

IDENTIFICAÇÃO DAS INOVAÇÕES NANOTECNOLÓGICAS NO AGRONEGÓCIO CAFÉ¹

Celso Luis Rodrigues Vegro²
Flávia Maria de Melo Bliska³
Cristina Fachini⁴
Patrícia Helena Nogueira Turco⁵

1 - INTRODUÇÃO

O prefixo “nano” tem origem latina, designando coisas muito pequenas. No meio científico seu emprego foi adotado para nomear partículas infinitamente reduzidas. O nanômetro - nm enquanto unidade de medida - possui a dimensão de um bilionésimo do metro, ou milionésimo do milímetro⁶. A manipulação/desenho de partículas com até 100 nanômetros constitui o universo das aplicações comerciais derivadas das nanotecnologias, sendo a nanociência sua ferramenta instrumental.

Devido às amplas possibilidades de aprimoramento de materiais já existentes e da criação de outros novos, alcançando todos os ramos produtivos - dadas as interseções transversais associadas à capacidade de adicionar “inteligência” aos nanoprodutos - mas inovações nanotecnológicas despertam relativo interesse na sociedade civil e ávido nos meios científicos⁷, uma vez que, promessas anunciadas quanto aos prová-

veis benefícios das inovações nanotecnológicas são sumamente sedutoras. Tal curiosidade decorre da percepção de que os produtos nanoestruturados constituem-se na mais recente incursão do homem em seu obstinado esforço de domínio da natureza (SANTOS JUNIOR, 2013). Alardeia-se, por exemplo, a promessa em se superar definitivamente a presença da fome nesse mundo, melhorando-se, dentre outros fatores, a capacidade de absorção de nutrientes pelas raízes das plantas ou ainda introduzindo-se o mecanismo de fixação de nitrogênio atmosférico naquelas dele não dotadas.

Existe a imagem de que os produtos nanotecnológicos possuam capacidade intrínseca de diminuir a pegada ambiental dos processos produtivos, por meio da drástica redução do consumo de insumos - o carbono e o silício são os principais insumos da atual indústria nanotecnológica, elaboração de nanocompósitos para sequestro de gases poluentes e geradores de efeito estufa, para a produção de água potável e tratamento de efluentes e ainda na reciclagem e reaproveitamento de resíduos⁸ (MATERIAIS, 2010). Entretanto, tal assertiva ainda não se comprovou, pois os nanotecnólogos e as empresas que os patrocinam, embalados pelo excesso de otimismo, omitem de sua contabilidade, pautada por visão reducionista, a destinação dos resíduos gerados pelo processo produtivo. As avaliações econômicas dos produtos nano ainda carecem de abordagem “do berço à tumba” como define Ramos (2007)⁹.

¹Os autores agradecem ao sociólogo Paulo Roberto Martins a orientação recebida no delineamento desta pesquisa. Registrado no CCTC, IE-24/2015.

²Engenheiro Agrônomo, Mestre, Pesquisador Científico do Instituto de Economia Agrícola (e-mail: celvegro@iea.sp.gov.br).

³Engenheira Agrônoma, Doutora, Pesquisadora Científica do Instituto Agronômico de Campinas (e-mail: bliska@iac.gov.br).

⁴Economista, Mestre, Pesquisadora Científica do Departamento de Descentralização do Desenvolvimento (DDR), Polo Regional de Desenvolvimento Tecnológico do Sudoeste Paulista (e-mail: cfachini@apta.sp.gov.br).

⁵Administradora, Mestre, Pesquisadora Científica do Departamento de Descentralização do Desenvolvimento (DDR), Polo Regional de Desenvolvimento Tecnológico do Leste Paulista (e-mail: patyturco@apta.sp.gov.br).

⁶Para exemplificar a escala da dimensão, um fio de cabelo possui a espessura de 50 mil nanômetros.

⁷As partículas nano exibem comportamento distinto de suas congêneres macro, abrindo infinitas perspectivas para aplicações das mais variadas naturezas e fins.

⁸Dos mais promissores pelas possibilidades de emprego nos computadores e celulares, o grafeno, por exemplo, é uma capa de carbono da espessura de um átomo apenas. Esse nanomaterial já compõe a fabricação de raquetes de tênis para os esportistas de alto desempenho.

⁹O autor estimou que para a produção de 108 toneladas de nanotubos são consumidos 78 milhões de litros de água, 18 t de partículas cerâmicas, 9 t de liga de aço com cobalto e níquel e 72 mil litros de ácidos diversos. Também, estimou que na produção de 2 gramas de *chips* nanotecnológicos são produzidos 34 kg de resíduos.

Os avanços das inovações nanotecnológicas antes se concentravam nos segmentos de alta tecnologia microeletrônica (cerâmicas), cos-mética, medicina humana/diagnóstica/odontológi-ca e defesa (emprego militar), ficando a agroener-gia e a alimentação algo retardatária nesse pro-cesso. Todavia, a partir dos anos 2000, tal hiato, aparentemente, foi rompido pelo crescente noticiá-rio de inúmeras aplicações destinadas a esses ramos. Em verdade, as nanotecnologias são como que irmãs siamesas das já decantadas biotecno-logias, sendo seu encontro não casual, pois con-vergem para a constituição de sistema de pesqui-sa e inovação altamente promissor¹⁰, evidente-mente, do ponto de vista das corporações que patrocinam esse esforço científico e da pusilanimi-dade das estruturas públicas, responsáveis em estabelecer o marco regulatório necessário¹¹, diante das incertezas que existem em seu entorno.

