua proprietária M&G, entrou recentemente em concordata. A GranBio investiu em outras tecnologias, trocou e reformou a tecnologia e os processos bioquímicos por soluções proprietárias e estabilizou a

produção anual da planta em 30 milhões de litros, contra a capacidade de 82 milhões vendida pela M&G. A GranBio continua os investimentos para aumento de capacidade e espera produzir 45 milhões de litros em 2019. Nesse processo de adaptação e desenvolvimento de soluções, a Granbio tem gerado conhecimentos tecnológicos proprietários que a empresa espera poder valorizar nos próximos investimentos.

Recentemente, a Granbio, tendo em vista a alta do preço de energia no Nordeste, passou a utilizar a capacidade instalada em sua caldeira híbrida para gerar eletricidade, valorizando a sua logística de biomassa. Nesse interim, os esforços de aumento de capacidade da planta 2G seguem seu curso.

A GranBio exportou e qualificou cinco milhões de litros de etanol 2G para os EUA em 2017, confirmando o prêmio do crédito de carbono americano. O preço F.O.B. obtido pelo etanol 2G exportado da GranBio foi 85% superior ao custo de oportunidade de vendê-lo no mercado regional.

A Granbio espera que já em 2020 seu etanol 2G seja competitivo com o etanol de primeira geração e mais lucrativo em razão do crédito de carbono.

Essa expectativa está apoiada não só no amadurecimento tecnológico do processo em si, mas também na possibilidade de utilização de novas matérias-primas, como a cana-energia, que a empresa tem pesquisado desde 2012 na estação experimental que possui em Barra de São Miguel (AL), com resultados bastante positivos. A cana-energia produz quatro vezes mais bagaço do que a tradicional, além de precisar de menos água e insumos. A empresa aposta na competitividade do carbono contido na cana-energia como viabilizador do menor custo de açúcar celulósico mundial, podendo ficar abaixo do custo alvo de 10 cents/lb.

A combinação de engenharia genômica e eficiência fotossintética podem oferecer uma plataforma única de vantagem comparativa para *Clusters* de biorrefino flexível para biocombustíveis e bioquímicos. Outra oportunidade que vem sendo explorada pela Granbio é a nanocelulose, vista hoje como produto de grande potencial de aplicações. Sua planta em Atlanta é uma das maiores do mundo e conta com a proteção de um portfólio de mais de 120 patentes.

A Granbio também investe na produção de químicos de fonte renovável por meio de uma parceria com a Rhodia, que deu origem à *joint venture* SGBio. O objetivo é construir no Brasil a primeira planta mundial de bio n-butanol, composto químico fundamental para a produção de tintas e solventes.

- Raízen

Fundada em 2011 a partir de uma *joint venture* entre a Shell e a Cosan (grupo de usinas brasileiras de etanol), produz cerca de dois bilhões de litros de etanol por ano em 26 unidades produtivas, gerando um faturamento de mais de R\$ 72 bilhões.

Como uma grande líder no setor sucroenergético, a Raízen também busca desenvolver o mercado de etanol celulósico. Em 2013, decidiu investir R\$ 230 milhões para superar o desafio de conseguir, em dois anos, igualar o custo do produto de segunda geração ao registrado na produção convencional. Em 2014, iniciou a operação da sua primeira planta industrial para a fabricação de etanol celulósico em escala comercial, no entanto, sem a redução de custo esperada.

A unidade de Piracicaba (SP) foi projetada para produzir 40 milhões de litros de etanol por ano, mas sua planta também não atingiu ainda a capacidade de projeto, produzindo hoje cerca de metade do que foi estimado. Também planeja novas unidades de etanol celulósico, assumindo que este será competitivo apenas a partir de 2020.

A Raízen tem o foco voltado exclusivamente para energia, principalmente biocombustíveis. Por já produzir etanol tradicional, seu modelo de negócio é baseado na integração das unidades de primeira e segunda geração, utilizando seus próprios resíduos como novas matérias-primas para aumentar a produção.

- Braskem

Uma das maiores empresas do mundo em produção de resinas plásticas e insumos químicos básicos comercializa, além de petroquímicos, o polietileno verde, ou PE verde, um plástico obtido da polimerização do eteno produzido a partir do etanol da cana-de-açúcar, sendo, portanto, de origem renovável. O PE verde é um produto de referência como um bioplástico produzido e comercializado em escala comercial. Além disso, a Braskem tem se estruturado na pesquisa e no desenvolvimento de outros produtos de origem renovável, tais como butadieno, isopreno e MEG.

Apesar do PE verde ter ganhado atenção nos últimos anos, a tecnologia de conversão do etanol para eteno já era de domínio da empresa há vários anos. Entre 1980 e 1990, a então Salgema, produtora do plástico PVC (policloreto de vinila), que viria a ser incorporada para a formação da Braskem, já produzia eteno de etanol. A tecnologia, desenvolvida pelo Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES), permitiu que a empresa produzisse eteno a partir de etanol de cana-de-açúcar em escala comercial.

O eteno verde era competitivo em relação ao eteno petroquímico, pois havia incentivos governamentais significativos, além do preço do etanol favorável e de sua disponibilidade garantida pelo Proálcool. No entanto, a produção de eteno via etanol foi encerrada em 1992, devido à descontinuidade do Proálcool e à perda de competitividade do etanol frente à gasolina.

A retomada do projeto ocorreu em 2003. A Braskem recuperou os dados da antiga planta e com alguns esforços para atualização da tecnologia pôde inaugurar sua planta-piloto de eteno verde, onde foi produzido o primeiro PE em 2007. Uma amostra foi enviada à empresa norte-americana Beta Analytic para certificação como um produto de origem na biomassa.

Em 2007, a Braskem participou de vários eventos internacionais, dentre eles a Feira K, a maior feira internacional de plásticos do mundo, para apresentar seu PE verde ao mercado, e recebeu o prêmio da *European Bioplastics Association* (Associação Europeia de Bioplásticos), pelo desenvolvimento do plástico 100% de fonte renovável. A Braskem, que se relacionava com empresas transformadoras, em geral de menor porte, passou a negociar diretamente com os utilizadores finais, dentre estes as grandes empresas de bens de consumo.

A grande e rápida aceitação do PE verde se deu pelo fato de ele ser *drop in*, isto é, os consumidores poderiam fazer a substituição direta do polietileno fóssil para o renovável sem modificações na planta, além de ele poder ser reciclado. Tal repercussão positiva e os bons resultados da planta piloto levaram à decisão de investir em uma planta de escala comercial de 100.000 t/ano em 2007.

Pouco tempo depois, a decisão já era por uma planta de 200.000 t/ano, a ser construída no estado do Rio Grande do Sul – principalmente por já existir na mesma localidade uma planta de polimerização, o que reduzia o risco do investimento. A partida da planta industrial ocorreu em 2010, sem atrasos, após as etapas de engenharia básica (em 2008) e de aquisição de equipamentos e montagem (entre 2008 e 2009). Em 2010, a empresa lançou o selo *I'm green™*, que passou a identificar os produtos Braskem produzidos a partir de fonte renovável e divulgou o projeto de construção de uma planta de propeno verde para a produção de polipropileno de origem renovável. Esse projeto ainda se encontra em desenvolvimento.

Em 2016, além das diversas aplicações tradicionais do polietileno, o PE verde foi utilizado para impressão 3D na Estação Espacial Internacional (*International Space Station – ISS*). A empreitada foi realizada em parceria com a Made In Space, empresa norte-americana líder no desenvolvimento de impressoras 3D para operação em gravidade zero e fornecedora da NASA. A partir de 2018, os astronautas poderão utilizar uma recicladora de objetos e embalagens plásticas capaz de ampliar ainda mais a autonomia e a sustentabilidade das futuras missões. Essa será a primeira operação comercial de reciclagem de plástico na história das missões espaciais.

O PE verde tem representado, sem dúvida, uma plataforma de inserção da Braskem como empresa de destaque na química de base renovável. Nos últimos anos, a empresa tem procurado avançar na sua capacidade na bioeconomia, tanto estruturando-se internamente quanto estabelecendo parcerias e iniciativas no mercado. Destacam-se desenvolvimentos em parceria com Genomatica (butadieno), Amyris (isopreno) e mais recentemente com Haldor Topsoe (MEG direto do açúcar).

- Amyris

Sua história começou em 2002 na Universidade de Berkeley, Califórnia, onde um grupo de pesquisadores desenvolveu uma rota biotecnológica para a produção de artemisina, o princípio ativo para o tratamento da malária. Em 2003, esses pesquisadores fundaram

a Amyris Biotechnologies, Inc, com a ajuda de parcerias como a Bill and Melinda Gates Foundation. Em 2005, a expansão dos negócios da empresa atraiu investidores de risco, como Khosla Ventures, Kleiner Perkins Caufield e Byers (KPCB) e Texas Pacific Group Ventures (TPGV).

A primeira oportunidade da Amyris de ampliar seus negócios e se arriscar em novos mercados ocorreu em 2006, com a entrada do atual CEO, John Melo, ex-presidente de uma unidade da British Petroleum. O objetivo passava a ser o mercado de biocombustíveis, com foco em diesel e combustíveis de aviação. Começaram os esforços em pesquisa e desenvolvimento do farneseno renovável, em parceria com a empresa Total. Com o nome comercial de Biofene, o farneseno se tornou seu bloco de construção. A busca por uma matéria-prima renovável levou a Amyris a fundar, em 2008, a Amyris Brasil, em Campinas (SP), o que lhe deu acesso à cana-de-açúcar brasileira.

Em 2011, a planta industrial de R\$ 25 milhões foi inaugurada, a fim de garantir a produção de cinco milhões de litros de diesel/ano. Os testes iniciais mostraram resultados bastante superiores aos de origem fóssil. Além de ser de origem renovável, o biocombustível apresentou uma redução média de 30% de emissões gasosas e 9% de materiais particulados. Em 2014, o bioquerosene, também produzido a partir do farneseno, foi certificado pelo padrão ASTM e teve autorização para ser adicionado no querosene de aviação tradicional numa proporção de 10%.

Apesar da comprovada eficiência dos biocombustíveis da parceria Amyris e Total, os custos superiores à produção via matéria-prima fóssil ainda são uma barreira para o uso do diesel e querosene de cana.

Por outro lado, a versatilidade do farneseno abriu novas possibilidades de produtos. Em 2012, iniciou-se a produção do esqualeno, um ativo oleoso emoliente anti-idade comumente encontrado no óleo de fígado de tubarão. Posteriormente, passou-se a produzir o hemiesqualeno, também com funções emolientes.

Em 2014, a empresa iniciou a produção em larga escala de sua primeira molécula de fragrância, o Patchoulol, e em 2016, anunciou que está ampliando sua fábrica no Brasil para adicionar uma unidade de aromas e fragrâncias, além do farneseno.

Hoje atua em três principais segmentos: saúde e nutrição, com biofármacos, nutracêuticos e o tratamento para malária; cuidados pessoais, com linhas de cosméticos, aromas e fragrâncias; e industrial, com os biocombustíveis, lubrificantes e polímeros.

- Solazyme

Fundada em 2003 em São Francisco, Califórnia, a Solazyme surgiu como uma empresa de base tecnológica pioneira no desenvolvimento de uma plataforma de biotecnologia industrial que transforma açúcares em óleos utilizando microalgas como biocatalisador.

Desde então foi traçando rapidamente uma firme trajetória de crescimento. Nos anos 2004 e 2005, utilizou técnicas de manipulação genética para aumentar a produtividade das microalgas, que começaram a ser cultivadas na ausência de luz e em tanques de fermentação. Em 2006, identificou cepas-chave de microalgas para a produção de óleos com potencial de gerar substitutos aos combustíveis de origem fóssil e outros produtos químicos, inclusive óleos para a indústria de cosméticos e de nutrição.

Em 2007, recebeu uma subvenção de US\$ 2 milhões do National Institute of Standards and Technology. Com esse recurso, aperfeiçoou as pesquisas com biocombustíveis.

Em 2008, lançou o Soladiesel, um biodiesel 100% renovável que tem as mesmas características químicas do diesel convencional. Nesse mesmo ano, a empresa anunciou um acordo com a Chevron Technology Ventures para fomentar o desenvolvimento da área de combustíveis. Este foi o primeiro biodiesel derivado de algas capaz de atender as especificações da *American Society for Testing and Materials* (ASTM), e ainda apresentava compatibilidade total com a estrutura dos motores dos carros, baixa emissão particulada e a significativa redução na emissão de enxofre.

Em 2009, recebeu cerca de US\$ 22 milhões do Departamento de Energia dos Estados Unidos para a construção de um projeto de biorrefinaria integrada e firmou dois contratos com o Departamento de Defesa para fornecimento de combustíveis à Marinha dos Estados Unidos.

Em 2010, criou uma *joint venture* com a Roquette Feres para desenvolver, produzir e comercializar produtos de nutrição em todo o mundo. Ainda em 2010, firmou um contrato de distribuição com a Sephora Internacional para comercialização de sua marca de cuidados pessoais.

Em 2011, fez a abertura do seu capital na bolsa e firmou uma *joint venture* com a Bunge Limited para desenvolver produtos químicos renováveis no Brasil. A empresa recebeu aproximadamente R\$ 246 milhões do BNDES, pelo PAISS, para o desenvolvimento e a construção da unidade produtiva da *joint venture* Solazyme Bunge Óleos Renováveis. Em 2014, a planta de 100 mil toneladas/ano foi inaugurada, mas ainda sem atingir a capacidade máxima.

Em 2015, a *joint venture* foi expandida para incluir o foco em nutrição humana e animal, o que já era o início de uma reestruturação do foco da empresa. As receitas da estavam bem abaixo dos valores do ano anterior. De acordo com a empresa, o declínio foi devido à queda esperada na receita dos programas financiados e às taxas de adoção mais lentas do que as antecipadas para o lubrificante Encapso. No mesmo ano, a empresa anunciou o encerramento de seus contratos existentes para duas instalações de fabricação nos Estados Unidos, Clinton e Galva, ficando apenas com a planta de Moema, no Brasil, e Peora, nos Estados Unidos.

Em 2016, a empresa divulgou que iria reduzir em mais de 20% o seu corpo de trabalho, com o objetivo de redirecionar o foco da empresa para produtos de maior valor agregado. O redirecionamento ficou claro com a mudança do nome da empresa de Solazyme para TerraVia, com foco exclusivamente em alimentos, nutrição e ingredientes especiais. Em 2017, foi anunciada a aquisição de todos os ativos da TerraVia Holdings pela multinacional Corbion, por US\$ 20 milhões.

As iniciativas acima descritas espelham as principais linhas de desenvolvimento dos novos produtos *biobased*: biocombustíveis avançados com base em resíduos lignocelulósicos, bioplásticos e bioprodutos inovadores a partir de açúcares utilizando biotecnologia avançada. Esses projetos, suas dificuldades e realizações ilustram o processo pioneiro das tecnologias inovadoras baseadas em matérias-primas renováveis, permitem tirar lições preciosas desse pioneirismo e dão ao país uma base de aprendizado para o desenvolvimento da indústria.



2. OS CLUSTERS TECNOLÓGICOS RELEVANTES

2.1 Identificação das tecnologias relevantes

Como em quase todos os setores industriais, tem chamado a atenção da indústria química o acesso às tecnologias digitais – conjunto de novos modos operacionais utilizando dados, *analytics*, tecnologias digitais capacitadoras e plataformas tais como inteligência artificial, realidade aumentada, redes, IoT, produção inteligente e conectada. A julgar pelos inúmeros artigos publicados pelas principais consultorias, McKinsey, Bain, PWC, Accenture, dentre outras, o tema vem sendo crescentemente incorporado nas iniciativas e estratégias das empresas.

Feldman *et al.* (2016), em publicação da McKinsey, expressam com grande ênfase esse interesse, ao identificar como um “tesouro enterrado” os volumes de dados detidos nas indústrias de processos que poderiam se beneficiar dos *analytics* avançados hoje disponíveis.

A percepção é que a indústria química tem se dedicado tardiamente a esses desenvolvimentos, em comparação com outras indústrias. Segundo Netzer (2017), a distância da atuação em relação aos consumidores finais, aliada às questões de segurança próprias da produção, podem explicar a incorporação relativamente tardia das novas tecnologias digitais pela indústria química.

De todo modo, esse processo tem se acelerado e vem ganhando importância estratégica para a maioria das empresas. Cálculos que antecipam o potencial de ganho que essas tecnologias podem proporcionar têm atraído a atenção e muitas empresas estão em pleno processo de transformação digital. Segundo PWC (2016), estima-se um ganho de receita de 3,1% e uma redução de custos da ordem de 4,2% ao ano. Para alcançarem esses resultados, as empresas devem explorar modelos de negócio digitais, soluções inteligentes na cadeia de suprimento e na produção, além de incorporar tecnologias digitais em P&D.

Pode-se propor uma leitura das dinâmicas de adoção dessas novas tecnologias em duas grandes vias¹¹. A primeira está diretamente relacionada aos processos clássicos executados pelas empresas químicas, quaisquer que sejam os seus segmentos de atuação. Essas funções são: P&D, produção e marketing/vendas e processos de gestão. A segunda decorre das mudanças que a digitalização das diversas atividades traz para

11. McKinsey (2017) propõe três caminhos digitais pelos quais a indústria química seria afetada pelas tecnologias digitais. Reformulamos a proposição, adotando apenas dois caminhos. O primeiro deles corresponde a um dos caminhos propostos e o segundo reúne e reformula os dois outros.

os mercados e para a sociedade, gerando, por um lado, implicações para a indústria química, que deve responder a essas mudanças, e por outro, trazendo ameaças e oportunidades de novos modelos de negócio.

Kley *et al.* (2017), associados da McKinsey, sugerem potenciais ganhos para as empresas químicas que conseguirem atingir bons níveis de transformação digital. Na **produção** estão os espaços mais ricos e mais facilmente acessíveis de ganhos, estimados em incrementos de 3 a 5% no retorno das vendas, tanto nos segmentos intensivos em escalas (*commodities* e *pseudo-commodities*) quanto nos de especialidades e química fina, em decorrência da exploração do grande volume de dados gerados e geralmente descartados pelas empresas.

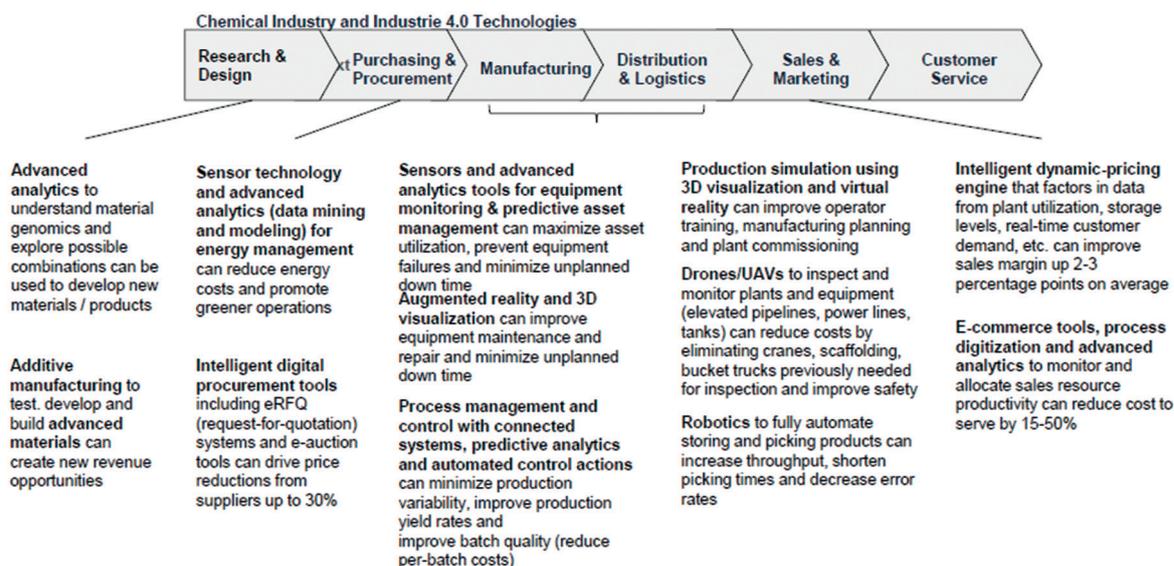
A exploração desses dados pode melhorar os rendimentos das reações, reduzir o consumo de energia e proporcionar formas preditivas de manutenção. Do mesmo modo, processos de gestão, como os ligados à gestão de saúde, segurança e meio ambiente (HSE), poderão ser aprimorados pelo gerenciamento da base de dados.

Na função **marketing/vendas**, o estudo da McKinsey estima ganhos de dois a quatro pontos percentuais no retorno das vendas com a adoção de tomadas de decisão baseadas em dados digitais. Esses ganhos podem ser maiores nas especialidades que são por natureza mais intensivas em serviços. Nesse caso, estimam-se ganhos na faixa de três a cinco pontos. Os ganhos na função vendas decorrem tanto da utilização de decisões baseadas em dados quanto da utilização de plataformas eletrônicas de vendas.

Em **P&D**, o uso de *analytics* avançados e de *machine learning* permite simular experimentos e, a custos baixos, otimizar escolhas. O principal ganho é o menor tempo de pesquisa e desenvolvimento, pela possibilidade de testar, com os modelos matemáticos desenvolvidos, um grande número de dados e reduzir a pesquisa a um número menor de alternativas de interesse. Além disso, a possibilidade de testar um grande número de dados pode sugerir rotas que, nas formas convencionais, nem seriam consideradas.

A Figura 10 ilustra os potenciais ganhos em eficiência operacional proporcionado nos processos industriais pelas tecnologias digitais.

Figura 10 – Novas tecnologias na indústria química



Fonte: IBM (2017).

O segundo grupo de transformações decorre de desafios e oportunidades que a transformação digital dos mercados e da sociedade traz para a indústria. Essas transformações podem ser vistas pelo seu caráter disruptivo de mercados tradicionais e, portanto, como ameaças ou como espaços para exploração de novos modelos de negócio. Logo, são também oportunidades.

Podem-se identificar pelo menos quatro mercados importantes que estão em plena transformação, podendo afetar de forma expressiva a indústria química: mercado automobilístico, de embalagens, produtos para agricultura e plásticos em geral:

- O **mercado automobilístico**, que consome uma quantidade considerável de produtos da indústria, está em grande transformação, não só decorrente das inovações do objeto carro (os elétricos e autônomos podem consumir menos produtos químicos), como também das novas formas de uso compartilhado.
- O crescimento do comércio eletrônico pode transformar as características das **embalagens**, com o declínio dos aspectos decorativos e valorização da função de proteção. Além disso, o desenvolvimento de embalagens inteligentes pode levar à incorporação de novos materiais e nanotecnologias, ao lado de recursos digitais, que podem ainda ter um peso importante na resposta aos desafios de estruturação de modelos de negócio circulares, com o rastreamento e o gerenciamento da destinação final das embalagens.

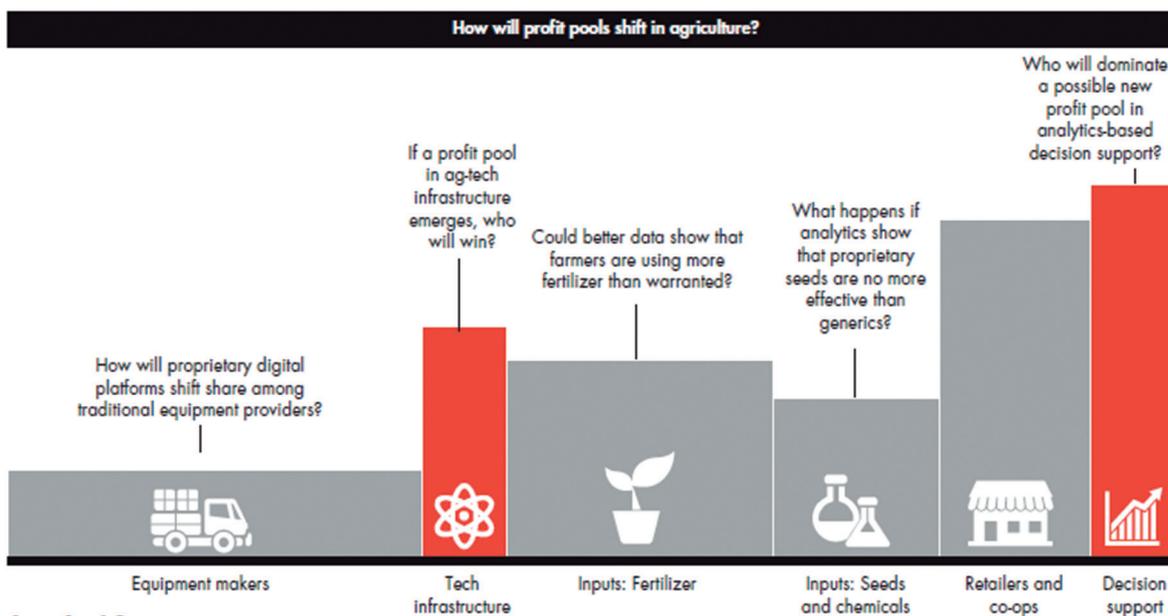
- No campo da **agricultura de precisão**, os desenvolvimentos em curso de equipamentos e serviços para aplicação de fertilizantes e defensivos usando recursos digitais avançados prometem um controle da aplicação de produtos químicos de proteção das culturas e de nutrientes em níveis que reduziriam de forma expressiva o consumo de produtos químicos.
- Além da crescente demanda da sociedade por materiais mais sustentáveis, abrindo oportunidades para os bioplásticos, a emergência de tecnologias como impressão 3D pode trazer transformações disruptivas para a forma atual de organização da cadeia produtiva dos **plásticos**, em sua ligação entre a petroquímica e os utilizadores finais.

Ao lado das ameaças que as transformações desses mercados podem representar – como demanda de menores quantidades de produtos –, existem oportunidades para novos modelos de negócio, os quais podem ser disruptivos e representar a entrada de novos *players* em espaços tradicionais da indústria. Esses efeitos de disrupção tendem a ser menos importantes na petroquímica do que no segmento de especialidades e defensivos. Nesse último caso, a ocupação do espaço por distribuidores ou outros entrantes, *startups* ou não, que desenvolvam os recursos avançados de aplicação e passem a vender um pacote de serviços, é uma possibilidade a ser considerada pelos incumbentes.

Nessa linha abrem-se também oportunidades para inovação em modelos de negócio nos casos em que o produtor conseguir se manter conectado ao produto em uso. Assim, a indústria química encontraria, com as soluções digitais, um objetivo perseguido há quase duas décadas: aumentar o conteúdo de serviços na oferta e, em alguns casos, vender o serviço com base em parâmetros de desempenho, e não mais o produto. Seria, por exemplo, o caso de um catalisador ou de um produto para tratamento de água cujo produtor, ao invés de vender o produto, venda uma performance que ele consiga otimizar por meio de uma conexão permanente com o produto em uso. Os serviços de tratamento de água e utilidades já são fornecidos pela empresa Ecolab/Nalco no formato conectado em tempo real.

Os produtos para a agricultura de precisão também merecem ser destacados pelas grandes transformações que estão em curso e pela relação com as especialidades químicas, no caso, os defensivos. As transformações trazidas para o modo de servir a agricultura são desafios aos modelos de negócio tradicionais, como ilustra a Figura 11.

Figura 11 – Novos modelos de negócio e apropriação de ganhos nos produtos para a agricultura



Fonte: Bain (2017).