Quer pela dimensão dos negócios ou pela generalização do emprego, os defensivos (inseticidas, fungicidas, acaricidas e herbicidas) e os fertilizantes/calcário foram os primeiros insu-mos agrícolas a serem incluídos no rol das inova-ções nano por meio da técnica do encapsulamen-to (minúsculo envelope)¹². Os nanossensores, em apoio à prática da agricultura de precisão¹³, e as nanofibras/nanotubos (substitutas do fio de algo-dão - motores mais leves e TI embarcada nas

máquinas agrícolas) foram em seguida incluídas nesse novo paradigma (DULLEY, 2004). Desse ponto em diante as aplicações se disseminaram a todos os elos das cadeias produtivas - a mon-tante e a jusante da porteira agrícola¹⁴, apresen-tando produtos e processos de caráter disruptor, notadamente, pela inversão do *pari passu* usual no desenvolvimento tecnológico, substituindo o *top down* (de cima para baixo) pelo *bottonup* (de baixo para cima - manufatura molecular) (DUL-LEY; AZEVEDO, SANCHES JUNIOR, 2009).

Em 2014, pesquisadores do Massa-chusetts Institute of Technology (MIT) introduzi-ram nanotubos no interior dos cloroplastos (orga-nela responsável pela fotossíntese nas plantas) incrementando em 30% a produtividade do pro-cesso fotossintético, denominando-as de **plantas biônicas** (GIRALDO, 2014). A fotossíntese sob nanoescala torna-se conhecimento dominado, permitindo, portanto, a produção potencialmente inesgotável de energia. Tal avanço aplicado, por exemplo, sobre plantas tipo C3 (padrão fotossin-tético menos eficiente - café, citrus), teria alçado sua produtividade a patamares similares aos das gramíneas (plantas C4 - altamente eficientes nes-se processo), com repercussões incomensurá-veis sobre os sistemas produtivos.

Assim, aproxima-se crescentemente da possibilidade de se industrializar a agricultura, mediante os recentes desenvolvimentos que a alcança. A mitigação dos riscos intrínsecos que essa atividade contempla é anunciada por alguns pesquisadores e críticos comentadores das nano-tecnologias. Uma espécie de ruptura tecnológica tomaria conta do espaço agrícola, exibindo ainda maior radicalidade que aquela que a precedeu (revolução verde), modificando inclusive seu his-tórico papel no sistema econômico global nas etapas de produção, processamento, embala-gem, transporte e consumo. A capacidade das nanofábricas em alterar os fluxos e valores das *commodities* agrícolas, tomaria vulneráveis as economias de sem número de países dependen-tes das importações de gêneros agrícolas adqui-

¹⁰Essa convergência incorpora também a microeletrônica, constituindo em seu conjunto a denominada agricultura inteligente.

¹¹A regulação é assunto que ainda não produziu consen-sos, pois os impactos podem ser heterogêneos (nano incremental ou disruptiva) e atuar sobre áreas de díspares naturezas como: mercado de trabalho, obsolescência planejada, formação dos preços - economia; potencial toxicológico à saúde humana e ao meio ambiente.

¹²No caso dos defensivos, o encapsulamento dispensa o emprego de solventes na calda de pulverização permitindo melhor eficácia do produto sobre a área foliar submetida a tratamento, dentre diversos outros efeitos desejáveis: redu-ção das perdas por evaporação, redução do contato dos trabalhadores e evita o entupimento dos bicos de pulveriza-ção (MARTINS, 2008). Outra possibilidade de aplicação da tecnologia consiste na dosagem de insulina segundo a taxa de açúcar no sangue para portadores do diabetes.

¹³As aplicações dos nanossensores destinam-se aos mais diferentes usos como: determinação de parâmetros do so-lo, controle da produção, GPS, administração do trabalho humano, gerenciamento da colheita, gestão da proprieda-de, rastreabilidade, irrigação, segurança do alimento (DULLEY; AZEVEDO, SANCHES JUNIOR, 2009). Vislum-bra-se sua aplicação no aprimoramento dos trabalhos de estimativa e previsão de safra.

¹⁴Em ritmo mais acelerado no segmento das embalagens, como a inclusão de sensores de umidade/deterioração do alimento e dos filmes de revestimentos que prolongam a vida de prateleira das frutas e legumes. Avanço mais radical consiste nos chamados alimentos interativos em que por meio de programação na embalagem o consumi-dor poderia modificar as características de seu alimento (DULLEY, 2008).

ridos pelas economias mais adiantadas (DULLEY; AZEVEDO, SANCHES JUNIOR, 2009).

Face às expectativas geradas em torno das inovações nanotecnológicas, o Estado brasileiro, a partir da década passada, constituiu políticas que estruturaram rede de pesquisa em nanotecnologia. Por meio de lançamentos de editais específicos para a área, núcleos de pesquisa estão sendo consolidados. Em 2011, no País, Santos Junior (2013) relacionou 191 pesquisadores atuando na chamada Rede BrasilNano, 53,4% deles concentrados na região Sudeste. Porém o autor considera que, em razão das disfunções da política de C&T (concentração regional e de áreas de conhecimento), o esforço ainda não logrou oferecer benefícios para a sociedade. Aparentemente, o fim precípua do esforço nanoinovativo constitui-se mais na captura de altas taxas de lucros para o segmento privado do que incremento do bem-estar material para a sociedade ou ao menos a diminuição da heterogeneidade social característica do padrão do desenvolvimento econômico brasileiro.