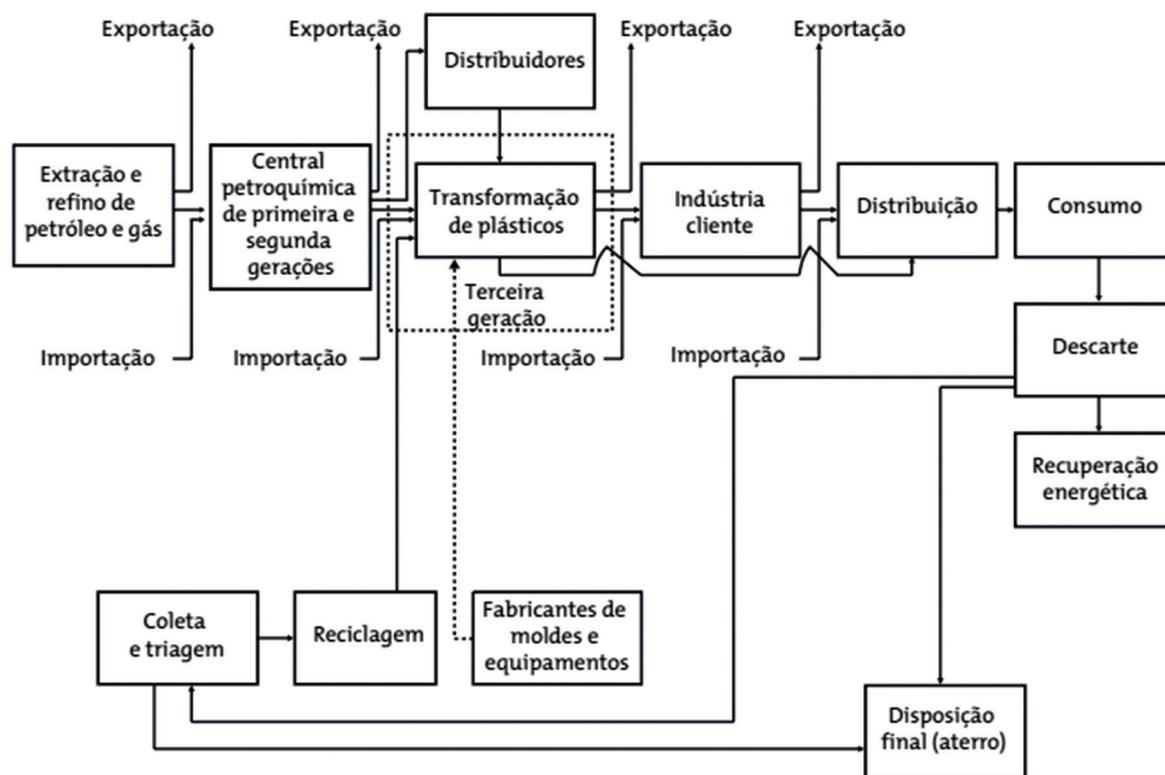
Exploram-se a seguir alguns casos em que a adoção de tecnologias digitais tem transformado ou pode vir a transformar práticas de negócio na indústria química.

- Transformação de plásticos e a impressão 3D.

A indústria de terceira geração, conhecida como indústria de transformação de materiais plásticos, é composta por empresas que utilizam resinas, elastômeros e fibras como matérias-primas e fabricam produtos semiacabados ou acabados de diferentes formatos, cores e finalidades. Podem ser produtoras de bens finais, como utensílios domésticos, que são vendidos pela distribuição aos consumidores finais, ou bens intermediários, como embalagens e peças, que são incorporados ou montados pelos produtores de bens finais.

A Figura 12 ilustra a inserção da indústria de transformação de plásticos na cadeia produtiva da petroquímica e destaca suas relações não só com os produtores de resinas, como também com os produtores de máquinas e equipamentos e moldes.

Figura 12 – Cadeia produtiva da transformação de plásticos



Fonte: BNDES Setorial (2014).

A produção de transformados plásticos no Brasil, com valor de R\$ 1,8 bilhão, é destinada principalmente ao atendimento do mercado interno, exportando apenas 5,9% do total de sua produção. Segundo a ABIPLAST (2016), gera-se, com isso, 313.062 empregos em 11.459 empresas, predominantemente pequenas e micro (94%) – apenas 0,4% das empresas são classificadas como grandes e 5,6% como médias. Esse perfil torna o segmento muito particular na cadeia produtiva, já que os fornecedores de resinas, a montante, e os setores de clientes, a jusante, como o grande comércio e produtores de bens finais como automóveis, alimentos e bebidas, são segmentos em que predominam grandes empresas em estruturas oligopolizadas. A atualização tecnológica da indústria de transformação de plásticos pode ser chave tanto para a boa exploração das propriedades das resinas quanto para a qualidade dos produtos finais nos quais embalagens e peças em plásticos são incorporadas.

O Box 3 ilustra a importância das inovações tecnológicas para a indústria de transformação de plásticos com base em um relato da feira K-2016, em Düsseldorf, na Alemanha.

Box 3 – Inovações tecnológicas para a transformação de plásticos na K-2016

A Feira “K” é a maior *trade fair* para plásticos e borrachas, onde são apresentadas as principais inovações na indústria petroquímica internacional. A última realizada foi em 2016 em Düsseldorf, na Alemanha. O resultado dos expositores da K-2016 mostrou que a exploração das inovações disruptivas abre oportunidades principalmente para a coleta do máximo de dados das máquinas, seu envio à nuvem, sua análise por inteligência artificial e o uso dos resultados para aumentar a precisão e redução de custos das fábricas.

As principais tendências indicam para tecnologias que melhoram o controle e a eficiência por meio de automação e integração dos sistemas. Como exemplo, têm-se sistemas de controle de qualidade, produtividade e custos, integrados ao painel da máquina ou numa sala de controle. A ideia é a evolução das soluções integradas na forma de linhas produtivas de controle único e monitoramento em cada etapa do processo, e equipamentos dotados de autoajuste instantâneo, buscando garantir a qualidade do artefato e com perda zero de resina, tempo e refugo. De forma geral, a tendência é de incorporar diversos processos e funções em um único equipamento.

Do ponto de vista da sustentabilidade, diversas marcas mostraram inovação na reciclagem. Uma delas se refere à utilização de diversos grupos de termoplásticos em um único processo de reciclagem, evitando a etapa de triagem das resinas. O reciclado obtido é indicado para extrusão de perfis ou injeção de tijolos e peças estruturais. Têm-se ainda soluções para a reciclagem de determinados tipos de plásticos pós-consumo, cuja recuperação pelos métodos e equipamentos convencionais é dificultada pelo custo do processamento. De forma geral, a maioria das marcas de equipamento expositoras da K-2016 apresentaram novas tecnologias para baixar o volume de refugo gerado e o consumo de matéria-prima e energia.

Além dos equipamentos e processos, os materiais também tiveram bastante espaço na K-2016, como os termoplásticos para reciclagem, as resinas biodegradáveis, aditivos com carimbo de sustentável e novos aditivos para aprimorar a reciclagem de PVC.

A K-2016 ainda contou com um “Campus da Ciência”, um laboratório que permite aos expositores e visitantes obter uma visão geral das atividades científicas e dos resultados da pesquisa no setor de plásticos e borracha. Pode-se dizer que nessa seção da feira são discutidos os principais temas que definirão a indústria no futuro, como Indústria 4.0, aumento da leveza, eficiência de recursos e novos materiais.

Fonte: *Plástico em Revista*, 2016.

Além disso estão em curso experiências que podem transformar a cadeia de transformados. Segundo o *The Economist* (2017), a Adidas planeja utilizar impressão 3D na fabricação de solas para tênis esportivos em duas de suas novas e altamente automatizadas fábricas, nos Estados Unidos e na Alemanha. Uma das principais vantagens da utilização dessa tecnologia é o encurtamento do tempo entre a produção do *design* e a fabricação, pois o que costuma levar meses pode ser realizado em uma semana. A Adidas planeja produzir, em 2018, 100 mil pares de tênis utilizando a impressão 3D. As perspectivas de utilização de tecnologias similares para a produção de solados de tênis são também exploradas pela Nike numa parceria com a HP.

O processo utilizado pela Adidas, desenvolvido em parceria com a Carbon, é um pouco diferente dos processos convencionais de manufatura de adição. A Carbon utiliza a tecnologia *digital light synthesis*, em que um *software* controla a reação química dentro de um recipiente contendo o polímero que gerará a sola do tênis. Uma imagem em ultravioleta é projetada no recipiente, cujo fundo é transparente, e as camadas do objeto vão sendo construídas. A Carbon defende que esse processo é melhor que o tradicional por dois motivos: primeiro, por ser cerca de 100 vezes mais rápido, e segundo, porque permite uma estrutura de malhas entre as camadas mais resistente e firme, o que reduz a necessidade de processos adicionais.

A tecnologia *digital light synthesis* deve se tornar competitiva com a indústria atual de transformação por injeção por não precisar desenvolver um molde, podendo, com o mesmo equipamento e matéria-prima, gerar diferentes produtos. Apesar da vantagem de produção em escala da tecnologia tradicional de injeção, para setores em que a economia de escopo sobrepõe a economia de escala, a tecnologia 3D tende a prevalecer. Soma-se ainda o fato de a produção por injeção necessitar de uma grande infraestrutura para armazenar os diferentes moldes, enquanto que na impressão 3D todos os projetos podem ser armazenados na nuvem e levados à produção em qualquer unidade da empresa.

Outro exemplo vem da indústria automobilística e sugere a possibilidade de produção de grandes peças automotivas. À medida que a impressão em 3D se torna cada vez mais eficiente e acessível, as empresas estão expandindo os testes de uso em diversos setores e condições. A Ford Motor Company, por exemplo, está pesquisando a possibilidade de peças únicas de grande tamanho, como *spoilers*, serem produzidas por impressão 3D para prototipagem e futuramente para produção em escala (KUNSTSTOFFE, 2017). É a primeira montadora a explorar a impressora Stratasys Infinite Build 3D, capaz de imprimir peças automotivas de praticamente qualquer forma ou comprimento. Esse sistema pode ser um avanço para a fabricação de veículos, proporcionando uma maneira mais eficiente e acessível de criar ferramentas, protótipos de peças e componentes para veículos voltados a nichos de mercado, como os das linhas Ford Performance, bem como peças de automóveis personalizadas.

O novo sistema de impressão 3D está instalado em um Centro de Pesquisa e Inovação da Ford (Dearborn, EUA). A empresa sugere que essa tecnologia ainda não é suficientemente rápida para a fabricação de altos volumes, mas é mais eficiente em termos de custo para produções menores. Além disso, não tendo as restrições dos processos de produção em massa, as peças podem ser projetadas para funcionar de forma mais eficiente.

2.2 Experiência internacional

A discussão sobre a experiência internacional abre-se aqui com a exposição de iniciativas da União Europeia no sentido de promover a difusão das tecnologias digitais entre as empresas do bloco, bem como o crescimento da economia europeia por meio da conquista e da manutenção da posição de liderança de suas empresas frente aos *Clusters Tecnológicos* das tecnologias digitais.

Em 2010, foi lançado o *Europe 2020 Strategy*, uma agenda para o crescimento da indústria manufatureira da Europa com uma ampla gama de objetivos relacionados a emprego, inovação, educação, energia, mudança climática e questões sociais. Um dos sete pilares do *Europe 2020 Strategy* é a agenda digital que propõe explorar melhor o potencial das TIC para promover a inovação e o crescimento econômico. O objetivo principal dessa agenda é desenvolver um mercado único digital para gerar crescimento inteligente, sustentável e inclusivo na Europa. Para isso, a UE está investindo em pesquisa, desenvolvimento e inovação em áreas como robótica, componentes e sistemas para, dentre outros setores, desenvolver o *smart manufacturing*.

A UE possui o Horizon 2020, que conta com £ 80 bilhões de financiamento (além dos que serão atraídos por investimento privado) disponíveis ao longo de sete anos (2014 – 2020). Dentre as seções do programa existe a *Leadership in Enabling and Industrial Technologies*, que foca em áreas de pesquisa e inovação com uma forte dimensão industrial e onde o aprimoramento de novas oportunidades tecnológicas permitirá e impulsionará a inovação. Essa seção abrange nanotecnologia, materiais avançados, manufatura e processamento avançado, biotecnologia, tecnologias de informação e comunicação (nova geração de componentes e sistemas, computação avançada, Internet futuro, tecnologias de conteúdo e gerenciamento de informações, robótica, tecnologias micro e nano-eletrônicas e fotônica) e indústria espacial. A UE permitirá que a indústria participe diretamente na definição e implementação de prioridades de pesquisa e inovação. As três cPPP (*Contractual Public-Private Partnerships*) para essa seção do programa são: eficiência energética em edificação, Fábricas do Futuro e Indústrias de Processo Sustentáveis.

O Conselho Europeu de Indústria Química se posicionou de maneira otimista em relação às propostas do programa Horizon 2020. No entanto, o Conselho publicou um relatório com recomendações para a Comissão Europeia em relação ao melhor desenvolvimento da indústria química europeia. As quatro recomendações apresentadas foram:

- **Manter equilíbrio e apoio consistente para todo o ecossistema de Pesquisa e Inovação:** referente principalmente à introdução de tópicos relacionados a inovações com TRL baixos (3-5), como também projetos em escala piloto e de demonstração.

- **As principais tecnologias de habilitação são facilitadoras fundamentais para a inovação na Europa:** neste ponto, o Conselho destaca quatro das seis “tecnologias habilitadoras chave” como fundamentais para o ganho de competitividade e para a liderança mundial em produção de químicos, sendo elas: materiais avançados, biotecnologia, nanotecnologia e manufatura avançada. Assim, o Conselho Europeu da Indústria Química recomenda uma definição mais acentuada e a adição de planos de implementação com foco em tecnologias habilitadoras chave no atual pilar do Desafio Social do Horizon 2020.
- **A estratégia de propriedade intelectual deve proteger a competitividade industrial:** o Conselho argumenta que a estratégia e a proteção da propriedade intelectual são críticas em todos os projetos de pesquisa e inovação, mas essa proteção se torna significativamente mais importante em projetos de demonstração em larga escala e níveis piloto (TRL > 7). Portanto, projetos pré-competitivos de grande escala de interesse europeu comum devem garantir que os direitos de propriedade intelectual sejam protegidos. A recomendação é uma abordagem diferenciada para a atual copropriedade padrão de resultados de pesquisa desenvolvidos em conjunto, levando em consideração o TRL de projetos, a fim de garantir que o horizonte 2020 permaneça atraente para o setor privado.
- **Aumentar a participação da indústria por meio de instrumentos públicos comuns:** o Conselho acredita que essa combinação de pequenas e médias empresas, parceiros públicos e grandes empresas é fundamental para atravessar o “vale da morte” e essa combinação deve ser direcionada como uma iniciativa comprometida de longo prazo para o Horizonte 2020 e seus sucessores.

Experiência internacional na bioeconomia

Assim como existem hoje mandatos para o uso de biocombustíveis em mais de 60 países, existem políticas do tipo *technology-push* bem estruturadas em diversos países – EUA e Europa são as referências – voltadas para biocombustíveis avançados e bioprodutos. Em alguns casos, como nos EUA, a associação entre biocombustíveis e bioeconomia é explícita. Não existem, entretanto, combinações de políticas que associem para os bioprodutos mecanismos *technology-push* e *demand-pull*. Com exceção do programa americano *Biopreferred*, iniciativas de desenvolvimento de mercados para as inovações são praticamente ausentes. Essas iniciativas têm sido reclamadas em diversas oportunidades (CARUS *et al*, 2014; OECD, 2014).

No que se refere especificamente aos bioprodutos, alguns mecanismos têm sido colocados em prática, principalmente na Europa, nos Estados Unidos e no Japão. Entretanto, na avaliação de Hermann *et al*. (2011), a efetividade da maioria deles para a difusão dos produtos *biobased* ainda não se fez sentir ou é apenas ligeiramente positiva. Existiria, portanto, um espaço de evolução e aprimoramento dos mecanismos regulatórios que poderiam favorecer a difusão dos produtos da bioeconomia.

Na seção anterior, descreveu-se a experiência da União Europeia voltada para as tecnologias disruptivas no âmbito do programa Horizon 2020. Esse programa contempla também uma iniciativa específica para a bioeconomia, denominada *RoadToBio* – um *roadmap* para direcionar a indústria química à bioeconomia. Os objetivos do *Road To Bio* consistem em:

- Determinar o status atual do portfólio de *biobased* da indústria química e como esses produtos podem competir com os de base fóssil.
- Determinar quais serão os novos mercados (ou setores da indústria química), onde tanto as matérias-primas quanto intermediários *biobased* podem desempenhar um papel relevante.
- Avaliar as oportunidades mais atraentes para a indústria química.
- Conectar diferentes empresas químicas (de base fóssil e renovável) para criar suporte dentro do setor e atingir os alvos estabelecidos.
- Conectar a indústria química com organizações governamentais para ajudar a comunicar o papel crítico da indústria química como motor de mudança na bioeconomia (e na economia circular) e para a remoção de obstáculos regulamentares.
- Conectar a indústria química com organizações não governamentais para ajudar a identificar as necessidades da sociedade e mostrar os benefícios de produtos *based* visando a aumentar a confiança e a conscientização pública.

Alguns países têm estratégias nacionais em bioeconomia: EUA, Alemanha, França, Finlândia, África do Sul e Malásia. As definições e o escopo das estratégias são bastante variados. O caso francês merece destaque pelo processo de construção da estratégia nacional que transcorreu entre 2015 e 2016. O documento final foi divulgado no começo de 2017 depois de diversas etapas que envolveram largamente os stakeholders.

Em termos da amplitude dos programas existentes e principalmente dos processos de elaboração, seleção e acompanhamento, os programas do DOE são referências. Existem planos indicativos de curto e médio prazo como o *5y plan*. Problemas identificados são estruturados e organizados em programas de ataque que podem ser encomendas a empresas com metas de desenvolvimento (como foi feito no começo dos anos 2000 com as enzimas de hidrólise enzimática para celulose, visando a reduzir os custos de um gargalo do etanol 2G e dos açúcares de segunda geração), com a formação de projetos na forma de consórcios com o apoio dos laboratórios do próprio DOE como agora no caso da biologia sintética (*Projeto Agile Biofoundry*).

Novamente, há um problema bem estudado, com apoio de pesquisadores e equipes de capacidade tecnológica para definir com clareza como atacá-lo. O programa no caso do *Agile Biofoundry* tem igualmente metas claras: identificar e propor soluções para reduzir em tempo e custo de desenvolvimento a exploração industrial de produtos baseados em biologia sintética¹².

12. Uma ilustração dessa sistemática, para o caso particular dos *grants* para biocombustíveis avançados, é detalhada em Pereira, Bomtempo e Alves (2015).

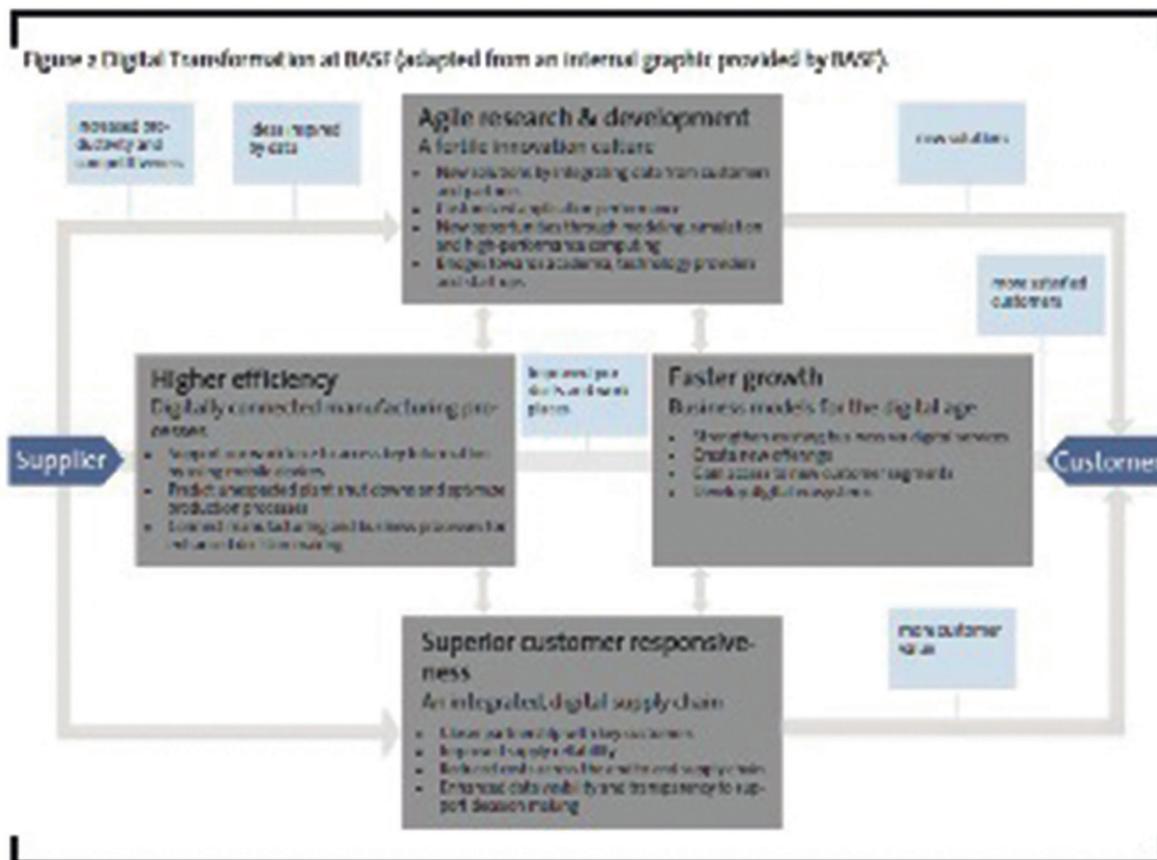
2.2.1 Experiência internacional das empresas químicas líderes

Essa seção dedica-se a apresentar aspectos qualitativos marcantes relacionados às iniciativas de diversas empresas químicas em relação aos *Clusters Tecnológicos* enfocados no Projeto Indústria 2027. Foram selecionadas para avaliação as principais empresas do setor químico em âmbito internacional, com faturamento acima de US\$ 5,5 bilhões em 2016, e algumas empresas de porte menor, mas julgadas de interesse para a observação dos *Clusters Tecnológicos*.

- Basf

A Basf é um dos melhores exemplos da transformação digital em curso. Incorpora fortemente as tecnologias digitais, com os objetivos de agregar mais valor aos seus produtos e serviços e aumentar a eficiência de seus processos. A empresa construiu uma “visão digital” que pode ser resumida na Figura 13 de Frithjof Netzer, *Chief Digital Officer* da empresa.

Figura 13 – Transformação digital na Basf



Fonte: Netzer (2017).

A empresa desenvolveu uma série de projetos de digitalização, que são experimentos que testam, ao mesmo tempo, os princípios tecnológicos envolvidos e os desafios organizacionais para adoção dessas tecnologias. Divide as tecnologias em *Smart Manufacturing* (realidade aumentada, manutenção preditiva, *power plant* 4.0), *Smart Supply Chain*, *Smart Innovations*, *Digital Business Models*.

A empresa sugere dois tipos de projetos principais: a produção inteligente e as inovações inteligentes. Na produção inteligente, apresenta a racionalização do consumo de vapor e a venda de eletricidade excedente, segundo as dinâmicas da produção e do mercado de eletricidade.

Em sua unidade em Ludwigshafen, a Basf necessita de cerca de 20 milhões de toneladas de vapor por ano, gerados pelas plantas industriais e por três plantas de energia. As unidades produzem localmente a maior parte da eletricidade necessária, mas em alguns momentos há excedente de energia, que pode ser vendida para o *grid*. Como o negócio de energia é complexo, com preços que podem flutuar a cada 15 minutos, é importante considerar com precisão a quantidade de vapor e calor residual que as plantas fornecem e as necessidades da operação, variáveis que podem ainda depender da época do ano, do clima e das condições econômicas. Um modelo estatístico, baseado em grande quantidade de dados, foi desenvolvido e agora fornece cálculos mais precisos, levando em conta informações históricas e atualizadas sobre paradas de produção, dados climáticos e índices econômicos. Os resultados têm sido positivos: a previsão de demanda de vapor já melhorou em até 60%. Procedimentos semelhantes, anteriormente aplicados a outras áreas da empresa, serão gradualmente substituídos e aplicados.

A integração de dados e informações com vistas à otimização dos processos também tem sido aplicada entre plantas da Basf espalhadas em diversos *sites* pelo mundo. É o caso, por exemplo, das plantas de acrilatos, cujos parâmetros são acompanhados e comparados *online*.

Já os projetos de inovações inteligentes (*smart innovations*, como denominados pela Basf) ilustram o uso de dados que permitem, por meio de modelos matemáticos, reduzir tempos de desenvolvimento ou obter melhores resultados, que não podem ser alcançados com os métodos convencionais. São três os projetos relatados: pesquisa em catálise, desenvolvimento de tintas automotivas e pesquisa em enzimas.

A empresa também desenvolve projetos de P&D utilizando a nanotecnologia, tanto para o desenvolvimento de novos produtos, quanto para o aperfeiçoamento dos tradicionais. Atualmente a empresa tem dois grandes projetos associados à nanotecnologia: desenvolvimento de formulações de componentes ativos em microencapsulação e estruturas orgânicas metálicas (MOF) – estruturas altamente cristalinas com poros de tamanho nanométrico e áreas de superfície excepcionalmente altas. Apresenta-se como líder global tanto na pesquisa do MOF quanto na sua produção em larga escala.

Também está envolvida no desenvolvimento e na produção de materiais avançados, com a parceria de diversas universidades no mundo. Em conjunto com a Universidade de Harvard, o Massachusetts Institute of Technology (MIT) e a Universidade de Massachusetts, foi realizada uma iniciativa chamada *North American Center for Research on Advanced Materials* (NORA). Já com as universidades europeias foi criado o JONAS Research Network (*Joint Research Network on Advanced Materials and Systems*), em conjunto com a Universidade de Estrasburgo, Universidade de Freiburg e o ETH Zurich. Um dos produtos recém-desenvolvidos foi o painel de isolamento de alto desempenho Slentex, baseado em aerogel inorgânico, que permite um isolamento térmico fino e altamente eficiente.

No campo da biotecnologia, tanto a verde, associada à agroindústria e à indústria de alimentos, quanto à branca, relacionada a processos industriais, são exploradas pela empresa. A Basf possui também um projeto de pesquisa voltado para o armazenamento de energia, uma parceria com a Bse Engineering, por meio da qual a Basf fornecerá catalisadores específicos para um novo processo de armazenamento de energia química, que permitirá uma transformação economicamente viável de dióxido de carbono para metanol em unidades de produção de pequena escala.

Nas pesquisas em catalisadores, a Basf implementa testes rápidos com base em modelos e experimentos matemáticos. O resultado obtido é uma visão muito mais simples das conexões complexas envolvidas na pesquisa, o que permite aos pesquisadores testar hipóteses muito mais cedo e de uma maneira muito mais direcionada, aproveitando melhor as oportunidades de inovação e reduzindo o tempo de desenvolvimento.

No caso das tintas automotivas, a empresa usa dados em tempo real da linha de pintura para ajustar a cor de forma ideal, de acordo com as necessidades do cliente, garantindo que o veículo seja pintado exatamente na cor certa e que os ajustes necessários sejam feitos em um curto período de tempo.