A instituição da Rede BrasilNano, em 2004, e o lançamento do Programa Nacional de Nanotecnologia, em 2005, constituíram os marcos das iniciativas nesse ramo do conhecimento. Estatísticas do Ministério da Ciência e Tecnologia indicavam que até 2009 258 pesquisadores, 77 Instituições de Pesquisa e Desenvolvimento e 13 Empresas atuaram nessa área do conhecimento, produziram 991 artigos técnicos científicos e geraram 97 patentes (FERNANDES, 2006). Em 2010, o mercado brasileiro de produtos com base em nanotecnologias desenvolvidas originalmente no país contabilizou cerca de R\$115 milhões em negócios (ENGENHARIA, 2005; MASSARANI, 2005; MATTOSO; MEDEIROS; MARTIN NETO, 2005; RIBEIRO, 2006; GANDRA, 2011).

Especialistas convergem em considerar o agronegócio como um setor em que a introdução de nanotecnologias incrementaria a competitividade dos sistemas produtivos. Nesse sentido, Martins e Ramos (2009) averiguaram o estado das artes dessas tecnologias no agronegócio da soja, historicamente, segmento de maior densidade no valor da produção nacional¹⁵, estando igualmente

bem posicionada na geração e difusão de inovações tecnológicas capitaneadas ao longo da trajetória da revolução verde¹⁶. A equipe de autores, por meio de pesquisa estruturada e seleção criteriosa, entrevistou responsáveis pelas nanotecnologias em centros de pesquisa, agricultores e empresas (a montante e a jusante da porteira agrícola), constatou que nanocompósitos encontravam-se disponíveis para o emprego tanto na cultura quanto no processamento agroindustrial do grão. A pesquisa demonstrou preocupação com a questão do acesso a tais inovações por parte da agricultura de perfil familiar, crendo que o destino mais plausível dos nanoprodutos concentrar-se-ia na parcela capitalizada dos agricultores, contribuindo para a acumulação de renda nesse segmento, concluindo que são esperadas grandes mudanças (positivas e negativas) na cadeia pós-adoção das nanos. Em grande medida, o esforço aqui empreendido é tributário dessa primeira aproximação à temática.

De modo similar ao agronegócio da soja, no do café há semelhante interesse (público e privado) em inseri-lo no universo das nanotecnologias. Segmentos dedicados a esse agronegócio como: insumos, máquinas, equipamentos - irrigação; torrefadoras e solubilizadoras; embalagens e equipamentos para preparação da bebida encontram-se disponíveis a receber componentes nanotecnológicos. Efetuar mapeamento dessas possibilidades constitui-se num dos objetivos deste estudo.

Espera-se que as informações obtidas contribuam para o diagnóstico atualizado do desenvolvimento de produtos nanotecnológicos para a cadeia do café no Brasil, além de avaliar os impactos ambientais, sociais e econômicos delas decorrentes. Os resultados obtidos poderão subsidiar o setor produtivo, possibilitando ou favorecendo a implementação ou a (re)formulação de políticas públicas voltadas à informação e à regulação.

2 - METODOLOGIA

Na primeira etapa da pesquisa buscou-se a seleção de metodologias para análise de impactos de novas tecnologias, no caso repre-

¹⁵Isso considerando que a *commodity*, após seu processamento, pode ser transformada e comercializada sob forma de farelo e de óleo, adensando assim o valor da produção ao longo da cadeia.

¹⁶Introduzida inicialmente como cultivo de regiões subtropicais e temperadas, atualmente cultiva-se a leguminosa inclusive na zona equatorial úmida, com excelente resposta produtiva.

sentadas pelas nanotecnologias, optando-se pela realização de entrevistas presenciais com supostos especialistas na área e/ou em tecnologia voltada para a cafeicultura¹⁷.

Em seguida foram conduzidas reuniões entre o grupo de pesquisa e especialista da área (mediado pela equipe na seleção de aspectos relevantes para o agronegócio café), visando a elaboração de formulário estruturado que após passar por sucessivas aproximações ficou subdividido em seis capítulos: a) processos e serviços nanotecnológicos adotados ou em pesquisa e desenvolvimento; b) inovações nanotecnológicas para aplicação nos demais agentes da cadeia produtiva; c) processos e serviços nanotecnológicos potencias destinados à cafeicultura e/ou aos demais agentes da cadeia produtiva; d) riscos da adoção de processos e produtos nanotecnológicos; e) exigência de regulamentação da difusão de processos e produtos nanotecnológicos e f) comentários adicionais. Assim, estabeleceu-se essa subdivisão com o objetivo de mapear e de hierarquizar os impactos das nanotecnologias.

O formulário foi estruturado em cinco grandes temas sendo: A) processos e serviços adotados ou em pesquisa e desenvolvimento, subdividido em duas partes - A.1 - Inovações nanotecnológicas para aplicação na lavoura cafeeira e A.2 - Inovações nanotecnológicas para aplicação nos demais agentes da cadeia produtiva (adotadas ou em desenvolvimento); B) processos e serviços desenvolvidos para os diferentes segmentos do setor cafeeiro que tenham potencial de utilização dentro dos próximos 10 ou 30 anos; C) riscos da adoção de processos e produtos nanotecnológicos (averiguar, por meio de escala de seis níveis muito alto até sem opinião formada, o quanto a temática dos riscos intrínsecos, desde a nanotecnologia, incremental até a ruptura nanotecnológica, está sendo estudada e a validade e/ou interesse na adoção dos princípios da precaução); D) exigências de regulamentação da difusão de processos e produtos nanotecnológicos (escala de cinco alternativas entre concordo plenamente até desconheço a legislação) e E) comentários adicionais (livre resposta contemplando suas opiniões sobre a temática em foco).

¹⁷Os pesquisadores responsáveis por este estudo aplicaram questionários *in loco* junto a lideranças do segmento em eventos específicos desse agronegócio, ocorridos em várias regiões do País entre 2013 e 2014.

As questões, portanto, foram construídas de modo fechado, visando facilitar a construção de banco de dados e proceder posteriormente com análises de frequência, índices e médias, mediante quadros de saída previamente desenhados.

Em seguida, foram selecionados 75 especialistas por meio de busca no sistema Latites (CNPq, 2012), estratégia que fracassou, pois não se conseguiu retorno de quantidade mínima aceitável de questionários válidos que permitisse a realização de segunda rodada de aproximação das opiniões. Diante dessa ocorrência, a equipe decidiu conduzir as entrevistas selecionando informantes nos diversos eventos de caráter técnico-científico ligados ao segmento. Também, foram realizadas visitas a informantes selecionados, para aplicação do questionário *in loco*. Desse esforço resultou a obtenção de 58 questionários abrangendo os diversos perfis que compõem a cadeia: representantes da indústria (insumos, máquinas, torrefação); pesquisa e extensão; comércio e produção (que abrangeu a produção de grão, sementes e mudas) (Tabela 1).

A condução das entrevistas por membros pertencentes à equipe de pesquisa ofereceu a vantagem de diminuir vieses introduzidos por má interpretação das perguntas, mitigando a necessidade de consecutivas rodadas visando a produção de convergências conforme a metodologia inicialmente proposta prevê.

3 - RESULTADOS

Do total de entrevistados, 40 (66,7%), já ouviram falar de nanotecnologia e 20 (36,7%) conhecem alguma possível utilização agrícola e apenas oito respondentes (13,3%) forneceram exemplos diferentes daqueles utilizados no questionário como possibilidades de emprego das nanotecnologias na agroenergia e alimentação. A maior dificuldade do estudo diz respeito às empresas e pesquisadores que efetivamente trabalham com produtos nanotecnológicos e que dominam melhor o tema, a maior parte delas relacionadas à indústria de alimentos (produtos desenvolvidos a base de café). Essas empresas e pessoas recusam-se a responder o questionário, por temerem que os resultados deste estudo despertem o interesse de possíveis concorrentes. Ademais, os

TABELA 1 - Perfil dos Entrevistados por Categoria de Atividade, Brasil, 2013 e 2014

Item	Número
Atuação	
Indústria	14
Pesquisa/extensão	13
Comércio	3
Produção	28
Formação	
Engenheiro ¹	25
Químico	2
Outros ²	29
Nível médio	2
Natureza	
Pública	11
Privada	47
Origem	
São Paulo	20
Minas Gerais	17
Espírito Santo	4
Paraná	7
Bahia	10

¹Majoritariamente composta por graduados em Engenharia Agrônômica.

²Inclui as profissões de Economista, Administrador, Geógrafo, Biólogo, Representantes Comerciais e Cafeicultores.

Fonte: Dados da pesquisa.

contratos de trabalho dos técnicos normalmente possuem cláusulas de sigilo sobre suas atividades e estudos, impedindo-os de participar da pesquisa.

Empresas relacionadas ao setor de insumos à produção agrícola e à indústria alimentícia declararam que atuam com produtos nanotecnológicos, porém após visitas a algumas dessas indústrias, constatou-se que na realidade desenvolveram e comercializam produtos com partículas muito pequenas (micro), porém bastante acima das dimensões nano. Outras empresas reconheceram que embora trabalhem com produtos em escala muito reduzida (ainda acima da nano), seus departamentos técnicos têm se empenhado em desenvolver e comercializar produtos com base em nanotecnologia para os próximos cinco a dez anos.

Nos quadros 1 e 2 são apresentadas as principais inovações nanotecnológicas identificadas junto aos respondentes da cadeia do café subdividida em dois grupos: adotadas ou estando em pesquisa e desenvolvimento. O quadro 3 mostra os produtos e serviços potenciais destinados aos agentes do setor cafeeiro e estimativas de prazos para suas respectivas aplicações. A tabela 2 apresenta as opiniões dos quatorze

respondentes que avaliaram a escala de impactos dos potenciais riscos das nanotecnologias no agronegócio café. E a tabela 3 revela as opiniões dos quatorze respondentes que avaliaram a escala de importância da regulamentação da produção e geração de produtos e processos nanotecnológicos no agronegócio café.

Alguns processos e serviços citados pelos respondentes requerem investigação detalhada, pois se observou que alguns deles não possuem conhecimento suficiente sobre o assunto. Como exemplo, a identificação de germoplasma naturalmente descafeinado, realizada por pesquisadora do Instituto Agronômico de Campinas, da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (IAC/APTA), foi utilizada como exemplo de inovação nanotecnológica, enquanto na realidade são plantas de café com baixos teores naturais de cafeína quando comparadas às demais.