À semelhança das pesquisas em catalisadores, a Basf produziu um grande banco de dados em que combinou suas próprias informações e informações externas. Explorando modelos matemáticos, os pesquisadores podem identificar rapidamente os candidatos mais promissores para serem desenvolvidos.

Todas essas experiências e iniciativas estão relacionadas à busca de eficiência para processos e tarefas já tradicionais na empresa. Outra iniciativa, em desenvolvimento, caracteriza-se como um novo negócio de base digital. Trata-se da plataforma *online* OASE Connect, voltada para apoiar os clientes em tratamento de gases, que se encontra em fase de teste. Com a ajuda da plataforma, a Basf oferece aos clientes acesso em tempo real a informações importantes para condução de suas operações, como a definição de configurações e o ajuste de parâmetros.

Desenvolvimentos semelhantes foram relatados no atendimento aos agricultores. Informações sobre condições meteorológicas e de desenvolvimento das plantas são transmitidas à Basf, que orienta e recomenda as medidas a serem tomadas pelos clientes.

- Dow

Não divulga abertamente seu envolvimento com a Indústria 4.0. Em relação às tecnologias digitais, poucas são as referências disponibilizadas pela empresa sobre o seu esforço no sentido de não apenas utilizá-las, mas incluí-las em sua estratégia. É possível perceber no *site* da empresa alguns sinais de que as tecnologias são utilizadas, como a menção ao prêmio em Liderança em Manufatura. Em 2015, a empresa foi vencedora em três categorias: *Operational Excellence Leadership*, *Big Data and Advanced Analytics Leadership*, e *Next Generation Leadership*.

Em relação a materiais avançados, teve uma forte participação entre 2009-2010, possuindo inclusive uma divisão específica para essa linha. Atualmente, já com a DowDuPont, possui a DowDuPont Materials Science Division's, que, como descrito pela empresa, "é uma divisão de negócios da DowDuPont (NYSE: DWDP) que combina conhecimento de ciência e tecnologia para desenvolver soluções de ciência de materiais de primeira linha que são essenciais para o progresso humano".

Em relação à nanotecnologia, tem alguns investimentos em parcerias, como o *Nanotechnology Center of Composites* (NCC), junto com outros dois parceiros.

Em relação à biotecnologia, os investimentos são relacionados à área de alimentos e agricultura, com foco em biotecnologia verde.

Sua relação com as tecnologias de armazenamento de energia está ligada ao desenvolvimento de novos materiais para baterias, como o esforço em melhorar o desempenho das baterias de íon-lítio e reduzir os custos de fabricação.

- Ineos

Multinacional inglesa, criada em 2010, que vem crescendo rapidamente por aquisições de outras empresas. Não divulga a utilização de tecnologias digitais. O que apresenta como fábrica do futuro inclui indicadores relacionados com sustentabilidade, do ponto de vista ambiental, mas não é identificada a forma pela qual a empresa pretende atingir melhorias de eficiência. Nenhum dos outros *Clusters Tecnológicos* está aparente nos objetivos da Ineos.

- DuPont

Seus dois grandes segmentos são: biotecnologia industrial (biocombustíveis avançados, biomateriais, biotecnologia industrial, enzimas industriais e outros bioativos) e materiais

de alta performance (materiais de construção, materiais de *display* e *lighting*, eletrônicos e elétricos, filmes industriais, materiais para a indústria de bens esportivos, soluções e materiais para embalagens, impressão de embalagens e materiais fotovoltaicos). Por meio dos desenvolvimentos em novos materiais, também têm soluções para o armazenamento de energia.

Outro *Cluster* Tecnológico que está no seu radar é a nanotecnologia. De acordo com a empresa, “o estudo de materiais em escala nano é uma extensão natural do conhecimento básico de ciências dos materiais”. Como parte da inserção nesse campo, estabeleceu um processo interno para a gestão de nanomateriais, incluindo uma equipe de políticas fundamentais e uma de assessoria em saúde e segurança ambiental, orientação escrita sobre práticas e um processo de administração obrigatório para produtos que contenham novos nanomateriais.

Pouco é anunciado sobre inteligência artificial. Alguns indicadores são percebidos, como no evento em que a DuPont foi anfitriã, em 17 de outubro de 2017, que teve como um dos temas Inteligência Artificial e *Big Data*.

Em relação às outras tecnologias digitais, seu posicionamento é mais voltado para habilitar essas tecnologias do que para utilizá-las em suas unidades. Um exemplo é o desenvolvimento em fibras ópticas e materiais eletrônicos.

- Air Liquide

Está envolvida com alguns dos *Clusters* Tecnológicos como oportunidades de novos mercados, como é o caso do fornecimento de gases específicos para manufatura aditiva, para a produção de eletrônicos de alta performance e para materiais avançados.

Também está envolvida indiretamente com a nanotecnologia, por meio do fornecimento de gases para a produção de transistores em escala nanométrica.

Além das oportunidades de mercado, insere algumas tecnologias digitais em suas operações, o que é chamado pela empresa de *Smart Innovative Operations*. Não deixa explícitos os tipos de tecnologias utilizados, mas garante que elas permitem “otimizar a manutenção do equipamento, antecipar incidentes e facilitar a tomada de decisões para melhorar o fornecimento de gases industriais aos nossos clientes”. A empresa anuncia claramente a “transformação digital” pela qual está passando, explicitando a troca de informações entre as unidades produtivas espalhadas pelo mundo para fins de otimização e melhor atendimento ao consumidor.

Em relação ao armazenamento de energia, tem bastante experiência em produção, armazenamento e produção de hidrogênio.

- Braskem

Expõe em seu *site* a nova tendência relacionada com a transformação pelas tecnologias digitais. É destacada a impressão 3D, Internet das Coisas, *Big Data*, dentre outras tecnologias digitais. No entanto, não fica explícito como e se já faz uso dessas tecnologias em suas unidades e operações. No caso da impressão 3D, o plástico verde da Braskem já foi utilizado em algumas ocasiões, como na Estação Espacial Internacional.

Para a nanotecnologia, iniciou em 2010, em conjunto com a Embrapa, uma iniciativa com o objetivo de apoiar financeiramente projetos de pesquisa cooperativos a serem estabelecidos em parcerias com instituições de ensino superior e de pesquisa, públicas ou privadas, do estado de São Paulo, com o objetivo de identificar nanofibras de celulose e diferentes fontes vegetais mais produtivas, com melhor desempenho e de fontes renováveis, para uso na indústria.

Em 2014, começou-se a investir em pesquisas de embalagens plásticas com a utilização de nanotecnologia. Por meio de um acordo firmado com a Agência Brasileira de Inovação (Financiadora de Estudos e Projeto – Finep), o projeto será destinado ao desenvolvimento de resinas plásticas com alta barreira a gases, vapores e solventes químicos, para serem utilizadas na produção de embalagens rígidas e flexíveis.

Por meio da Braskem Labs, novas empresas são impulsionadas a desenvolverem suas tecnologias. Uma delas é a Nanovetores, especializada no uso de nanotecnologia para encapsular ativos cosméticos de alta performance.

Conta ainda com o Laboratório de Tecnologias Renováveis, um centro de pesquisa voltado ao desenvolvimento de projetos relacionados à biotecnologia e a processos químicos a partir de matéria-prima renovável. Em 2016, apresentou dois projetos baseados em biotecnologia. Ao lado da norte-americana Amyris e da francesa Michelin, desenvolve tecnologia voltada à produção do isopreno de fonte renovável, insumo químico utilizado pela indústria de pneus, dentre outras borrachas. As três companhias trabalharão juntas para desenvolver um processo biotecnológico de conversão de açúcares oriundos da cana-de-açúcar em isopreno verde.

Em união com a Genomatica, empresa norte-americana de biotecnologia, anunciou, em 2015, a produção de butadieno em escala de laboratório por meio de processo de fermentação direta de açúcares. O material é usado na fabricação de borracha para pneus, com aplicações também em aparelhos elétricos, calçados, plásticos, asfalto, materiais de construção e látex.

- Evonik

Em 2016, reestruturou seu portfólio de inovação para dar foco a seis principais áreas em crescimento: nutrição sustentável, soluções de saúde, ingredientes avançados

para alimentos, membranas, soluções cosméticas e materiais inteligentes. Essa última se refere ao desenvolvimento de produtos e tecnologias para manufatura aditiva, aplicações eletrônicas e sistemas de isolamento térmico.

Tem experiência e investe em P&D para desenvolvimento de novos e avançados materiais, atuando tanto na área de materiais avançados quanto na de impressão 3D (como mercado).

A empresa anuncia que utiliza a nanotecnologia em seus produtos. Um exemplo é a utilização das propriedades da sílica para fortalecer os elastômeros, produzir um melhor papel de jato de tinta e regular as propriedades de fluxo de corantes.

Já teve algumas participações no desenvolvimento de sistemas de armazenamento para baterias, como em 2013, quando anunciou um sistema lítio-eletricidade para atuar numa usina elétrica na Alemanha.

A biotecnologia também é considerada uma tecnologia-chave para o desenvolvimento das áreas em crescimento, nas quais a empresa tem focado. Foi a primeira empresa química a se juntar ao Industrial Internet Consortium® (IIC) – organização global, pública e privada, formada para acelerar a adoção e a capacitação da Internet Industrial das Coisas (IIoT). Como membro, tem acesso a uma rede de parceiros que desenvolvem tecnologias completamente novas para a Internet industrial. A empresa investiu € 100 milhões em sua área de digitalização e também está entrando em uma parceria estratégica com a IBM e a Universidade de Duisburg-Essen, com o objetivo de avançar com as mudanças digitais na indústria química.

- Ecolab

Tem um forte compromisso com a divulgação e o monitoramento para seus consumidores sobre a forma como a empresa trata e principalmente economiza água. Nesse sentido, tem uma parceria com a Microsoft para a utilização de *cloud computing*, *big data* e outras tecnologias para monitorar unidades de todo o mundo sobre o quanto elas estão reduzindo de água, emissões, energia e resíduos. Também utiliza a nanotecnologia para um dos seus processos de recuperação aprimorada de petróleo, chamado *Brightwater*.

- Bayer

Além da atuação no mercado farmacêutico, Bayer tem atuação na indústria química, principalmente pela divisão *Crop Science*, dividido nos segmentos: sementes de alto valor, soluções químicas e biológicas de gestão de pragas e serviço referente à agricultura moderna e sustentável.

A biotecnologia avançada é amplamente utilizada, não só nos seus produtos farmacêuticos como para atender o agronegócio. Um exemplo é a utilização de engenharia genética para o desenvolvimento de plantas mais tolerantes a herbicidas.

Em relação às tecnologias digitais, possui a chamada *digital farming*, que inclui produtos e serviços digitais que ajudam a analisar as condições no campo e fornecem informações georeferenciadas que permitem uma melhor tomada de decisão.

Coloca-se numa posição de análise e estudo para identificar oportunidades associadas que possam surgir da nanotecnologia. Na questão de materiais avançados, o que antes era a unidade de ciências de materiais hoje é uma empresa chamada Covestro, que trabalha diretamente com novos materiais, inclusive para atender o que a empresa chamou de “revolução industrial”, isto é, evolução das tecnologias digitais.

- DSM

DSM é uma empresa química de destaque que vem, nos últimos dez anos, transformando fortemente seu portfólio, saindo dos segmentos tradicionais de *commodities* e incorporando a biotecnologia e a ciência de materiais como centro de seu desenvolvimento. Seus segmentos de negócio são hoje materiais de performance e nutrição. Na área de biotecnologia, a produção de enzimas para a fabricação de etanol de segunda geração é destacada, assim como outras pesquisas, nas áreas de saúde e nutrição. Para as tecnologias digitais, nanotecnologia e armazenamento de energia, a empresa não apresenta propostas nem cita utilizações.

- Clariant

Tem entrado na área de biotecnologia para a produção de enzimas e micro-organismos capazes de digerir materiais lignocelulósicos. Em sua área de “novos negócios”, está licenciando o processo SunLiquid para a produção de etanol celulósico. A nanotecnologia e as tecnologias digitais não foram destacadas pela empresa. A empresa fornece aditivos para a produção de vários materiais, mas não foram encontradas aplicações voltadas para materiais avançados. A utilização de redes e de IoT tem sido apresentada como inovação na venda de especialidades químicas.

Merece destaque o sistema Veritrax, desenvolvido pela Clariant, que, utilizando sensores, controladores e conectores, expande o fornecimento de especialidades para a indústria de óleo e gás, além da entrega física dos produtos. O sistema é uma mudança na forma de entrega do produto aos clientes, já que possibilita o monitoramento *online* não só de parâmetros como estoque disponível, mas também de desempenho. Além de propiciar um efetivo atendimento *just in time*, a identificação de problemas na utilização dos produtos nas plataformas pode ser antecipada e atendida em menor tempo.

A empresa defende que essa forma conectada de atendimento representa uma oferta de solução tecnológica para a indústria de óleo e gás capaz de ajustar os desafios da empresa química e as necessidades dos produtores (engenharia de exploração, logística associada ao gás no caso do pré-sal, volatilidade dos preços do petróleo e gás, exigências do protocolo *subsea*, gestão operacional e de dados de produção, gestão de ordens de compra, atendimento de modo a manter taxas elevadas de produção em alto padrão HSE e ao menor custo possível).

- Monsanto

Tem um forte foco de inovação voltado para biotecnologia, principalmente no que diz respeito à modificação genética de novas plantas. Outra área de inovação é a *Data Science*, uma utilização das tecnologias digitais para auxiliar processos agrícolas e desenvolver ferramentas para agricultura de precisão.

A Tabela 2 a seguir apresenta uma visão geral das empresas em relação aos *Clusters* Tecnológicos e as estratégias explícitas relacionadas. São identificados os *Clusters* nos quais cada empresa declara atuar e a explicitação ou não da atuação na estratégia da empresa.

Tabela 2 – Estratégias em relação aos Clusters Tecnológicos – empresas químicas selecionadas

Empresa	País/Sede	Vendas (US\$) e nº de funcionários	Clusters Tecnológicos	Inserir em sua estratégia?	Tecnologias digitais	Nanotecnologia	Materiais avançados	Armazenamento de energia	Biotecnologia
Basf	Alemanha	\$ 60 bilhões. 112.000 funcionários.	Incorpora fortemente as tecnologias digitais em sua estratégia.	Sim.	Explora de forma intensiva.	Sim.	Sim.	Sim.	Sim.
Dow	EUA	\$ 48 bilhões. 54.000 funcionários.	Materiais avançados e biotecnologia.	O uso das tecnologias é para atender objetivos de sustentabilidade. É uma inserção indireta.	Sim, anuncia pouco.	Sim.	Sim.	Sim – com novos materiais para baterias.	Sim. Alimentos e agricultura.
Bayer	Alemanha	\$ 46,7 bilhões – só setor químico \$ 10 bilhões. 115.000 de funcionários.	Principalmente biotecnologia (verde e vermelha)	Sim, a biotecnologia.	Sim.	Sim, pouco.	<i>Spin-off</i> como Covestro.	Não.	Sim.
INEOS	Reino Unido	\$ 33 bilhões. 17.000 funcionários.	Não evidenciado.	Não.	Não anuncia.	Não.	Não.	Não.	Não.
DuPont	EUA	\$ 25 bilhões. 52.000 funcionários.	Materiais avançados e biotecnologia avançada.	Sim.	Não anuncia a utilização.	Sim.	Sim.	Sim.	Sim.
Air Liquide	França	\$ 19 bilhões. 68.000 funcionários.	Tecnologias digitais.	Sim.	Sim, uso interno e em relações externas.	Sim, indiretamente.	Sim, indiretamente.	Sim.	Não.

Empresa	País/Sede	Vendas (US\$) e n° de funcionários	Clusters Tecnológicos	Inserir em sua estratégia?	Tecnologias digitais	Nanotecnologia	Materiais avançados	Armazenamento de energia	Biotecnologia
Braskem	Brasil	\$ 17 bilhões. 8.000 funcionários.	Biotecnologia (branca), nanotecnologia e impressão 3D.	Sim, com a biotecnologia e a nanotecnologia.	Reconhece, mas não deixa clara a utilização.	Sim.	Não.	Não.	Sim.
Evonik	Alemanha	\$ 13 bilhões. 33.412 funcionários.	Tecnologias digitais, materiais avançados, nanotecnologia e impressão 3D.	Sim.	Sim, em todas, inclusive 3D.	Sim.	Sim.	Sim, anuncia pouco.	Sim.
Ecolab	EUA	\$ 13 bilhões. 47.000 funcionários.	Tecnologias digitais e nanotecnologia.	Sim.	Sim.	Sim.	Não.	Não.	Não.
DSM	Holanda	\$ 8 bilhões.	Biotecnologia e materiais avançados.	Sim.	Não.	Não.	Sim.	Não.	Sim.
Clariant	Suíça	\$ 6 bilhões. 17.000 funcionários.	Biotecnologia (branca) e IoT.	Muito pouco, com a biotecnologia.	Sim.	Não.	Não.	Não.	Sim.
Monsanto	EUA	\$ 13,5 bilhões.	Biotecnologia (verde).	Sim.	Sim, voltado para agricultura de precisão.	Não.	Não.	Não.	Sim.

Fonte: Elaboração própria, com base em dados dos *websites* das empresas.

Diante desse quadro, a primeira constatação é a de que as **tecnologias disruptivas** estão de modo geral no radar das empresas químicas. Porém, nessas empresas, as tecnologias digitais estão menos presentes do que as demais (materiais avançados, nanotecnologia, biotecnologia e armazenamento de energia), em decorrência da natureza dessas tecnologias.

O segundo grupo reúne tecnologias com história de desenvolvimento pela própria indústria ou com incorporação natural aos programas de P&D e aos negócios das empresas. Seriam, retomando o *framework*, tecnologias que gerariam eventualmente novos produtos, que seriam comercializados por meio dos modelos de negócio estabelecidos. A biotecnologia industrial é uma exceção a essa perspectiva, pois seu desenvolvimento está relacionado a oportunidades em novas matérias-primas, produtos e modelos de negócio em bioeconomia, mas a incorporação de projetos de pesquisa em biotecnologia industrial vem sendo feita pela maioria das empresas químicas de grande porte.

Já em relação ao grupo de tecnologias digitais, uma diferença fundamental é a natureza externa desse desenvolvimento em relação às competências das empresas, além de seu caráter sistêmico em relação aos setores industriais. As empresas químicas podem se ver de certa forma, retomando a tipologia clássica de Pavitt (1984), “dominadas pelos fornecedores”, o que leva a um complexo processo de adoção. Elas devem estar atentas para escapar dos problemas dessa trajetória tecnológica e, principalmente, explorar seu potencial específico para a indústria, e mesmo identificar ameaças e oportunidades para seus modelos de negócio.

Finalmente, dois pontos devem ser destacados no processo de adoção das novas TIC pela indústria química: a observação de uma escala de maturidade no processo de adoção e os aspectos organizacionais envolvidos. Como ilustrado no caso Basf, a transformação digital se faz seguindo etapas que vão proporcionando uma evolução da maturidade digital da empresa. A Figura 14 apresenta uma descrição dessas etapas.

Figura 14 – Escala de maturidade na transformação digital

Level of Maturity	Maturity Level Description
Leading	A company which is generally considered to be best in class in their execution of utilizing Industrie 4.0 as the key business strategies. This company uses a combination of information supplied from its entire value chain, from suppliers to production to end-customers. It leverages lessons learned from customers and business intelligence to achieve mass production of tailor made products. Key predictive performance indicators are used, all readily available information sources are used to support prompt enterprise wide decision making and actions.
Optimizing	Differentiating themselves from the competition through utilization of the smart sensors and leveraging field information through predictive models and analytics. This company uses Industrie 4.0 regularly in its manufacturing and process and has started the transformation from a Manufacturing based company to a Cyber Physical company. Management has the ability to adapt to changes to the business to a degree and measure business performance. Operations have data visibility and use predictive analytics on a daily basis.
Developing	Significantly investing in automation and revamp of existing instrumentation layers, including advanced operational systems. Could be leveraging the information with advanced process control and other information management systems. It is also the starting point for establishing some consistency in key business metrics across the enterprise. Starting to begin the journey towards Big Data Analytics.
Practicing	Typically a company that has attempted an Industrie 4.0 solution. Particularly in some large manufacturing complexes, there would be areas which are well instrumented and controlled as opposed to some other process units. Or the company has solved one particular issue by using a "Velcro" solution to solve a particular manufacturing or data connection problem. Data gathering is still mostly manual and Information is not consistently available or utilized to make enterprise wide business decisions.
Aware	A company which has heard of the Industrie 4.0 Concept but is not prepared to invest in instrumentation and connectivity. A low level PLC or SCADA would constitute as a significant investment or a change. The company is often setup in vertical solutions with no external forces affecting it.

Fonte: IBM (2017).

A escala sugere que o ponto de partida (*Aware*) é o reconhecimento da existência do conceito e de sua importância para o futuro da empresa. Alguns esforços iniciais podem então ser desenvolvidos na etapa *Practicing*. Esses casos aproveitam unidades já bem instrumentadas com sistemas avançados de controle e gestão. São as chamadas "soluções velcro". As duas etapas podem durar menos de um ano e permitem a entrada numa etapa em que a criação de *big data* se estabelece numa camada de instrumentação mais avançada. É o *Developing*, que seria efetivamente o início do processo de incorporação pela empresa de um processo de *big data analytics*.

Essa etapa gera *cases* que podem servir para a difusão pela empresa. A etapa seguinte seria de otimização do sistema, na qual a análise preditiva já ocorre e as máquinas já estão virtualizadas. Na quinta etapa, a empresa completa o processo e integra as diversas fontes de dados, alcançando uma posição nivelada aos líderes.

O segundo aspecto-chave no processo de transformação digital é a sua dimensão organizacional. As empresas têm, de forma crescente, atribuído a um executivo em posição elevada o papel de liderança da transformação. Pesquisas com as 2.500 maiores empresas do mundo mostram que, em média, 19% contam com um Chief Digital Officer (CDO), variando de percentuais próximos a 30% (seguros, comunicações, entretenimento e mídia, bancos, produtos de consumos e varejos), nos casos mais elevados, até bem abaixo de 10% (mineração, óleo e gás). No caso das empresas químicas, farmacêuticas e saúde, 19% do universo pesquisado indicaram CDO para liderar o processo de transformação digital. Esse número corresponde ao percentual médio das diversas indústrias pesquisadas (PELADEAU, HERZOG e ACKER, 2017).

Essa abordagem estratégica do processo de digitalização é destacada por Stoffels e Ziemer (2017), que consideram a conectividade como uma ruptura com as trajetórias estabelecidas de inovação. Nessa mesma linha, Weill e Woerner (2015) consideram que a visão da digitalização deve ultrapassar a atual cadeia de valor e considerar o novo ecossistema que se forma com a conectividade. Um aspecto adicional, comentado por Sobel (2017) e confirmado nas entrevistas, é o reconhecimento de que a reunião ampla dos dados e sua exploração na identificação de problemas e oportunidades de otimização expõem as formas convencionais de funcionamento. Gera-se um nível de transparência que pode levar a uma efetiva mudança organizacional.

Em suma, duas trajetórias podem ser identificadas:

- A primeira é a **trajetória de adaptação com inovações incrementais**. Essa está centrada na eficiência da operação e dos processos de gestão e tende a ser a dominante nos setores de *commodities* como a petroquímica. Envolve ganhos incrementais de eficiência, e nela existe pouco espaço para mudanças de estrutura de mercado. Pode-se dizer que, nesse caso, a adoção das tecnologias passaria a ser um requisito da competição, levando a uma paridade competitiva, com pouco espaço para diferenciação e criação de vantagens competitivas. Essas vantagens, se existirem, não tenderiam a ser sustentáveis, em decorrência do alinhamento estratégico dos competidores.
- A segunda trajetória é a de **transformação com inovações incrementais, com potencial radical de transformação dos modelos de negócio**. Essa trajetória decorre da disrupção de mercados e indústrias pela digitalização crescente do mundo e tende a ser mais presente no segmento de especialidades. Como elas se caracterizam pela capacidade que os fornecedores detêm de compreender as aplicações dos seus produtos e de oferecer esse conhecimento como parte-chave da oferta, as novas tecnologias podem levar a um nível sem precedentes de domínio pelos fornecedores do conhecimento envolvido na utilização das especialidades pelos seus clientes.

Em termos práticos, isso significa que a dimensão serviços, inerente aos fornecedores de especialidades, pode ser extrapolada a níveis bem mais intensos. Pode-se abrir, em alguns casos, espaços para passar a fornecer não mais as moléculas, mas o próprio serviço que será remunerado com base no desempenho atingido. Por exemplo, casos pioneiros de servitização na venda de catalisadores já são relatados.

Essa mudança de modelos de negócio, que pode fazer parte de uma estratégia das empresas químicas no processo de transformação digital, pode também ser vista como uma ameaça de entrada de novos competidores. Trata-se, em primeiro lugar, de reunir e integrar dados e de ser capaz de orquestrar a exploração dos mesmos. Nesse processo, a entrada de *players* que não participam das cadeias de valor tradicionais, mas que conseguem se antecipar na nova proposição de valor e estruturação do novo modelo de negócio, é uma ameaça para os incumbentes.

2.2.2 Experiência internacional das empresas na bioeconomia¹³

Os setores de biocombustíveis avançados e bioprodutos derivados de matérias-primas renováveis devem ser analisados como setores emergentes, ainda sem estrutura industrial definida. Sua dinâmica de competição e inovação segue, portanto, a lógica das indústrias emergentes. Para justificar essa condição de indefinição estrutural, algumas características econômicas podem ser destacadas:

- Grande número de projetos inovadores em competição, propondo soluções diferentes em resposta às oportunidades identificadas.
- Incorporação de novas bases de conhecimento, em particular a biotecnologia avançada e a biologia sintética.
- Surgimento de numerosas *startups*, apoiadas por *grants* e políticas de inovação e por volumes expressivos de recursos de *venture capital*.
- Participação de empresas estabelecidas de diversas indústrias, além dos *players* da própria indústria química.
- Envolvimento de um processo de transição de matéria-prima, o que gera incertezas e leva a transformações de fundo na indústria.

Incluindo biocombustíveis e bioprodutos, a consulta a serviços especializados como Biofuels Digest (www.biofuelsdigest.com) permite identificar cerca de 150 empresas diferentes desenvolvendo projetos inovadores, muitos em estágio piloto ou de demonstração. Há soluções propostas para um grande número de produtos que, se viabilizados comercialmente, trariam alternativas de substituição de um amplo espectro de produtos da indústria de base fóssil. Entretanto, a viabilidade efetiva e o sucesso comercial de muitos desses projetos ainda são incertos. Trata-se de um processo voltado para a geração de variedades que, na dinâmica da inovação, serão selecionadas ao longo do tempo e contribuirão para a construção da indústria do futuro baseada em biomassa.

Os projetos em desenvolvimento voltam-se para a busca de melhores produtos, processos e matérias-primas (de preços mais baixos e estáveis, de fácil disponibilidade e ambientalmente sustentáveis) para a produção de biocombustíveis e de bioprodutos, que possam se apresentar como alternativas aos de base fóssil. Seguindo a denominação de Abernathy e Utterback (1978), a quantidade e a diversidade das alternativas propostas sugerem que a tecnologia está na fase fluida. Encontram-se ainda em definição processos e produtos que vão ocupar parcelas expressivas de mercado. Por isso, as decisões na indústria se fazem ainda com elevado grau de incerteza.