O conjunto das tecnologias de natureza nano, relacionadas nos quadros 1, 2 e 3, resultou da resposta do questionário de apenas oito entrevistados que forneceram exemplos de seu conhecimento e/ou envolvimento direto no desenvolvimento. Em razão dessa limitada quantidade de exemplos concretos, optou-se apenas por relacioná-las sem entrar no mérito/discussão

QUADRO 1 - Processos e Serviços Desenvolvidos com Base na Nanotecnologia, Aplicados nos Diversos Segmentos Ofertantes de Insumo para o Segmento Cafeeiro (dentro da Porteira)

Produto ou serviço - descrição	Exemplo apresentado pelo respondente
1 Melhoram o produto (mudanças na composição química ou nutricional)	Variedades melhoradas
2 Promovem modificações no genoma das plantas (nanobiotecnologia)	Melhoramento genético
3 Analisam a expressão e a regulação dos genes das plantas	Seleção assistida
4 Para diagnóstico de pragas e doenças incidentes nas plantas	Alertas fitossanitários
5 Orientadas para a melhoria da eficiência do uso de fertilizantes e agroquímicos (nanoencapsulação)	Formulações alternativas Ciclus (fertilizante encapsulado) Producente (base petroquímica)
6 Destinadas ao manejo da água	Reciclagem e processamento
7 Emprego da língua ou do nariz eletrônicos	Snif - protótipo em teste
8 Embalagens com nanomatérias mecanicamente mais fortes, termicamente melhores e que indiquem as condições de consumo	Embalagens de produtos industrializados
9 Utilização de ligas e compostos metálicos resistentes ao calor	Chapacor

Fonte: Dados da pesquisa.

QUADRO 2 - Processos e Serviços em Processo de Pesquisa e Desenvolvimento, com Base na Nanotecnologia, para Aplicação nos Diversos Segmentos do Segmento Cafeeiro (fora da Porteira)

Produto ou serviço - descrição	Exemplo apresentado pelo respondente
1 Melhoram o produto (mudanças na composição química ou nutricional)	Alimentos funcionais (inserção de medicamentos) Uniformidade de maturação
2 Promovem modificações no genoma das plantas (nanobiotecnologia)	Tolerância a estresses Projeto genoma (Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café)
3 Analisam a expressão e a regulação dos genes das plantas	Identificação de promotores ou inibidores (microchip) Mapeamento genético (microchip)
4 Atuam diretamente circulação de hormônios e antibióticos produzidos pelas plantas (supressão das pulverizações)	Resistência a agroquímicos
5 Diagnóstico de pragas e doenças incidentes nas plantas	Análises/monitoramento epidemiológico
6 Destinada ao manejo do solo (dessalinização, retirada de metais pesados)	Processos oxidativos avançados utilizando nanopartículas semicondutoras
7 Melhoria da eficiência do uso de fertilizantes e agroquímicos (nanoencapsulação)	Outros formulados na mesma linha do Ciclus e do Producente Ativação de enzimas do solo Aplicações localizadas Uso de N15 em outras culturas, com possível aplicação no café Eficiência do uso de fertilizantes em manejo consorciado com <i>Brachiariasp.</i>
8 Bioprocessamento (fermentação, produção de enzimas, aminoácidos, vitaminas, alcoois)	Tecnologia pós-colheita visando incremento da qualidade da bebida
9 Destinadas ao manejo da água	Dessalinização da água
10 Monitoramento da identidade e da qualidade dos cafés (certificados, de origem, <i>gourmet</i>)	Identificação de genes responsáveis pela qualidade (microchip)
11 Aprimoramento da torra, moagem e solubilização (nanoinformática, incremento da precisão dos processos)	Sequestro do aroma do café
12 Liberação lenta de compostos nutracêuticos	Alimentos funcionais contra desnutrição Vitaminas em alimentos
13 Nano agentes antimicrobianos ou adesivos em linhas de embalagens (liberação de substâncias químicas)	Embalagens que mudam de cor de acordo com a validade do produto

Fonte: Dados da pesquisa.

QUADRO 3 - Processos e Serviços Nanotecnológicos Potenciais Destinados aos Agentes do Setor Cafeeiro, e Estimativas de Prazos para suas Respectivas Aplicações

Tipo de aplicação da inovação	Adoção nos próximos 10 anos	Adoção nos próximos 30 anos
1 Alteração do genoma para expressão de características sensoriais diferentes no café torrado e moído, aproximando-os dos gostos dos consumidores	()	(X)
2 Melhoria no processo de pós-colheita relacionado ao despulpamento do café verde, que não agrida a semente fisicamente	(X)	()
3 Identificação de resíduos de agroquímicos	(X)	()
4 Dosadores mais precisos na ferti-irrigação	(X)	()
5 Maior precisão / eficiência na aplicação de água	(X)	()
6 Propagação de plantas por cultura de tecidos (café Robusta)	(X)	()
7 Métodos rápidos de identificação de nematóides no solo	(X)	()
8 Desenvolvimento de métodos de seleção precisa de plantas	(X)	()
9 Identificação de marcadores moleculares para características específicas	(X)	()
10 Aplicação de seleção assistida para marcadores	(X)	()
11 Criação de materiais transgênicos	(X)	()
12 Produção de fármacos	(X)	()
13 Obtenção de cultivares resistentes ou tolerantes a estresses	(X)	()
14 Acompanhamento nutricional de plantas	(X)	()
15 Medição e controle de cafeína	(X)	()
16 Incrementos nutricionais ao café (produto final)	()	(X)
17 Controle de qualidade e vida útil dos produtos	()	()
18 Controle e rastreabilidade dos produtos	(X)	()
19 Circulação hormonal	()	(X)
20 Manejo do solo	(X)	()
21 Agricultura de precisão em geral	(X)	()
22 <i>Smartpackages</i> (embalagens inteligentes, para determinar aspectos da qualidade do café pela mudança de cor, por exemplo)	(X)	()

Fonte: Dados da pesquisa.

TABELA 2 - Opinião dos Respondentes que Avaliaram a Escala de Impactos dos Potenciais Riscos das Nanotecnologias no Agronegócio Café

Riscos reais ou potenciais de nanotecnologias no agronegócio café	Escala de impactos (Likert) - frequência das respostas					
	Muito alto	Alto	Médio	Baixo	Muito baixo	Sem opinião formada
1 Nanopartículas agregadas ao produto/processo causarem toxicidade em plantas, humanos e animais (inalação, ingestão, penetração pela pele).		3	1	4	4	4
2 Nanopartículas agregadas aos produto/processo serem indutoras de processos mutagênicos ou afetarem o processo de duplicação do DNA em humanos e animais (inalação, ingestão, penetração pela pele).		2	2	5	2	3
3 Riscos à segurança e saúde do trabalhador na manipulação de produtos que contenham nanomateriais (misturas de caldas defensivas, nanoencapsulação de nanopartículas).		3	4	3	3	1
4 Risco de contaminação do meio ambiente com nanopartículas e resíduos nanotecnológicos.		2	4	5	3	
5 As ferramentas e métodos laboratoriais disponíveis para avaliação dos riscos intrínsecos das nanopartículas são suficientes para mensurá-los.	1	5	2		1	5
6 Existe transparência nas pesquisas e desenvolvimentos de inovações nanotecnológicas e nos produtos destinados ao mercado (armamento militar, inexistência de rotulagem, divulgação pública confiável sobre sua segurança).	1	3		2	2	6
7 Há risco das nanotecnologias promoverem uma desestruturação de ramos industriais relevantes na matriz produtiva do país (trajetória <i>bottom-up</i> , diminuição da riqueza, desemprego, aumento da dependência externa).		2	3	3	3	3
8 O domínio das técnicas da nanociência (público ou privado) pode ampliar a desigualdade socioeconômica entre nações.	1	2	2	3	5	1
9 Outros exemplos: não foram citados outros exemplos de riscos potenciais						

Fonte: Dados da pesquisa.

TABELA 3 - Opinião dos Respondentes que Avaliaram a Escala de Importância da Regulamentação da Produção e Geração de Produtos e Processos Nanotecnológicos no Agronegócio Café

Regulamentação da produção e geração de produtos e processos nanotecnológicos no agronegócio café	Escala de importância (padrão Likert)				
	Concordo plenamente	Concordo parcialmente	Discordo parcialmente	Discordo plenamente	Desconheço essa legislação
1 A legislação atualmente existente é suficiente para controlar/monitorar as iniciativas em nanociências (direito do consumidor, ambientais, trabalhistas e responsabilidade civil).	1	2	2	3	6
2 A legislação referente ao direito de propriedade intelectual constitui-se em mecanismo apropriado às exigências do desenvolvimento das nanotecnologias.	2	4	4	2	2
3 A normalização internacional proposta pelo Comitê Técnico ISO/TC 229 - Nanotecnologias é necessária e suficiente para o avanço seguro desse campo científico.	2	4	1		7
4 Existe suficiente estrutura à regulação nas nanociências, nanotecnologias, nanomateriais e nanodispositivos.		2	1	4	7
5 O princípio da precaução deveria ser entendido como: adoção de ações antecipatórias para proteger a saúde dos indivíduos e dos ecossistemas; e ausência de evidência não pode ser tomada como evidência de ausência.	5	5	1	1	2
6 As estruturas de financiamento e as dotações à pesquisa pública em nanociências e nanomateriais devem ser geridos por órgãos colegiados compostos por representantes da sociedade civil.	6	4	3		1
7 A contabilização dos passivos incorridos nos processos relativos à produção de nanomateriais, nanopartículas e nanodispositivos (ecotoxicidade, balanço energético negativo, custos para recolhimento e tratamento dos resíduos, danos à saúde humana) é inadequada ou parcial.	2	5	3	1	3
8 Outros exemplos: não foram citados outros exemplos de riscos potenciais					

Fonte: Dados da pesquisa.

de seu impacto real no agronegócio café, embora no item relativo aos fertilizantes, vantagens da adoção dos nutrientes encapsulados, tenha sido relatada pelos cafeicultores que introduziram a tecnologia em suas lavouras.

Quanto aos riscos potenciais, dos nove itens selecionados para mensuração, apenas três foram considerados muito alto. A manipulação de partículas nano em laboratório foi apontado como um deles, algo perfeitamente compreensível já que o técnico envolvido no procedimento conhece a natureza da tecnologia e o quão pouco dela se conhece.