A variedade do perfil das empresas é notável. Entre aquelas envolvidas nos projetos inovadores, destaca-se a presença de numerosas *startups* de base tecnológica, em geral saídas de universidades, financiadas nas fases iniciais de desenvolvimento

13. Essa seção retoma e atualiza a discussão apresentada em Panorama Econômico Setorial (Bomtempo, 2013), elaborado para o projeto ATS, Agendas Tecnológicas Setoriais. O documento está disponível em www.abdi.org.br.

por *grants* de agências públicas e por recursos de *venture capital*. A presença de *startups* e o interesse do *venture capital* reforçam o caráter emergente do setor e a sua indefinição estrutural. A entrada das *startups* no setor *biobased* apoia-se no seu conhecimento tecnológico de base: empresas de biotecnologia com experiência em outras indústrias, como a médico-farmacêutica, ou criadas diretamente para atuar na bioeconomia, ao lado de *startups* com bases de conhecimento em química e engenharia química.

Um grupo expressivo de participantes é formado pelas empresas da indústria química. Identificam-se empresas cujo processo de transformação da base produtiva já incorpora em boa medida a biotecnologia e as matérias-primas renováveis como foco estratégico (DuPont e DSM), ao lado de empresas identificadas com a indústria química/petroquímica (Braskem, Dow, Basf, Solvay, Evonik). O setor tem atraído, ainda, empresas identificadas com ingredientes para a indústria de alimentos (Corbion, Roquette, Tate e Lyle) e empresas do agronegócio (ADM, Bunge, Cargill).

Devem ser mencionadas também as empresas de petróleo e gás, que, voltadas principalmente para os biocombustíveis, têm construído negócios importantes no processamento industrial de biomassa, em associação com *startups* ou com empresas químicas. É o caso da Shell, Total, Neste Oil e BP. A Petrobras tem uma divisão dedicada aos biocombustíveis, mas não é claro qual será seu papel nessa área de negócios no futuro.

As empresas da indústria de papel e celulose (Stora Enso, UPM, Borregaard, Fibria, Suzano) também têm crescentemente se interessado pela diversificação de seu *core business* com base no expressivo *know-how* que acumulam no cultivo, no tratamento e no processamento de recursos florestais.

Esse grupo variado de empresas – de uma pequena *startup* de base tecnológica a uma gigante do agronegócio – representa um portfólio de competências complementares, que devem ser combinadas no processo de estruturação do setor. Além das características econômicas mencionadas, uma quinta dimensão completa o quadro de um setor em estruturação: a transição de matéria-prima. Em transições anteriores – o surgimento do carvão e a passagem para o petróleo/gás –, o processo de adoção da matéria-prima representou também mudanças estruturais importantes.

As características econômicas discutidas nessa seção trazem evidências de que os setores da bioeconomia devem ser vistos como emergentes. A competição nessas condições se dá pela inovação e pela capacidade dos inovadores em atuarem para moldar a estrutura do setor. Esse processo pode ser entendido como o resultado da interação de quatro dimensões: matérias-primas, tecnologias, produtos e estratégias e modelos de negócio. Esses espaços de estruturação, discutidos a seguir, são importantes para compreender a formação da oferta do setor.

2.2.2.1 Espaços de estruturação da indústria: matérias-primas, tecnologias, produtos e estratégias

A estruturação da oferta do setor depende da dinâmica de inovação em: matérias-primas, tecnologias de tratamento e conversão das matérias-primas, produtos e modelos de negócio e estratégias, conforme ilustrado na Figura 1. Esses espaços de estruturação em coevolução estão inseridos no macroambiente que corresponde a um conjunto de variáveis denominado paisagem sociotécnica. Fazem parte desse conjunto as políticas, as regulações, as tendências e os comportamentos da sociedade, variáveis de evolução mais lenta que orientam o desenvolvimento da indústria.

Discutem-se a seguir as dinâmicas dos quatro espaços de estruturação identificados.

- **Matérias-primas**

A transição de um tipo de matéria-prima para outro é um tema central na história da indústria química orgânica. Segundo Spitz (1988), a história da indústria química orgânica sugere que a disponibilidade de matéria-prima, muito mais do que a tecnologia ou o mercado, tem sido a direcionadora-chave da indústria. A disponibilidade de grandes quantidades de derivados do carvão na segunda metade do século XIX permitiu a produção de corantes e produtos farmacêuticos. Da mesma forma, a disponibilidade de grandes quantidades de hidrocarbonetos reativos gerados pelo refino de petróleo levou à criação dos petroquímicos nos anos 1930. A disponibilidade seria então, na perspectiva histórica, a condição de base para a adoção de uma matéria-prima industrial.

A mudança de matéria-prima do carvão para o petróleo e gás trouxe desafios para os competidores estabelecidos e oportunidades para entrantes. As características estruturais da indústria foram redefinidas. Por influência dos conhecimentos de engenharia química desenvolvidos para o refino do petróleo, a concepção das unidades industriais se modificou em diversos aspectos, e em particular, pela adoção de novos patamares de economia de escala¹⁴. Ocorreu ainda uma redefinição geográfica, com deslocamento do polo dinâmico da indústria – antes Europa, na carboquímica – para os Estados Unidos. Assim, a competição na indústria se redefine com o surgimento de novos líderes (países e empresas) e perdas de posições dominantes.

A natureza do desafio das matérias-primas renováveis é peculiar em relação à transição anterior. O primeiro ponto, que representa uma grande diferença em relação aos processos de transição anteriores, é que a disponibilidade de matérias-primas renováveis não é, na maioria dos casos, um dado que facilita e até induz a transição.

No caso da biomassa, a disponibilidade deve ser construída. A natureza e a composição causam dificuldades para a indústria que se desenvolveu processando fluidos (líquidos e gases) e deve rever seus processos para lidar também com sólidos,

14. A dinâmica da transição do carvão para o petróleo na indústria química é explorada em diversos aspectos por Spitz (1988), Bomtempo (1994), Stokes (1994), Bennet e Pearson (2009).

de processamento mais difícil. A produção em grandes áreas desafia as cadeias de suprimento e a logística. A competição com outros usos de algumas das matérias-primas renováveis cria dificuldades adicionais, tanto econômicas quanto éticas, no caso dos alimentos. A escala de produção, a sazonalidade e a influência dos ciclos climáticos geram incertezas para os operadores industriais, que podem ser levados a rever seus conceitos de escala e de eficiência operacional. A interrupção da atividade industrial por conta da entressafra é uma restrição importante para a concepção atual de indústria intensiva em capital.

A busca da matéria-prima ideal é foco estratégico das empresas envolvidas na bioeconomia. Em todas as suas apresentações, as *startups* de base tecnológica sublinham a posição e a visão em relação às matérias-primas utilizadas. Existe sempre um esforço de mostrar flexibilidade em relação às matérias-primas potenciais. Ao mesmo tempo, grandes empresas com interesse na bioeconomia – como BP, Shell, Dow, Petrobras, Bunge, ADM e outras – têm realizado movimentos estratégicos de posicionamento na competição pelas fontes mais promissoras. É notável que essas empresas tenham se envolvido com o agronegócio no Brasil e se tornado “plantadores de cana”.

A cana-de-açúcar é a matéria-prima de referência hoje para a bioindústria. Como a biotecnologia e os processos fermentativos e enzimáticos são centrais para as tecnologias de conversão em desenvolvimento, a oferta estruturada de substratos fermentáveis torna-se estratégica para a viabilização dos projetos inovadores. Isso explica dois movimentos importantes no processo de estruturação da indústria:

- O grande interesse pelas fontes existentes de plantas sacarídeas, o que tem motivado a inserção no Brasil de um amplo espectro de empresas, incluindo *startups* e incumbentes, já que o país é referência em cana-de-açúcar, com elevada produtividade e logística de abastecimento desenvolvida.
- O grande interesse, reforçado nos últimos anos, pelo desenvolvimento dos açúcares de segunda geração, derivados dos materiais lignocelulósicos (BOMTEMPO, 2011).

Ao mesmo tempo, diversas fontes de matérias-primas se apresentam com potencial, mas com dificuldades que desafiam os esforços inovadores de pesquisadores e empresas: resíduos florestais, agrícolas, agroindustriais e industriais (o CO₂ vem sendo crescentemente explorado como fonte de matéria-prima), resíduos urbanos, florestas energéticas, algas, novas culturas energéticas.

Múltiplas oportunidades existem em matérias-primas renováveis, mas a estruturação de uma oferta articulada às correspondentes tecnologias de conversão, aos produtos e aos modelos de negócio é uma construção que desafia a capacidade inovadora da indústria. Destaque-se que, ao contrário de transições anteriores, a utilização de matérias-primas renováveis não é movida pela disponibilidade abundante de moléculas reativas. A estruturação da disponibilidade faz parte do processo de inovação que busca construir

a indústria do futuro e passa por desenvolvimentos agronômicos (genética de plantas, produtividade, adequação de características para uso nos processos industriais), em tecnologia agrícola (manejo, plantio, colheita) e na estruturação logística da cadeia produtiva (FROHLING *et al.*, 2011; MELÉNDEZ, LUC LEBEL e STUART, 2012).

Além disso, o tratamento das biomassas para obtenção dos produtos de partida – açúcares, celulose, lignina, glicerina, bio-óleos etc. –, a serem processados pelas tecnologias de conversão, pode ser bastante desafiador. Esse é o caso, por exemplo, da obtenção de açúcares a partir de materiais lignocelulósicos, que vem sendo um obstáculo importante a ser superado para o desenvolvimento da bioeconomia. Os pré-tratamentos não são ainda maduros e sua adequação às características de cada biomassa torna o problema bastante específico, o que pode demandar conhecimentos do tipo *site* específico. Os pré-tratamentos estão fortemente relacionados às tecnologias de conversão, que transformam os produtos de partida em bioprodutos para os mercados da indústria química, e são igualmente um espaço de estruturação em evolução.

- Tecnologias

A evolução das tecnologias de conversão é particularmente importante como espaço de estruturação da indústria. As iniciativas de entrada são motivadas por um conhecimento científico-tecnológico de base que um ator vislumbra como oportunidade de aplicação para explorar o potencial de matérias-primas renováveis. No caso das *startups*, o conhecimento tecnológico de base é o ponto de partida. Compreende-se, assim, que essas empresas demonstrem certo grau de flexibilidade em relação às matérias-primas e considerem até mesmo a utilização de matérias-primas fósseis como forma de garantir a aplicação da tecnologia de conversão, que é, em última instância, o conhecimento central que podem valorizar no mercado.

A LanzaTech, por exemplo, uma das mais promissoras *startups* da nova indústria, sublinha com clareza em suas apresentações que sua tecnologia de fermentação de gases (CO_2 , CO , H_2) é adaptável a diversas fontes de matérias-primas: *offgas* de processos industriais, gases obtidos por gaseificação e até mesmo gás natural (HOLMGREN, 2012).

A adoção de uma tecnologia de conversão tem relação direta com as matérias-primas, e vice-versa. Os processos biotecnológicos exigirão açúcares ou substratos fermentáveis. A utilização de resíduos urbanos como matéria-prima associa-se a tecnologias de gaseificação. No sentido oposto, a disponibilidade de gás natural abundante e a preço interessante nos Estados Unidos, em decorrência do *shale gas*, tem levado algumas empresas, cuja base tecnológica é a gaseificação, a abandonar a biomassa como matéria-prima, bem como ao surgimento de empresas inovadoras, algumas baseadas em biotecnologia avançada, utilizando já como proposta inicial o gás natural no lugar de biomassa (BULLIS, 2012). A Calista, por exemplo, usa biotecnologia para produzir produtos de alto valor, como proteínas, a partir de metano (gás natural).

No desenvolvimento inicial da indústria, as tecnologias de conversão eram o foco dos inovadores, o elemento definidor da indústria. A agenda dos biocombustíveis, um mercado de grande volume que contribuiu para reforçar o foco nessas tecnologias, era inicialmente uma agenda de inovações de processo que pudessem ampliar e melhorar a qualidade da oferta de etanol e biodiesel (BOMTEMPO, 2010; REGALBUTO, 2011). Nesse cenário se inscreve o grande esforço tecnológico – até hoje não consolidado – de desenvolvimento do etanol celulósico, visto como o alvo a ser perseguido como biocombustível avançado ou de segunda geração.

As tecnologias de conversão não perderam seu caráter estratégico. Entretanto, a própria definição das tecnologias vencedoras passou a depender, nos últimos anos e cada vez mais, de elementos ligados à dinâmica das matérias-primas e dos produtos, além dos modelos de negócio e estratégias que as empresas tentam colocar em jogo.

A variedade das tecnologias de conversão contempla rotas bioquímicas, termoquímicas ou químicas que podem, ainda, ser combinadas entre si em alguns processos. Ocorre também em cada uma das rotas, como a utilização de enzimas e fermentações diversas ou as diferentes opções para a gaseificação da biomassa e conversão em bio-óleo (COUTINHO e BOMTEMPO, 2011; BOMTEMPO, 2010). Até tecnologias de conversão de mesma natureza apresentam variantes em desenvolvimento.

Os processos biotecnológicos podem ser enzimáticos ou fermentativos. Os fermentativos podem ser conduzidos por micro-organismos convencionais aprimorados, como a fermentação para obtenção do etanol a partir do caldo da cana-de-açúcar, e também por processos que utilizam recursos da biologia sintética, objeto de grandes esforços de programas de pesquisa de empresas e laboratórios. O Agile BioFoundry, por exemplo, programa dedicado ao desenvolvimento em menor tempo e a custo mais baixo de aplicações industriais da biologia sintética, criado em 2015, reúne em consórcios diversos laboratórios do sistema DOE (<http://agilebio.lbl.gov/>).

Os desenvolvimentos em biologia sintética envolvem o uso de robôs e tendem a se beneficiar dos recursos da inteligência artificial. Esse setor pode permitir a obtenção de novas moléculas de interesse e, assim consolidar, numa única etapa, rotas que exigem diversas etapas reacionais. Seu processo de consolidação tem despertado interesse crescente das empresas, em razão da redução substancial em investimento fixo (CAPEX) que pode proporcionar, e sua adoção tende a deslocar o alvo dos inovadores. Em vez de buscar a obtenção de moléculas simples que funcionam como blocos de construção (*building blocks*), como na tradição da química de síntese, o alvo passa a ser uma molécula mais complexa e próxima da estrutura final de utilização.

A estratégia de partir de uma molécula já complexa – açúcares, celulose, lignina, glicerina – e ir diretamente aos produtos de interesse, sem reduzir as matérias-primas aos *building blocks* clássicos da petroquímica, são igualmente seguidos pelas rotas químicas, explorando a base de conhecimento existente nos campos da química, como na catálise.

A via termoquímica propõe várias alternativas para a gaseificação, algumas inovadoras, como a gaseificação por plasma e por metal líquido, outras mais próximas das utilizadas comercialmente, e ainda diversas opções para transformar o gás de síntese gerado em produto final, incluindo a mais conhecida conversão FT (Fisher-Tropsch) ou a ação de micro-organismos. Ainda no campo dos tratamentos térmicos estão as alternativas em pirólise para a produção de bio-óleo, tanto visando à produção de combustíveis quanto de substitutos de petroquímicos.

A existência de diferentes bases de conhecimento em competição traz um desafio para as empresas, que acabam por privilegiar uma das alternativas, o que gera um nível de incerteza elevado para o futuro, caso suas apostas venham a perder espaço na evolução da indústria. Algumas empresas e investidores de maior porte e disponibilidade de recursos têm tratado essa incerteza multiplicando suas apostas em diversas plataformas, com a perspectiva de desmobilizar as que se mostrarem menos competitivas. É o caso, por exemplo, da Shell e da Khosla Ventures. A Shell, após investir em cinco projetos conceitualmente diferentes, vem desde 2010 reduzindo essa variedade e concentrando-se aparentemente no etanol celulósico (logen) e na conversão química de açúcares (Virent).

Outras empresas de porte e com volumes de investimento importantes em biocombustíveis e bioprodutos, entretanto, têm diversificado suas apostas de forma mais orientada em termos de tecnologia de conversão, focalizando determinadas áreas do conhecimento. É o caso, por exemplo, da BP, DuPont e DSM, que se concentram na biotecnologia e nas rotas bioquímicas. Empresas com tradição na área química, como a Basf, têm incorporado a biotecnologia à sua base de conhecimento e, ao mesmo tempo, mantido e direcionado as capacidades acumuladas em suas tecnologias de base para a solução dos problemas das matérias-primas renováveis.

Três outros aspectos podem também ser críticos para o desenvolvimento de projetos industriais em bioeconomia. O primeiro deles refere-se às tecnologias de pré-tratamento das matérias-primas para liberação das moléculas de partida – açúcares simples fermentáveis, celulose, lignina e outras –, que serão efetivamente transformadas nos produtos de interesse. A entrada de plantas pioneiras de etanol 2G evidenciou dificuldades não esperadas no tratamento dos resíduos da cana-de-açúcar e do milho para liberação dos açúcares fermentáveis (BOMTEMPO e SOARES, 2016).

O segundo desafio situa-se nos processos industriais em si. A conversão, principalmente de base biológica, exige custosos processos de separação que, além de aumentarem o custo de capital da planta, exigem elevado consumo de energia para separação e concentração dos produtos. A intensificação de processos vem se oferecendo como uma inovação tecnológica de grande importância para a indústria química e para a bioeconomia, sendo fundamental tanto para viabilizar economicamente muitos processos enzimáticos ou fermentativos quanto para lhes conferir melhor desempenho ambiental (menor gasto de energia, menos efluentes). A intensificação de processos ainda permite a compactação das plantas, o que contribui para mudanças nas escalas e estratégias de localização das unidades industriais.

No Box 4, apresentam-se as características gerais da intensificação de processos e de seu desenvolvimento recente.

Box 4 – Intensificação de processos: características gerais

Em 1995, a Ramshaw, uma das pioneiras no campo, definiu intensificação de processos como uma estratégia para fazer reduções dramáticas no tamanho de uma planta química, de forma a alcançar um dado objetivo de produção. Essas reduções podem ocorrer diminuindo o tamanho de peças individuais e também cortando o número de unidades ou aparelhos envolvidos (STANKIEWICZ e MOULIJN, 2000). Tal estratégia é impulsionada pela necessidade de mudanças revolucionárias nas operações, concentrando-se principalmente em novos métodos e equipamentos.

A intensificação de processos não deve ser confundida com novas rotas químicas de produção. Consiste no desenvolvimento de novos aparelhos e técnicas que, em comparação com os que são comumente usados, deverão trazer melhorias dramáticas na fabricação e no processamento, diminuindo substancialmente o tamanho do equipamento ou a proporção produção-capacidade, o consumo de energia ou a produção de resíduos, resultando em tecnologias mais baratas e sustentáveis. Pode ocorrer por dois caminhos, não excludentes entre si: equipamentos ou métodos.

Na indústria química e na bioeconomia, pode ocorrer de diversas formas, como por destilação reativa, coluna de parede dividida (*dividing wall column distillation* – DWC) e reatores de fluxo reverso (*reverse flow reactors* – RFR). Esses três exemplos, além de apresentarem baixas barreiras de inovação, geram uma redução significativa de custo quando comparados às tecnologias convencionais. A destilação reativa e a DWC geram redução no consumo de energia (HARMSSEN, 2010). Alguns exemplos de intensificação de processos na indústria petroquímica, assim como seus desempenhos e seus impulsionadores de inovação, podem ser vistos na tabela abaixo.

Tabela B1 - Tecnologias de intensificação de processos na indústria petroquímica e seus impulsores de inovação

Technologies	Innovation drivers				Commercial implementation
	Feedstock cost reduction	Capital cost reduction	Energy reduction	Inherently safe	
Reactive distillation		20–80%	20–80%	+	>150
DWC distillation		10–30%	10–30%		>100
Reverse flow reactor		>20%	Low		>100
Microchannels reactor	Yes	Yes for small scale		+	Only in fine chemicals sector
High gravity absorbers	Yes; case dependent	Yes; case dependent			A few
External field PI					

Fonte: Harmsen (2010).

Fonte: Ramshaw (1995), Stankiewicz e Moulijn (2000), Harmsen (2010).

Ao integrar fontes de matérias-primas e transformá-las em produtos diversificados, as biorrefinarias, local de utilização das tecnologias de pré-tratamento, conversão e separação, trazem também desafios importantes de concepção e integração. Algumas

iniciativas, como as plantas de etanol 2G da Granbio e da Raízen, trazem aprendizados importantes nessa direção, mas a questão ainda precisa ser explorada, considerando a diversidade de situações em que os conceitos integrados de biorrefinarias podem ser desenvolvidos, começando pela integração produtos/pecuária/agricultura/indústria, passando pela integração floresta/celulose/papel/ bioprodutos e incluindo ainda biodiversidade/produtos especiais, como sugere a Natura.

Os conceitos de biorrefinaria – escalas, *mix* de tecnologias e produtos, estrutura empresarial – são desafios importantes que o desenvolvimento da bioeconomia deverá enfrentar. O caráter local específico das oportunidades e desafios sugere que as soluções devem seguir a linha do *path creating*.

- Produtos

A dinâmica voltada para biocombustíveis orientou-se num primeiro momento para a produção de etanol e biodiesel, substitutos relativamente imperfeitos dos combustíveis de base fóssil. O etanol tem densidade energética inferior à gasolina em 30%, além de exigir adaptação dos motores e estrutura de distribuição. O biodiesel, em função das matérias-primas utilizadas, pode ter comportamentos variados conforme as condições de temperatura ambiente. O aumento do teor de biodiesel na mistura depende de testes e avaliações para que os fabricantes de equipamento assegurem as garantias de seus produtos. Por conta dessas limitações, e principalmente em razão dos desenvolvimentos tecnológicos dos últimos anos e da existência de oportunidades como as dos combustíveis de aviação, surgiram nos últimos anos os combustíveis *drop in*, hidrocarbonetos que podem ser utilizados sem necessidade de adaptação, aproveitando os ativos complementares já existentes e utilizados pelos derivados de petróleo.

Algumas distinções devem ser feitas para a compreensão desse espaço de estruturação: os bioprodutos podem ser finais ou intermediários; *drop in* ou não *drop in*; *commodities* ou especialidades. As diversas combinações entre essas possíveis alternativas dão margem a uma variedade de abordagens do mercado e, logo, a uma variedade de modelos de negócio, que devem se ajustar a cada grupo de produtos.

Os bioplásticos e biopolímeros, principalmente, e produtos que entrarão em formulações em indústrias clientes da indústria química, são os produtos finais. Dentre eles, podem ser citados: PE verde (Braskem), PET verde (30% renovável; diversos produtores), PLA (Nature Works) e PHA (pequenos produtores). Entre esses produtos, a primeira grande distinção é entre os *drop in* e os não *drop in*.

Os *drop in* são idênticos aos de base fóssil. Como substitutos perfeitos, adaptam-se perfeitamente à cadeia produtiva existente e têm, assim, sua adoção facilitada. Essa adoção passa a depender dos custos compatíveis com os critérios dos *end users* (indústrias utilizadoras dos plásticos na comercialização de seus produtos, como alimentos, bebidas, cosméticos e materiais de higiene e limpeza). Cabe ao produtor de um *drop in* ser capaz

de produzir em condições que atendam a esse requisito. Os fatores-chave para competitividade seriam a disponibilidade de matéria-prima a preços competitivos e a capacidade de desenvolvimento da tecnologia para a produção dos monômeros.

Os não *drop in* são produtos novos que entram em substituição a outros plásticos de origem fóssil e podem ser biodegradáveis ou não. O mais conhecido deles é o PLA, cuja produção comercial foi iniciada por uma *joint venture* Cargill-Dow no final dos anos 1990. Esses produtos exigem, para sua difusão, que sejam desenvolvidas novas aplicações, as quais envolvem complementadores a jusante na cadeia produtiva (produtores de aditivos, transformadores), além de esforços de desenvolvimento de aplicações para adoção pelos *end users*. Os ativos complementares existentes devem ser adaptados ou construídos para alcançar a utilização final do produto.

A trajetória do PLA em quase quinze anos de história atesta as dificuldades de difusão de um novo plástico. Em 1997, a Cargill e a Dow formaram uma *joint venture* para a produção de PLA. Estimaram na época que em dez anos o PLA chegaria a 450.000 t/ano. A biodegradabilidade era a proposição de valor que deveria atrair os utilizadores finais, principalmente no segmento de embalagens. Entretanto, as expectativas dos produtores não se confirmaram: a demanda atual ainda está na faixa de 200.000 t/ano. A Dow abandonou o negócio alguns anos depois, mas Cargill continuou no negócio, sendo renomeada como Natureworks, e atualmente é a *joint venture* Cargill/PTT Chemicals.

Recentemente, a Corbion, a mais importante produtora de ácido láctico (bloco de construção para o PLA), se interessou pelo bioplástico e começou a desenvolver um novo modelo de negócio, que facilita a entrada de novos produtores em nichos de aplicação voltados para usos técnicos do PLA nos quais a biodegradabilidade não é a propriedade de interesse. A própria Corbion tem avançado na produção de PLA, por meio de uma *joint venture* com a Total, e está construindo uma planta em escala comercial na Ásia. Inovações nas matérias-primas, nos processos e na qualidade do produto fazem do PLA, um bioplástico importante para a bioeconomia, com taxas de crescimento expressivas, acima em média de 10% ao ano.

Os fatores-chave de competitividade no caso dos novos bioplásticos, além dos mencionados para os *drop in*, incluem o esforço de difusão do produto, com o desenvolvimento de aplicações e a estruturação das relações a jusante da cadeia, de modo a adquirir sólidas competências na compreensão da utilização final. Esse é o dilema *drop in* ou *não drop in*, hoje muito presente na indústria *biobased*, representando uma escolha estratégica importante para as empresas envolvidas (OROSKI, BOMTEMPO e ALVES, 2013). O caso das alternativas em desenvolvimento com o apoio da Coca-Cola para a produção de um substituto renovável para o PET ilustra bem esse dilema¹⁵.

15. Uma retrospectiva da história da busca de uma garrafa sustentável pela Coca-Cola pode ser encontrada em diversos artigos do blog *Green Chemicals* (Disponível em: <<http://greenchemicalsblog.com/>>. Acesso em: 29 dez. 2017).

A Coca-Cola apoia o desenvolvimento de um novo plástico, PEF, polietileno-furanoato, que teria propriedades até superiores ao PET. O projeto, desenvolvido inicialmente pela *startup* holandesa Avantium, está estruturado numa *joint venture* Avantium-Basf, denominada Synvina, e está avançando para a comercialização do novo bioplástico. O PEF exigiria adaptações ou novos desenvolvimentos nas etapas de transformação da resina e fabricação das garrafas, além de apresentar limitações na reciclagem, que pode não ser inteiramente compatível com a do PET, já estabelecida em escala expressiva. Seria, portanto, uma solução não *drop in*. Entretanto, o PEF se beneficia em boa medida da estrutura de produção do PET, e essas adaptações são vistas como de alcance relativamente modesto, o que daria ao PEF em menor grau os desafios típicos dos não *drop in*. Mas a Coca-Cola, reconhecendo que não resolveu o dilema, apoia igualmente uma solução *drop in*. Trata-se de produzir um PET cem por cento renovável. Para este desafio é necessário produzir um intermediário – o p-xileno – por rota renovável, um processo bastante desafiador. A Coca-Cola tem apoiado duas empresas, que seguem rotas diferentes: a Gevo, que parte do butanol obtido por fermentação, e a Virent, que segue uma rota por catálise química (*bioforming*) a partir de açúcar. A solução *drop in* preservaria não só os ativos complementares de transformação e utilização do PET, como também os esquemas de reciclagem já montados. Além dos projetos Gevo e Virent, outras soluções para a obtenção do intermediário p-xileno, etapa crítica para produção do PET renovável, têm sido exploradas por outras empresas.