A falta de transparência na condução das pesquisas e no desenvolvimento de produtos foi também considerado risco muito alto. Em parte esse resultado é reflexo do grau de sigilo que as companhias dedicam ao assunto, evitando conceder visibilidade para as linhas de desenvolvimento perseguidas. Todavia, há também uma espécie de corrida pela criação de inovações que permitam capturar vantagens econômicas, sobrepujando aspectos que possam vir a atrasar sua comercialização. Enfim, a busca por justo equilíbrio entre a continuidade do desenvolvimento tecnológico e a adoção de princípios de precaução não foi ainda estabelecida e a falta de marco legal para essa problemática aumenta a intensidade do risco percebido.

A promoção de maior desigualdade social em função da adoção de nanotecnologias também recebeu pontuação de risco muito alto. Esse resultado é coerente com aquilo que a literatura internacional comenta sobre a temática que poderá aumentar a distância entre a riqueza exibida pelas nações desenvolvidas - com capacidade de se posicionar na fronteira tecnológica, e aquelas consideradas retardatárias que serão obrigadas a pagar *royalties* pelos produtos desenvolvidos.

O conjunto daqueles que se pronunciaram sem opinião formada foi bastante expressivo. A formação técnica de muitos dos entrevistados os fazem relativamente míopes para questões fora da natureza de sua especialização (repercussões socioeconômicas e ambientais, por exemplo). Ademais, nesse grupo posicionaram-se aqueles que por desconhecimento da temática, embora já com relativa proximidade dos produtos já disponíveis (cafeicultores que visitam as feiras do segmento e são levados a conhecer as tecnologias), não conseguem ainda relacionar as

implicações decorrentes dessas inovações.

Quanto ao marco legal que normatize o desenvolvimento e aplicação das nanotecnologias, houve, aparentemente, alguns consensos. Primeiramente, a maior parte daqueles que conhecem a legislação, considerou-a insuficiente, discordando parcialmente e plenamente da questão formulada. De fato, paira grande omissão pública relativa ao emprego dessa tecnologia (em alguns ramos já bastante disseminado). Tal constatação não é privilégio brasileiro, mas ao contrário, constitui grande lacuna em outros países inclusive líderes nesse campo do conhecimento.

Os respondentes consideraram que a normatização internacional proposta é suficiente para o avanço seguro dessas inovações. Todavia, até meados de 2015 a legislação não foi ratificada. Sabe-se entretanto que a ausência da crítica social organizada nos debates pode inviabilizar sua adoção por induzir a radicalização dos posicionamentos com a produção de impasses insuperáveis na medida que atores sociais foram colocados à margem do debate.

Houve ainda concentração de respostas na questão da adoção do princípio da precaução. Após os desdobramentos do longo processo de adoção das biotecnologias em alimentos, construiu-se relativo consenso de que novas rupturas tecnológicas devem se antecipar as repercussões delas provenientes. O processo de adoção de novas tecnologias torna-se mais sustentável com o estabelecimento dessa premissa, desde que os fóruns de debates com realce para o contraditório sejam verdadeiramente abertos e democráticos.

4 - CONCLUSÕES

O caráter prospectivo desta pesquisa e os aspectos intrínsecos de sua natureza (segredo industrial) limitaram o alcance de resultados esperados. A estruturação de roteiro de perguntas abrangentes e capazes de fornecer elementos para uma abordagem crítica ao desenvolvimento tecnológico em questão, aparentemente, incrementou a resistência dos interlocutores entrevistados em vir a participar da pesquisa. Assim, reconhece-se que outros grupos de pesquisa e diferentes abordagens devem ser conduzidas para se alcançar aquilo que este estudo não pode.

As nanotecnologias e as nanociências

consistem em nova modalidade de se lidar com a imbricação matéria/energia, implicando tanto em benefícios formidáveis à humanidade como riscos igualmente preocupantes que não podem ser negligenciados, mas, ao contrário, cautelosamente ponderados por aparato público capaz de estabelecer regulamentação apropriada e se possível pautada pelo princípio da precaução.

Os representantes do segmento cafeeiro não estão familiarizados com o tema “nanotecnologia”. Em algum momento ouviram ou leram algum comentário ou artigo sobre esse assunto, mas não sabem exatamente o que é um nanoproduto e frequentemente os confundem com produtos de escala micro, porém de maiores dimensões que os nanos. De modo geral, apresentam muita dificuldade em fornecer exemplos de nanoproductos destinados ao segmento. Ade-

mais, desconhecem o tema e não têm opinião formada sobre as potencialidades e riscos decorrentes da introdução progressiva das nanotecnologias na cadeia produtiva do café.

Esse desconhecimento a respeito dos nanoproductos dentro da própria cadeia agroindustrial poderá resultar em debate similar como aqueles gerados pelos alimentos elaborados por meio de produtos geneticamente modificados, que foram alvo de intensas controvérsias tanto no meio acadêmico como fora da comunidade científica. Portanto é importante que os cientistas e as empresas, públicas ou privadas, que efetivamente utilizam ou pesquisam produtos de base nanotecnológica implementem ações de divulgação e esclarecimentos a respeito dos benefícios e riscos desses produtos preparando-os para os debates com a sociedade.

LITERATURA CITADA

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO - CNPq. **Sistema Lattes**. Brasília: CNPq. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/>>. Acesso em: out. 2012. (Período da busca: agosto 2010 a junho 2011).