No caso de bioprodutos intermediários, além da questão *drop in* ou não *drop in*, pode ser necessário o desenvolvimento de novos mercados de utilização final, na indústria química e/ou em clientes *downstream*. Entre os produtos citados como mais promissores, incluem-se diversos blocos de construção, que somente serão difundidos se for possível desenvolver novas árvores de aplicações. Esses produtos são conhecidos como químicos-plataforma. A estruturação de negócios na linha das plataformas tecnológicas é uma oportunidade que se coloca para a construção de novos modelos de negócio *biobased*.

A perspectiva de desenvolver uma produção expressiva de ácido succínico, uma possível molécula-plataforma na qual apostam hoje diversas empresas (há quatro produtores com escalas de porte médio e esforços de comercialização em curso), pressupõe o desenvolvimento de um conjunto de novas utilizações do produto, hoje não existentes nas cadeias químicas. A substituição e o desenvolvimento de novos usos devem ser promovidos ao longo das cadeias químicas, o que pode ser um desafio para o produtor, principalmente se ele não é capaz de estruturar uma lógica de plataforma tecnológica (BOMTEMPO, ALVES e OROSKI, 2017).

Outros produtos com elevados rendimentos em relação ao açúcar, como os ácidos glucárico, fumárico e málico, podem oferecer grandes oportunidades de consolidação de vantagens competitivas. Esses produtos têm rendimento acima de cem por cento em relação ao açúcar consumido, o que favorece a competitividade em termos de custos, e representam inovações que exploram o potencial das matérias-primas renováveis, valendo-se do fato de serem

oxigenados. Essa propriedade – uso eficiente da biomassa, refletida em elevados coeficientes de conversão biomassa/produto – vem despertando a atenção nas escolhas de produtos na economia *biobased*, o que pode ser um ponto favorável aos não *drop in* (IFFLAND *et al.*, 2015). Existe, entretanto, um desafio importante para desenvolver as aplicações finais desses produtos. Estas se dão em mercados de especialidades e exigem transformações químicas para a finalização do produto, além do desenvolvimento comercial do mercado. A finalização química, por sua vez, depende de esforços de desenvolvimento em síntese química e testes de adequação inicial à utilização pretendida.

No caso de produtos finais destinados a formulações em outras indústrias (higiene e limpeza e cosméticos, por exemplo), a adoção de um produto não *drop in* exige o desenvolvimento de formulações nas quais cabe ao produtor químico demonstrar e desenvolver a nova aplicação para convencer o *end user*. Por isso, o desenvolvimento de relações de cooperação com *end users* estratégicos, como a Procter & Gamble e a Unilever, é indispensável para a introdução de inovações.

Assim, nesse ambiente ainda pouco estruturado da bioeconomia, escolher um produto é enfrentar diversos dilemas. Convém apostar em produtos finais ou intermediários? Integrados com a produção final ou ser um fornecedor de outras empresas químicas? *Drop in* ou não *drop in*? Os *drop in* simplificam a adoção, mas são inovações apenas de sustentação da indústria em seu modelo atual. Os não *drop in* exigem esforços significativos e arriscados para o desenvolvimento da rede de complementadores para a difusão de novos bioplásticos ou biopolímeros ou, no caso de produtos para formulações por outras indústrias, o desenvolvimento de *know-how* de aplicação específico da indústria final (cosméticos ou alimentos, por exemplo).

Como a introdução do bioproduto é quase sempre em nicho, que pode ou não crescer, isso pode favorecer produtos com vocação de especialidades em detrimento de produtos com vocação de *commodities*, como plásticos para embalagens. Produzir e introduzir no mercado uma especialidade química exige competências bem diversas das que são mobilizadas para um produto tipo *commodity*.

A evolução dos dilemas dos produtos está relacionada à evolução dos dilemas em matérias-primas, tecnologias e modelos de negócio na estruturação da indústria *biobased*. Aborda-se a seguir o espaço das estratégias e modelos de negócio.

2.2.2.2 Estratégias e modelos de negócio

Atuam nos espaços de estruturação descritos acima empresas de portes, origens e bases de conhecimento diferentes: *startups* como Genomatica, Solazyme/TerraVia, LanzaTech, Gevo, Amyris, Renmatix; empresas da indústria química e petroquímica, como DuPont, DSM, Basf, Braskem, Dow, Solvay, Evonik; de petróleo e gás, como Shell, Neste, BP, Total; do agronegócio, como ADM, Bunge, Cargill; das indústrias de

alimentos e ingredientes, como Corbion, Tate & Lily, Roquette; da indústria de papel e celulose, como Stora Enso, UPM, Borregaard, Fibria, Suzano. A oferta é inicial e quase exploratória na maioria de casos e dirigem-se predominantemente a nichos. Não cabe, portanto, identificar líderes, já que a indústria está em formação, mas sim estratégias e posicionamentos importantes na construção do negócio. Em pesquisa realizada por Burr (2013), Basf, Dow, DuPont, Braskem e Cargill foram identificados como os cinco produtores mais destacados em química sustentável.

O perfil de atuação dos diferentes *players* que têm se apresentado como inovadores no setor pode ser discutido, a partir de uma proposta de quadro analítico que busca relacionar a estrutura industrial e as dimensões competitivas relevantes: estratégia de base, tipo de oportunidade, estágio tecnológico e tipo de trajetória tecnológica (Tabela 3). Em seguida, exploram-se a diversidade de estratégias e os modelos de negócio que caracterizam a fase de estruturação da indústria.

Tabela 3 – Bioeconomia: estrutura industrial x dimensões competitivas relevantes

	Etanol e biodiesel, primeira geração	Biocombustíveis avançados e bioprodutos	Biorrefinaria do futuro
Estrutura industrial	Conhecida, mas em evolução.	Em estruturação.	Fluida, em aberto, para ser moldada.
Estratégia de base	Posicionamento. E-C-D. Forças competitivas. <i>Porter.</i>	Inovação: construção de capacitações; competências. RBV, <i>Dynamic capabilities.</i> <i>Teece.</i>	Inovação: construção de capacitações; competências. RBV, <i>Dynamic capabilities.</i> <i>Teece.</i>
Oportunidade	<i>Commodities.</i>	Diversificada (<i>commodities</i> e especialidades). Exploração de nichos disruptivos.	Em aberto; a ser explorada. Exploração de nichos disruptivos.
Estágio tecnológico	Maduro, mas em evolução.	Laboratório/piloto/demo. Início de comercialização.	Laboratório/piloto/demo.
Trajetoória tecnológica (Pavitt)	<i>Supplier dominated.</i>	<i>Science based.</i>	<i>Science based.</i>

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 3 coloca em perspectiva três arenas de competição baseadas em matérias-primas renováveis: a indústria de biocombustíveis convencionais ou de primeira geração (etanol e biodiesel), os novos biocombustíveis e bioprodutos que têm sido lançados ou estão em estágio piloto/demonstração e, por último, as biorrefinarias integradas, que representam o conceito mais avançado da indústria baseada em matérias-primas renováveis.

A indústria de biocombustíveis de primeira geração teve grande destaque na primeira década desse século e apresenta uma relação de proximidade tecnológica e estratégica com os bioprodutos. Muitas empresas inovadoras que iniciaram suas atividades nos anos 2000 dirigiram-se a princípio para os mercados de combustíveis e posteriormente redirecionaram seus alvos para a produção de químicos e materiais. Sua estrutura industrial é bem definida em suas principais dimensões: trata-se de combustíveis líquidos para uso em transporte, há trajetórias tecnológicas estabelecidas, as escalas econômicas de produção são conhecidas e um processo de concentração e consolidação da indústria pode ser observado em alguns países. A competição nessa indústria se dá segundo a lógica do paradigma Estrutura-Condução-Desempenho. Em outras palavras, conhecendo-se a estrutura da indústria e seu padrão de concorrência, os competidores podem seguir estratégias de posicionamento no espaço competitivo.

Os segmentos mais dinâmicos e inovadores, identificados na Tabela 3 como novos biocombustíveis avançados (bio-hidrocarbonetos e combustíveis de aviação) e bioprodutos, não apresentam características estruturais definidas e exigem dos competidores uma estratégia voltada para inovação, construção de capacidades (no sentido de *dynamic capabilities*, cf. TEECE, PISANO e SHUEN, 1997) e aquisição de competências complementares. Não é possível uma estratégia de posicionamento, ao modo de Michael Porter, nesse ambiente. A maior parte das ofertas ainda se encontra em estágio piloto ou de demonstração, ou mesmo em estágio de laboratório. Algumas poucas já são comerciais, mas ainda exploram nichos da indústria química e petroquímica. O amadurecimento da indústria corresponderá ao desenvolvimento de alguns desses nichos – por exemplo, bioplásticos para embalagens –, que poderão se aproximar de volumes compatíveis com *commodities* petroquímicas.

No caso dos produtos químicos *drop in* – PE verde e PET verde, por exemplo – as características estruturais da indústria química são parcialmente preservadas, permitindo que o competidor explore seus parâmetros de posicionamento. Os volumes são pequenos, existe um desafio tecnológico e econômico na construção da oferta, mas a cadeia produtiva a jusante da transformação química é preservada, valorizando os ativos complementares já existentes. No caso dos produtos não *drop in*, entretanto, modelos de negócio devem ser capazes de estruturar uma nova cadeia de complementadores para assegurar a difusão de suas inovações.

O setor *biobased* apresenta um terceiro espaço, denominado *biorrefinaria*, que corresponde ao conceito ainda emergente de uma química baseada em matérias-primas renováveis, explorando de forma integrada e integral a biomassa. As condições de competição nesse espaço estão ainda em aberto, com menos definições do que no caso dos novos biocombustíveis e bioprodutos já em desenvolvimento.

Uma distinção essencial entre os espaços de competição identificados na Tabela 3 refere-se à natureza das trajetórias tecnológicas envolvidas. Adotando a classificação clássica de Pavitt (1984), a indústria de biocombustíveis de primeira geração se

caracteriza como uma indústria “dominando pelos fornecedores”: as tecnologias são detidas pelos fornecedores (equipamentos, engenharia, projetos, insumos), cabendo aos produtores operarem eficientemente essas tecnologias adquiridas no mercado. As barreiras de entrada na indústria não são altas e se situam muito mais no acesso à matéria-prima do que na tecnologia ou capital.

A transição para os biocombustíveis avançados e bioprodutos marca uma notável diferença na natureza da trajetória tecnológica, que passa a ter características de *science based*, segundo a tipologia de Pavitt. As empresas partem de uma tecnologia, em muitos casos com origem em laboratório de universidade ou centro de pesquisa, e tentam construir um novo negócio, agregando os ativos complementares necessários para estruturar a produção e a comercialização. Essa distinção pode ser de grande importância tanto nas estratégias empresariais quanto nas políticas governamentais que visem à passagem de uma indústria baseada em biomassa de primeira geração à indústria do futuro, baseada em matérias-primas renováveis. Assim, os atributos de competitividade da indústria do futuro tendem a ser distintos dos da indústria de primeira geração.

Para discutir as formas de participação desses diversos perfis de competidores, é importante distinguir suas diferentes perspectivas em relação ao negócio. A Tabela 4 compara os principais perfis de empresas envolvidas no setor em relação às suas competências-chave e complementares.

Tabela 4 – Competências-chave e complementares em bioeconomia, segundo a origem das empresas

Origem	Competência-chave	Competências complementares
Startups	Tecnologia; biotecnologia avançada.	Acesso a matérias-primas; produção; comercialização.
Química e petroquímica	Produção; comercialização de materiais e produtos químicos.	Acesso a matéria-prima; tratamento da biomassa; biotecnologia avançada.
Agronegócios	Acesso a matéria-prima; logística.	Tecnologia; biotecnologia industrial avançada; produção; comercialização.
Ingredientes para alimentos	Processamento da biomassa.	Tecnologia; biotecnologia industrial avançada; produção; comercialização.
Petróleo e gás	Produção; comercialização de combustíveis.	Acesso a matéria-prima; tecnologia; biotecnologia avançada.
Papel e celulose	Acesso à matéria-prima; tratamento da biomassa.	Tecnologia; comercialização.
End users	Mercado e aplicações finais	Matéria-prima; tecnologia, produção.

Fonte: Elaboração própria.

As competências-chave dos diferentes perfis de competidores e as correspondentes competências complementares, não detidas pelos *players*, mas indispensáveis para o desenvolvimento, produção e comercialização dos produtos inovadores, reforçam a dimensão ainda não estruturada da indústria.

Além disso, mostram uma tendência natural de alianças e associações na busca de complementaridade das competências de cada um. Assim, se as tecnologias mais inovadoras têm surgido a partir das *startups* de base tecnológica, o acesso e a estruturação da cadeia de suprimento de matérias-primas, o *scale-up* dessas tecnologias, a produção em escala e a comercialização dos produtos depende de competências detidas por empresas estabelecidas – por exemplo, as químicas e petroquímicas –, que detêm competências e ativos complementares específicos necessários para estabelecer relações com as indústrias utilizadoras (*end users*) e desenvolver aplicações comerciais dos novos produtos.

Além disso, a disponibilidade de recursos e as fontes de acesso a financiamento variam segundo os diferentes perfis de empresas. No ambiente competitivo do setor, essas relações de complementaridade têm levado a numerosas associações entre empresas. Os programas PAISS e PADIQ valorizaram com ênfase essa dimensão, ao definir planos de negócio que contemplem associações entre empresas detentoras de capacidades complementares. As associações são naturais e crescentes, à medida que a estruturação da cadeia produtiva da indústria *biobased* evolui e adquire contornos mais estáveis.

Uma dimensão que pode ainda ser derivada da Tabela 4 é a importância relativa do novo setor para os diferentes perfis de empresas envolvidas. As grandes empresas de petróleo e gás têm orçamento de investimentos em seus negócios centrais extraordinariamente mais elevados do que os recursos que aplicam em biocombustíveis. Entretanto, para o volume de investimentos e necessidades de desenvolvimento dessa indústria, as iniciativas das empresas de petróleo têm peso significativo, tanto no aporte de recursos quanto nas competências para difusão dos conceitos inovadores. Situação semelhante pode ser identificada no papel dos grandes grupos do agronegócio.

A importância relativa pode ser vista também no caminho inverso, isso é, em relação à importância dos novos negócios em bioeconomia para o portfólio das grandes empresas estabelecidas. O problema da pequena importância dos novos negócios para essas empresas pode ser o da inconstância dos esforços, interrompidos ou descontinuados sem grandes dificuldades, se as perspectivas do negócio principal assim sugerirem. Em outras palavras, esses recursos podem ser relativamente impacientes e as alianças e as associações serem descontinuadas, criando dificuldades quase intransponíveis para as *startups* envolvidas.

2.3 Experiência brasileira

2.3.1 Impactos esperados no sistema produtivo da química e foco setorial bioeconomia

A discussão dos impactos esperados da difusão das inovações disruptivas sobre o Sistema Produtivo da Química no Brasil pode ser feita separando os *Clusters* Tecnológicos enfocados no Projeto I2027 em dois grupos: as TIC/tecnologias digitais e as demais tecnologias (nanotecnologia, biotecnologia, materiais avançados, intensificação de processos). Adiante busca-se focar as transformações esperadas relacionando-as com a indústria estruturada (petroquímica e especialidades) e as atividades em estruturação (bioeconomia).

Para a indústria petroquímica brasileira, os impactos esperados em relação às TIC estão alinhados com as discussões no panorama internacional, onde esse processo está em claro desenvolvimento, principalmente nas empresas europeias, com perspectivas de amadurecimento nos próximos dez anos. Apesar da nossa posição ainda inicial na escala de maturidade (*aware* ou *practicing*), esse processo, ao ser integrado às estratégias das empresas, deve permitir a incorporação das inovações incrementais ligadas à eficiência operacional e de processos de gestão. A adoção dessas tecnologias tende a contribuir para o emparelhamento competitivo das empresas e, por isso, tem pouca possibilidade de gerar mudanças de modelos de negócio e de modos de concorrência.

Existe, entretanto, um espaço de incertezas que pode levar a disrupções: os efeitos das transformações de mercados-chave (automobilístico/mobilidade, transformação de plásticos), das macrotendências da sociedade em relação ao consumo e mudanças climáticas (estruturação da economia circular) e da digitalização generalizada dos produtos e serviços. Tais efeitos podem estar além do Horizonte 2027, mas seu acompanhamento não pode ser ignorado, pela sua natureza complexa, envolvendo um novo ecossistema em que os papéis da indústria química e dos agentes orquestradores estão ainda indefinidos.

No caso das especialidades, os impactos das transformações digitais devem ir além dos ganhos de eficiência operacional. As TIC permitem, em primeiro lugar, melhorar a qualidade dos serviços de compreensão da utilização, tornando-os quase contínuos ou *online*. Além disso, novos serviços podem ser oferecidos e, em alguns casos, a venda dos produtos pode ser convertida em prestação de serviços. Essas possibilidades sugerem que devem ocorrer inovações nos modelos de negócio, o que pode ser, como atestado em diversos setores da economia, disruptivo para a indústria incumbente. A possibilidade de surgirem agentes com a capacidade de organizar, estruturar e explorar os dados-chave sugere a entrada de competidores até então não pertencentes à cadeia produtiva da indústria química. Esse espaço pode tornar-se

também interessante para *startups*, o que já vem sendo constatado, no caso brasileiro, na agricultura de precisão (a agricultura é o segundo mercado da indústria química no Brasil) e nos serviços ambientais.

No campo das demais tecnologias (nanotecnologia, materiais avançados, biotecnologia industrial, tecnologias de processos), as oportunidades de inovação e protagonismo situam-se mais no terreno da bioeconomia do que no âmbito dos segmentos tradicionais da indústria química. Não se pode negar o grau de importância que essas tecnologias podem ter nos ganhos de eficiência nos processos e até, nos casos da nanotecnologia e da intensificação de processos, ao proporcionar mudanças mais profundas nos processos de produção, com repercussão em dimensões-chave da organização industrial, como as escalas das plantas. Porém, o impacto a ser destacado aqui é a criação de modelos de negócio que, mais do que incorporar as tecnologias em si, sejam capazes de articular as fontes de matérias-primas, as tecnologias-chave, como biotecnologia e outras, e os produtos. Esse processo de construção depende não só de bases de conhecimento que precisam se consolidar e avançar no país (*catching up* em biotecnologia industrial avançada, nanotecnologia, intensificação de processos), mas também de articulações e desenvolvimentos que são específicos a aspectos locais dos recursos biológicos renováveis (*path creating*).

Importante destacar que o *catching up* se refere a estágios de tecnologias ainda em desenvolvimento, e não a atividades em operação industrial. Essas atividades estão em estruturação também nos mercados internacionais e, nesse processo de estruturação, o papel das *startups* pode e deve ser relevante. A diversidade de modelos de negócio que podem ser imaginados nas múltiplas combinações de matérias-primas, tecnologias e produtos é um desafio ao empreendedorismo, que não pode ser perdido como fonte de dinamismo da bioeconomia. A diversidade de matérias-primas que podem ser acessadas e os desafios de organização e estruturação dessa oferta para a indústria já é um espaço de desenvolvimento de novos negócios.

Por fim, cabe chamar atenção para o fato de que a bioeconomia, naturalmente, não prescinde das tecnologias digitais no seu desenvolvimento. A biologia sintética utiliza robôs em seus testes e tende a buscar na inteligência artificial, na geração, estruturação e análise de dados, apoios indispensáveis para identificar rotas promissoras, a serem desenvolvidas para a conversão dos recursos biológicos renováveis.

2.3.2 Experiência das empresas brasileiras e estratégias em curso para as inovações disruptivas

No campo das TIC/tecnologias digitais, não são registrados esforços estruturados de desenvolvimento de projetos de digitalização das empresas químicas brasileiras. Destaque-se, entretanto, que as principais empresas possuem plantas de padrão internacional e estão num estágio de reflexão sobre o problema. Os desafios e as

oportunidades que a digitalização pode trazer devem ser incorporados no próximo ciclo de planejamento estratégico. Devem ser notados ainda os esforços das *startups*, que têm surgido em números expressivos e que estão, muitas delas, voltadas para a agricultura, cliente-chave da indústria química brasileira.

Os esforços empresariais parecem mais bem estruturados e significativos em relação aos demais *Clusters* Tecnológicos. O BNDES e a Finep lançaram nos últimos anos dois programas, PAISS e PADIQ, cujas respostas refletem a existência de iniciativas e esforços empresariais na exploração de recursos biológicos renováveis.

O PAISS, programa de formato inovador baseado na aprovação de planos de negócio, lançado em 2011 e com o ciclo de desembolsos já concluído, restringiu-se à cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de biocombustíveis avançados e bioquímicos. Boa parte dos esforços empresariais identificados está relacionada a esse programa (etanol 2G, plantas pioneiras da Amyris e Solazyme)¹⁶.

O PADIQ, ainda não concluído, tem formatação similar, mas se dirige de modo mais amplo às oportunidades de inovação na indústria química, definidas em cinco segmentos: aditivos para alimentação animal; derivados do silício, fibras de carbono e seus compósitos; produtos para exploração e produção de petróleo; insumos químicos para higiene pessoal, perfumaria e cosméticos (HPPC); e produtos químicos de fontes renováveis de matérias-primas.

Foram apresentados 62 planos de negócios, sendo 27 selecionados e aprovados, dentre os quais predominaram planos de negócio ligados à bioeconomia. O perfil das propostas selecionadas reflete de forma enfática a tendência de direcionamento dos esforços empresariais para os recursos biológicos renováveis. Dos 27 planos aprovados, 12 estão enquadrados na linha temática “químicos a partir de fontes renováveis” e oito na linha “insumos químicos para higiene pessoal, perfumaria e cosméticos”, que envolve, na maior parte dos casos, matérias-primas renováveis.

Os esforços empresariais e de estruturação do ecossistema de inovação em bioeconomia podem ser identificados em cinco eixos: produção comercial pioneira; projetos de P&D em escalas piloto ou demonstração; estruturação de estratégias empresariais; estruturação de institutos de pesquisa; e *startups*.

A produção comercial pioneira inclui os projetos industriais da Braskem (polietileno verde), as plantas de etanol 2G da Granbio e da Raízen e as da Amyris (farneseno e especialidades químicas) e da Solazyme/Bunge (óleos especiais e produtos derivados de microalgas heterotróficas). O aprendizado desses projetos, tanto em desafios

16. Uma discussão do PAISS como programa de política industrial capaz de promover inovação e aprendizagem é feita por Perez-Aleman e Alves (2016). Uma comparação das formas de subvenção econômica utilizadas pelo PAISS e por programas europeus e norte-americanos é apresentada e discutida por Pereira, Bomtempo e Alves (2015).

tecnológicos para operação das plantas quanto comerciais, representa um conjunto inestimável de conhecimentos que coloca o país numa posição de destaque para avançar na bioeconomia.

Como esforços de pesquisa e desenvolvimento com alvos de produção comercial em escala piloto ou demo podem ser citados os projetos da Braskem: butadieno (Genomatica), isopreno (Amyris), MEG direto do açúcar (Haldor Topsoe); os desenvolvimentos da Granbio em cana-energia e biotecnologia (Biocelere), assim como os desenvolvidos pela American Process (açúcares celulósicos), em que a Granbio tem participação acionária. Além disso, a Raízen tem desenvolvimentos inovadores nas tecnologias digitais para a gestão da produção de cana-de-açúcar e produção de biogás a partir da vinhaça.

Nas iniciativas de pesquisa e desenvolvimento, cabe destacar os projetos em curso nas principais empresas de papel e celulose, como a Fibria, Suzano e Klabin. Esses projetos envolvem a produção em escala piloto ou demo de bio-óleo, nanocelulose, lignina e derivados e fibras de carbono, além da estruturação de capacidade em pesquisa, seja por aquisição de empresas, parceria e associações ou desenvolvimento interno.

Na estruturação de planejamento estratégico em bioeconomia, além dos pioneiros na produção comercial citados e das principais empresas da indústria brasileira de papel e celulose, cabe sublinhar as iniciativas recentes da Natura, que abrem espaço para o desenvolvimento de um novo grupo de matérias-primas e produtos especiais.

A estruturação do ecossistema de inovação em bioeconomia está apoiada ainda por um movimento que não tem muitos precedentes em ciclos anteriores de desenvolvimento da indústria química: a presença de institutos de pesquisa não universitários, com foco e capacitação para desenvolver processos e produtos em parceria com as empresas, como o CTBE, o CTC, a Embrapa Agroenergia e os três Institutos SENAI de Inovação em Biomassa, Biossintéticos e Química Verde. Esse conjunto de institutos, todos estruturados recentemente (ou reestruturados, como o CTC), ao lado da infraestrutura em pesquisa das principais empresas ligadas à bioeconomia, compõem um ecossistema que cabe reforçar e completar.

2.4 Considerações finais

Ao longo das seções anteriores, discutiram-se quais tecnologias são, de fato, disruptivas (e como o são) para os principais segmentos da indústria química mundial e brasileira, bem como para o foco setorial bioeconomia. O quadro adiante sintetiza os resultados apresentados.

Quadro 1 – Síntese dos impactos das inovações disruptivas sobre o sistema produtivo da química e o foco bioeconomia

Internet das Coisas	<ul style="list-style-type: none"> • Potencialmente disruptiva para a cadeia de suprimentos e distribuição.
Tecnologias de redes de comunicação rápidas e seguras	<ul style="list-style-type: none"> • Não são esperados impactos disruptivos. • Impactos moderados sobre a eficiência dos processos produtivos.
Inteligência artificial, big data e computação em nuvem	<ul style="list-style-type: none"> • Não são esperados impactos disruptivos. • Podem ser capacitadoras para a bioeconomia. • Impactos moderados sobre a eficiência dos processos produtivos (potencialmente disruptivas quando utilizadas em convergência com os demais <i>Clusters</i> digitais). • Não são esperados impactos disruptivos.
Produção inteligente e conectada	<ul style="list-style-type: none"> • Impressão 3D pode trazer transformações disruptivas para a organização da cadeia produtiva dos plásticos, em sua ligação entre a petroquímica e os utilizadores finais.
Bioprocessos e biotecnologias avançadas	<ul style="list-style-type: none"> • Impactos disruptivos potenciais em bioplásticos e biopolímeros, mais intensos para produtos “<i>não drop in</i>” (não equivalentes a precursores de base fóssil).
Nanotecnologia	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologias são capacitadoras para a bioeconomia • Impacto potencialmente disruptivo no caso de catalisadores.
Materiais avançados	<ul style="list-style-type: none"> • Podem ser capacitadoras para a bioeconomia.
Armazenamento de energia	<ul style="list-style-type: none"> • Não são esperados impactos disruptivos.

Fonte: Elaboração própria.

No caso das tecnologias digitais (quatro primeiros *Clusters*), cabe destacar as duas trajetórias consideradas ao longo do capítulo:

A **trajetória de adaptação com inovações incrementais**, centrada na eficiência da operação e dos processos de gestão que tende a ser a dominante nos setores de *commodities* como a petroquímica. Envolve essencialmente ganhos de eficiência com pouco espaço para mudanças de estrutura de mercado. As vantagens decorrentes da adoção pelas empresas pioneiras não tenderiam a ser sustentáveis, em decorrência do alinhamento estratégico dos competidores.

A **trajetória de transformação com inovações incrementais, com potencial radical de transformação dos modelos de negócio**, que tende a ser mais presente no segmento de especialidades, leva a implicações distintas. Mudanças em modelos de negócio que decorram do processo de transformação digital podem abrir espaço para novos *players*, que não participavam das cadeias de valor tradicionais.



3

3 DESAFIOS E IMPLICAÇÕES PARA O BRASIL

3.1 Uso atual e esperado das tecnologias digitais

A pesquisa de campo do Projeto I2027 foi construída para mapear o processo de difusão atual e esperado de inovações em Tecnologias de Informação e Comunicação na indústria. Para isso, considerou-se uma sequência de quatro gerações digitais, a saber: produção rígida; produção flexível; produção integrada; e produção conectada e inteligente, essa última correspondente ao paradigma digital 4.0. a empresa foi observada a partir de cinco funções, a saber: relacionamento com fornecedores; desenvolvimento de produto; gestão do processo de produção; relacionamento com clientes/ consumidores; e gestão dos negócios. As principais características da consulta realizada, incluindo a descrição do questionário utilizado, podem ser encontradas no Relatório Final da Pesquisa de Campo que integra a documentação do Projeto I2027.

Este relatório apresenta o resultado da análise dos dados obtidos pela pesquisa de campo do Projeto I2027 contemplando o Sistema Produtivo da Química (SP Química). O questionário foi aplicado entre 1º de junho e 31 de outubro de 2017 e obteve 759 respostas válidas dentro do público-alvo de estabelecimentos industriais com mais de 100 empregados. Especificamente no caso do SP Química, foram obtidas 109 respostas válidas. Abaixo registram-se as principais conclusões alcançadas pela pesquisa. O relatório integral para o SP Química encontra-se no Anexo.

No SP Química, 65,1% dos respondentes atribuem probabilidade alta ou muito alta de a geração 4 de tecnologias digitais ser dominante até 2027. As maiores probabilidades são referentes a tecnologias digitais empregadas no Relacionamento com fornecedores (84,4%) e no Relacionamento com clientes (76,1%), reproduzindo o padrão assinado pelo conjunto da indústria. A menor probabilidade é atribuída para as tecnologias associadas ao Desenvolvimento de produto (51,4%).

Hoje, apenas 1,5% das empresas brasileiras do SP Química utilizam as tecnologias digitais da geração 4, proporção similar à do total da indústria. Por sua vez, o conjunto de empresas que estão nas gerações 3 ou 4 é de 28,7% no SP Química, percentual acima da média da indústria (22,2%).

Em 2027, 22,9% dos respondentes esperam estar na geração digital 4, expressando, portanto, uma expansão significativa em relação a situação atual. Nas gerações 3 ou 4 estarão 64,6% das empresas do SP Química, valor também superior à média geral (58,7%).

Na comparação de 2017 com 2027, os maiores níveis em termos da adoção das tecnologias digitais das gerações 4 são esperados na função de relacionamento com

fornecedores e gestão de negócios, enquanto os maiores avanços (variações relativas) são esperados para gestão da produção e da gestão de negócios. Em termos comparativos, a expectativa é de que maiores diferenciais em relação à média geral sejam observados no caso de Relacionamento com fornecedores e, em menor grau, Gestão de negócios. No caso da função Relacionamento com clientes, este diferencial é desfavorável às empresas do SP Química, em contradição com a expectativa de elevada probabilidade de difusão dessas tecnologias revelada pelas empresas do setor.

Os impactos sobre a competitividade decorrentes da adoção das tecnologias da geração 4 são maiores para a função de relacionamento com clientes, com ênfase em “prontidão” – atributo igualmente relevante nas funções de relacionamento com fornecedores e gestão de negócios.

Atualmente, a grande maioria das empresas encontra-se em estágio muito inicial de adoção das tecnologias mais avançadas. Somente 16,9% das empresas no SP Química têm ações em execução visando a implantação da geração 4, enquanto 35,7% não estão se movimentando e 31,7% encontram-se ainda em estudos iniciais nesse sentido. Considerando as funções organizacionais, a intensidade desse esforço é maior em relacionamento com fornecedores e relacionamento com clientes.

Em comparação com o conjunto da indústria, a maior intensidade dos esforços no SP Química está sendo direcionada para as funções de relacionamento com fornecedores, de relacionamento com clientes e de gestão de negócios e para ações relacionadas a treinamento.

Como tendência geral, observa-se hoje uma taxa de adoção das tecnologias geração 4 extremamente reduzida. Para o horizonte de 2027, entretanto, espera-se uma importante elevação da taxa de adoção dessas tecnologias, que pode estar fundamentada em estímulos da dinâmica competitiva setorial e na possibilidade de geração de impactos efetivos sobre diferentes atributos determinantes da competitividade.

As evidências indicam que essas inovações podem ser implementadas em áreas distintas da empresa, num ritmo diferenciado, e que, eventualmente, podem surgir mecanismos de retroalimentação entre diversas funções organizacionais, capazes de gerar uma aceleração geral do ritmo de difusão.

3.2 Riscos, oportunidades e capacidade de resposta das empresas

A indústria química brasileira apresenta elevado grau de heterogeneidade e diversidade. Ao lado de empresas de maior porte e com padrão compatível com a indústria internacional, há empresas médias e pequenas que ainda estão tecnologicamente atrasadas. Os desafios e implicações são, portanto, diversos e devem ser abordados com políticas e estratégias diferentes.

No caso das empresas de maior porte, a abordagem das TIC deve seguir o ritmo das empresas internacionais, com a participação de fornecedores internacionais e esforços internos. A existência de programas e consórcios voltados para a modernização digital seria um complemento importante para auxiliar na definição de padrões e eventuais novas formas de governança que surjam com rearranjos das cadeias produtivas. A inserção em programas cooperativos do tipo SIDAP (*scalable integration concept for big data in the process industry*), que reúnem os diversos atores envolvidos na transformação digital, pode ser importante.

Quanto às demais tecnologias, além dos esforços das empresas de maior porte, cabe um reforço de programas de pesquisa e formação qualificada de pessoal envolvendo empresas e centros de pesquisa no que se refere aos temas de maior repercussão para a indústria química: nanotecnologia, biotecnologia industrial e materiais avançados.

No caso das empresas de pequeno e médio porte, sugere-se explorar as tecnologias digitais como forma de atualização operacional e *upgrade* tecnológico, bem como criar projetos-piloto e consórcios envolvendo as empresas, fornecedores de TIC e universidades/centros de pesquisa. O fluxo recente de surgimento de *startups* pode ser uma forma tanto de modernização dessas empresas quanto de surgimento de novas empresas, de porte pequeno e médio, capazes de explorar as oportunidades de novos modelos de negócio. Para tanto, uma possibilidade é a criação e implantação de projetos-piloto de demonstração coordenados pelo Sebrae.

A seguir, detalha-se como a capacidade de resposta do sistema produtivo Química depende de certos atributos competitivos-chave, que, por sua vez, desdobram-se em desafios específicos, devido aos hiatos entre os recursos disponíveis e o necessário para fazer frente aos desafios e aproveitar as oportunidades que se abrem.

3.3 Desafios para a indústria brasileira

O ponto de partida para a discussão dos desafios colocados para o sistema produtivo Química e seu foco setorial em bioeconomia deve ser uma caracterização dos atributos de competitividade em bioeconomia, o que permite identificar e qualificar os desafios existentes. A análise desenvolvida neste relatório, caracterizando o setor baseado em recursos biológicos renováveis como um setor em estruturação, conduz à identificação dos atributos de competitividade como intimamente ligados a estratégias de inovação em setores emergentes, ainda em fase fluida, que se caracterizam por um elevado nível de incerteza. No presente caso, as variantes se multiplicam tanto no nível das matérias-primas quanto no das tecnologias e dos produtos, multiplicando o número de alternativas que um investidor pode adotar para estruturar o seu modelo de negócio e explorar o potencial de demanda existente.

A evolução da indústria deve levar a uma redução dessa variedade, com algumas definições vencedoras entre as alternativas hoje existentes. Essa situação coloca o tomador de decisões, tanto no nível das políticas públicas quanto no nível das estratégias empresariais, numa posição difícil. Dois riscos opostos podem advir das decisões, ao se considerar a multiplicidade de alternativas tecnológicas e a imaturidade da indústria. Num polo, a tentativa de distribuir as apostas em diversas alternativas, valorizando a indefinição dos designs dominantes, corre o risco de investir insuficientemente para desenvolvê-las. No outro polo, a escolha de uma alternativa a ser privilegiada pode levar à escolha de opções perdedoras e ao risco de perder os investimentos e esforços realizados. A identificação dos desafios pode seguir a estruturação proposta no nosso *framework* (Figura 1), explorando a dinâmica de inovação da indústria com base nas dimensões matérias-primas, tecnologias, produtos e modelos de negócio.

O primeiro atributo de competitividade¹⁷ é, portanto, a capacidade de captar a dinâmica do setor e orientar seus investimentos e políticas, num ambiente de incerteza, para a construção de uma base tecnológica sólida e, a partir daí assegurar a competitividade futura na bioeconomia. Na terminologia das *dynamic capabilities*, trata-se de perceber e dar forma às oportunidades (*sensing and shaping*) (TEECE, 2007), o que seria pré-condição para desenvolver os modelos de negócio capazes de explorar as oportunidades.

Compreender a indústria é uma habilidade difícil no caso de indústrias emergentes. Exige capacitação científica e tecnológica, muitas vezes em terrenos novos e ainda em construção, mas também percepções de economia e gestão da inovação. Esse entendimento necessita de forte conhecimento setorial associado a bases científico-tecnológicas. Esse é um desafio particularmente crítico para os órgãos de formulação de políticas industriais e financiamento, sem deixar de ser valioso para as decisões empresariais. A inexistência de experiência brasileira na participação de corridas tecnológicas reforça a importância desse ponto.

O segundo desafio está relacionado às matérias-primas. Trata-se da estruturação da oferta de biomassa, atendendo aos requisitos de produtividade, disponibilidade, qualidade, custo, performance ambiental, além da cadeia logística de suprimento. A principal vantagem comparativa brasileira reside na produtividade agrícola, em particular da cana-de-açúcar e das florestas plantadas. Entretanto, existem desafios importantes na produção de biomassa que desafiam a capacidade de pesquisa e inovação do país. Destaque-se que, mesmo no caso da cana-de-açúcar, existem desafios ligados ao atual estágio de produtividade que devem ser enfrentados nos próximos anos¹⁸ e

17. A discussão sobre os atributos de competitividade da bioeconomia retoma e desenvolve uma versão inicial, apresentada em “bioeconomia em construção I – Os fatores de competitividade da bioeconomia”, disponível em <<https://infopetro.wordpress.com/2014/03/31/bioeconomia-em-construcao-i-os-fatores-de-competitividade-na-bioeconomia/>>.

18. Nyko *et al.* (2013) desenvolvem a questão das tecnologias agrícolas no caso da cana no artigo “A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural?” O artigo conclui que “o atual SPIS (Sistema de Produção e Inovação Sucroalcooleiro) conquistou consistentes ganhos de produtividade na cultura da cana, mas vem enfrentando problemas para manter o ritmo dos resultados alcançados no passado. De fato, o período mais recente pode ser considerado frustrante e, se extrapolado para o futuro, aponta para ganhos de rendimento agrícola cada vez mais reduzidos”.

ao desenvolvimento de novos produtos, como a cana energia, mais adequados aos requisitos das inovações em bioeconomia.

Além dos desafios de produtividade das grandes culturas já estabelecidas, coloca-se o desafio da diversificação, que exige o desenvolvimento de pacotes tecnológico e logístico para novas matérias-primas.

A bioeconomia tem, na biodiversidade brasileira, grande potencial inexplorado e que devidamente ativado, pode trazer fortes vantagens comparativas e competitivas ao Brasil. Vale ressaltar que essa biodiversidade representa fonte de inovação ainda imensurável dado que é em grande parte desconhecida, em contraponto ao contexto dos países desenvolvidos que já possuem um extenso levantamento e uso de seus biomas.

Neste contexto, um grande desafio a ser enfrentado pelos atores empresariais e públicos, é posicionar a biodiversidade como ativo efetivo buscando agregar valor ao seu uso, como as que podem ser usadas em cosméticos. Isso demanda uma estratégia de identificação, valorização e implementação de uso sustentável da biodiversidade capaz de gerar riqueza e conservar os biomas brasileiros, tangibilizando benefícios ambientais e sociais às diferentes regiões do país. Por fim, o conhecimento estruturado do potencial brasileiro em biomassa, incluindo os resíduos urbanos, agrícolas e agroindustriais, é base importante para o desenvolvimento da bioeconomia.

O terceiro desafio está ligado às tecnologias, incluindo as de conversão, de pré-tratamento e de engenharia de processos. Nesse ponto, a biotecnologia industrial aparece como base para o futuro da indústria, principalmente em campos mais avançados e ainda com experiência industrial limitada, como a biologia sintética. Quanto ao desafio de pré-tratamento de matérias-primas, a busca de tecnologias capazes de disponibilizar de forma competitiva os açúcares dos materiais lignocelulósicos ou outros produtos de partida, como celulose e lignina, é um fator decisivo para o desenvolvimento da indústria. Um número crescente de projetos inovadores tem se dedicado a essa etapa inicial, que se mostrou um desafio crítico para a viabilidade e o crescimento da indústria.

A importância das tecnologias de processos, em particular a intensificação de processos, aparece também como um desafio para a viabilização econômica e ambiental da bioeconomia. Destaque-se o papel da nanotecnologia no desenvolvimento de catalisadores e da própria catálise. Além do conhecimento tecnológico central, que permite o desenvolvimento inicial em escala piloto, o *scale up* e a operação dos novos processos constituem atributos de competitividade importantes, já que os novos processos, principalmente os baseados em biotecnologia avançada, exigem novos conhecimentos de engenharia. Conceber e operar uma unidade industrial utilizando processos baseados em biologia sintética tem sido um grande desafio para os pioneiros.

O quarto desafio é a capacidade de introdução e difusão de novos produtos. A compreensão da utilização dos produtos e o desenvolvimento de relações com os *end users* estão no centro dos requisitos para a introdução de inovações. No caso dos produtos *drop in*, o custo adequado à substituição pode ser suficiente e reduzir muito o processo de desenvolvimento de novas aplicações. Entretanto, essa competitividade em custos, em relação aos produtos de base fóssil, tem se revelado um desafio difícil de ser superado.

Para os produtos não *drop in*, o desenvolvimento de ativos complementares e de relações com os *end users* exigirá dos produtores as competências em inovações de aplicações. Sublinhe-se que produtos não *drop in* podem ser justamente os mais interessantes para explorar o verdadeiro potencial da indústria *biobased* e obter vantagens competitivas sustentáveis. A capacidade da indústria brasileira de desenvolver aplicações para novos produtos, muitos deles com características de especialidades químicas, pode ser um atributo-chave para uma posição competitiva na indústria do futuro.

Por fim, no nível da paisagem sociotécnica (ver Figura 1) que envolve o ambiente de negócios (matérias-primas, tecnologias, produtos e modelos de negócio) reside um desafio importante, ligado ao ambiente institucional das políticas e do quadro regulatório. No que se refere às políticas, alguns atributos são fundamentais para o desenvolvimento da bioeconomia. O *mix* de políticas deve incluir políticas de oferta e de demanda e, ainda, atender idealmente propriedades de abrangência, consistência, equilíbrio interno e externo. Uma dimensão central nas políticas voltadas para a bioeconomia refere-se à taxa ou precificação do carbono, em linha com o que tem acontecido nos principais países e regiões do mundo. Os bioprodutos são importantes redutores de emissões já que, diferentemente dos biocombustíveis, fixam o carbono renovável. Uma política clara de preço de carbono poderia dar outro horizonte e atratividade para investimentos e P&D em bioeconomia.

Ainda na dimensão institucional, a bioeconomia envolve questões regulatórias de grande importância: acesso ao patrimônio genético, biossegurança e propriedade intelectual. A avaliação de empresas e *stakeholders* é de que, no que se refere à biossegurança e ao marco regulatório do acesso ao patrimônio genético (CTNBio), os progressos são importantes. Embora existam preocupações com seu funcionamento e sua evolução, o ponto crítico do ambiente brasileiro é a PI. Nesse campo, situa-se a importância de acelerar e reconhecer a propriedade intelectual de material genético e processos de engenharia genética, fundamentais nas conversões de biomassa. Com o avanço da tecnologia CRISPR e digitalização, a “edição de genes” deverá tomar o lugar dos “transgênicos” do passado. Torna-se crítico evoluir nesse debate e chegar a uma regulação que posicione o país dentro da corrida pela PI na bioeconomia e ajude a compor um ecossistema de inovação competitivo.

3.4 Implicações para políticas públicas e estratégias empresariais

Os desafios discutidos desdobram-se em implicações tanto nas políticas públicas quanto nas estratégias empresariais. Seguem-se alguns elementos que devem ser considerados nas reflexões dos agentes públicos e das empresas.

No âmbito das políticas públicas, é necessário formular uma estratégia nacional em bioeconomia, envolvendo amplamente os *stakeholders* e as diversas esferas de governo e agências, a exemplo do que foi feito recentemente na França, bem como criar instâncias e mecanismos de coordenação entre as diversas esferas de governo e agências, de modo que as políticas e estratégias para biocombustíveis e bioprodutos sejam alinhadas. Além disso, deve-se continuar aprimorando o quadro regulatório em biossegurança e acesso ao patrimônio genético e dar particular atenção aos problemas do sistema de propriedade intelectual existente no Brasil.

Os principais focos de ação para o avanço da bioeconomia cruzam diversos setores, tais como: química verde, fármacos, alimentos e agroindústria, permitindo políticas convergentes e que endereçam oportunidades de vocação brasileira. Em particular, uma estratégia nacional deveria:

- Ser projetada de modo a aproximar a biodiversidade às tecnologias disruptivas para valorização da biomassa, biotecnologia industrial e processos de bioconversão.
- Priorizar a bioprospecção de espécies vegetais, microorganismos, buscando “especialidades” químicas com alto valor agregado a partir de cadeias sustentáveis de ativos da biodiversidade.
- Estruturar ações de fomento e incentivos (regulatórios e fiscais) tendo como referência a economia circular e a viabilização de investimentos privados.
- Promover projetos que na bioeconomia ampliem economias de escala, escopo, a integração do Brasil em cadeias globais de P&D e produção por meio de consórcios, parcerias internacionais e o fomento a *startups*.

Devem ser eliminadas as lacunas em condições básicas limitantes para os projetos inovadores, como a inexistência de mapa georeferenciadas de resíduos e a limitada capacidade em estudos de análise de ciclo de vida, e deve-se reforçar a formação de recursos humanos, em particular nas áreas de biotecnologia industrial e biologia sintética, bem como impulsionar a criação de *startups* de base tecnológica voltadas para a bioeconomia.

O potencial de inovação da mudança do perfil empresarial na indústria *biobased* deve ser explorado, criando mecanismos criativos para a inserção produtiva e tecnológica dessas novas empresas no país, e devem-se privilegiar programas que tenham metas explícitas de inovação, e não apenas de volumes a serem produzidos ou consumidos.

Nesse sentido, seria interessante que o Estado formulasse políticas de demanda também para os bioprodutos e os biocombustíveis avançados, que até agora contaram apenas com políticas do tipo *push*. Deve-se também avaliar o caso das plantas pioneiras – *first-of-a-kind* – e considerar a necessidade de financiamento específico para esse estágio da difusão das novas tecnologias *biobased*, condicionando a concessão das subvenções a resultados previamente definidos, em moldes semelhantes aos mecanismos de financiamento de *grants* utilizados internacionalmente.

Programas do tipo PAISS e PADIQ devem ser mantidos, com estabilidade e continuidade, e aprimorados nos processos de definição dos editais, com a incorporação de conhecimentos tecnológicos mais avançados. Com a continuidade, deve-se buscar a prática de revisões e redirecionamentos para modificar escopo e/ou identificar novos desafios. Por fim, recomenda-se particular atenção aos mecanismos de coordenação dos processos, seguindo os princípios lançados pelo PAISS e PADIQ.

3.4.1 Implicações para estratégias empresariais

As implicações para estratégias empresariais podem ser apresentadas em três eixos. O primeiro diz respeito aos esforços para estabelecer claramente na empresa uma percepção e formatação das oportunidades em bioeconomia. Sendo um setor em construção e sem estrutura industrial definida, é importante que as empresas sejam capazes de formar uma visão não só das questões científicas e tecnológicas envolvidas, mas também da dinâmica de inovação da bioeconomia. Sugere-se alguma forma de sistematização desse esforço, como a construção de *roadmaps* ou o acompanhamento de tecnologias, produtos e modelos de negócio considerados de referência. Como a bioeconomia envolve uma grande diversidade de empresas de origens diferentes, logo, detentoras de competências diferentes, a compreensão das oportunidades passa por participar de discussões e fóruns igualmente diversos. Além disso, pode ser interessante buscar eventos internacionais em que a questão científica e tecnológica esteja em algum grau relacionada também à questão negócios.

O segundo envolve a articulação das estratégias em matérias-primas, tecnologias e em produtos. Nesse eixo, cada empresa terá definições prévias e pontos de escolha a serem combinados em função da sua posição atual e lógica de entrada na bioeconomia. Assim, uma empresa na indústria química precisará definir uma estratégia em matérias-primas a serem exploradas. Ao mesmo tempo, empresas atuando em etanol ou na indústria de papel e celulose partem das matérias-primas que conhecem e sabem explorar para, a partir dessa base, definir tecnologias e produtos. Nesse caso, a tarefa é definir uma estratégia tecnológica e uma estratégia de produtos.

O terceiro eixo é o da exploração do aprendizado no processo de construção da indústria. Em todas as escolhas, é importante ter em mente que se trata de um processo com algum grau de experimentação. Por isso, a opção por modelos de

negócio flexíveis pode ajudar no processo de aprendizado. As trajetórias das empresas pioneiras atestam as dificuldades do processo de inovação em setores emergentes e ainda com desafios tecnológicos e comerciais importantes. Porém, as oportunidades de exploração dos conhecimentos acumulados, explícitos e tácitos, podem ser vistas como preciosas na sequência do desenvolvimento da bioeconomia.

Cabe lembrar e reforçar a perspectiva que representa na indústria química a mudança de base de matéria-prima. Essa mudança é uma oportunidade de redefinição da indústria e uma oportunidade para um país como o Brasil, detentor privilegiado de vantagens comparativas na biomassa.



REFERÊNCIAS

ABERNATHY, W. J., UTTERBACK, J. M. **Patterns of industrial innovation**. Technology Review, v. 80, n. 7, June-July, 1978, p 40-47.

BAKER, **Green concepts take firm root ICIS Chemical Business**. 21-27 January, 2013, p 27-30.

BENNET, S., PEARSON P. From petrochemical complexes to biorefineries? The past and prospective co-evolution of liquid fuels and chemicals production in the UK. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 8, n. 7, 2009, p1120–1139.

BOMTEMPO, J. V. **O futuro dos biocombustíveis XIII: a matéria-prima como fator estruturante da indústria**. Blog Infopetro, disponível em www.infopetro.wordpress.com, 2012, acessado em junho 2013.

BOMTEMPO, J.V. **O futuro dos biocombustíveis X: As duas corridas do açúcar**, Blog **Infopetro**. disponível em www.infopetro.wordpress.com, 2011, acessado em junho 2013.

BOMTEMPO, J. V. **Bioprodutos, biocombustíveis e bioprocessos, in Química Verde no Brasil: 2010-2030**. CGEE, Brasília, 2010.

BOMTEMPO, J. V. **Innovation et organisation: le cas de l'industrie des polymères, tese de doutorado**. CERNA, École des Mines de Paris, 1994.

BOZELL, J. J.; PETERSEN, G. R. Technology development for the production of biobased products from biorrefinery carbohydrates – the US Department of Energy's "Top 10" revisited. **Green Chemistry**, v. 12, 2010, p. 539 – 554.

BULLIS, K. **Biofuels companies drop biomass and turn to natural gas**. October 30, www.technologyreview.com, 2012, acessado em janeiro 2013.

BURR, K. **Sustainability Research**. 2013, disponível em www.icis.com, acessado em fevereiro 2013

CGEE. **Química verde no Brasil: 2010-2030**., Brasília, 2010.

COUTINHO, P.; BOMTEMPO, J. V. Roadmap tecnológico em matérias-primas renováveis: uma base para a construção de políticas e estratégias no Brasil. **Química Nova**, 34, 2011, p. 910-916.

JONG E. de, HIGSON A., WALSH P. Wellisch., 2012, Product developments in the bio-based chemicals arena Biofuels. **Bioprod. Bioref.**6, 2012, p. 606–624.

EUROPEAN COMMISSION. **Innovating for a sustainable growth: a bioeconomy for Europe**. Disponível em: http://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/201202_innovating_sustainable_growth.pdf, 2012, acessado fevereiro 2013.

FROHLING, M., SCHWEINLE J., MEYER J., SCHULTMAN, F. **Logistics of renewable raw materials, in Renewable raw materials**. Ulber R., Sell D. and Hirth T. (eds), Wiley-VCH, Weinheim, 2011.

FIGUEIREDO, P.N. Discontinuous innovation capability accumulation in latecomer natural resource processing firms. **Technological Forecasting & Social change**. 77, 1090-1108, 2010.

GEELS, F.W. From sectoral systems of innovation to socio-technical systems. Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. **Research Policy**. 33 (6-7), 2004, p. 897-920.

HOLMGREN, J. **LanzaTech New Route to Biobased Products, presentation at ABLC**. April 3, Washington DC, 2012.

HERMANN, B., CARUS M., PATEL M., BLOK K. Current policies affecting the market penetration of biomaterials. **Biofuels, Bioprod. Bioref.** 5, 2011, p. 708-719.

HOLLIDAY, C. **Sustainable growth, the DuPont way, Harvard Business Review**. September, 3-7, 2001.

IEA BIOENERGY TASK42. **Biobased chemicals**. Disponível em www.iea-bioenergy.task42-biorefineries.com, 2012, acessado em fevereiro 2013

KIRCHBAUM, R. WUBBOLTS, M. **Open innovation at DSM, presentation at Boston Biobased Chemicals Summit**. September, Boston, 2010.

KIRCHER, M. The transition to a bio-economy: national perspectives. **Biofuels, Bioprod. Bioref.** 6, 2012, p. 240-245.

LAMONICA, M., **For Energy Startups, a Glass Half Full or Empty?** MIT Technology Review, 2013, disponível em www.technologyreview.com, acessado em fevereiro 2013.

LANE, J. **The greening of BASF**. Disponível em www.biofuelsdigest.com, 2012, acessado em fevereiro 2013.

NYKO, D., VALENTE, M. S., MILANEZ, A. Y., TANAKA, A. K. R., RODRIGUES, A. V. P., 2013. A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural? **BNDES Setorial**. 37, 2013, p. 399-442.

OECD. **The Bioeconomy to 2030 designing a policy agenda**. OECD, Paris, 2009.

OROSKI, F., BOMTEMPO, J. V., ALVES F. **Bioplastics tip point: drop in or non drop in?** (a ser publicado no Journal of Chemical Business), 2013.

PATEL, M., CRANK, M., DORNBURG V., HERMANN B., ROES L, HÜSING B. *et al.* **Medium and long-term opportunities and risks of the biotechnological production of bulk chemicals from renewable resources** – The BREWProject. Disponível em: <http://www.projects.science.uu.nl/brew/programme.html>, 2006, acessado em fevereiro 2013.

PAVITT, K. Sectoral patterns of technological change: towards a taxonomy and a theory. **Research Policy**. v. 13, n. 6, 1984, p. 343-373.

PEREZ, C. **Financial bubbles, crises and the role of government in unleashing golden ages**. Tallinn University of Technology and London School of Economics, January 2012.