ENGENHARIA Elétrica. Pesquisa FAPESP, São Paulo, n. 111, p. 76-77, maio 2005.

DULLEY, R. D.; AZEVEDO, R. M. B.; SANCHES JÚNIOR, O. **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente em São Paulo, Minas Gerais e Distrito Federal**. São Paulo: Xamã, 2009. 155 p.

_____. Nanotecnologia e agricultura. In: MARTINS, P. R. (Org). **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente**. São Paulo: Terceiro seminário internacional, 2008. 432 p.

_____. **Nanotecnologia no agronegócio: explorando o futuro**. São Paulo: IEA, 2004. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=1640>>. Acesso em: out. 2012.

FERNANDES, A. A. R. Iniciativas do MCT em Nanotecnologia. In: WORKSHOP NANOTECNOLOGIA AEROESPACIAL, 2., 2006, São José dos Campos. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos: MCT, 2006. Disponível em: <http://www.ieav.cta.br/nanoaeroespacial2006/pdf_arquivos/1610%201130%20MCT%20-%20Nanotecnologia.pdf>. Acesso em: 5 out. 2012.

GANDRA, A. Mercado brasileiro de nanotecnologia tem grande potencial de crescimento. **Agência Brasileira**, Brasília, fev. 2011. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2011-02-18/mercado-brasileiro-de-nanotecnologia-tem-grande-potencial-de-crescimento>>. Acesso em: 5 out. 2012.

GIRALDO, J. P. et al. Plant nanobionics approach to augment photosynthesis and biochemical sensing. **Nature Materials**, Vol 13, pp. 400-108, 2014. Disponível em: <<http://www.nature.com/nmat/journal/v13/n4/full/nmat3890.html>>. Acesso em: out. 2012.

SANTOS JUNIOR, J. L. dos. **Ciência do futuro e futuro da ciência: redes e políticas de nanociência e nanotecnologia no Brasil**. Rio de Janeiro: UERJ, 2013. 260 p.

MARTINS, P. R. **Abordagens para um trabalho seguro com nanotubos de carbono**. Curitiba: Rede Nacional de Nanotubos de Carbono CNPq/MCT, 2008. 31 p.

MARTINS, P. R.; RAMOS, S. de F. **Impactos das nanotecnologias na cadeia de produção da soja brasileira**. São Paulo: Xamã, 2009. 158 p.

MASSARANI, L. Ciência, tecnologia, parlamento e os diálogos com os cidadãos. **História, Ciências, Saúde**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 469-72, maio/ago. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/hcsm/v12n2/11.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2007.

MATERIAIS avançados no Brasil 2010-2022. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Brasília, 2010. 360 p.

MATTOSO, L. H. C.; MEDEIROS, E. S. de; MARTIN NETO, L. A revolução nanotecnológica e o potencial para o agronegócio. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, ano 14, n. 4, p. 38-46. 2005.

RAMOS, G. C. D. El green-hypenantecnológico y ladesmaterializacion de la economia. **Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal**, Mexico, vol. 22, núm. 142, pp. 92-97, marzo/abr. 2007. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/325/32514211.pdf>>. Acesso em: mar.

RIBEIRO, S. O impacto das tecnologias em escala nano na agricultura e nos alimentos. In: MARTINS, P. R. (Org.). **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente**. São Paulo: Xamã, 2006. p. 197-204.

IDENTIFICAÇÃO DAS INOVAÇÕES NANOTECNOLÓGICAS NO AGRONEGÓCIO CAFÉ

RESUMO: A nanotecnologia tem sido apontada como a base de nova revolução científica. As expectativas quanto às oportunidades comerciais dos nanoprodutos e nanoprocessos são grandes, assim como as preocupações quanto aos seus riscos. As inovações nanotecnológicas destinadas à agroenergia e na indústria de alimentos ainda são relativamente modestas. O objetivo deste estudo foi identificar as oportunidades de inovação na área nanotecnológica e os riscos efetivos e potenciais delas decorrentes. Em 2013, entrevistaram-se 60 indivíduos relacionados à cadeia produtiva do café. Daqueles entrevistados, 66,7% já ouviram falar de nanotecnologia e 36,7% conhecem alguma possível utilização agrícola. Os resultados indicam que os representantes do setor cafeeiro não estão familiarizados com o tema e não têm opinião formada sobre as potencialidades e riscos decorrentes da introdução progressiva das nanotecnologias.

Palavras-chave: desenvolvimento tecnológico, inovação tecnológica, técnica Delphi.

IDENTIFICATION OF INNOVATIONS IN THE COFFE AGRIBUSINESS

ABSTRACT: Nanotechnology has been appointed as the foundation of the new scientific revolution. Expectations about commercial opportunities for nanoproducts and nanoprocesses are great, as are concerns about their risks. Nanotechnological innovations in agri-energy and agri-food production are still relatively modest. The objective of this study was to identify innovation opportunities in the field of nanotechnology and the actual and potential risks arising therefrom. In 2013, we interviewed 60 individuals involved in the coffee supply chain, of whom 66.7% have heard of nanotechnology and 36.7% are aware of some possible agricultural use. The results indicate that the representatives of the coffee industry are not familiar with the subject and have no opinion on the merits and risks arising from the gradual introduction of nanotechnologies.

Key-words: technological development, innovation, Delphi technique.

Recebido em 30/04/2015. Liberado para publicação em 16/10/2015.