PEREZ, C. **The financial crisis and the future of innovation: A view of technical change with the aid of history**. Working Papers in Technology Governance and Economic Dynamics no. 28, The other canon foundation, Norway, Tallinn University of Technology, Tallinn, 2010.

POLMAN P. **Unilever Sanford Bernstein Conference – London Chief Executive Officer**. September 19th, 2012, disponível em www.unilever.com, acessado em fevereiro 2013

RASCHKA, A., CARUS, M. **Industrial material use of biomass: Basic data for Germany, Europe and the world**. Disponível em: <http://www.nova-institut.de/bio/>, acessado em fevereiro 2013

REDDY, M. M., MISRA, M., MOHANTY, A. K. **Biobased materials in the new bioeconomy**. CEP, may, 2012, p. 37-42.

REGALBUTO, J. R. The sea change in US biofuels'funding: from cellulosic ethanol to green gasoline. **Biofuels, Bioprod. Bioref.**,5,5, 2011, p. 495 -504.

SARATHY, V., MORAWIETZ, M., GOTPAGAR, J., BEBIAK, J., **Chemical Trends, strategye**. Disponível em: <https://www.strategyand.pwc.com/trend/2017-chemicals-industry-trends>, acessado em dezembro 2017.

SHEN, L., HAUFE, J., PATEL, M. K. **Product overview and market projection of emerging bio-based plastics**. Utrecht Univeristy, the Netherlands, 2009.

SIJBESMA F. **Key Note Speech Feike Sijbesma – CEO Royal DSM**. World Congress Industrial Biotechnology, Toronto, Canada, 2011. Disponível em www.dsm.com, acessado em fevereiro 2013.

SPITZ P. **Petrochemicals, the rise of an industry** Wiley, 1988.

STOKES, R. **Opting for Oil: The Political Economy of Technological Change in the West german industry**, 1945-1961, Cambridge University Press, 1994.

TEECE, D., PISANO, G., SHUEN A. Dynamic Capabilities and Strategic Management. **Strategic Management Journal**. v. 18, n. 7. , 1997, p. 509-533.

TULLO, A. H. Global top 50 chemical firms. **Chem e Eng News**. v. 93, n. 30, 14-26, 2015.

UK synthetic biology roadmap. Disponível em: <http://www.rcuk.ac.uk/documents/publications/SyntheticBiologyRoadmap.pdf>, 2013, acessado em fevereiro 2013.

VON HIPPEL, E. **The sources of Innovation**. Oxford University Press, 1988.

VON HIPPEL, E. **Democratizing Innovation**. Oxford University Press, 2005.

WEST J. **E. I. DuPont de Nemours and Company (A)**. Case 699-032, Harvard Business School Press, 1999.

WHITE HOUSE. **National Bioeconomy Blueprint**. Disponível em: http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/national_bioeconomy_blueprint_april_2012.pdf, 2012, acessado em fevereiro 2013.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The future of industrial biorefineries**. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_FutureIndustrialBiorefineries_Report_2010.pdf, 2010, acessado em fevereiro 2013.



ANEXO – DETALHAMENTO DOS RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO: SP QUÍMICA

A1 Caracterização do painel de respondentes

A1.1 Concepção da pesquisa

A pesquisa de campo do Projeto I2027 foi construída para mapear o processo de difusão atual e esperado de inovações em Tecnologias de Informação e Comunicação na indústria. Para isso, considerou-se uma sequência de quatro gerações digitais: Produção Rígida; Produção Flexível; Produção Integrada; e Produção Conectada e Inteligente, essa última correspondente ao paradigma digital 4.0.

A empresa foi observada a partir de cinco funções: Relacionamento com fornecedores; Desenvolvimento de produto; Gestão do processo de produção; Relacionamento com clientes/ consumidores; e Gestão dos negócios. O Quadro A1 detalha a estrutura analítica que guiou a concepção do trabalho. As principais características da consulta realizada, incluindo a descrição do questionário utilizado, podem ser encontradas no Relatório Final da Pesquisa de Campo que integra a documentação do Projeto I2027.

Quadro A1 – Gerações digitais de acordo com as funções empresariais

	Relacionamento com fornecedores	Desenvolvimento de produto	Gestão da produção	Relacionamento com clientes/ consumidores	Gestão dos negócios
Geração 1	Transmissão de pedidos manualmente	Sistema de projeto auxiliado por computador	Automação simples (rígida) com máquinas não conectadas	Execução de contatos e registros manualmente	Sistemas de informação independentes específicos por departamento/ área, sem integração
Geração 2	Transmissão de pedidos por meio eletrônico	Sistema integrado de projeto, fabricação e cálculo de engenharia com auxílio de <i>software</i>	Processo parcial ou totalmente automatizado	Automação da força de vendas	Sistemas compostos por módulos e base de dados integrados

	Relacionamento com fornecedores	Desenvolvimento de produto	Gestão da produção	Relacionamento com clientes/ consumidores	Gestão dos negócios
Geração 3	Suporte informatizado dos processos de compras, estoques e pagamentos	Sistemas integrados de gestão de dados de produto	Sistemas integrados de execução de processo	Sistema de integração e suporte baseado em Internet	Plataforma <i>web</i> com bases de dados para apoiar análises de negócio
Geração 4	Relacionamento com fornecedores por meio de acompanhamento em tempo real de pedidos e de logística com uso de <i>web services</i>	Sistemas virtuais de desenvolvimento Desenvolvimento de produtos por meio de sistemas de modelagem virtual do produto e do processo	Gestão da produção automatizada por meio de soluções de Comunicação M2M (máquina-máquina)	Relacionamento com clientes por meio de tecnologias de monitoramento dos produtos em uso Monitoramento e gestão do ciclo de vida de clientes	Gestão do negócio por meio de processos automatizados com apoio de Inteligência Artificial e utilização de <i>Big Data Analytics</i>

Fonte: Elaboração própria.

A1.2 Alvo amostral e período de coleta

A pesquisa foi aplicada via Internet tendo como alvo amostral estabelecimentos industriais com 100 ou mais empregados, possíveis de serem estratificados segundo diferentes recortes, com destaque para os “sistemas produtivos” de atuação das empresas, o tamanho das empresas (em termos do número de empregados), região e origem do capital.

O período de coleta transcorreu entre 1º/06/2017 a 1º/11/2017, tendo sido obtidas 813 respostas. Após crítica para eliminar situações de incongruência das informações, obteve-se uma base de dados composta por 759 estabelecimentos.

A1.3 Caracterização dos respondentes

Na base de dados, o Sistema Produtivo da Química (SP Química) perfaz um total de 109 estabelecimentos, correspondentes a 14,4% do total da amostra.

A Tabela A1 apresenta as características da subamostra do SP Química. Das 74 empresas (67,9% do total) que informaram o número de empregados, 44,6% são de grande porte (mais de 500 empregados); 24,3% são de médio-grande porte (entre 250-500 empregados); e 31,1%, são empresas de médio porte (entre 100-250 empregados).

Quanto à origem do capital, 85,3% são de propriedade de capital nacional. Em termos do subsetor de atuação no SP Química, há um ligeiro predomínio de estabelecimentos da indústria petroquímica, resinas e plásticos (31,2%). Por fim, em termos de localização, a maior parte está na Região Sudeste (50,5%).

Tabela A1 - Caracterização do painel por porte, setor de atuação e localização – SP Química

	Tamanho	Tamanho % (total e com resposta)	
Grandes (mais de 500 empregados)	33	30,3%	44,6%
Médias (100-250 empregados)	23	21,1%	31,1%
Médias-grandes (250-500 empregados)	18	16,5%	24,3%
Sem resposta	35	32,1%	
Total geral	109	100,0%	

	Origem do capital	Origem do capital %	
Demais nacionalidades	16	14,7%	
Nacional	93	85,3%	
Total geral	109	100,0%	

	Principal setor	Principal setor %	
Petroquímica, resinas e plásticos	34	31,2%	
Demais química	28	25,7%	
Química orgânica	26	23,9%	
Biocombustíveis	21	19,3%	
Total geral	109	100,0%	

	Localização	Localização %	
Sudeste	55	50,5%	
Sul	21	19,3%	
Nordeste	20	18,3%	
Centro-Oeste	9	8,3%	
Norte	4	3,7%	
Total geral	109	100,0%	

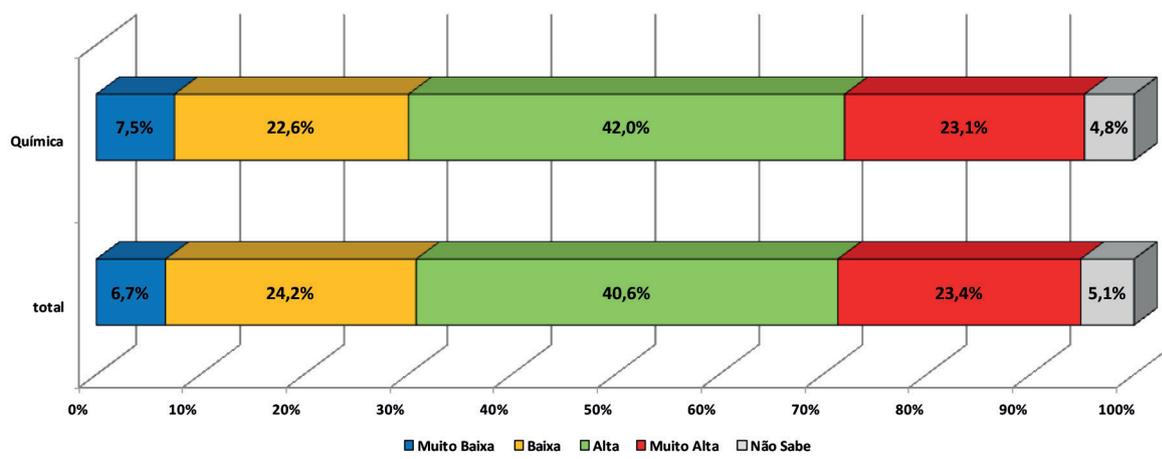
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

A2 Resultados

A2.1 Probabilidade de adoção das tecnologias

De acordo com as empresas do SP Química, a probabilidade de as tecnologias da geração digital 4 se tornarem dominantes no setor de atuação do respondente no futuro (entre cinco a dez anos) é “alta” ou “muito alta” para 65,1% dos respondentes, patamar similar ao observado para o conjunto da indústria (64%), conforme mostra o Gráfico A1.

Gráfico A1 – Probabilidade das tecnologias da geração digital 4 se tornarem dominantes no setor de atuação do respondente no futuro (entre cinco e dez anos), em % do número de respondentes – SP Química e total da indústria

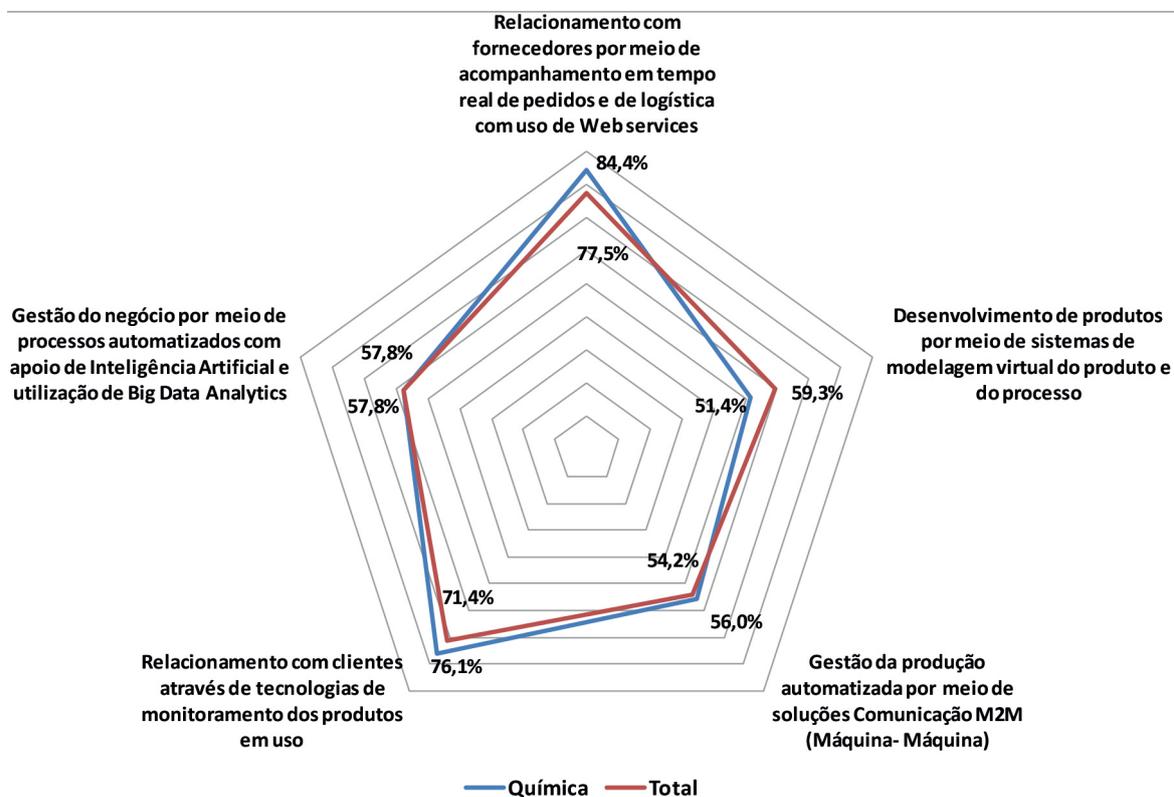


Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

O Gráfico A2 detalha as expectativas do painel em termos de adoção das tecnologias da geração digital 4 para as diferentes funções organizacionais enfocadas na pesquisa de campo. No SP Química, o percentual de respondentes que atribui probabilidade “alta” ou “muito alta” é mais elevado no caso de Relacionamento com fornecedores por meio de acompanhamento em tempo real de pedidos e de logística com uso de *web services* (84,4%) e de Relacionamento com clientes por meio de tecnologias de monitoramento dos produtos em uso (76,1%), superando levemente as expectativas assinaladas pelo conjunto da indústria.

A menor probabilidade foi atribuída para o Desenvolvimento de produtos por meio de sistemas de modelagem virtual do produto e do processo (51,4%) que, ao contrário, ficaram um pouco aquém da visão da indústria.

Gráfico A2 – Probabilidade “alta” ou “muito alta” de as tecnologias da geração digital 4 se tornarem dominantes no setor de atuação (entre cinco e dez anos) para as funções organizacionais, em % do número de respondentes – SP Química e total da indústria

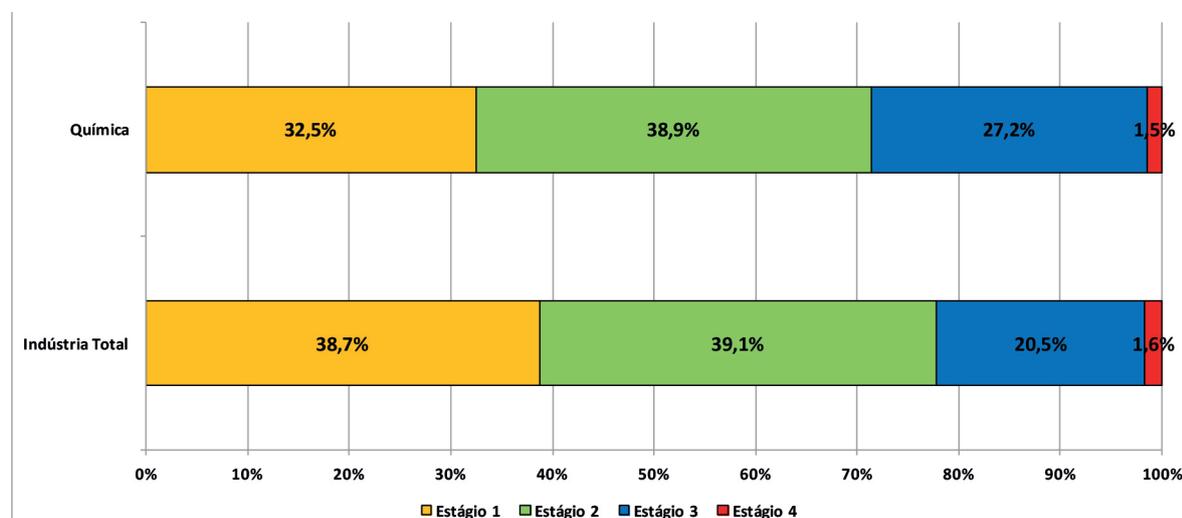


Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

A2.2 Gerações digitais dos respondentes hoje

Dada a alta probabilidade de difusão das tecnologias mais avançadas esperada pelas empresas, a análise da geração tecnológica em que as empresas se posicionam hoje ganha particular interesse. No caso do SP Química, apenas 1,5% indicaram estar na geração digital 4 (Gráfico A3), percentual similar ao registrado para o conjunto da indústria. Quando se considera o conjunto das gerações 3 e 4, esse percentual sobe para 28,7% no SP Química, valor bem acima da média geral (22,2%).

Gráfico A3 – Distribuição dos respondentes segundo as gerações tecnológicas digitais, hoje, em % do número de empresas – SP Química e total da indústria



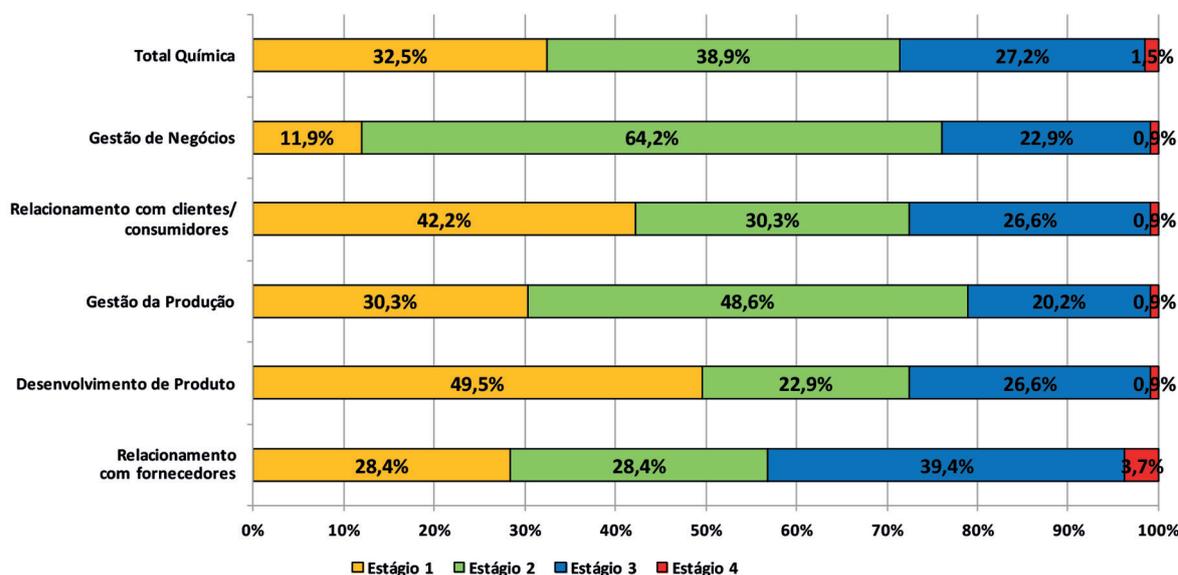
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

A2.3 Gerações tecnológicas de acordo com função empresarial

Com relação às funções empresariais, é bastante perceptível o estágio mais avançado das tecnologias digitais empregadas no Relacionamento com Fornecedores. Conforme ilustrado pelo Gráfico A4, 43,1% das empresas adotam hoje tecnologias relacionadas às gerações 3 e 4 na função de Relacionamento com fornecedores, das quais 3,7% estão na geração 4 – ambos resultados expressivamente superiores aos indicados para as demais funções.

Por outro lado, com valores menores cabe mencionar as funções de Gestão da produção e Gestão de negócios, com taxas de adoção das tecnologias relacionadas às gerações 3 e 4 indicadas, respectivamente, por 21,1% e 23,9% dos respondentes. Especialmente no caso das tecnologias de geração 4, em todas as demais funções (com exceção de Relacionamento com fornecedores), a adoção dessas tecnologias se restringe a 0,9% das empresas do painel.

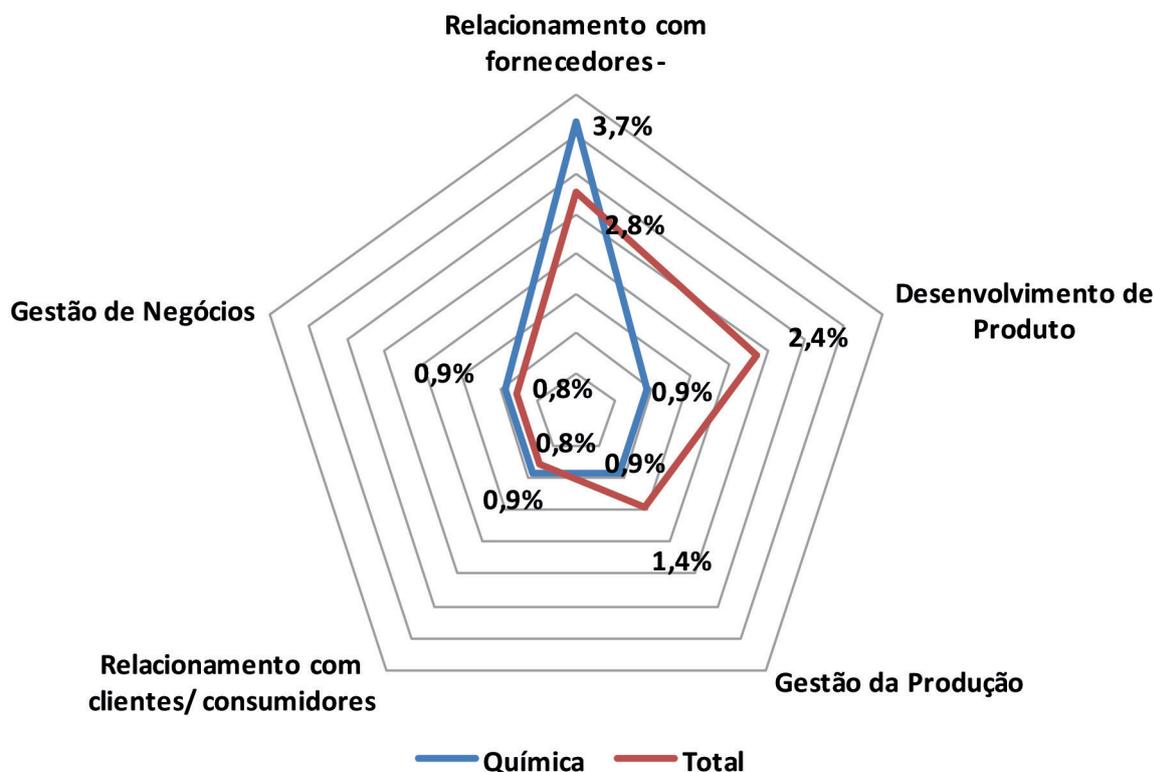
Gráfico A4 – Distribuição dos respondentes segundo gerações digitais, hoje, por funções organizacionais, em % de respondentes – SP Química



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

Essa análise pode ser mais bem qualificada por meio da comparação do SP Química com o total da Indústria (Gráfico A5). Apesar de as diferenças não serem expressivas, observa-se uma tendência à difusão mais intensa dessas tecnologias no SP Química, em especial nas funções de Relacionamento com fornecedores (3,7% contra 2,9%), comparativamente a uma situação mais desfavorável no caso do Desenvolvimento de produto (0,9% contra 2,4%) e Gestão da produção (0,9% contra 1,4%).

Gráfico A5 – Percentual de respondentes atualmente na geração tecnológica digital 4 por funções organizacionais, em % do número de respondentes – SP Química e total da indústria



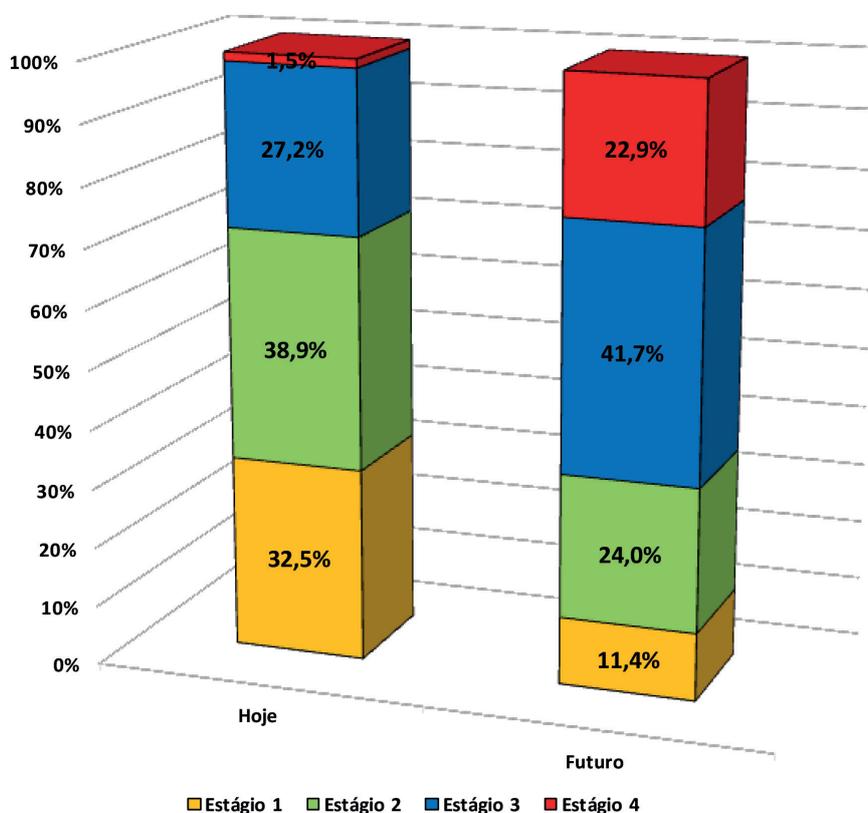
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

A2.4 Expectativas de adoção para 2027

Uma vez constatada a baixa difusão atual, cabe avaliar qual a expectativa das empresas acerca da difusão das tecnologias da geração digital 4 num horizonte futuro de dez anos (ano de 2027).

Conforme mostra o Gráfico A6, observa-se um crescimento significativo da intensidade da difusão das tecnologias da geração 4, com uma evolução esperada de 1,5% para 22,9% das empresas do painel entre 2017 e 2027. Além disso, o percentual de empresas localizadas na geração 3 também tende a se elevar, de 27,2% em 2017 para 41,7% em 2027. Como consequência o percentual de empresas entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 28,6% em 2017 para 64,6% em 2027, correspondendo a um crescimento de 126% naquela participação.

Gráfico A6 – Distribuição dos respondentes segundo as gerações tecnológicas digitais, hoje e futuro, em % do número de respondentes - SP Química

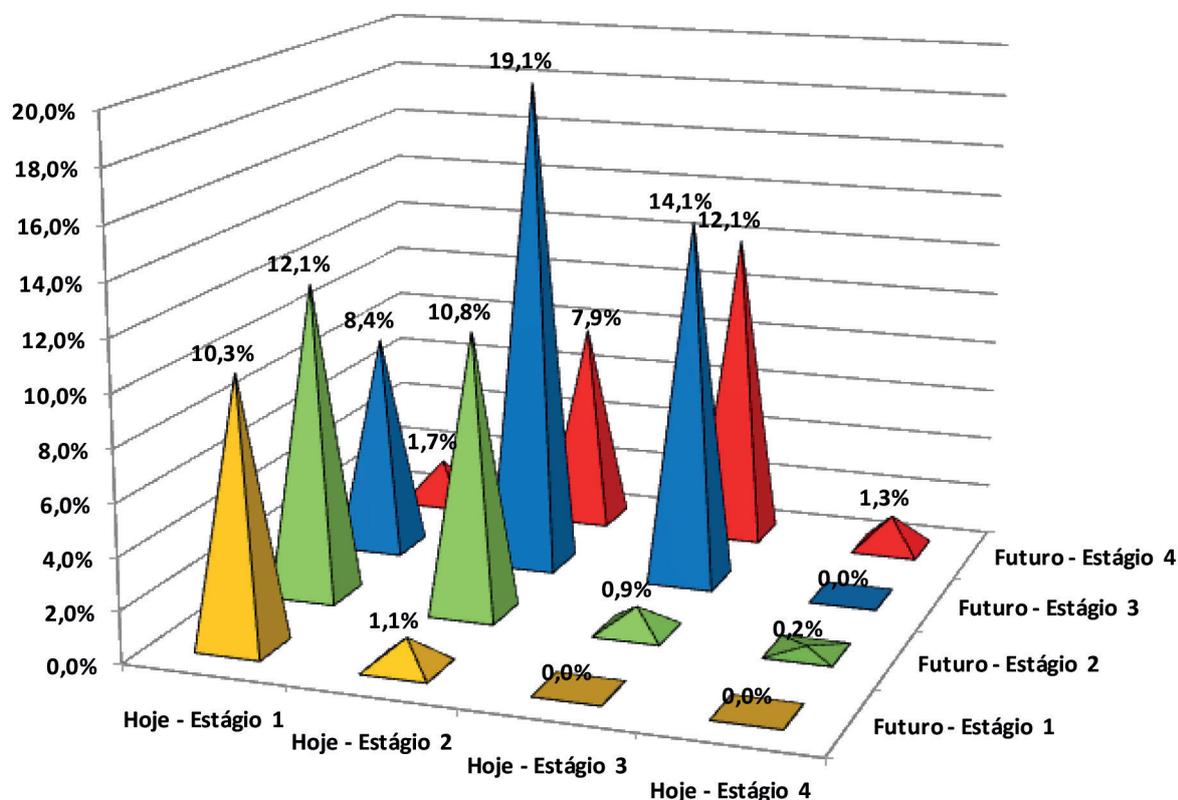


Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

Alternativamente, a evolução do SP Química ao longo do período considerado pode ser analisada por meio da “migração” das empresas entre as diferentes gerações (Gráfico A7). No caso de 32,5% do total de empresas localizadas na geração 1 em 2017, a perspectiva seria de que 10,3% permanecessem naquele estágio em 2027; 12,1% avançariam para a geração 2; 8,4% avançariam para a geração 3; e 1,7% avançariam para a geração 4.

No caso de 38,9% do total de empresas localizadas na geração 2 em 2017, a perspectiva seria de que 10,8% permanecessem naquele estágio em 2027, 19,1% avançassem para a Geração 3 e 7,9% avançassem para a geração 4. Por fim, no caso de 27,2% do total de empresas localizadas na geração 3 em 2017, a perspectiva seria de que 14,1% permanecessem naquele estágio em 2027 e 12,1% avançassem para a geração seguinte.

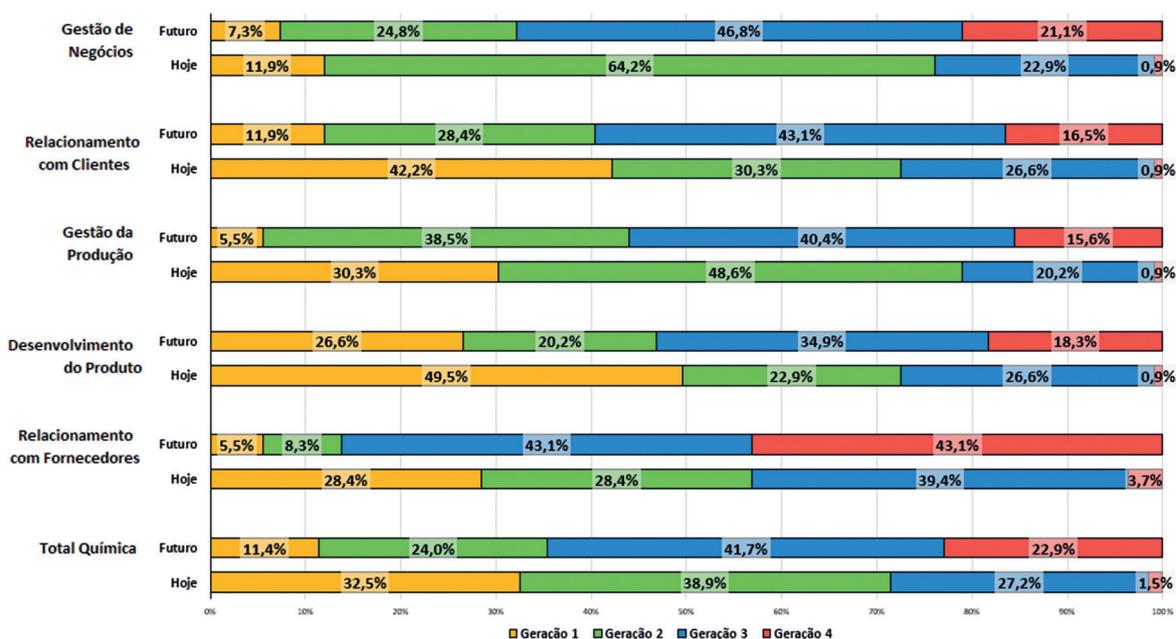
Gráfico A7 – Distribuição dos respondentes segundo as gerações tecnológicas digitais, hoje e futuro, em % do número de respondentes – SP Química



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

A análise geral da difusão atual e futura de tecnologias disruptivas pode ser mais bem qualificada considerando especificidades das diversas funções organizacionais, conforme ilustrado pelo Gráfico A8. As particularidades encontradas para o SP Química são destacadas a seguir:

Gráfico A8 – Distribuição dos respondentes segundo as gerações tecnológicas digitais de acordo com as funções organizacionais, hoje e futuro, em % do número de respondentes



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

Relacionamento com fornecedores

Espera-se crescimento da intensidade da difusão associada à geração 4 de 3,7% para 43,1% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual localizado na geração 3 também tende crescer, de 39,4% para 43,1%. Como consequência o percentual entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 43,1% em 2017 para 86,2% em 2027.

Desenvolvimento de produtos

A expectativa é de crescimento da taxa de difusão das tecnologias da geração 4 de 0,9% para 18,3% das empresas do painel entre 2017 e 2027. Já o percentual de empresas localizadas na geração 3 deve evoluir de 26,6% em 2017 para 34,9% em 2027, segundos os respondentes. Como consequência o percentual entre as gerações 3 e 4 aumentaria de 27,5% em 2017 para 53,2% em 2027.

Gestão da produção

A intensidade da difusão das tecnologias associada à geração 4 deverá expandir-se de 0,9% para 15,6% das empresas do painel entre 2017 e 2027; já a das tecnologias da geração 3 deve aumentar de 20,2% em 2017 para 40,4% em 2027, segundo as empresas pesquisadas. Como consequência o percentual de empresas entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 21,1% em 2017 para 56,0% em 2027.

Relacionamento com clientes e consumidores

O percentual de empresas que adotam as tecnologias da geração 4 nessa função deve aumentar de 0,9% para 16,5% entre 2017 e 2027. Já a proporção de empresas localizadas na geração 3 também tende a se elevar, de 26,6% para 43,1%. Como consequência o percentual entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 27,5% em 2017 para 59,6% em 2027, mostrando um crescimento de 117% nessa participação.

Gestão de negócios

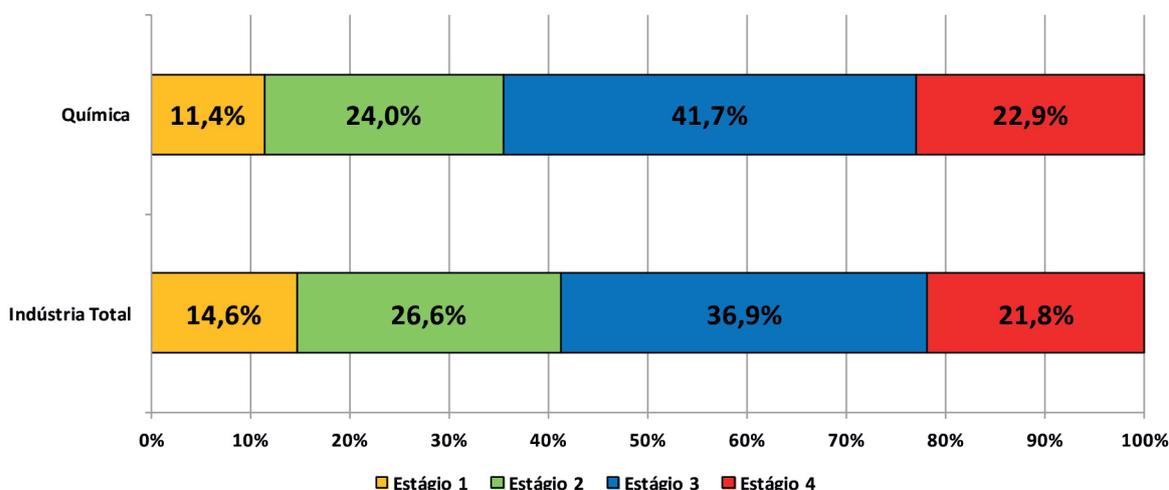
A intensidade da difusão associada à geração 4 deve aumentar de 0,9% para 21,1% entre 2017 e 2027. O percentual de empresas localizadas na geração 3 também tende a se elevar, evoluindo de 22,9% em 2017 para 46,8% em 2027. Como consequência o percentual entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 23,9% em 2017 para 67,9% em 2027, correspondendo a um crescimento de 185% naquela participação.

A2.5 Difusão futura – comparação entre funções

É possível comparar a expectativa de difusão futura de tecnologias digitais observada no caso do SP Química com as evidências para o conjunto da indústria. Também pode-se comparar a expectativa de difusão futura de tecnologias digitais no SP Insumos Básicos com as evidências para o mesmo conjunto. Nesse sentido consideram-se dois aspectos: a expectativa de posicionamento futuro das empresas nas diversas gerações tecnológicas (Gráfico A9) e a expectativa de adoção futura nas diferentes funções empresariais analisadas (Gráfico A10).

Com relação ao primeiro aspecto, no caso do SP Química, verifica-se que 22,9% das empresas tinham a expectativa de atingir a geração 4 –percentual ligeiramente acima do total geral do painel (21,8%). Quando se considera o conjunto das gerações 3 e 4, esse percentual atingia 64,6% no SP Química, valor superior à média geral (58,7%).

Gráfico A9 – Distribuição dos respondentes segundo as gerações tecnológicas digitais, futuro, em % do número de empresas – SP Química e total da indústria

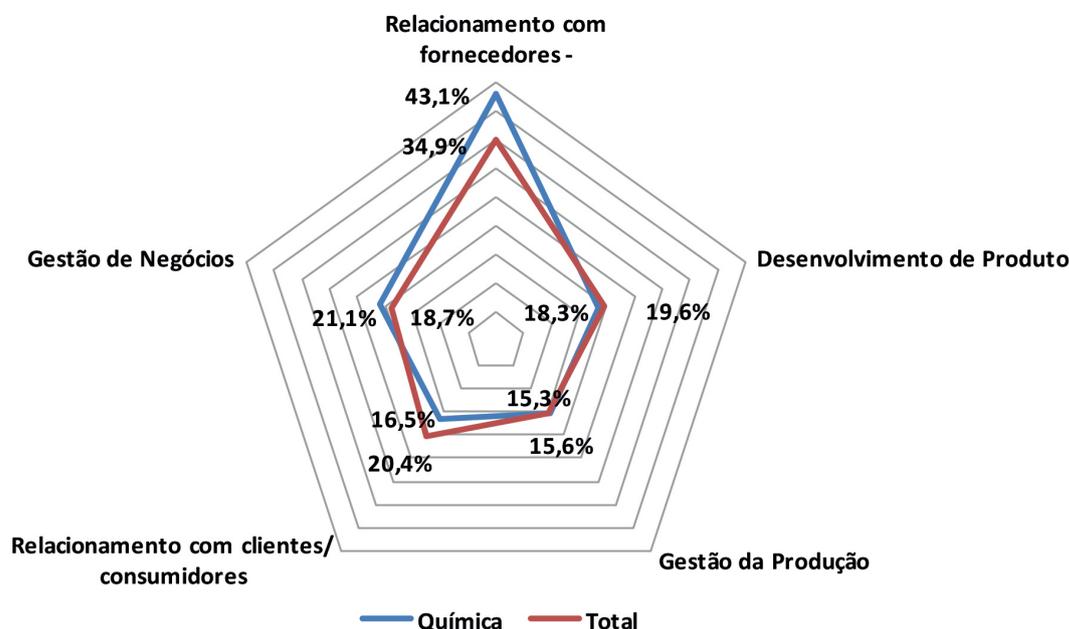


Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

No caso da expectativa de difusão futura, com relação às funções empresariais é perceptível o estágio mais avançado das tecnologias digitais empregadas no Relacionamento com fornecedores, na qual 43,1% das empresas tem expectativa de adotar tecnologias relacionadas à geração 4, conforme ilustrado pelo Gráfico A10.

No caso da função de Gestão de negócios, essa expectativa era mais baixa, atingindo 21,1% das empresas. As funções de Gestão da produção e de Relacionamentos com clientes destacaram-se como as de menor expectativa de adoção futura de tecnologias relacionadas à geração 4, com respectivamente 15,6% e 16,5%. Na comparação com o Total da Indústria, a despeito das diferenças não serem muito expressivas, observa-se uma tendência à difusão mais intensa dessas tecnologias no SP Química, em especial nas funções Relacionamento com fornecedores (43,1% contra 34,9%) e Gestão de negócios (21,1% contra 18,7%).

Gráfico A10 – Percentual de respondentes com expectativa de posicionamento na geração tecnológica digital 4.0 por funções organizacionais, em % do número de respondentes – SP Química e total da indústria



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

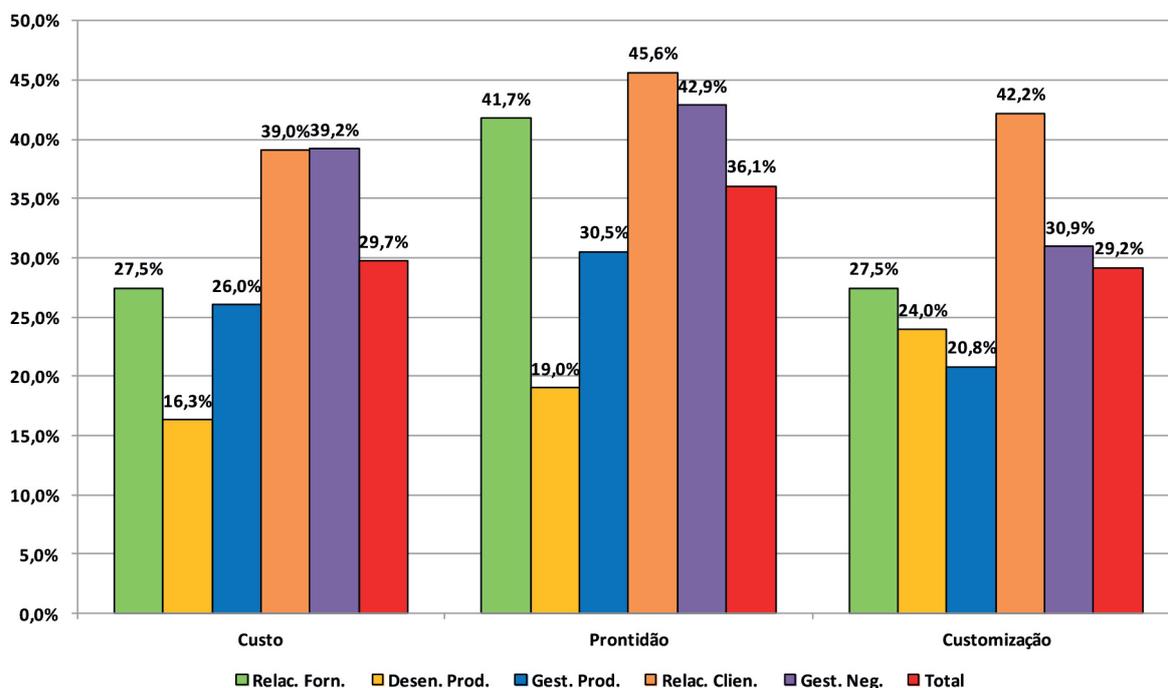
A2.6 Impactos esperados da adoção das tecnologias da geração digital 4

Um dos aspectos contemplados na pesquisa de campo que influencia diretamente a adoção de inovações disruptivas pela indústria brasileira refere-se aos impactos atuais e esperados da adoção dessas tecnologias sobre a competitividade, a partir da consideração de determinados atributos competitivos. Em particular, três atributos foram considerados: custo, prontidão e customização. O Gráfico A11 apresenta o percentual de empresas que indicaram que a adoção de tecnologias da geração digital terá um alto impacto sobre a competitividade, por atributo competitivo (custo, prontidão, customização).

No caso do total geral obtido pela agregação das funções organizacionais, há alguma variação entre os percentuais de empresas que apontaram um alto impacto para os atributos considerados, com destaque para “prontidão”, comparativamente mais alto que “custo” e “customização”.

Já as informações desagregadas para as diferentes “funções” organizacionais revelam algumas diferenças. Na média, impactos maiores são revelados nas funções de Relacionamento com clientes e de Gestão de negócios, ambos com ênfase também no atributo “prontidão”, o que também ocorre com força na função de Relacionamento com fornecedores e, em menor grau, na de Gestão da produção. Já no caso do Desenvolvimento de produto, destaca-se o alto impacto associado ao atributo “customização”.

Gráfico A11 – Percentual de respondentes que indicaram alto impacto das tecnologias da geração digital 4.0 sobre a competitividade, por atributo competitivo (custo, prontidão, customização), hoje, em % do número de empresas – SP Química



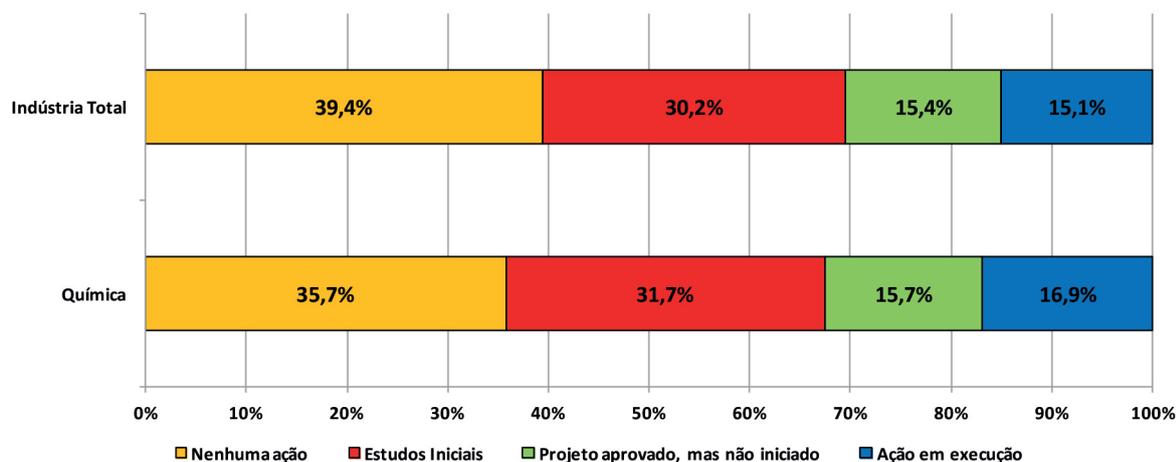
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

A2.7 Ações para incorporação das tecnologias da geração digital 4

Na perspectiva de avaliar a resposta estratégica das empresas face aos impactos potenciais das tecnologias da geração digital 4, perguntou-se às empresas se há ações em curso visando à incorporação dessas inovações (Gráfico A12). As evidências mostram que a intensidade dos esforços para incorporação das tecnologias da geração 4 nas atividades das empresas é ainda bastante limitada.

No SP Química, 16,9% das empresas reportaram ações em execução e, se incluídas as empresas que indicaram ter também projeto aprovado, mas não iniciado, esse percentual se eleva a 32,6%. Em ambos os casos, o percentual observado no SP Química é superior ao observado para o conjunto da indústria (15,1% e 30,4%, respectivamente).

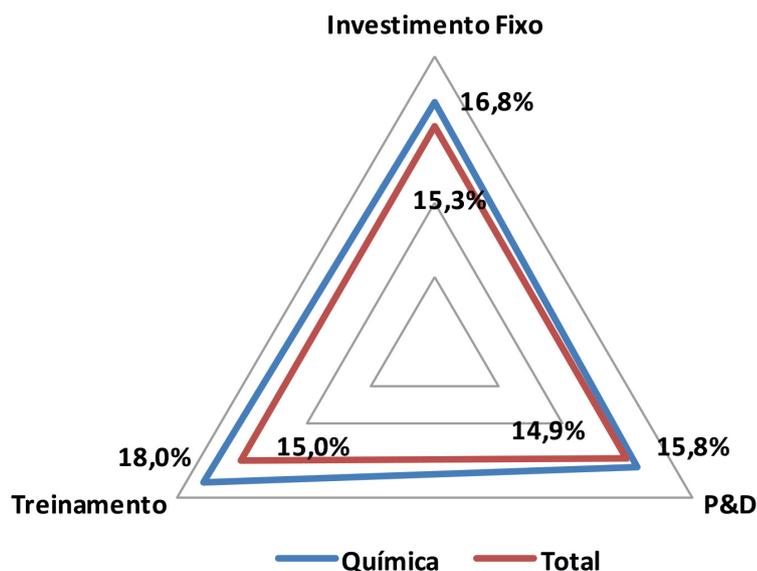
Gráfico A12 – Ações indicadas pelos respondentes para incorporação das tecnologias da geração digital 4.0, hoje, em % do número de respondentes – SP Química e total da indústria



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

O Gráfico A13 compara o percentual de empresas que apontavam ações em execução no SP Química para as três dimensões investigadas – investimento, P&D e treinamento. Nesse caso, há um ligeiro predomínio das ações em execução na dimensão “treinamento”.

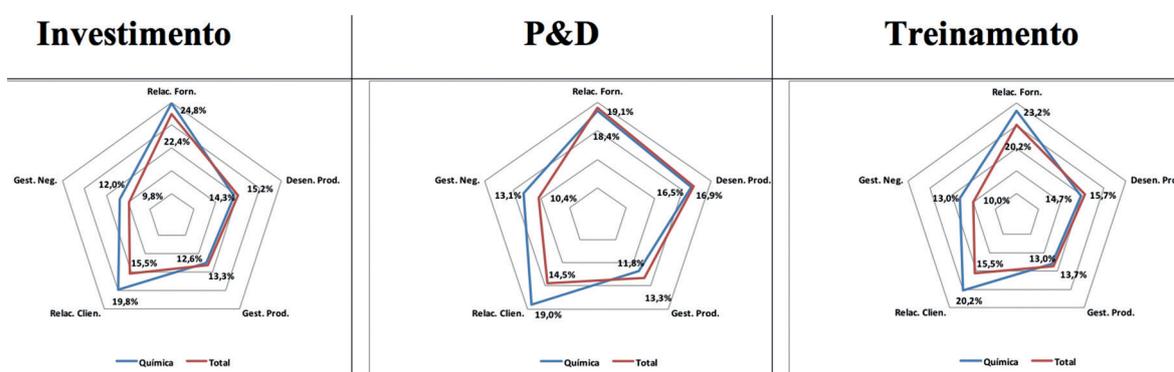
Gráfico A13 – Percentual de respondentes com ações em execução para incorporação das tecnologias da geração digital 4.0 hoje, esforços em investimento, P&D e treinamento – SP Química e total da indústria



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

Quando se faz o detalhamento por função empresarial, apresentado no Gráfico A14, verifica-se no SP Química que era maior o percentual de empresas com ações em execução relacionadas à Relacionamento com fornecedores para todas as três dimensões de esforço enfocadas. Em contraste, as funções de Gestão de negócios e de Gestão da produção eram aquelas na qual o percentual de empresas com ações em execução atinge o menor valor

Gráfico A14 – Percentual de respondentes com ações em execução para incorporação das tecnologias da geração digital 4.0 – SP Química e total da indústria



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

Em linhas gerais, essas informações corroboram a constatação de que, não obstante a expectativa de aceleração da difusão de tecnologias digitais da geração 4, da elevada probabilidade de as mesmas se tornarem dominantes nos setores de atuação das empresas e do seu impacto potencial sobre os diferentes atributos da competitividade, o esforço efetivamente realizado pelas empresas visando à incorporação dessas tecnologias é ainda bastante limitado.

A3 Considerações finais

Como tendência geral, observa-se hoje uma taxa de adoção das tecnologias geração digitas 4 extremamente reduzida. Para o horizonte de 2027, entretanto, espera-se uma importante elevação da taxa de adoção dessas tecnologias, que pode estar fundamentada em estímulos da dinâmica competitiva setorial e na possibilidade de geração de impactos efetivos sobre diferentes atributos determinantes da competitividade.

As evidências indicam que essas inovações podem ser implementadas em áreas distintas da empresa, num ritmo diferenciado, e que, eventualmente, podem surgir mecanismos de retroalimentação entre diversas funções organizacionais, capazes de gerar uma aceleração geral do ritmo de difusão.

IEL/NC

Paulo Afonso Ferreira
Diretor-Geral

Gianna Cardoso Sagazio
Superintendente

Suely Lima Pereira
Gerente de Inovação

Afonso de Carvalho Costa Lopes
Cândida Beatriz de Paula Oliveira
Cynthia Pinheiro Cumarú Leodido
Débora Mendes Carvalho
Julieta Costa Cunha
Mirelle dos Santos Fachin
Rafael Monaco Floriano
Renaide Cardoso Pimenta
Zil Miranda
Equipe Técnica

DIRETORIA DE SERVIÇOS CORPORATIVOS – DSC

Fernando Augusto Trivellato
Diretor de Serviços Corporativos

Área de Administração, Documentação e Informação – ADINF

Maurício Vasconcelos de Carvalho
Gerente-Executivo de Administração, Documentação e Informação

Alberto Nemoto Yamaguti
Normalização Pré e Pós-textual

Execução Técnica

Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ
Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas - Unicamp

José Vitor Bomtempo
Autor

Luciano Coutinho
João Carlos Ferraz
David Kupfer
Mariano Laplane
Luiz Antonio Elias
Caetano Penna
Fernanda Ultremare
Giovanna Gielfi
Mateus Labrunie
Henrique Schmidt Reis
Carolina Dias
Thelma Teixeira
Execução Técnica

Editorar Multimídia
Revisão Gramatical, Projeto Gráfico e Diagramação



MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL
PELA INOVAÇÃO

Execução Técnica:



Iniciativa:



Confederação Nacional da Indústria

CNI. A FORÇA DO BRASIL INDÚSTRIA

Realização:



Iniciativa da CNI - Confederação
Nacional da Indústria